



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN**

**PROGRAMA DE APOYO PARA LA IMPARTICIÓN DE
ASIGNATURAS RELACIONADAS CON “ILUMINACIÓN E
INSTALACIONES ELÉCTRICAS”, POR MEDIO DE LA P. C.**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE :
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

P R E S E N T A N :

**RAÚL HERRERA SERAFÍN
RODRIGO ANTONIO MENDOZA MORÓN**

ASESOR: ING. CASILDO RODRÍGUEZ ARCINIEGA

CUAUTITLÁN IZCALLI, EDO. DE MÉXICO.

2001



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS

A DIOS

**EN TESTIMONIO DE NUESTRA GRATITUD
ILIMITADA, POR SU INFINITA BONDAD
GRACIAS POR PERMITIRNOS LLEGAR AL
FINAL DE NUESTRA META.**

**A LA UNAM Y FES-C
AL TÉRMINO DE ESTA ETAPA DE
NUESTRAS VIDAS; QUEREMOS EXPRESAR
NUESTRO PROFUNDO AGRADECIMIENTO
A LA UNAM Y ANUESTRO PLANTEL FES-C,
YA QUE HICIERON POSIBLE NUESTRA
FORMACIÓN PROFESIONAL.**

AGRADECIMIENTOS

A NUESTRO ASESOR

ING. CASILDO RODRÍGUEZ ARCINIEGA

**EN RECONOCIMIENTO A TODO EL APOYO
BRINDADO A TRAVEZ DE LA REALIZACIÓN
DE ÉSTE TRABAJO.**

A NUESTRO JURADO

**ING. FRANCISCO GUTIÉRREZ SANTOS
ING. JAIME RODRÍGUEZ MARTÍNEZ
ING. CASILDO RODRÍGUEZ ARCINIEGA
ING. PEDRO GUZMÁN TINAJERO
ING. ANGEL RUEDA ANGELES**

AGRADECIMIENTOS

A MIS PADRES

JUANA Y ALFREDO, PORQUE GRACIAS A SU APOYO Y CONSEJO HE LLEGADO A REALIZAR LA MAS GRANDE DE MIS METAS; LA CUAL CONSTITUYE LA HERENCIA MAS VALIOSA QUE PUDIERA RECIBIR.

A HERMANOS

GUADALUPE, RITA, LAURA Y DAVID, POR EL APOYO Y AYUDA BRINDADO A TRAVES DE MIS ESTUDIOS.

RAUL H. S.

AGRADECIMIENTOS

**POR SU GRAN APOYO Y ESFUERZO DESDE
EL PRINCIPIO DE MI FORMACIÓN COMO
SER HUMANO Y EDUCATIVA, LA PERSONA
A QUIEN LE DEBO TODO, INCLUSIVE LA
VIDA.**

**A MI MADRE, LA PROFESORA EMMA
MORÓN ZULOAGA.**

!!! MUCHAS GRACIAS !!!

**POR SU GRAN AYUDA Y APOYO EN TODOS
LOS MOMENTOS DE MI VIDA.**

**A MIS DOS HERMANOS Y PRIMO LUIS,
GUSTAVO Y ROBERTO CARLOS.**

!!! MUCHAS GRACIAS !!!

RODRIGO ANTONIO

AGRADECIMIENTOS

POR SU GRAN PACIENCIA Y AYUDA INCONDICIONAL, CON LA CUAL NO HUBIERA LOGRADO MUCHAS DE MIS METAS.

A MI ABUELA ESPERANZA Y A MI TÍA GLORIA.

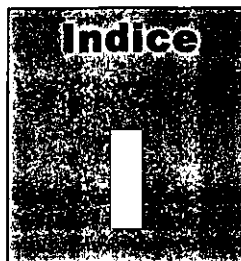
!!!GRACIAS!!!

POR SU COMPAÑÍA Y AYUDA QUE RECIBÍ DE CADA UNO DE USTEDES, MIS GRANDES AMIGOS EN LA FACULTAD, CON QUIENES TUVE ALGUNOS DE LOS MEJORES MOMENTOS DE MI VIDA.

A LEONARDO, ELISEO, HUGO Y POR SUPUESTO A RAÚL MI COMPAÑERO EN ESTE PROYECTO.

!!!GRACIAS!!!

RODRIGO ANTONIO



ELECTRICIDAD BÁSICA

CAPÍTULO I	<u>Conceptos</u>	1
o Carga Eléctrica		1
o Experimento de Coulomb		5
o Campo Eléctrico		11
o Flujo Eléctrico		14
o Potencial Eléctrico		16
CAPÍTULO II	<u>Capacitor y Capacitancia</u>	20
o Definición		20
o Arreglos y Cálculos con Capacitores		24
CAPÍTULO III	<u>Resistencia y Circuitos Eléctricos</u>	30
o Definición de Corriente Eléctrica		30
o Definición de Resistencia		34
o Ley de Ohm		37
o Factores que Afectan la Resistencia		39
o Cálculo de Circuitos Resistivos		41
CAPÍTULO IV	<u>Campo Magnético</u>	48
o Imanes y Experimento de Oersted		48
o Flujo Magnético		53
o Ley de Ampere		54
o Experimento de Faraday y Principio de Lenz		56
o Diferencia de Potencial Inducida		62
o Inductancia		63
o Principio del Transformador		66
o Impedancia		69

LUZ E ILUMINACIÓN

CAPÍTULO V	<u>Conceptos</u>	78
o	Concepto de Luz.....	78
o	Conceptos de Iluminación.....	82
CAPÍTULO VI	<u>Cantidad y Calidad de Iluminación</u>	88
o	Tamaño.....	90
o	Brilantez.....	90
o	Contraste.....	90
o	Tiempo.....	91
CAPÍTULO VII	<u>Fuentes Luminosas</u>	101
o	Clasificación.....	101
o	Fuentes Artificiales.....	102
-	Lámparas Incandescentes.....	103
-	Lámparas Fluorescentes.....	106
-	Lámparas de Vapor de Mercurio.....	110
-	Lámparas de Vapor de Sodio (Alta Presión y Baja Presión).....	112
CAPÍTULO VIII	<u>Luminarios</u>	121
o	Definición de Luminarios.....	121
o	Clasificación de Luminarios.....	121
CAPÍTULO IX	<u>Iluminación</u>	130
o	Método de Lúmen.....	130
o	Método Punto por Punto.....	140

INSTALACIONES ELÉCTRICAS

CAPÍTULO X	<u>Cálculo de Conductores</u>	161
o	Simbología.....	173
o	Diagrama.....	181
CAPÍTULO XI	<u>Concentración del Factor de Potencia</u>	182
o	Banco de Capacitores.....	182
o	Motor Síncrono.....	192
CAPÍTULO XII	<u>Selección del Sistema de Voltaje</u>	198
CAPÍTULO XIII	<u>Sistema de Distribución de Energía Eléctrica</u>	211
CAPÍTULO XIV	<u>Subestaciones</u>	229
CAPÍTULO XV	<u>Sistemas de Tierra</u>	259



Antecedente:

Debido a la creciente necesidad de formar más y ante todo mejores profesionistas, la Universidad Nacional Autónoma de México ha implementado en los últimos años una serie de reformas a planes de estudio (tales como la seriación y otros más), con la principal intención de actualizar y enriquecer los puntos primordiales en la formación de nuevos estudiantes.

Concientes de ésta actitud responsable e inteligente hemos querido ayudar, aunque sea de manera sutil, a ésta causa. lo anterior por medio del presente trabajo de investigación bibliográfica.

Ahora bien, hemos tratado de abarcar una gran cantidad de información, la cual a nuestro juicio es de fundamental importancia que se tenga conocimiento por parte de los estudiantes de la carrera para Ingeniero Mecánico Electricista.

Siendo ésta información una compilación resumida e ilustrada de muchas y diversas publicaciones utilizadas en el haber de nuestra formación durante el lapso de tiempo en el que cursamos nuestras asignaturas. primordialmente, nos hemos enfocado a temas de gran importancia como:

OBJETIVOS

- Electricidad Básica
- Iluminación
- Instalaciones Eléctricas

Como apoyo a la impartición de asignaturas relacionadas con los anteriores temas, hemos desarrollado una presentación multimedia que visualiza de manera breve cada uno de los sub-temas con que constan los quince capítulos que conforman ésta tesis.

Hipótesis:

El uso de la computadora mejora la calidad de la educación en la carrera para Ingeniero Mecánico Electricista.

Objetivos de la tesis:

Desarrollar material didáctico, mediante el uso de la p.c., que sirva de apoyo en la impartición de asignaturas o seminarios relacionados con las áreas de “iluminación e instalaciones eléctricas”.

Con la finalidad de que el estudiante de ingeniería obtenga una mejor apreciación gráfica de los conceptos teóricos relacionados con estos temas. Facilitando así su comprensión para lograr un mejor aprovechamiento de los conocimientos necesarios para el desarrollo profesional de proyectos encaminados a éstas áreas de la Ingeniería Mecánica Eléctrica.



Introducción

La presente tesis es una recopilación de información práctica. Como es bien sabido el área docente necesita nuevos métodos en los que se pueda apoyar para impartir sus asignaturas, dichos métodos obligados a modernizarse, y en la actualidad hablar de modernidad es hablar del uso de computadoras.

Por tanto, preocupados por el problema el trabajo que a continuación se presenta es una investigación de temas de gran interés para cualquier estudiante, profesor o persona con deseos de conocer un poco más sobre el estudio de la electricidad y sus diferentes ramas en las que se subdivide, además de servir como apoyo para el estudiante de ingeniería.

Básicamente, las características principales del plan general de la tesis son las siguientes:

- (1) Los conceptos de electricidad básica, como son: carga eléctrica, campo, flujo y potencial eléctrico, así como capacitancia, corriente eléctrica, ley de Ohm, resistencia, campo y flujo magnético, inductancia y otros más. Son tratados dentro del tema uno de ésta tesis.
- (2) Definiciones de iluminación, clasificación y tipos de lámparas, así como los métodos mas prácticos para realizar una correcta selección de luminarias en proyectos de iluminación de inmuebles y exteriores son

revisados con detenimiento en el segundo tema, el cual consta de cinco capítulos al igual que el tema uno.

- (3) Consecuentemente en el tema tres de la tesis, dedicada al área de instalaciones eléctricas, se analizan la simbología y diagramas utilizados en el cálculo de conductores así como en la ubicación y selección correcta de bancos de capacitores y sistemas de selección de voltaje. Además de tocar temas, de manera sutil y ligera como el de sistemas de tierra, distribución de energía eléctrica y subestaciones.

Estos temas han sido desarrollados de la manera más sencilla posible, apoyándonos en la mayor cantidad de gráficos y/o ilustraciones, de tal forma que el lector comprenda el cien por ciento del contenido, y a su vez encuentre ésta obra de gran utilidad, manejando simbología, y tablas de datos los mas actuales posibles.

Ahora bien, como ya se mencionó existe una presentación multimedia, contenida dentro de un disco compacto y la cual pretendemos sirva como apoyo para el profesor, que muestra definiciones, tablas, fórmulas y gráficos necesarios para lograr la comprensión de los distintos temas de manera fácil por medio de la visualización gráfica.

Dicha presentación ha sido desarrollada de tal forma que su uso sea intuitivo para el expositor.

En dicha presentación no pretendemos mostrar toda la información contenida en ésta obra bibliográfica, sino por el contrario, solo queremos exponer los enunciados que muestran la esencia de cada uno de los temas contenidos dentro de los XV capítulos con los que consta éste compendio. Además se cuenta con el contenido bibliográfico de ésta tesis en la cual se ven ampliados los diferentes puntos tratados en el disco y algunos más que por su contenido no pueden ser abordados de forma breve.

En casi todos los casos, los conceptos se explican de manera sencilla, mediante análisis informal y generalmente por medio de imágenes, antes de definirlos formalmente.

Las ilustraciones se utilizan ampliamente en la exposición y se marcan para que indiquen tanta información como sea posible.

Tema

I

Conceptos – Capacitor y Capacitancia – Resistencia y Circuitos Eléctricos – Campo Magnético

ELECTRICIDAD BÁSICA

Carga Eléctrica

Desde tiempos inmemoriales el hombre se dio cuenta de que después de frotar un trozo de ámbar, éste adquiría la capacidad de atraer algunos objetos ligeros. Por ejemplo, se sabe que si se frota un peine de ámbar y después se acerca a un trozo de papel, éste es atraído al peine. Este fenómeno es de naturaleza eléctrica. Durante muchos siglos este tipo de experiencias no fueron sino meras curiosidades.

Por otro lado, también se ha conocido la atracción que ejerce un imán sobre una aguja de hierro. Este fenómeno es de naturaleza magnética.

Se podría preguntar uno si estos dos tipos de atracción no son en realidad fenómenos de la misma naturaleza. En el año 1600 el médico inglés William Gilbert ya había logrado distinguir entre los dos tipos de fenómenos. Se dio cuenta de que muchas sustancias como vidrio, gemas, o cera podían ser “electrificadas” tal como ocurre con el ámbar. Simplemente las frotaba y al acercarlas a trozos de papel o astillas de madera vio que había una atracción. Sin embargo el imán, sin necesidad de frotarlo, solamente atrae al hierro, a diferencia de los cuerpos electrizados que atraen muchos otros cuerpos. Además descubrió que la influencia del imán sobre el hierro no se afectaba al meter los objetos en el agua, mientras que la electrificación si desaparecía.

Hacia principios del siglo XVIII se inició la investigación detallada de los fenómenos eléctricos. Entre 1729 y 1736, dos ingleses, Stephen Gray y Jean Desaguliers, reportaron los resultados de una serie de experimentos eléctricos muy cuidadosos. Encontraron que si unían por medio de un alambre metálico un tubo de vidrio, previamente frotado, con un trozo de

corcho, éste se electrificaba. Este fenómeno persistía aun para distancias entre el vidrio y corcho de alrededor de 300 metros. Si en lugar de efectuar la unión con un alambre metálico lo hacían con un hilo de seda entonces el efecto no ocurría. Además descubrieron que si la línea de transmisión hacía contacto con el suelo, o sea con la tierra, el corcho dejaba de electrificarse.

De todos estos experimentos llegaron a la conclusión de que la electrificación era un efecto que se presentaba en la superficie de los cuerpos. Además, que sobre la superficie del cuerpo electrificado aparecía lo que llamaron “virtud” o “fluido” eléctrico. En la actualidad se le llama **carga eléctrica**. Encontraron que la carga eléctrica podía moverse libremente de un cuerpo a otro a lo largo de ciertos materiales, que llamaron **conductores**. Ejemplos de conductores son el cuerpo humano, los metales, el aire húmedo, etc. También existen materiales que no conducen electricidad, a los que se les llama **aisladores** o no conductores. Como ejemplos de estos últimos, podemos citar la madera, la seda, la cerámica, etcétera.

Un científico francés, François du Fay, hizo otro tipo de experimentos, que reportó entre 1733 y 1734. Frotó dos tubos de vidrio iguales, con tela de seda. Al acercar los tubos vio que éstos siempre se repelían. En general, descubrió que cuando dos materiales idénticos se electrificaban en formas idénticas, al acercarlos se repelen.

Figura.1.1 El electroscopio es un aparato que sirve para detectar cargas eléctricas. Consiste en una barra metálica en cuyo extremo tiene dos láminas metálicas que giran libremente alrededor del eje L-L. Si se toca la barra del electroscopio con cualquier cuerpo cargado eléctricamente, se transfiere carga a la barra. En vista de que la barra es conductora, las cargas se mueven y llegan a las láminas, cargándolas. Las cargas que hay en una lámina tienen el mismo signo que las que hay en la otra. En consecuencia, estas cargas se repelen y causan que las láminas se separen. De esta forma el electroscopio puede detectar la presencia de cargas. Mientras mayor sea la carga que se le haya depositado, mayor será la abertura entre las láminas. El comportamiento del electroscopio es el mismo ya sea que se le cargue con cargas positivas o negativas.

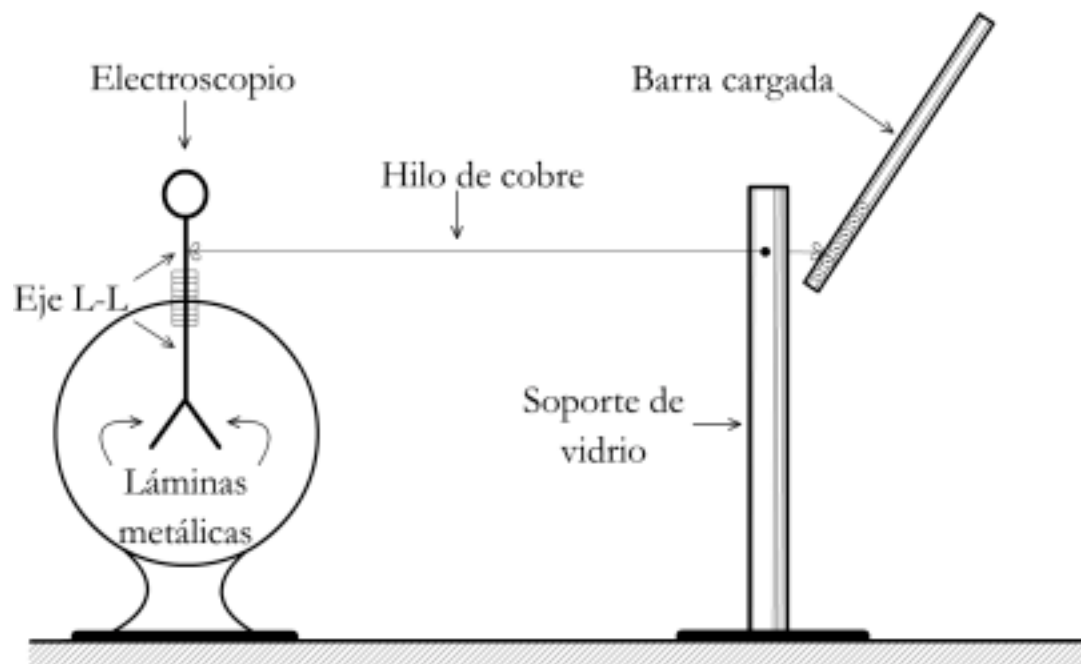


Figura.1.1

El mismo Fay hizo muchos otros experimentos con diferentes materiales y llegó a la conclusión de que existen dos tipos de electricidad, que llamó “vitrosa” (la que aparece en vidrio al frotarlo con seda) y la “resinosa” (la que aparece en hule al frotarlo con piel). Durante la siguiente década, Benjamín Franklin, trabajando en Estados Unidos y sin conocer los trabajos de du Fay, hizo los mismos descubrimientos. Visualizó el vidrio electrificado como si hubiera adquirido un exceso de fluido (carga) eléctrico y le llamó a este estado “positivo”. A la seda con que se frotó el vidrio la visualizó como si tuviera una deficiencia de fluido eléctrico y le llamó a su estado “negativo”. La terminología de Franklin es la que se utiliza hasta hoy en día, aunque no se acepta su visualización.

En resumen, existen en la naturaleza dos tipos de cargas eléctricas diferentes, llamadas **positiva** y **negativa**. Además, se puede concluir de una multitud de resultados experimentales que al acercar dos cargas eléctricas del mismo tipo (negativa-negativa o positiva-positiva) se repelen, mientras que dos cargas de distintos tipos (positiva-negativa) se atraen.

En un sentido más estricto nos referimos básicamente a que la materia se compone de átomos y éstos a su vez de electrones, protones, neutrones y otras partículas que son de menor importancia en electrostática. Los átomos son eléctricamente neutros. Los electrones son partículas cargadas negativamente, los protones son partículas con cargas positivas. El átomo tiene igual número de electrones que de protones. Cuando decimos que un objeto está cargado, lo que queremos decir que tiene un exceso carga; que puede ser positiva(deficiencia de electrones) o negativa(exceso de electrones).

Entonces por **definición de carga eléctrica se entiende como la virtud o fluido eléctrico que aparece en la superficie de los cuerpos electrificados por inducción, frotamiento o contacto, y que puede ser del tipo negativo o positivo.**

De un número considerable de experiencias se ha concluido que en cualquier proceso la carga eléctrica total siempre se conserva. Esto significa que la carga eléctrica que había al principio del proceso es igual a la carga que hay al finalizado. Mucho mas propiamente **“la carga neta se conserva en un sistema cerrado”**, que es el enunciado del **principio de la conservación de la carga.**

Ahora bien, al hablar de carga eléctrica total nos referimos a la carga total positiva menos la carga total negativa que haya; o más precisamente, a la suma algebraica de las cargas. Aquí se asigna un signo positivo a cargas positivas y un negativo para las negativas.

Hasta el momento no se ha encontrado ningún fenómeno o proceso en el que la carga eléctrica total no se conserve. De hecho, al transcurrir el tiempo y haberse ampliado el horizonte de fenómenos que se han estudiado, se ha confirmado la conservación de la carga eléctrica. El principio de la conservación de ésta es uno de los más fundamentales que hay en la naturaleza.

En el siglo XIX se creía que la carga eléctrica era un fluido continuo, pero a principios del siglo pasado se descubrió que la carga eléctrica está dada por unidades o paquetes de cargas separadas, y esta propiedad de la carga eléctrica se conoce como “cuantización de la carga”. Esta carga básica es la carga del electrón y es la carga más pequeña

en magnitud que hasta la fecha se ha encontrado(aunque se estudia la posibilidad de la existencia de partículas que puedan tener un tercio o dos tercios de la carga electrónica denominados quarks) y tiene un valor de 1.60206×10^{-19} coulomb, y se representa simbólicamente por e .

Cuando se trata de cargas macroscópicas se representa por q o Q y equivale a ne donde n es un número entero.

Experimento de Coulomb

Como ya se vio, dos cargas eléctricas que estén cercanas una de la otra ejercen atracción o repulsión entre sí, según los signos de sus cargas. Esto significa que una carga ejerce una fuerza sobre la otra. A diferencia de lo que ocurre con dos partículas que tienen masa y que ejercen una fuerza gravitatoria entre sí, ahora la fuerza ejercida entre dos cargas se debe a que ambas tienen carga eléctrica. Al recordar que la fuerza es un vector, surge la pregunta: ¿cuáles son las características de la fuerza entre dos cargas?. Es decir, ¿cuáles son su magnitud, dirección y sentido?.

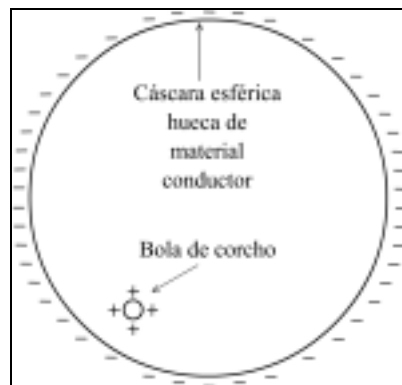


Figura 1.2

Desde mediados del siglo XVIII diversos científicos investigaron esta cuestión. En 1766 Benjamín Franklin se dio cuenta de lo siguiente. Construyó una cáscara esférica hueca de material conductor (Figura 1.2) y enseguida la cargó eléctricamente. Colocó dentro de la cáscara una bola de corcho cargada y vio que no se ejercía ninguna fuerza sobre la bola. Al colocar la bola de corcho fuera de la cáscara encontró que ahora sí

experimentaba una fuerza. Estos resultados los obtuvo independientemente de las magnitudes o signos de las cargas que tuvieran tanto la cáscara como la bola.

Intrigado, Franklin pidió a su amigo Joseph Priestley, el descubridor del oxígeno, que verificara sus observaciones. Al hacerlo Priestley descubrió que cuando un conductor hueco es electrificado, en su superficie interna no hay cargas eléctricas (Figura 1.3) y que las fuerzas eléctricas dentro de la cavidad son siempre nulas.



Figura 1.3

Priestley publicó sus resultados en 1767, diciendo: “¿No podemos inferir de este experimento que la atracción de la electricidad está sujeta a las mismas leyes que la gravitación y es por tanto de acuerdo con los cuadrados de las distancias; Ya que es fácilmente demostrable que si la Tierra tuviera la forma de una concha, un cuerpo en su interior no sería atraído?”. Aquí Priestley recurre a un resultado obtenido por Newton al aplicar la ley de la gravitación universal para la atracción que existe entre partículas con masa. En analogía a este resultado gravitacional Priestley sugirió que la fuerza entre dos partículas eléctricamente cargadas también podrían ser inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellas. A pesar de lo sugestivo de esta afirmación, en su época se le tomó como una prueba convincente.



Fue el físico francés **Charles Augustin Coulomb** (1736-1806) quien publicó una serie de trabajos célebres a partir de 1785, en los cuales reportó los resultados de sus experimentos. En ellos estudió directamente las fuerzas eléctricas entre partículas cargadas. Para ello **inventó** lo que se llama **una balanza de torsión**, que en esencia consiste en una pequeña esfera A conductora en un extremo de una barra aisladora que se suspende de un filamento no conductor. (figura 1.4). Si se ejerce sobre A una fuerza en dirección perpendicular a la barra, el filamento gira torciéndose. Mientras mayor sea la magnitud de la fuerza, mayor será el ángulo de giro del filamento. Este ángulo se puede medir en C .

Coulomb acercó a *A* otra esfera cargada *B* y registró el ángulo de giro del filamento. Realizó este experimento para diferentes distancias entre las cargas *A* y *B*, así pudo determinar como variaba la fuerza con la distancia. De esta manera llegó a la conclusión de que efectivamente la magnitud de la fuerza varía con el inverso cuadrado de la distancia,

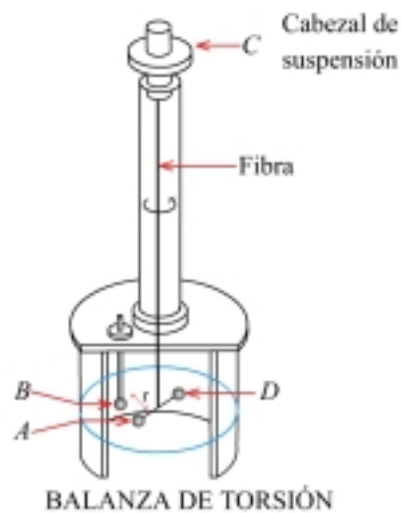


Figura 1.4

tanto para la repulsión de cargas del mismo signo como para la atracción de cargas de signos opuestos. Esto significa que si se aumenta la distancia al doble (manteniendo las cargas de las esferas iguales) la magnitud de la fuerza disminuye a la cuarta parte; si se aumenta la distancia al triple, la magnitud disminuye a la novena parte, etcétera.

Además de lo anterior, Coulomb también determinó cómo depende la magnitud de la fuerza de las cargas que están depositadas en cada uno de los cuerpos. Con las esferas *A* y *B*, ambas cargadas, determinó el ángulo en que se tuerce el filamento. Acercó ahora una esfera conductora *D*, idéntica en tamaño y material a *A*, pero no cargada, y la puso en contacto con *A*. Después de cierto tiempo separó *D* de la balanza. Observó que si ahora acercaba *B* (sin modificación) a *A*, el ángulo de torsión del filamento se reducía a la mitad del valor anterior. Coulomb razonó que al entrar en contacto las dos esferitas *A* y *D*, por ser ambas conductoras, la carga que tenía *A* se repartió en partes iguales entre las dos esferas, ya que ellas eran idénticas. Este procedimiento tenía el propósito de que la esfera *A* tuviera la mitad de la carga original. En consecuencia, pudo afirmar que si la carga de *A* disminuye a la mitad, la magnitud de la fuerza entre *A* y *B* también disminuye a la mitad. Procediendo de esta manera llegó a la conclusión de que la magnitud de la fuerza entre las cargas es proporcional a la carga que tiene cada una de las esferas. Esto significa que si la carga de las partículas aumenta al doble (manteniendo la distancia entre ellas y la carga de la otra partícula iguales) entonces la magnitud de la fuerza aumenta al doble; Si la carga de una de las partículas aumenta al triple, la magnitud de la fuerza aumenta al triple, etcétera..

Entonces podemos resumir los resultados de los experimentos, en lo que conocemos como la **ley de Coulomb** como sigue: **la magnitud de la fuerza entre dos partículas eléctricamente cargadas es proporcional a la carga que cada una de ellas tiene y además inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellas.** Así mismo, encontró que la dirección de esta fuerza es a lo largo de la línea que une a las dos partículas. El sentido de la fuerza es atractivo si las cargas son de signos opuestos y es repulsivo si son de signos iguales.

Se puede expresar matemáticamente el resultado obtenido por Coulomb como sigue: sean dos partículas A y B con cargas q_A y q_B respectivamente, que se encuentran a una distancia r_{AB} (figura 1.5). La partícula A ejerce una fuerza \mathbf{F}_{AB} sobre la partícula B que tiene las siguientes características.

i) *Magnitud:*

$$F_{AB} = k_E \frac{|q_A| |q_B|}{r_{AB}^2}$$

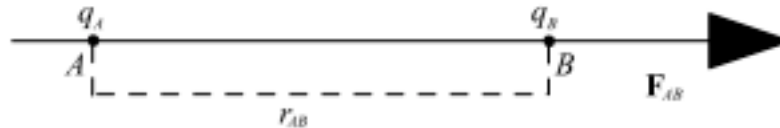


Figura 1.5

Aquí k_E es una constante de proporcionalidad, positiva, y su valor depende del sistema de unidades que se escoja, como lo veremos en la siguiente sección. Además, $|q_A|$ y $|q_B|$ denotan las magnitudes de las cargas, respectivamente; es decir, estas magnitudes son cantidades positivas. Por lo tanto, el valor de F_{AB} resulta ser positivo. Recuérdese que la magnitud de un vector siempre es positiva.

ii) *Dirección*. La dirección de la fuerza \mathbf{F}_{AB} está a lo largo de la línea que une a A con B .

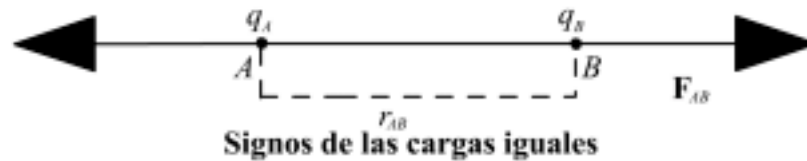


Figura 1.6

iii) *Sentida*. El sentido de la fuerza depende de los signos que tengan las cargas. Si las cargas q_A y q_B tienen el mismo signo de la fuerza \mathbf{F}_{AB} es el que se muestra en la figura 1.6. Si las cargas tienen sentidos opuestos entonces hay atracción y el sentido de la fuerza \mathbf{F}_{AB} es el mostrado en la figura 1.7. Estos hechos constituyen lo que se llama la **ley de Coulomb**.

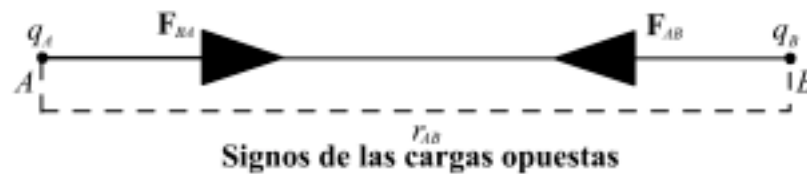


Figura 1.7

La unidad de carga no se define por la ley de Coulomb, sino en función de la unidad de corriente, el amper. La unidad en el sistema mks(metro-kilogramo-segundo) de carga **se denomina coulomb** y se define como la cantidad de carga que atraviesa, por segundo, una sección de un conductor en el cual circula una corriente constante de un amper. El coulomb es, con mucha aproximación, igual a 3×10^9 veces la unidad electrostática. El valor exacto es:

$$1 \text{ coul} = 2.99790 \times 10^9$$

El coulomb es una cantidad de carga relativamente grande, y para muchos resulta magnitud más adecuada el microcoulomb ($=10^{-6}$ coul) La unidad *natural* de carga eléctrica es la carga transportada por un electrón o un protón. Las medidas más precisas que se han realizado hasta el presente dan para esta carga el valor

$$e = 1.601864 \times 10^{-19} \text{ coul}$$
$$= 4.80223 \times 10^{-10} \text{ unidades electrostáticas.}$$

Una unidad electrostática representa, por tanto, la carga transportada por 2.08×10^9 electrones, y un coulomb, la carga de unos 6×10^{18} electrones. Como comparación, la población total de la Tierra se estima en unas 2×10^9 personas, mientras que, por otra parte, un cubo de cobre de un centímetro de arista contiene alrededor de 8×10^{22} electrones libres.

Puesto que las unidades de carga, fuerza y distancia en el sistema mks se han definido independientemente de la ley de Coulomb, el valor numérico de la constante de proporcionalidad k en éste sistema tiene que determinarse experimentalmente. En principio, el experimento consistiría en medir la fuerza, en newtons, entre dos cargas puntuales cuyas cargas se hubieran medido en coulombs y la distancia que las separa en metros.

En la práctica, el valor de k se determina indirectamente. El valor numérico más exacto, hasta la fecha, es:

$$k = 8.98742 \times 10^9$$

Para muchos fines, el valor aproximado $k = 9 \times 10^9$ es suficientemente preciso. En cualquier sistema de unidades, las dimensiones de k son las de fuerza \times distancia² \div carga². Por lo tanto, en el sistema electrostático,

$$k = 1 \frac{\text{dina} \cdot \text{cm}^2}{\text{unidad electrostática}^2};$$

y en el sistema mks,

$$k = 9 \times 10^9 \frac{\text{new} \cdot \text{m}^2}{\text{coul}^2}$$

Con objeto de evitar la aparición del factor 4π en otras ecuaciones derivadas de la ley de Coulomb, y que se usan más frecuentemente que la misma ley, definimos una nueva constante ϵ_0 por la relación:

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k},$$

o bien:

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0},$$

y escribimos la ley de Coulomb en la forma:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq'}{r^2}$$

Del valor numérico de k dado anteriormente se deduce que, en el sistema mks,

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = \frac{1}{4\pi \times 9 \times 10^9} = 8.85 \times 10^{-12} \frac{\text{coul}^2}{\text{N} \times \text{m}^2}$$

Campo Eléctrico

Cuando una carga experimenta una fuerza de atracción o repulsión (en ausencia de campos gravitacional y magnéticos) en una región del espacio, existe un campo eléctrico en esa región. La magnitud del campo eléctrico dependerá de la magnitud de la fuerza eléctrica y de la magnitud de la carga de prueba (Carga que experimenta la fuerza) La fuerza eléctrica puede ser generada por cargas aisladas o bien por una distribución de carga.

Supongamos que la fuerza se debe a una carga aislada, entonces observamos experimentalmente que la atracción o repulsión sobre la carga prueba es radial y podemos dibujar líneas radiales a la carga que nos representan gráficamente la dirección de repulsión o

atracción, estas líneas radiales se conocen como líneas de campo (las cuales son imaginarias) que salen de las cargas positivas y entran a las cargas negativas como se muestran en la figura 1.8.

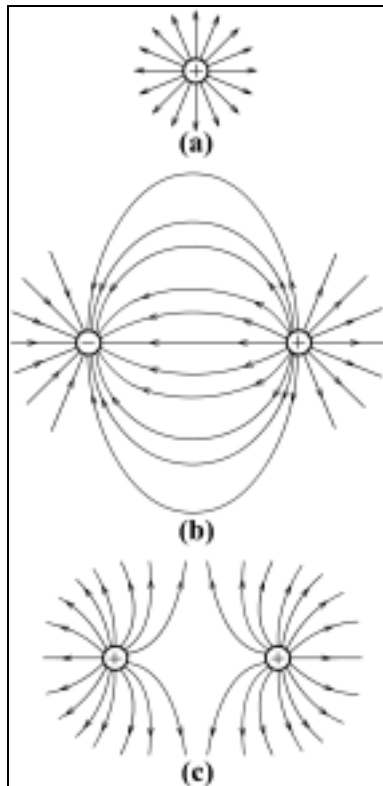


Figura 1.8

La figura representa algunas de las líneas de fuerza que rodean una sola carga positiva, dos cargas iguales (una positiva y una negativa) y dos cargas positivas iguales. La dirección del campo resultante en todo punto de cada uno de los esquemas coincide con la dirección de la tangente a la línea de fuerza que pasa por dicho punto. Las flechas sobre las líneas indican el sentido en que tiene que trazarse la tangente.

Ninguna línea de fuerza empieza o termina en el espacio que rodea una carga. Toda la línea de fuerza de un campo electrostático es continua y termina en una carga

positiva en un extremo y en una carga negativa en el otro. Aunque a veces, por comodidad, hablamos de una carga “aislada” y dibujamos su campo como en la figura 1.8 (a), esto significa simplemente que las cargas sobre las cuales terminan las líneas se encuentran a distancias grandes de la carga considerada; por ejemplo, si el cuerpo cargado de la figura 1.8(a) es una pequeña esfera suspendida por un hilo del techo del laboratorio, las cargas negativas sobre las cuales terminan sus líneas de fuerza se encontrarían en las paredes, el suelo, el techo o sobre otros objetos del laboratorio.

En cualquier punto de un campo eléctrico, el campo sólo puede tener dirección; por tanto, por cada punto del campo sólo puede pasar una línea de fuerza. En otras palabras, las líneas de fuerza no se cortan jamás. Es posible, naturalmente, dibujar una línea de fuerza que

pase por cada punto de un campo eléctrico; pero si se hiciese esto, toda la superficie del esquema estaría llena de líneas de fuerza, y no podríamos distinguir ninguna de ellas separadamente. Limitando de modo adecuado el número de líneas de fuerza que se dibujan para representar un campo, estas líneas de fuerza pueden utilizarse para indicar al mismo tiempo la magnitud y la dirección del campo. Esto se consigue espaciando las líneas de tal modo que *el número de las que atraviesan la unidad de superficie perpendicular a la dirección del campo sea proporcional, en cada punto, a la intensidad del campo eléctrico*. En una región donde la intensidad es grande, tal como la comprendida entre las cargas positiva y negativa de la figura 1.8(b), las líneas de fuerza están apretadas, mientras que una región donde la intensidad es pequeña, tal y como la comprendida entre las dos cargas positivas de la figura 1.8(c), las líneas de fuerza están muy espaciadas.

Entonces, concluyendo lo anterior podemos decir que **el campo eléctrico se define como la razón de la fuerza eléctrica que experimenta la carga prueba a la magnitud de la carga prueba**. Matemáticamente lo expresaríamos:

$$E = \frac{F}{Q}$$

La definición indica que el campo eléctrico es igual a la fuerza por unidad de carga. Y las dimensiones que tienen son:

$$[E] = \frac{[F]}{C} = \frac{ML}{T^2C}$$

ya que las dimensiones de la fuerza son (ML/T^2) . En el sistema internacional (SI), las unidades de **E** son

$$\left\{ \text{unidades de } E \right\} = \frac{\text{unidades de } F}{\text{unidades de } C} = \frac{N}{C}$$

Es decir, las unidades de **E** son (newton/coulomb)

Flujo Eléctrico

En los subtemas anteriores vimos que el campo eléctrico se puede calcular utilizando la ley de Coulomb. Sin embargo, algunas veces, atendiendo a las condiciones físicas del problema que se plantee, se puede facilitar el cálculo del campo eléctrico utilizando la ley de Gauss que es la primera de cuatro leyes fundamentales del electromagnetismo.

Para analizar el concepto de flujo que vamos a introducir en esta sección, consideraremos una carga puntual y sus líneas de fuerza (imaginarias) como se muestra en la figura 1.9(a) Consideraremos ahora una superficie esférica que encierra la carga. Observamos que si variamos el radio de la superficie, el número de líneas de fuerza es el mismo. Para

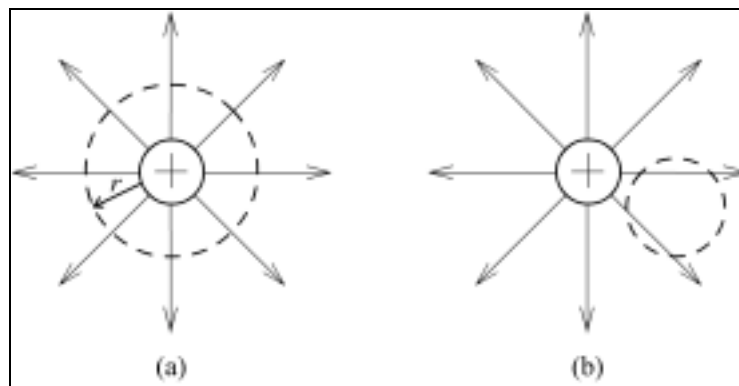


Figura 1.9

darnos una idea de lo que es el flujo lo podemos considerar como el total de líneas que atraviesan la superficie, y que dependen únicamente de la carga encerrada; si las líneas que cruzan la superficie salen, la carga neta encerrada es

positiva; si entran es negativa.

De la figura 1.9(b), podemos ver que el número de líneas de fuerza que entra a la superficie esférica es igual al número de líneas que sale. Por lo tanto, ya que el número neto de líneas de fuerza encerradas por la superficie que entran y salen, es cero, concluimos que no existe carga neta encerrada por la superficie, o bien que el **flujo eléctrico** es cero.

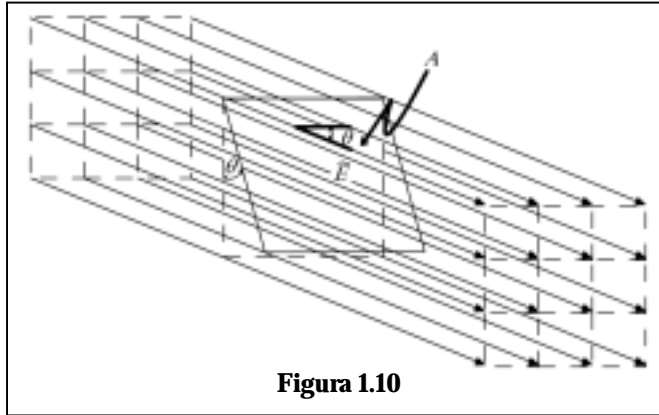


Figura 1.10

En la figura 1.10, vemos que el flujo del campo eléctrico que atraviesa el área A , está en función de la magnitud del campo, la magnitud del área y el ángulo entre el vector del área y el vector campo eléctrico. Al analizar esta figura, se puede ver que si la

superficie está paralela a las líneas de fuerza, el flujo es cero, es decir, que ninguna línea cruza la superficie; esto sucede para $\theta=90^\circ$. El flujo es máximo cuando la superficie es perpendicular a las líneas de fuerza, para $\theta=0^\circ$. Por consiguiente el flujo es proporcional al área proyectada, la cual está dada por $(\text{Área}) \times (\cos\theta)$. Hemos visto que el número de líneas de fuerza por unidad de área, es proporcional a la magnitud del campo eléctrico, por lo que podemos concluir que el flujo del campo eléctrico o flujo eléctrico, que lo denotaremos por Φ , está en función de la magnitud del campo eléctrico y del área proyectada. **El flujo eléctrico se define por la siguiente ecuación:**

$$\Phi = \int E \cos\theta \, ds$$

Dado que θ es el ángulo entre el vector campo eléctrico y el vector área por la definición del producto punto, la ecuación anterior se puede reescribir como:

$$\Phi = \oint \vec{E} \cdot d\vec{S}$$

El flujo eléctrico puede ser calculado para superficies abiertas o cerradas entendiéndose por superficie cerrada aquella que encierra un volumen, por ejemplo, en una esfera de radio r , su superficie exterior es una superficie cerrada cuya magnitud de $4\pi r^2$ encierra un volumen de $4/3\pi r^3$. Consecuentemente una superficie abierta no encierra

volumen alguno. Al aumentar el radio de la esfera su área aumenta; sin embargo, la magnitud del campo eléctrico disminuye. De hecho el área aumenta como r^2 mientras que el campo eléctrico disminuye. Por lo tanto, el aumento de área compensa justamente la disminución de la magnitud del campo eléctrico. Ésta es la razón por la cual el flujo no depende de la superficie esférica. Hay que darse cuenta que esto ocurre por que el campo eléctrico es inversamente proporcional a r^2 , hecho que tiene su origen en la ley de Coulomb.

El flujo eléctrico para superficies abiertas lo vamos a definir con la ecuación anterior y para superficies cerradas con la siguiente:

$$\Phi = \oint \vec{E} \cdot d\vec{S}$$

Potencial Eléctrico

Cuando se levanta un cuerpo de la superficie de la Tierra, el sistema compuesto por la Tierra y el cuerpo adquiere una propiedad que no tenía anteriormente. Al caer el cuerpo hacia la Tierra puede comprimir un resorte, levantar otro cuerpo, o hacer girar un generador eléctrico, etc. En otras palabras, el trabajo realizado al separar dos partes de un sistema que se atraen mutuamente (Tierra y cuerpo) puede ser recuperado. Estas ideas conducen al concepto de energía potencial gravitatoria. El trabajo realizado para separar el cuerpo de la Tierra aumenta la energía potencial gravitatoria del sistema, cuando las dos partes se juntan, su energía potencial gravitatoria se libera convirtiéndose en otras formas de energía.

Exactamente las mismas ideas pueden aplicarse a cualquier sistema compuesto de cuerpos que se atraen entre sí. La atracción no ha de ser precisamente gravitatoria. Para separar una carga positiva de una negativa hay que realizar un cierto trabajo, y este trabajo puede recuperarse cuando se permite a las dos cargas aproximarse entre sí. A diferencia de

las fuerzas gravitatorias, que son siempre atractivas, la fuerza eléctrica entre dos cargas positivas o negativas es una repulsión. Esto no altera la situación, excepto por que tiene que realizarse trabajo para aproximar ambas cargas. En éste caso, el trabajo puede recuperarse cuando se permite a dichas cargas separarse. Cuando dos cargas distintas se separan, cuando dos cargas iguales se aproximan, aumenta la energía potencial del sistema y **el cambio de energía potencial eléctrica se define como el trabajo realizado para efectuar la separación o aproximación.**

De un modo más general, podemos mover un cuerpo cargado en el campo eléctrico creado por un número cualquiera de cargas, de las cuales unas lo atraen y otras lo repelen. Sin especificar la posición, magnitud o signo de estas cargas, sea el campo eléctrico E creado por ellas en un punto cualquiera. La fuerza sobre un pequeño cuerpo de prueba que posee una carga positiva q es entonces qE . Para mantener el cuerpo en reposo, o para desplazarlo sin rozamiento ni aceleración, se requiere una fuerza opuesta $F = -qE$. El trabajo necesario para dar al cuerpo de prueba un desplazamiento ds se define como

$$dW = F \cos \theta ds,$$

siendo θ el ángulo formado por F y ds . Puesto que $F = -qE$,

$$dW = -qE \cos \theta ds,$$

donde θ es ahora el ángulo formado por E y ds . Para un desplazamiento finito desde el punto a hasta el punto b , el trabajo necesario W es:

$$W_{a \rightarrow b} = -q \int_a^b E \cos \theta ds$$

Esta es la expresión general del trabajo necesario para desplazar una carga de prueba desde un punto cualquiera a a otro punto cualquiera b en un campo eléctrico.

Ahora bien, se define **potencial** en un punto de un campo eléctrico como la razón de la energía potencial de una carga de prueba colocada en el punto, al valor de la carga; o

sea, como la energía potencial por unidad de carga. (Esta definición es totalmente análoga a la de la intensidad de un campo eléctrico en un punto, como fuerza por unidad de carga) Se considera que el potencial en un punto tiene un valor aunque no haya carga eléctrica de dicho punto. Basta imaginar colocada una carga de prueba en el punto, calcular su energía potencial y tomar la relación de la energía potencial a la carga. Ha de admitirse que la distribución inicial de carga no se altera por la introducción de la carga de prueba, lo cual es cierto si la carga de prueba es suficientemente pequeña.

El potencial se representa por la letra V , o por V_a o V_b , si deseamos concretar, por ejemplo, que se refiere a un punto determinado a o b .

$$\text{Potencial en el punto } a = V_a = \frac{\text{E.P. de la carga } q' \text{ en el punto } a}{q'}$$

De esta definición se deduce que la energía potencial de una carga q en un punto a de un campo eléctrico en que el potencial es V_a es el producto del potencial en el punto por la carga q :

$$\text{E.P. de la carga } q \text{ en el punto } a = q \cdot V_a$$

Puesto que la energía es una magnitud escalar, el potencial es también escalar. Tiene módulo, pero no dirección, y en este aspecto difiere del campo eléctrico, que es un vector.

En virtud de esta definición como energía potencial de la unidad de carga, el potencial se expresa en el sistema mks en *joules por coulomb*. Un potencial de un joule por coulomb recibe el nombre de *volt*, en honor del físico italiano Alessandro Volta (1745-1827), que fue el inventor de la pila voltaica, la primera pila eléctrica. **El volt puede definirse del siguiente modo:**

El potencial de un punto de un campo electrostático será un volt, si para traer una carga de un coulomb desde el infinito al punto, venciendo las fuerzas del campo, es necesario realizar un trabajo de un joule.

Otra definición es:

El potencial en un punto de un campo electrostático es un volt, si la razón de la energía potencial de una carga en el punto, al valor de la carga, es un joule por coulomb.

La diferencia de potencial entre dos puntos de un campo electrostático es la diferencia entre potenciales de dichos puntos, y puesto que los potenciales se expresan en volts, la diferencia de potencial se expresará también en volts. La diferencia de potencial entre dos puntos b y a es un volt, si es necesario realizar un trabajo de un joule por coulomb contra las fuerzas del campo para mover una carga desde a hasta b.

El concepto de diferencia de potencial es extraordinariamente importante, tanto en electrostática como en los circuitos eléctricos. Los ingenieros electricistas utilizan la palabra **voltaje** al referirse a la diferencia de potencial.

Definición

Podemos definir como capacitor a un dispositivo capaz de almacenar y liberar una determinada carga eléctrica, según el valor instantáneo de la tensión aplicada, en su modelo mas simple encontramos dos placas metálicas separadas una de otra por un cierto aislante o dieléctrico, este puede ser aire, papel, cerámica etc.

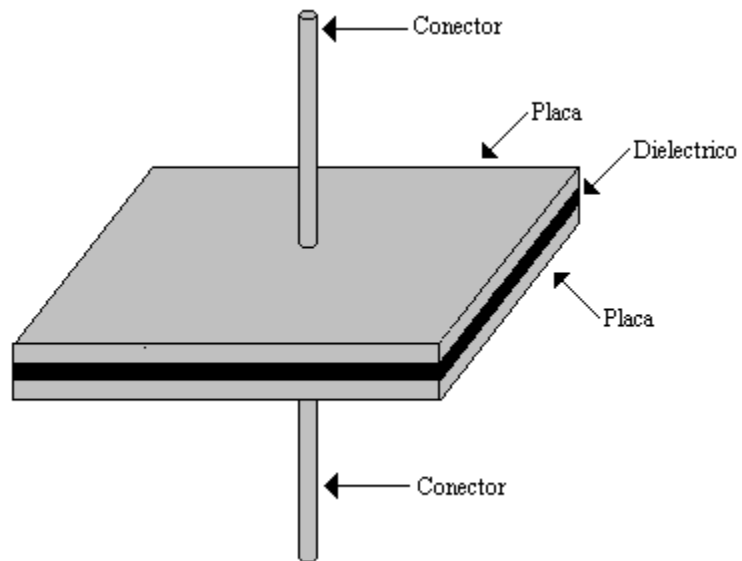
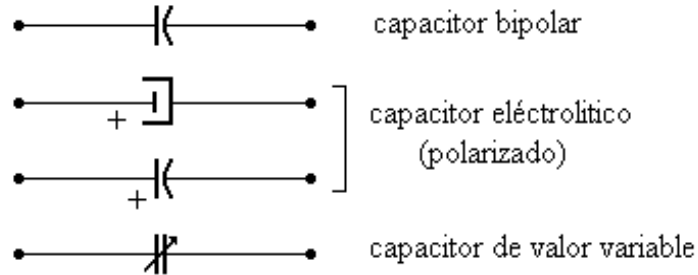


FIGURA 2.1

Los símbolos más comúnmente usados para la representación de las capacitancias son los que a continuación se presentan.

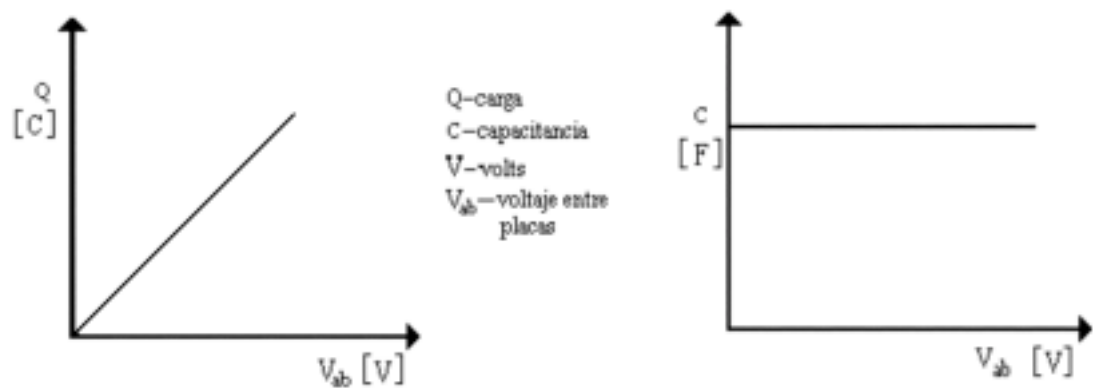


Los capacitores se pueden clasificar de varias maneras, según la característica que se tome como referencia.

A) Capacitores lineales y no lineales

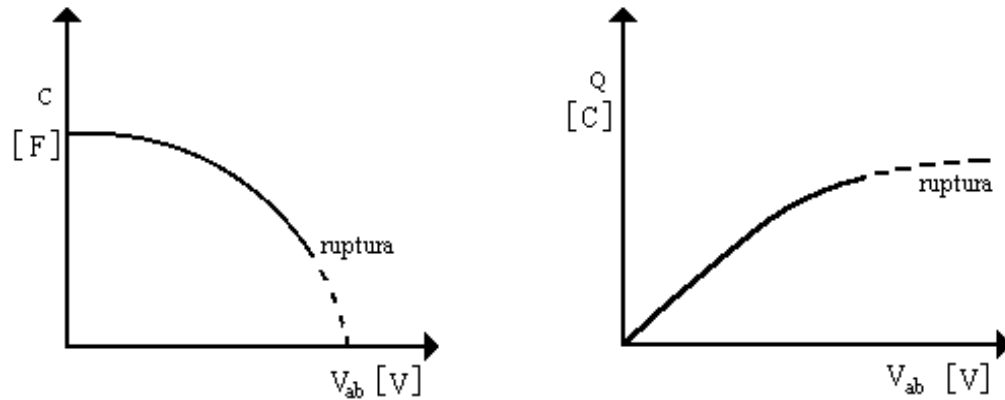
Esta clasificación obedece al comportamiento existente a la hora de la carga.

- Capacitor lineal es aquel en donde su capacitancia permanece constante sin importar la magnitud de la diferencia de potencial aplicada.



Modelos gráficos de un capacitor lineal.

- Capacitor no lineal es aquel cuya capacitancia varía en función de la diferencia de potencial aplicada, al momento de cargar dicho capacitor.



Modelos gráficos de un capacitor no lineal.

B) Capacitores fijos y variables

Un capacitor puede ser diseñado de manera que los factores que influyen en forma más significativa en su valor de capacitancia no se puedan modificar y, por tanto, su valor sea aproximadamente constante; a este tipo de capacitores se les da el nombre de capacitores fijos.

Cuando alguna de las características del capacitor, por ejemplo la distancia entre placas, se puede alterar a voluntad, generalmente mediante un dispositivo mecánico acoplado, se dice que tenemos un capacitor variable.

C) Clasificación de los capacitores atendiendo al material empleado en su fabricación.

Actualmente se ha llegado a un método casi universalmente aceptado y consiste en formar un grupo de placas y dieléctrico en rollos. De acuerdo con el material empleado entre los electrodos metálicos, los capacitores se pueden agrupar como a continuación se presentan:

■ Papel

El papel en conjunto con el aluminio forman la sección enrollada y aplanada, el papel es del tipo kraft, sumamente fino, hecho a base de pulpa de pino. El uso de este dieléctrico se debe a que es relativamente barato, se consigue en grandes cantidades, es de fácil manejo.

Dentro del capacitor actúa como un espaciador entre las placas de aluminio o electrodos; presenta una porosidad del orden del 50%, por tanto es capaz de retener una proporción considerable de dieléctrico líquido, agente de impregnación.

El espesor de cada hoja de papel usado es de 0.01676 mm y se usan 5 hojas entre electrodos, con esto se obtiene un espesor total de aislamiento de 0.8382 mm. El uso de las 5 hojas nombradas anteriormente se debe a que con esto se hace más flexible cada sección además de obtener un mejor aislamiento, puesto que aún un papel puro, tiene partículas conductoras.

■ Aluminio

Aquí la laminilla tiene un espesor de 0.00635 mm y es de aluminio de 99.4% de pureza. Debe estar libre de aceites, suciedad y otros agentes contaminantes y se conoce como “super dry foil” (súper seco).

La manufactura de las secciones o bobinas de papel y aluminio se llevan a cabo bajo condiciones atmosféricas tales como temperatura, humedad y pureza controladas.

Las secciones se enrollan en una máquina especial y se lleva a cabo control de calidad riguroso. Cada rollo se aplanan y se somete a una prueba dieléctrica del orden de 2000 volts CD y se mide su capacitancia en un dispositivo que simula las condiciones de las secciones dentro del bote. Cada sección es para un voltaje aplicado del orden de 1000 a 1200 volts, y para tensiones mayores se harán combinaciones de serie paralelo con las 20 secciones contenidas en cada bote.

■ Diaclor

Este es un líquido de magníficas propiedades dieléctricas y es un producto químico conocido como difenil clorado, obtenido a base de benceno clorado en grado múltiple, por medio de la sustitución de algunos átomos de hidrógeno por átomos de cloro, hasta que la molécula de benceno contenga un 42% de cloro, con lo que se conoce como dialector. Este producto es la materia básica de los askareles. Su característica más importante es la no inflamabilidad, con lo que no se propaga ningún fuego por falla del capacitor.

■ Aislamiento general

Para obtener máxima seguridad dieléctrica entre las placas vivas y el bote, se envuelve el conjunto de secciones en varias capas de papel kraft de 0.254 mm.

D) Clasificación de los capacitores en polarizados y no polarizados.

Algunos tipos de capacitores, debido al material empleado en su fabricación, requieren conectarse a la diferencia de potencial con la polaridad indicada en ellos, tales como electrolíticos y de tantalio; estos capacitores reciben el nombre de polarizados, a diferencia de los no polarizados, en los que no importa el sentido en que se aplique la diferencia de potencial en sus terminales, como el de aire o de polietileno.

Arreglos y cálculos con capacitores.

Como ya se mencionó con anterioridad la capacitancia o capacidad de un capacitor se mide por la cantidad de carga eléctrica que puede almacenar para aumentar la capacitancia pueden hacerse las siguientes modificaciones:

- 1) **Disminuir la distancia entre las placas metálicas**, de tal manera que al acercarse, la placa positiva provocará que se atraigan más cargas negativas de la batería sobre la placa negativa y por supuesto más cargas positivas sobre la placa positiva.

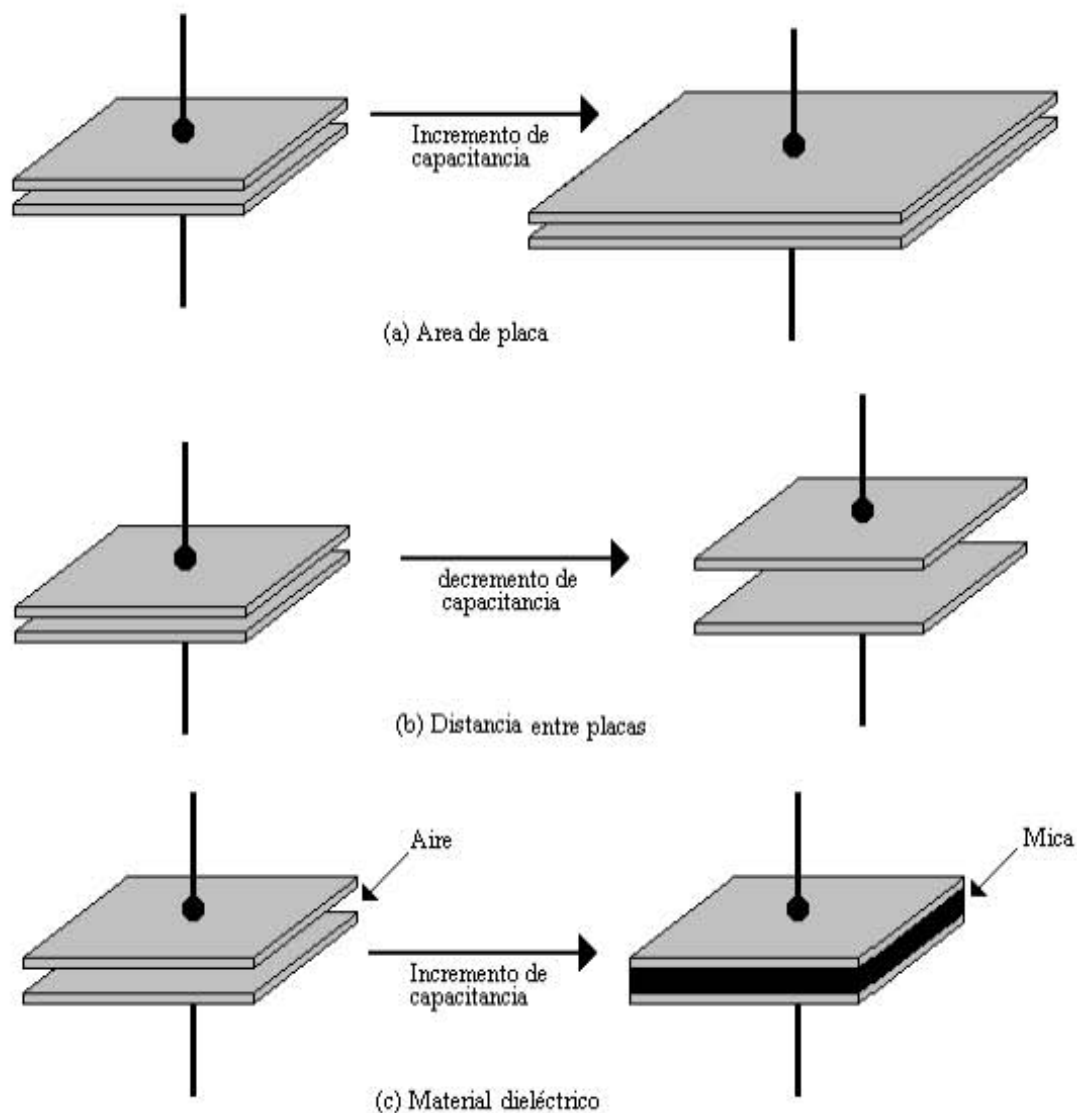


FIGURA 2.2

- 2) **Aumentar el área de las placas**, ya que mientras mayor superficie tengan, mayor será su capacidad de almacenamiento.
- 3) **Aumentar el voltaje de la batería**. La cantidad de carga Q , que puede ser almacenada por un capacitor a un voltaje dado es proporcional a la capacitancia C y al voltaje V donde:

$$C = \frac{Q}{V}$$

donde: C = capacitancia del capacitor, en faradios o farads (F).

Q = carga almacenada por el capacitor, en coulombs (C).

V = diferencia de potencial entre las placas del capacitor,
en volts (V).

La ecuación muestra la unidad SI de la capacitancia es el coulomb por volt (C/V). Esta unidad se denomina **farad (F)**, en honor del científico inglés Michael Faraday (1791-1867). Un farad es una cantidad enorme de capacitancia. Por lo general, en los circuitos eléctricos se utilizan cantidades menores, como microfarad ($1\mu\text{F}=10^{-6}$) o un picofarad ($1\text{pF} = 10^{-12}\text{F}$).

Cuando se desea calcular la capacitancia de un capacitor de placas paralelas se utiliza la siguiente expresión matemática:

$$C = \epsilon \frac{A}{d}$$

donde: C = capacitancia, en farads (F).

ϵ = constante que depende del medio aislante y
recibe el nombre de permitividad, en farad/metro
(F/m).

A = área de una de las placas paralelas, en metros
cuadrados (m^2)

d = distancia entre las placas, en metros (m).

La constante ϵ llamada permeabilidad eléctrica o simplemente permitividad del medio aislante, es igual al producto de la constante de permitividad en el vacío $\epsilon_0=8.85 \times 10^{-12} C^2 / Nm^2$ y ϵ_r ; o sea, la permitividad relativa o coeficiente dieléctrico del medio aislante. Por tanto:

$$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$$

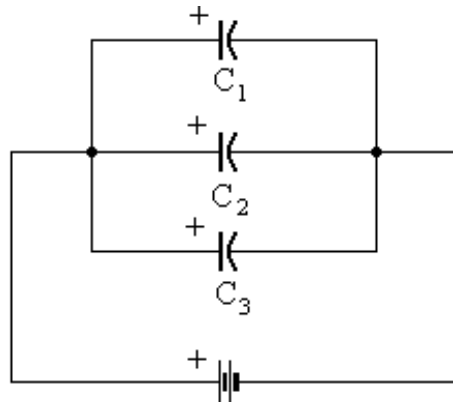
Cabe señalar que las unidades de la permeabilidad eléctrica o permitividad (ϵ) son farad / metro, que equivalen a C^2 / Nm^2 igual que las unidades de ϵ_0 .

PROPIEDADES DE ALGUNAS SUSTANCIAS DIELÉCTRICAS	
Dieléctrico	Permitividad relativa (ϵ_r)
aire	1.00059
bakelita	4.8
mica	3 a 6
neopreno	6.9
papel	3.5
polietileno	2.3
porcelana	6.5
vacío	1.0
vidrio	4.5

Al igual que las resistencias eléctricas, los capacitores también pueden conectarse en serie y paralelo, con la diferencia de que las dos ecuaciones empleadas para los capacitores son las inversas de las utilizadas para las resistencias en serie y en paralelo.

CAPACITORES EN PARALELO

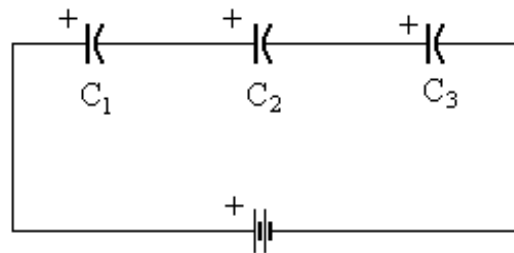
Una conexión de elementos eléctricos está en paralelo cuando las terminales de cada uno de los elementos están conectadas al mismo par de puntos.



$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$$

CAPACITORES EN SERIE

Una conexión de elementos eléctricos está en serie cuando dichos elementos forman una sola trayectoria entre un par de puntos, como se muestra a continuación.



$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

Relación entre carga y diferencia de potencial para un capacitor.

A continuación se muestra el comportamiento eléctrico del capacitor.

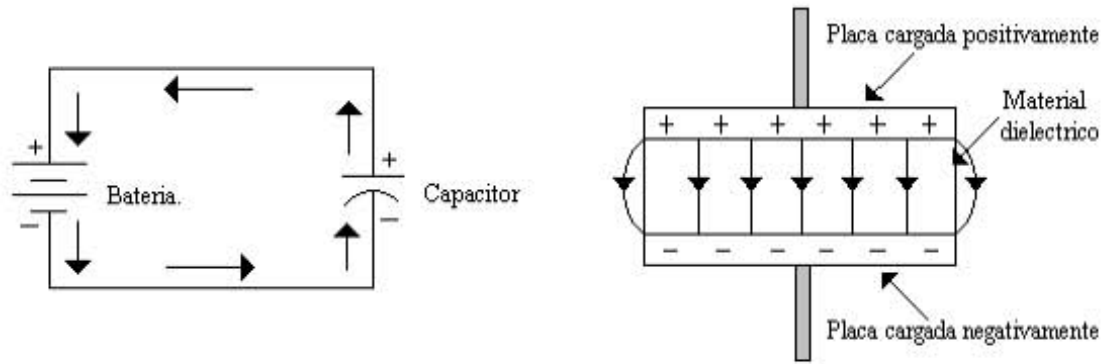


FIGURA 2.3

Definición de corriente eléctrica

En los conductores los electrones libres se encuentran moviéndose al azar, es decir, que si pasamos un plano a través del conductor, el número de electrones que cruzan de izquierda a derecha es igual al número de electrones que lo cruzan de derecha a izquierda.

Supongamos que tenemos como conductor a un alambre metálico y le aplicamos una diferencia de potencial de sus extremos, por lo tanto tendremos un campo eléctrico uniforme dentro del alambre, y todos los electrones que se movían al azar, se mueven ahora en la dirección contraria a la del campo. Si cruzamos el alambre conductor por un plano como se muestra en la figura 3.1 vemos que un número de electrones cruzan la sección transversal (área rayada) por unidad de tiempo y podemos decir que se ha establecido una corriente de electrones en el conductor, que le vamos a denominar **corriente eléctrica** i , supuesta constante, tenemos que:

$$i = \frac{q}{t}$$

como recordaremos, la unidad de corriente i es el amperre cuando la unidad de carga q es el coulomb y la unidad de tiempo t es el segundo.

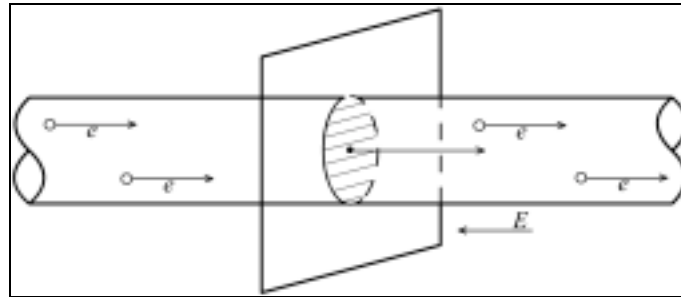


Figura 3.1

Ahora bien, viéndolo desde otro punto tenemos que si suponemos que se tiene un condensador (capacitor) cargado y que se unen sus placas por medio de un alambre metálico que sea conductor (figura 3.2). De lo que ya aprendimos es posible afirmar que este sistema no puede estar en equilibrio. En efecto, por un lado, debido a que las placas del condensador están cargadas hay una diferencia de potencial entre ellas; por otro lado, sabemos que en equilibrio todas las partes de un conductor (nos referimos a las dos placas y al alambre que las une) tienen que estar al mismo potencial ya que su superficie debe ser equipotencial. Como estas dos condiciones no se pueden cumplir al mismo tiempo concluimos que el sistema mostrado en la figura 3.2 no puede estar en equilibrio.

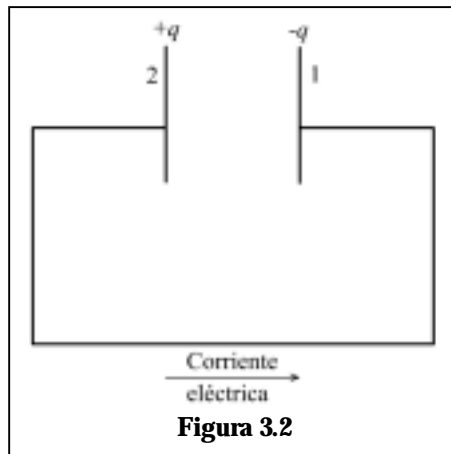


Figura 3.2

Por tanto se establecerá un movimiento de cargas, a través del alambre, de una placa del condensador a la otra. Se puede decir que las cargas negativas que están en la placa 1 son atraídas y se mueven hacia la placa 2 que está positivamente cargada o bien, se puede decir que las cargas positivas que están en la placa 2 son atraídas y se mueven hacia la placa 1 que está negativamente cargada. Cualquiera de estas dos descripciones es igualmente válida. En cualquiera de los dos casos nos damos cuenta de que hay un flujo de carga eléctrica de un lugar a otro. Se dice que se ha establecido una corriente eléctrica.

Uno puede escoger cualquiera de las dos posibilidades recién mencionadas. Tomaremos la convención es decir que el sentido de la corriente eléctrica es el mismo que el sentido del flujo de las cargas positivas. Denotaremos el sentido de la corriente por medio de una flecha.

En resumen, existe una corriente eléctrica entre dos puntos cualesquiera cuando hay una transferencia de carga eléctrica entre ellos. Supongamos que un intervalo de tiempo dt , infinitesimal, una carga dq atraviesa un área determinada. Definimos la corriente eléctrica i como la carga eléctrica que cruza la superficie por unidad de tiempo, es decir,

$$i = \frac{dq}{dt}$$

las dimensiones de la corriente i son

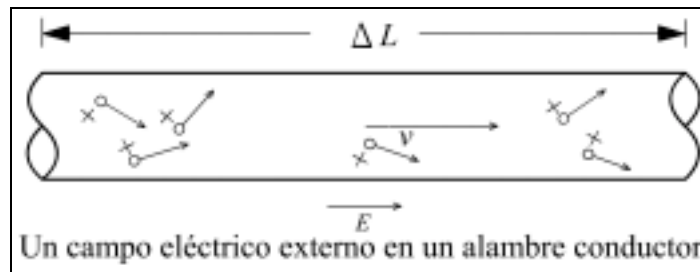
$$[i] = \frac{[q]}{[t]} = \frac{C}{T} = \frac{\text{unidad de carga}}{\text{unidad de tiempo}} = \frac{\text{coulomb}}{\text{segundo}}$$

La unidad de la corriente eléctrica en el sistema internacional(SI) es el ampere, abreviado A, que de la definición anterior es:

$$\left\{ \text{unidad de corriente} \right\} = \frac{\text{coulomb}}{\text{segundo}} = \frac{C}{s} = \text{ampere} = A$$

De la forma en que hemos definido a la corriente eléctrica vemos que se trata de una cantidad escalar.

Vamos a convenir en que la dirección de la corriente va a ser la dirección de la carga eléctrica positiva(o portadores de carga positivos). Cuando un conductor está sujeto a un campo eléctrico externo, los portadores de carga se mueven lentamente en la dirección del campo con una velocidad que se conoce como de desplazamiento o de arrastre.

**Figura 3.3**

Para encontrar una relación entre la corriente de un conductor y su carga, consideramos un conductor cilíndrico como el de la Figura 3.3 suponga que la velocidad de desplazamiento es v y por consiguiente en un Δt de tiempo, los portadores de carga se desplazan un ΔL , entonces, el número de portadores de carga en este caso electrones conductores, es $nA\Delta L$ donde n es el número de electrones por unidad de volumen y A la sección transversal, por lo tanto, $A \Delta L$ es el volumen. La cantidad de carga en $A \Delta L$ es:

$$\Delta q = (nA\Delta L)e$$

donde e es la carga de cada electrón conductor. Para un Δt tenemos que la corriente:

$$i = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{nA\Delta L}{\Delta t} e$$

La velocidad de desplazamiento de los electrones dentro del conductor es $\Delta L/\Delta t$, por consiguiente.

$$i = nAve$$

Ahora introducimos un nuevo término que lo vamos a definir como densidad de corriente y que se simboliza por J , que es la corriente por unidad de área.

$$J = \frac{i}{A} = nve$$

La densidad de corriente es un vector y está orientado en la dirección del movimiento de los portadores de carga positivos o sea la dirección de la velocidad de desplazamiento.

Como es común que la densidad de corriente varíe en función del radio y la corriente depende de la sección transversal (figura 3.1) entonces para estos casos la corriente está dada por:

$$i = \int \tilde{\mathbf{j}} \cdot \tilde{\mathbf{d}}s$$

Si la carga se mueve alrededor de un circuito en la misma dirección todo el tiempo entonces se dice que es **directa (CD)**. Las baterías, por ejemplo, crean este tipo de corriente. En contraste, se dice que la corriente es **alterna (CA)** cuando las cargas se mueven primero en un sentido y luego al contrario, cambiando la dirección de momento a momento. Muchas fuentes de energía crean corriente alterna, por ejemplo los generadores en las compañías de electricidad, los micrófonos y las cabezas de reproducción de cintas.

Definición de resistencia

Resistencia, propiedad de un objeto o sustancia que hace que se resista u oponga al paso de una corriente eléctrica. La resistencia de un circuito eléctrico determina —según la llamada ley de Ohm— cuánta corriente fluye en el circuito cuando se le aplica un voltaje determinado. La unidad de resistencia es el ohm, que es la resistencia de un conductor si es recorrido por una corriente de un ampere cuando se le aplica una tensión de 1 volt. La abreviatura habitual para la resistencia eléctrica es **R**, y el símbolo del ohm es la letra griega omega Ω . En algunos cálculos eléctricos se emplea el inverso de la resistencia, $1/R$, que se denomina conductancia y se representa por **G**. La unidad de conductancia es siemens, cuyo símbolo es **S**. Aún puede encontrarse en ciertas obras la denominación antigua de esta unidad, **mho**.

La resistencia de un conductor viene determinada por una propiedad de la sustancia que lo compone, conocida como conductividad, por la longitud por la superficie transversal del objeto, así como por la temperatura. A una temperatura dada, la resistencia es proporcional a la longitud del conductor e inversamente proporcional a su conductividad y a su superficie transversal. Generalmente, la resistencia de un material aumenta cuando crece la temperatura.

El término resistencia también se emplea cuando se obstaculiza el flujo de un fluido o el flujo de calor. El rozamiento crea resistencia al flujo de fluido en una tubería, y el aislamiento proporciona una resistencia térmica que reduce el flujo de calor desde una temperatura más alta a una más baja.

Normalmente en diseños de circuitos eléctricos, la resistencia es representada por el siguiente símbolo:



Figura 3.4

Ahora bien, la unidad de medida de la resistencia es el Ohm, en honor al físico alemán Georg Simon Ohm(1789-1854) y está definida según veremos, como la resistencia de un conductor en el cual la corriente es de un 1A cuando la diferencia de potencial entre sus bornes es de 1V, relación que nos lleva a tener lo que se conoce como un Ohm Absoluto. Para fines prácticos, el ohm se ha definido, por convenio internacional, como patrón. En la fecha en que fue adoptado, 1908 se creyó que éste ohm internacional era idéntico al ohm absoluto. Mediciones posteriores han demostrado que difieren ligeramente, siendo el mejor valor actual:

$$1 \text{ ohm internacional} = 1.00048 \text{ ohms absolutos}$$

El ohm internacional se define como la resistencia ofrecida a una corriente constante por una columna, a la temperatura de fusión del hielo, de 14.4521 g de masa, de sección constante y cuya longitud es de 106.3cm.

El patrón internacional consiste en una columna de mercurio contenida en un tubo de vidrio, y no es adecuado, evidentemente, para el trabajo usual de laboratorio.

Las llamadas resistencias patrones pueden adquirirse en el comercio con valores que alcanzan desde 0.001Ω hasta $10\ 000\Omega$; sus errores no pasan de algunas centésimas por ciento. Se construyen de hilo, generalmente manganina, a causa de su pequeño coeficiente de variación con la temperatura, y están montadas en una caja metálica a través de la cual puede circular aceite para mantener constante la temperatura. Están provistas de gruesos bornes de corriente para la entrada y salida de corriente en la resistencia, además de un par de bornes de potencial entre los cuales la resistencia tiene un valor especificado, y que se usa para medir la diferencia de potencial entre dichos bornes.

Para calcular la resistencia de un conductor homogéneo de sección constante se tiene que:

$$R = \frac{\rho L}{A}$$

La resistencia es directamente proporcional a la longitud del conductor e inversamente proporcional a su sección transversal. Si el conductor tiene una longitud igual a la unidad y una sección también unitaria, la razón L/A es igual a uno, y la resistencia R y la resistividad ρ son numéricamente iguales. Por lo tanto, la resistividad de una sustancia es igual numéricamente a la resistencia de una muestra de longitud y sección iguales a la unidad.

Entonces podemos definir a la resistividad ρ como la razón de la intensidad del campo eléctrico a la intensidad de la corriente por unidad de sección transversal:

$$\rho = \frac{E}{i/A}$$

Por otro lado, una manera de medir resistencia es usar un circuito denominado Puente de Wheatstone, en honor de Charles Wheatstone (1802-1875), el físico inglés quien estableció su utilidad. El circuito ilustra un método de medición conocido como método nulo. Además de la resistencia desconocida R , un puente de Wheatstone incluye otras tres resistencias R_1 , R_2 y R_3 , como muestra la figura 3.5. Un galvanómetro registra cualquier corriente entre los puntos A y B. Para medir la resistencia

desconocida, la resistencia variable R , se ajusta hasta que el galvanómetro registra corriente cero o nula, en cuyo caso se dice que el puente de Wheatstone está “balanceado” (o “equilibrado”).

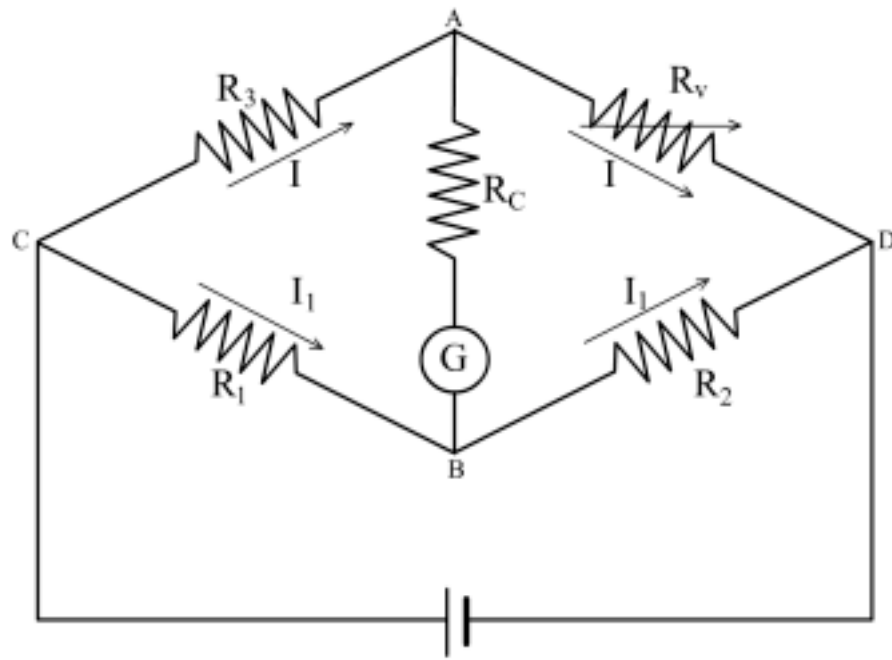


Figura 3.5 Puente de Wheatstone

Ley de Ohm

Sería imposible referirnos a resistencia, sin llegar de alguna manera a la ley de Ohm. La cual enuncia que la razón V/I es una constante, en donde V es el voltaje en una pieza de material (como un alambre) e I es la corriente resultante a través del material:

$$\frac{V}{I} = R = \text{constante, o bien, } V = IR$$

R es la resistencia de un trozo de material.



La corriente fluye por un circuito eléctrico siguiendo varias leyes definidas. La ley básica del flujo de la corriente es la ley de Ohm, así llamada en honor a su descubridor, el físico alemán **Georg Simon**

Ohm. Según la ley de Ohm, la cantidad de corriente que fluye por un circuito formado por resistencias puras es directamente proporcional a la fuerza electromotriz aplicada al circuito, e inversamente proporcional a la resistencia total del circuito. Esta ley suele expresarse, como se ha visto anteriormente, mediante la fórmula $I = V/R$, siendo I la intensidad de corriente en amperes, V la fuerza electromotriz en volts y R la resistencia en ohms. La ley de Ohm se aplica a todos los circuitos eléctricos, tanto a los de corriente continua (CC) como a los de corriente alterna (CA), aunque para el análisis de circuitos complejos y circuitos de CA deben emplearse principios adicionales que incluyen inductancias y capacitancias.

La unidad en el sistema internacional es un volt/ampere, que se llama Ohm (como ya habíamos mencionado). Obsérvese que la Ley de Ohm no es una ley fundamental de la naturaleza como las leyes de Newton. En vez de ello, es solamente un planteamiento de la forma en que se comportan ciertos materiales en circuitos eléctricos.

En la medida en que un cable o un dispositivo eléctrico ofrece resistencia al flujo de las cargas se denomina resistor. La resistencia puede asumir un amplio intervalo de valores. Los alambres de cobre en un aparato de televisión, por ejemplo, tienen una resistencia insignificante. Por otra parte, los resistores comerciales pueden tener resistencias hasta de muchos kiloOhms ($k\Omega$) o megaOhms ($M\Omega$). Estos resistores desempeñan una función importante en circuitos eléctricos, en donde se utilizan para limitar la cantidad de corriente.

Factores que afectan la resistencia

De la definición de resistividad resulta evidente que las sustancias que tienen resistividades grandes son malos conductores, o buenos aisladores. Inversamente, las sustancias de pequeña resistividad son buenos conductores. No existe ningún aislador perfecto ($\rho=\infty$), ni tampoco un conductor perfecto ($\rho=0$). Hay sin embargo, grandes diferencias en las resistividades de las distintas sustancias, de modo que, en general, pueden agruparse en dos clases, conductores y aisladores.

Ahora bien, entendemos que la resistividad es una propiedad inherente en el mismo sentido que la densidad de un material es una propiedad inherente. Por otra parte, la resistencia depende tanto de la resistividad como de la forma del material. Así, dos alambres pueden ser de cobre, que tiene una resistividad de $1.72 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$, pero un alambre corto con una gran área de sección transversal ofrece menor resistencia a la corriente que un alambre delgado y largo. Los alambres que conducen grandes corrientes, como los cables conductores principales, son gruesos en vez de delgados, de modo que la resistencia de los cables se mantenga lo más baja posible. Por la misma razón, las instrucciones para las segadoras de pasto eléctricas recomiendan usar una extensión más gruesa cuando la longitud excede aproximadamente 100 pies. El mayor diámetro contrarresta el efecto de la mayor longitud y mantiene la resistencia en un valor pequeño.

La resistividad de un material depende de la temperatura. En los metales, la resistividad aumenta al subir la temperatura, mientras que en los semiconductores resulta lo contrario. Ciertos materiales tienen la propiedad de que su resistividad desciende a cero a temperaturas muy bajas. Estos materiales se llaman superconductores porque, con resistividad cero, no ofrecen resistencia a la corriente eléctrica.

Para muchos materiales e intervalos de temperatura limitados es posible expresar la dependencia de la resistividad con respecto a la temperatura como:

$$\rho = \rho_0 [1 + \alpha(T - T_0)]$$

En ésta expresión ρ y ρ_0 son resistividades a las temperaturas T y T_0 respectivamente. El término α tiene la unidad del recíproco de la temperatura y es el coeficiente de temperatura de la resistividad. En la tabla siguiente se dan valores de α para varios materiales. Cuando la resistividad crece con el aumento de temperatura, α es positivo, como es el caso de los metales. Cuando la resistividad disminuye con el aumento de temperatura, α es negativo, como sucede para el carbono, el germanio y el silicio. Ya que la resistencia está dada por $R = \rho L/A$, se puede multiplicar por L/A ambos lados de la ecuación anterior para demostrar que la resistencia depende de la temperatura según la expresión

$$R = R_0 [1 + \alpha(T - T_0)]$$

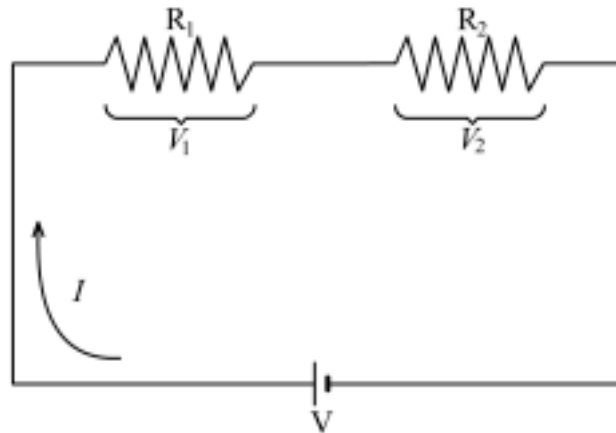
Esta sección concluye con una tabla que muestra los valores de resistividad de algunos materiales.

Material	Resistividad $\rho(\Omega \cdot m)$
Conductores	
Aluminio	2.8×10^{-8}
Cobre	1.7×10^{-8}
Oro	2.24×10^{-8}
Hierro	10×10^{-8}
Mercurio	96.2×10^{-8}
Nicromio(aleación)	100×10^{-8}
Plata	1.61×10^{-8}
Tungsteno	5.6×10^{-8}

Semiconductores	
Carbono	3.5×10^{-5}
Germanio	0.5^b
Silicio	$20-2300^b$
Mica	$10^{11} - 10^{15}$
Hule(duro)	$10^{13} - 10^{16}$
Teflón	10^{16}
Madera(arce)	3×10^{10}
a= Los valores corresponden a temperaturas próximas a 20°C b= En función de la pureza.	

Arreglos y cálculos de circuitos resistivos

Al igual que en los capacitores, los arreglos para formar circuitos con elementos resistivos, se pueden lograr mediante **conexiones en serie**, **paralelo** o **mixto**. Un **circuito en serie** es aquél en que los dispositivos o elementos del circuito están dispuestos de tal manera que la totalidad de la corriente pasa a través de cada elemento sin división ni derivación en circuitos paralelos.



Cuando dos resistores se conectan en serie, por ambos pasa la misma corriente.

Figura 3.6 Circuito Serie Resistivo

La figura 3.6 muestra un circuito en el que dos dispositivos diferentes, representados por las resistencias R_1 y R_2 están conectados en serie a una batería. Obsérvese que si se interrumpe la corriente en una resistencia, entonces también se interrumpe la corriente en la otra. Esta interrupción podría ocurrir, por ejemplo, si dos focos se conectan en serie y el filamento de uno de ellos se rompiese. Debido a la conexión en serie, la tensión V suministrada por la batería se divide entre las dos resistencias. Como se puede observar en la figura 3.6, se indica que la porción de la tensión a través de R_1 es V_1 , mientras que la porción a través de R_2 es V_2 , por lo que $V=V_1+V_2$. Al aplicar la definición de resistencia a cada resistor por separado se observa que

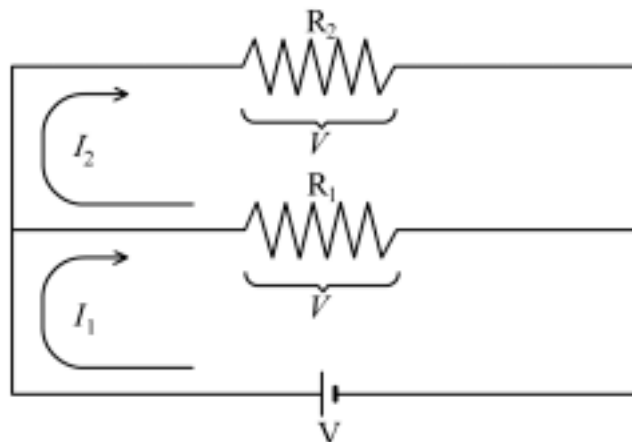
$$V = IR_1 + IR_2 = I(R_1 + R_2) = IR_{Total}$$

donde R_{Total} se denomina resistencia equivalente del circuito serie. Por tanto, dos resistencias conectadas en serie son equivalentes a un solo resistor cuya resistencia es $R_{Total}=R_1+R_2$, en el sentido de que a través de R_2 hay la misma corriente que a través de la combinación de R_1 y R_2 .

Cuando en un circuito hay dos o más resistencias en serie, la resistencia total se calcula sumando los valores de dichas resistencias.

$$R_{Total} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

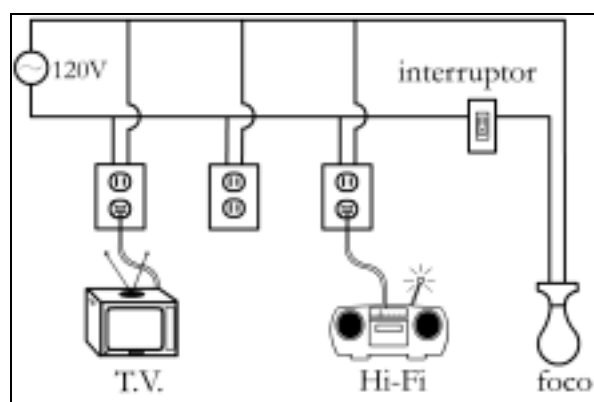
En un circuito en paralelo los dispositivos eléctricos, por ejemplo las lámparas incandescentes o las celdas de una batería, **están dispuestos de manera que todos los polos, electrodos y terminales positivos (+) se unen en un único conductor, y todos los negativos (-) en otro, de forma que cada unidad se encuentra, en realidad, en una derivación paralela.** El valor de dos resistencias iguales en paralelo es igual a la mitad del valor de las resistencias componentes y, en cada caso, el valor de las resistencias en paralelo es menor que el valor de la más pequeña de cada una de las resistencias implicadas. En los circuitos de CA, o circuitos de corrientes variables, deben considerarse otros componentes del circuito además de la resistencia.



Cuando se conectan resistores en paralelo, los voltajes en cada elemento son iguales

Figura 3.7 Circuito Paralelo Resistivo

Ahora bien, dicho de otra manera La conexión en paralelo es otro método de conexión de varios dispositivos entre sí. **Conexión en paralelo significa que los dispositivos se conectan de tal modo que a cada dispositivo se aplica la misma tensión.**

**Figura 3.8**

La figura 3.7 muestra dos resistencias conectadas en paralelo entre las mismas terminales de una batería. La instalación en paralelo es bastante común. De hecho, cuando un aparato eléctrico se conecta a un enchufe de pared, el primero se conecta en paralelo con otros aparatos que se encuentran en operación, como se observa en la figura 3.8, donde la tensión de 120V se aplica a la televisión, el aparato de alta fidelidad y el foco. La presencia del enchufe sin utilizar o de otros aparatos que estén apagados no afecta la operación de los dispositivos que estén encendidos. Además, si la corriente de un dispositivo se interrumpe (quizá debido a un interruptor abierto o a un cable roto), la corriente en los demás dispositivos no se interrumpe. En contraste, si los aparatos eléctricos del hogar se conectan en serie, en caso de que la corriente se suspendiera en algún punto del circuito no habría corriente en ningún aparato.

Cuando dos resistencias R_1 y R_2 se conectan como se muestra en la figura 3.7 cada uno recibe corriente de la batería como si la otra no existiera. Por consiguiente, R_1 y R_2 juntas extraen más corriente de la batería que una sola resistencia. Según la definición de resistencia, una corriente mayor surge debido a una resistencia menor. Así, las dos resistencias en paralelo se comportan como una sola resistencia equivalente que es menor que R_1 o R_2 .

Así como en un circuito serie, es posible sustituir una combinación en paralelo de resistencias por una resistencia equivalente que dé por resultado las mismas corriente y potencia totales para una tensión dada que la combinación original. La resistencia equivalente de dos resistencias conectadas en paralelo puede determinarse de la siguiente manera. Primero, obsérvese en la figura 3.7 que la corriente total I de la batería es la suma de I_1 e I_2 , donde I_1 es la corriente en la resistencia R_1 e I_2 es la corriente en la resistencia R_2 : $I=I_1+I_2$. Puesto que a través de cada resistencia se aplica la misma tensión V , entonces la definición de resistencia indica que $I_1= V/R_1 + V/R_2$. Por consiguiente,

$$I = I_1 + I_2 = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) V = V \left(\frac{1}{R_p} \right)$$

donde R_p es la resistencia equivalente. Así, cuando dos resistores se conectan en paralelo, son equivalentes a un solo resistor cuya resistencia R_p está dada por $1/R_p = 1/R_1 + 1/R_2$.

Si se tienen más de dos resistencias, el valor total de la resistencia del circuito se obtiene mediante la fórmula

$$R_p = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}};$$

donde n es el número de resistencias en el circuito.

Vista de otra manera, para cualquier número de resistores en paralelo se tiene

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}.$$

Cuando un número de resistores se conectan en paralelo, la resistencia equivalente es menor que cualquiera de las resistencias individuales. De hecho, es la resistencia más pequeña la que tiene el mayor impacto en la determinación de la resistencia equivalente. Si una resistencia tiende a cero, entonces según la ecuación anterior, la resistencia equivalente también tiende a cero. En tal caso, se dice que la resistencia cero invalida a las otras resistencias, al proporcionar una trayectoria de resistencia cero para que la corriente la siga como atajo alrededor de las demás resistencias.

A menudo un circuito eléctrico está conectado parcialmente en serie y en paralelo, también conocido como conexión mixta. La clave para determinar la corriente, la tensión y la potencia en este caso es tratar por partes el circuito, en donde las resistencias en cada parte estén ya sea en serie o en paralelo entre sí. El ejemplo siguiente muestra como llevar el análisis.

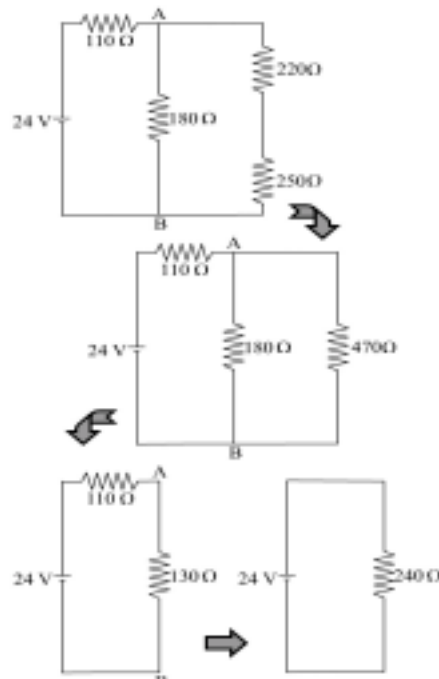


Figura 3.9

La figura 3.9 muestra un circuito compuesto por una batería de 24 V y cuatro resistencias cuyos valores en Ohms son 110, 180, 220 y 250. Encuentre a) la corriente total suministrada por la batería y b) el voltaje entre los puntos A y B del circuito.

Solución

a) La corriente total suministrada por la batería puede obtenerse a partir de $I=V/R$, donde R es la resistencia equivalente de las cuatro resistencias. La resistencia equivalente puede calcularse al dividir las cuatro partes del circuito. La resistencia de 220Ω y la de 250Ω están en serie, por lo que son equivalentes a una sola resistencia cuyo valor

es de $220\Omega+250\Omega=470\Omega$. (Véase la figura 3.9). La resistencia de 470Ω está en paralelo con la de 180Ω. Su resistencia equivalente está dada por:

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{470\Omega} + \frac{1}{180\Omega} = 0.0077\Omega^{-1}$$

$$R_p = \frac{1}{0.0077\Omega^{-1}} = 130\Omega$$

Ahora, el circuito es equivalente a uno que contiene una resistencia de 110Ω en serie con otra de 130Ω. Esta combinación actúa como una sola resistencia cuyo valor es $R=110\Omega+130\Omega=240\Omega$. La corriente total entregada por la batería es, entonces,

$$I = \frac{V}{R} = \frac{24V}{240\Omega} = 0.10A$$

b) La ley de Ohm indica que la tensión a través de la resistencia 130Ω entre los puntos A y B es:

$$V = RI = (0.10A)(130\Omega) = 13V$$

Imanes y experimento de Oersted

Se cuenta que hace unos dos mil años, unos pastores de magnesia, en la actual Turquía, cuando conducían a sus corderos a cierto pasto, sintieron una fuerte atracción hacia el suelo debido a la punta metálica de su bastón y a los clavos de calzado por lo que se les dificultó seguir caminando. Interesados por encontrar la causa, removieron la tierra y descubrieron una roca negra que presentaba la propiedad de atraer al hierro. Esta roca recibe actualmente el nombre de **piedra imán o magnetita**. Químicamente es un mineral de óxido de fierro, cuya fórmula es Fe_3O_4 .

Actualmente, se sabe que la atracción ejercida por la roca negra sobre la punta metálica del bastón de los pastores se debió a su propiedad que tienen los cuerpos llamados imanes de atraer al *fierro, al níquel y al cobalto*.

A través de la historia, los imanes permanentes se han utilizado ampliamente en brújulas de navegación. La aguja de la brújula es un imán permanente sostenido de modo que puede rotar libremente en un plano. Cuando la brújula se coloca sobre una superficie horizontal, la aguja gira hasta que uno de sus extremos apunta aproximadamente hacia el norte. El extremo de la aguja que apunta hacia el norte se denomina **polo norte**; el extremo opuesto se denomina **polo sur**.

La importancia de los imanes y del magnetismo es muy grande ya que se utilizan en muchos aparatos tales como: timbres, alarmas, teléfonos, conmutadores, motores eléctricos, brújulas y separadores de cuerpos metálicos de fierro.

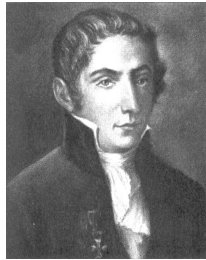
Imanes permanentes y temporales.

La mayoría de los imanes que se utilizan actualmente son artificiales; ello se debe a que se pueden fabricar con una mayor intensidad magnética que los naturales, además de tener mayor solidez y facilidad para ser moldeados según la forma que se necesite. No todos los metales pueden ser imantados y otros, aunque puedan adquirir esta propiedad se desimantan fácilmente; ya sea por efectos externos o en forma espontánea. Muchos imanes se fabrican con *níquel y aluminio*, o de *hierro con cromo, cobalto, tungsteno o molibdeno*.

La imantación de un trozo de acero como puede ser una aguja, tijeras o un desarmador, se hace fácilmente al frotar a cualesquiera de ellos con un imán, desde el centro del cuerpo hasta la punta unas doce veces. Después de esta operación, cualesquiera de ellos será un imán y podrá atraer limaduras de fierro, clavos tornillos, alfileres o clips. En la industria, una barra de metal se imanta al someterla a la acción de un campo magnético, producido por un solenoide en el que circula una corriente eléctrica. Si la barra es de hierro dulce, se imanta, pero la imantación cesa al momento de interrumpir la corriente, por lo que el imán recibe el nombre de temporal. Cuando la barra es de acero templado, adquiere una imantación que persiste aún después de que la corriente eléctrica se interrumpe por el solenoide, con lo cual se obtiene un imán permanente.

EXPERIMENTO DE OERSTED

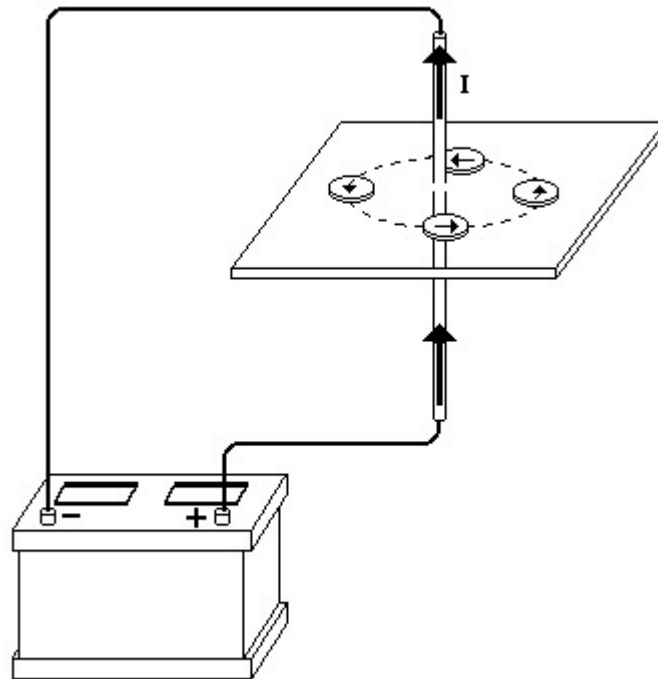
Hasta el año 1819, el estudio de la electricidad y el magnetismo estaba limitado a la electrostática y las fuerzas entre imanes, respectivamente. En este año el físico danés Hans Christian Oersted (1777-1851), observó que una corriente eléctrica que fluye por un conductor produce un efecto tal que una brújula colocada en su cercanía modificaba su posición natural: es decir, el extremo norte de la brújula deja de apuntar hacia el norte geográfico, y el efecto cesa al dejar de circular la corriente mencionada.



Alessandro Volta

Cabe aclarar que en esta época ya se conocía el comportamiento cualitativo entre los polos magnéticos (extremos de un imán), esto es: **polos del mismo tipo se rechazan y polos de tipos diferentes se atraen**. Por otra parte, el fenómeno observado por Oersted no pudo realizarse con anterioridad en virtud de que se desconocía la forma de producir corrientes eléctricas intensas y con suficiente duración como para observar sus efectos. Por ello las aportaciones de Aloisio Galvani y de **Alessandro Volta** fueron determinantes en el estudio de la electricidad. Con ayuda de las pilas voltaicas, Oersted pudo realizar su experimento, del cual a continuación se menciona la parte esencial.

El efecto de orientación de una brújula debida al campo magnético terrestre era un fenómeno bien conocido por los chinos desde el año 1000 de nuestra era, por esta razón la deflexión en una brújula se atribuía al mencionado campo magnético. Oersted observó una situación semejante a la mostrada:



(a)

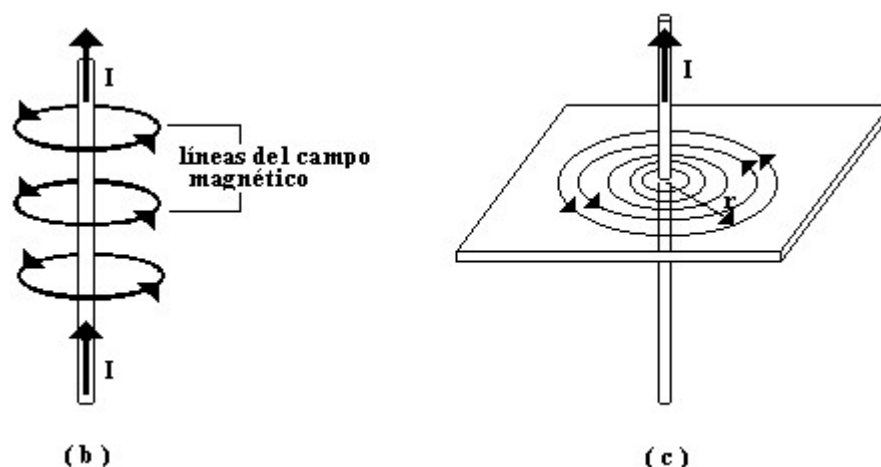


FIGURA 4.1

- a) Un largo alambre recto conductor de corriente produce líneas de campo magnético circulares alrededor del alambre. Las agujas de la brújula indican una de esas líneas circulares.
- b) Aquí si sujetáramos la varilla con la mano derecha el pulgar indicara la dirección de la corriente I , los dedos curvados apuntan la dirección del campo magnético.
- c) El campo magnético se vuelve más fuerte a medida que disminuye la distancia radial r , de modo que las líneas de campo están más próximas entre sí cerca del alambre.

En el dibujo se ilustra la esencia del descubrimiento de Oersted con un alambre recto muy largo. Cuando por el alambre pasa una corriente, se observa que las agujas de las brújulas apuntan en un patrón circular alrededor del alambre. El patrón indica que las líneas de campo magnético producidas por la corriente son circunferencias centradas en el alambre. Si se invierte la dirección de la corriente, entonces también las agujas invierten sus direcciones, indicando que se ha invertido la dirección del campo magnético. La dirección del campo magnético puede obtenerse utilizando la regla de la mano derecha.

Regla de la mano derecha. Coloque los dedos de la mano derecha en forma de semicírculo. Apunte el pulgar en la dirección de la corriente **I**, y las puntas de los dedos apuntarán en la dirección del campo magnético.

Con este resultado se relacionaron dos fenómenos cuyos estudios se habían mantenido desligados: el eléctrico y el magnético. En realidad dichos fenómenos son formas particulares de uno solo: el electromagnético.

Campo magnético



Hace ya más de un siglo que el inglés **Michael Faraday** estudiaba los efectos que producían los imanes. Observó que un imán permanente ejerce una fuerza sobre un trozo de hierro o sobre cualquier imán que se encuentre cerca de él. Explicó que, esta acción a distancia se debe a la presencia de un campo de fuerzas cuyos efectos se hacen sentir a través de un espacio vacío. Faraday consideró útil imaginar que de un imán salían hilos o líneas que se esparcían y las llamó líneas de fuerza magnéticas y dado que en los extremos del imán su intensidad es mayor, consideró que en los polos existirían más líneas que en las otras partes.

Las líneas de fuerza producidas por un imán, ya sea de barra o de herradura, se esparcen desde el polo norte y se curvan para entrar al sur. A la zona que rodea a un imán y en el cual su influencia puede detectarse recibe el nombre de campo magnético. Faraday señaló que cuando dos imanes se encuentran cerca uno del otro, sus campos magnéticos se interfieren recíprocamente. Cuando un polo norte se encuentra cerca de uno sur, las líneas de fuerza se dirigen del norte hacia el sur; cuando se acercan dos polos iguales, las líneas de cada uno se alejan de las del otro.

Flujo Magnético

El concepto propuesto por Faraday de las líneas de fuerza es imaginario, pero resulta muy útil para dibujar los campos magnéticos y cuantificar sus efectos. Una sola línea de fuerza equivale a la unidad del flujo magnético, por lo que en el sistema internacional se emplea una unidad mucho mayor llamada weber y cuya equivalencia es:

$$1 \text{ weber} = 1 \times 10^8 \text{ maxwells}$$

$$1 \text{ maxwel} = 1 \times 10^{-8} \text{ webers}$$

Al flujo magnético ϕ que atraviesa perpendicularmente una unidad de área A recibe el nombre de densidad de flujo magnético o inducción magnética B . Por definición: La densidad de flujo magnético en una región de un campo magnético equivale al número de líneas de fuerza (flujo magnético) que atraviesan perpendicularmente a la unidad de área. Esto es:

$$B = \frac{\phi}{A} \therefore \phi = BA$$

donde: B = densidad del flujo magnético, se mide en webers/metro cuadrado (Wb/m^2).

ϕ = flujo magnético, su unidad es el weber (Wb).

A = área sobre la que actúa el flujo magnético, se expresa en m^2 .

- La densidad del flujo magnético también recibe el nombre de inducción magnética.

La unidad de densidad del flujo magnético en el SI, como se observa es el Wb/m^2 que recibe el nombre de tesla (T), en honor del físico yugoslavo Nicolás Tesla (1856-1943). En el sistema C.G.S. la unidad usada es el maxwell/ cm^2 que recibe el nombre de gauss (G) y cuya equivalencia con tesla es la siguiente:

$$1 \text{ Wb/m}^2 = 1\text{T} = 1 \times 10^4 \text{ maxwell/cm}^2 = 1 \times 10^4 \text{ G}$$

cuando el flujo magnético no penetra perpendicularmente a una área sino que lo hace con un cierto ángulo, la expresión para calcular la densidad del flujo magnético será:

$$B = \frac{\phi}{A \text{ sen } \theta} \therefore \phi = BA \text{ sen } \theta$$

donde: θ = ángulo formado por el flujo magnético y la normal a la superficie.

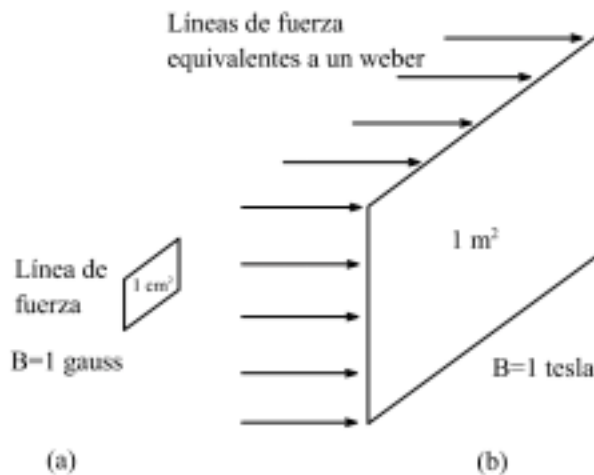


FIGURA 4.2

Ley de Ampere

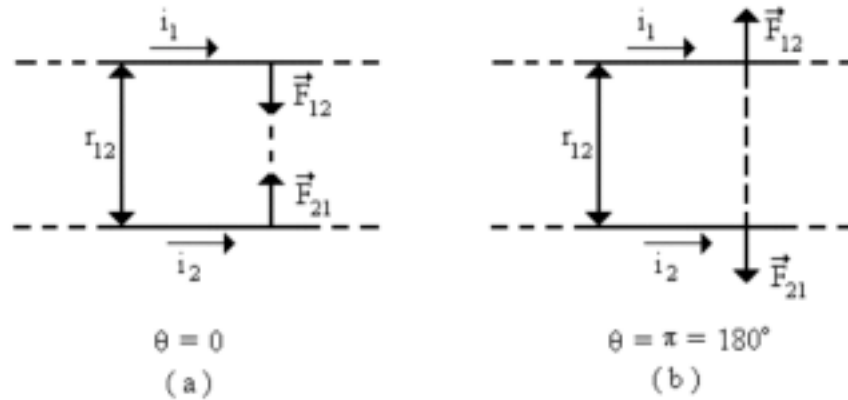


A raíz de la publicación de los resultados obtenidos por Oersted, el físico francés **André Marie Ampère** (1775-1836) realizó una serie de experimentos en los cuales se muestra que existen fuerzas entre conductores por los que circulan corrientes eléctricas, siendo dichas fuerzas función de las magnitudes de las corrientes (i_1 e i_2), del ángulo formado por los conductores (θ) y de la distancia existente

entre éstos (r_{12}), es decir

$$F_{\text{cons}} = f(i_1, i_2, \theta, r_{12})$$

Los resultados obtenidos por Ampere se ilustran a continuación:



Resultados obtenidos por Ampere:

- a) Cuando los conductores forman un ángulo $\theta = 0$, se atraen y
- b) Cuando los conductores forman un ángulo $\theta = \pi$, se repelen.

Ampere divulgó sus experimentos y de esta publicación se extraen sus conclusiones.

Las atracciones y repulsiones observadas difieren de las fuerzas que se presentan entre los cuerpos eléctricos en reposo, ya que:

- a) Cesan cuando cualquiera de las corrientes o ambas se interrumpen.**
- b) En el caso electrostático, cargas del mismo signo se repelen y se atraen si son de diferentes signos; en cambio, si las corrientes van en la misma dirección se atraen y si van en dirección contraria se repelen.**

Otra observación que cabe señalar es: El campo que ejerce una fuerza sobre los electrones libres del cable y ellos responden moviéndose. El flujo de la carga resultante se denomina **corriente eléctrica**. La corriente es la cantidad de carga que fluye por unidad de tiempo, con mucho en el mismo sentido en que la corriente de un río es la

cantidad de agua que fluye por unidad de tiempo. Si el flujo es constante, la corriente I está dada por

$$I = \frac{q}{t} = \frac{\text{unidad de carga}}{\text{unidad de tiempo}}$$

donde q es la magnitud de la carga que fluye por un punto dado en el cable en un tiempo t . Si la carga no fluye a una rapidez constante, entonces la ecuación anterior nos proporcionara la corriente media. Como las unidades de la carga y del tiempo son el coulomb (C) y el segundo (S), entonces la unidad SI para la corriente es el coulomb por segundo (C/s). Un coulomb por segundo se denomina ampere (A), en honor del matemático André-Marie Ampere.

Si la carga se mueve alrededor de un circuito en la misma dirección todo el tiempo, entonces se dice que la corriente es **directa (CD)**. Las baterías, por ejemplo, crean este tipo de corriente. En contraste, se dice que la corriente es **alterna (CA)** cuando las cargas se mueven primero en un sentido y luego al contrario, cambiando la dirección de momento a momento. Muchas fuentes de energía crean corriente alterna, por ejemplo, los generadores en las compañías de electricidad, los micrófonos y las cabezas de reproducción de cintas.

Experimento de Faraday y principio de Lenz

El científico inglés Michael Faraday (1791-1867) conoció los trabajos de Oersted, Ampere, y se hizo la siguiente pregunta: si una corriente eléctrica produce un campo magnético a su alrededor, ¿no será posible que ocurra el fenómeno inverso? Es decir, ¿no será posible que de alguna manera un campo magnético genere una corriente eléctrica en un conductor que estuviese dentro de él?

Faraday inició la búsqueda de la respuesta a sus preguntas en 1825 y reporto sus primeros resultados positivos hacia 1831.

En uno de sus primeros trabajos experimentales Faraday enrolló un solenoide encima de otro como se muestra:

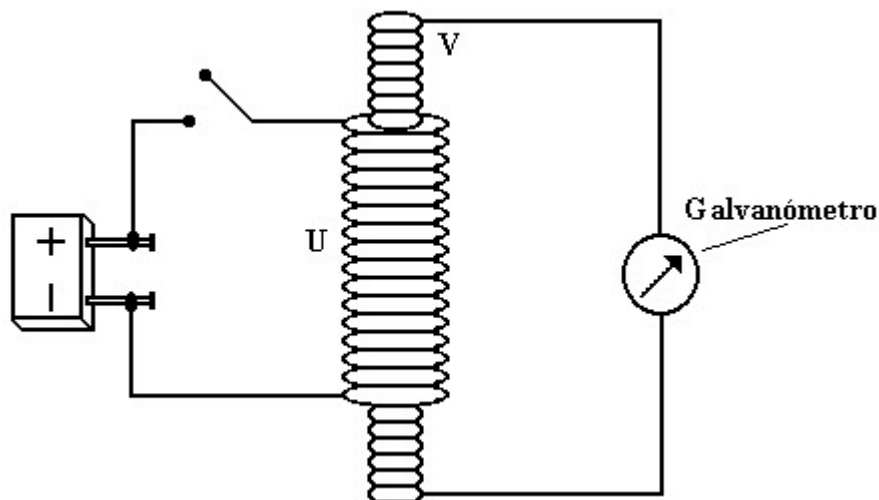


FIGURA 4.3

El solenoide exterior U. Lo conectó a una batería, mientras que el solenoide interior, el V, lo conectó a un aparato detector de corriente eléctrica, llamado galvanómetro. Al cerrar el circuito del solenoide U circula una corriente eléctrica por su devanado generando un campo magnético. El otro solenoide queda por tanto dentro de este campo magnético. Si este campo generara una corriente eléctrica entonces el galvanómetro que está conectado al circuito del solenoide V. De sus experimentos Faraday se percató de que una vez conectada la batería al solenoide U la aguja del galvanómetro no marcaba la presencia de corriente eléctrica. Sin embargo, notó que en el momento de hacer el contacto del interruptor de la batería la aguja del galvanómetro se movía ligeramente. Esto ocurría ya sea que se conectara o desconectara la batería. Esto significa que por el solenoide V circuló una corriente eléctrica. A partir de esta observación Faraday descubrió que la respuesta a su pregunta es afirmativa, es decir, en efecto, se induce una corriente eléctrica en un conductor pero solamente si el campo magnético en que se encuentre cambia al transcurrir el tiempo.

En campo magnético constante no se induce ninguna corriente eléctrica.

Cabe mencionar que el experimento de Faraday cuando la batería estaba conectada la corriente que circula por el solenoide U es constante, por lo que el campo magnético que produce también es constante en el tiempo. Por tanto, en esta situación no se induce ninguna corriente eléctrica en el solenoide V.

Al hacer contacto la corriente eléctrica en U varía de cero a su valor estacionario. En consecuencia, el campo magnético generado por esta corriente también varía de cero a su valor estacionario. Es en este intervalo, en que el campo magnético cambia en el tiempo, en que se induce una corriente eléctrica en el solenoide V.

Supóngase que un alambre conductor cerrado se coloca dentro de un campo magnético que cambia con el tiempo (fig. 4.4a). De los experimentos de Faraday se sabe que a lo largo del alambre se induce una corriente eléctrica. Pero para que pueda circular esta corriente debe haber un campo eléctrico dentro del conductor (fig. 4.4b). Además, en vista de que no hay fuentes de campo eléctrico conectadas al conductor (como lo sería una batería), también concluimos que las líneas del campo eléctrico deben ser cerradas. Es precisamente este campo eléctrico, con las características mencionadas, el que causa que las cargas eléctricas dentro del conductor se mueven alrededor del alambre cerrado.

Posteriormente; Maxwell hizo ver que la presencia del alambre conductor servía para revelar la existencia de un campo eléctrico en la región del espacio en la que un campo magnético variaba con el tiempo. Es decir, la variación del campo magnético genera un campo eléctrico, que dentro del alambre conductor induce una corriente eléctrica.

El campo eléctrico inducido por la variación del campo magnético tiene características distintas al campo eléctrico producido por cargas eléctricas en reposo, en efecto una de las primeras diferencias es que ahora las líneas de fuerza del campo eléctrico son cerradas, en contraste con las del caso electrostático, en que las líneas empiezan y terminan en cargas eléctricas, es decir, son líneas abiertas.

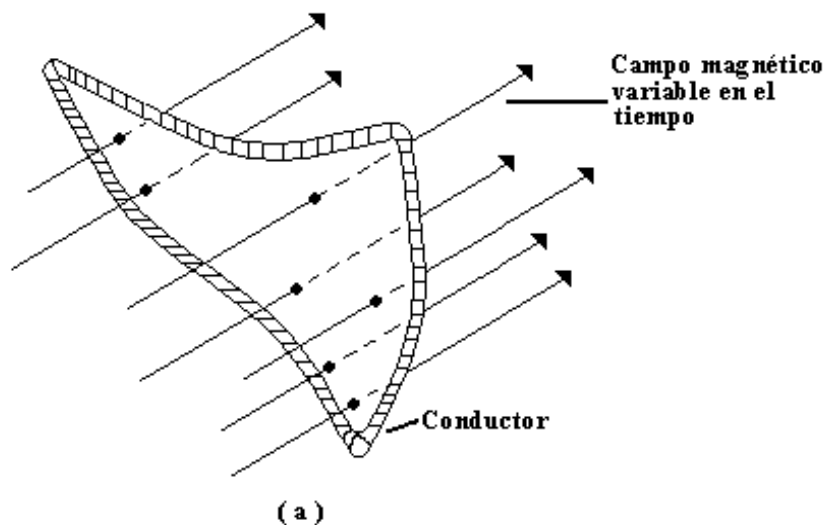


FIGURA 4.4

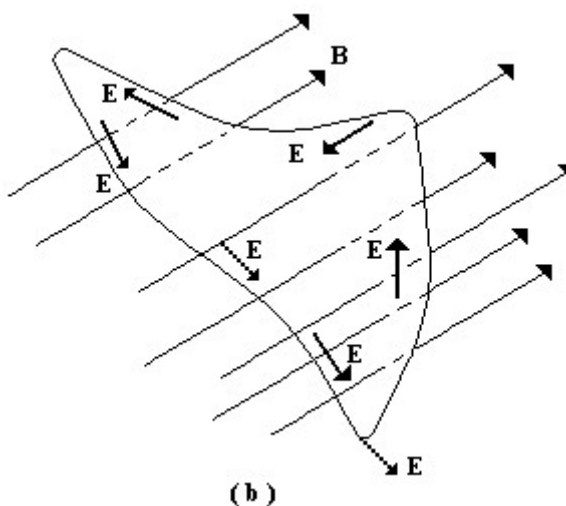
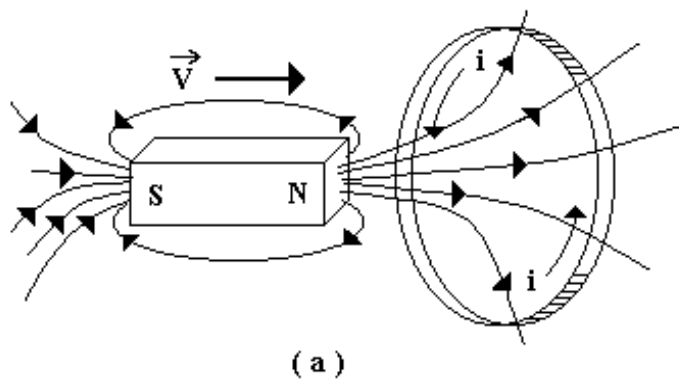
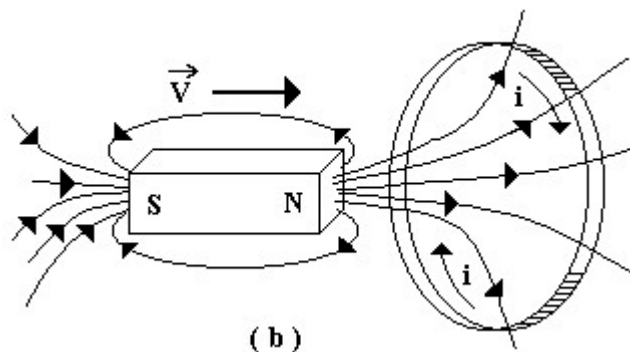


FIGURA 4.4

Principio de Lenz

En el año de 1834, el físico alemán Lenz realiza los mismos experimentos que Faraday y Henry. Su aportación consiste en haber explicado, en forma concisa, el sentido de la fuerza electromotriz y en consecuencia el de la corriente inducida en un circuito sujeto a un flujo magnético variable en el tiempo.

Para concluir este principio, analicemos lo que sucede al acercar el extremo norte de un imán de barra a una espira cerrada, como se muestra en la figura

**FIGURA 4.5****FIGURA 4.5**

Corriente inducida en una espira debida al acercamiento de un magneto donde b) es el sentido correcto de la corriente.

Si suponemos que el sentido de la corriente inducida mostrado en la fig. 4.5(a) es el correcto, implicaría que el lado izquierdo de la espira se comportaría como un polo sur magnético y debido a la atracción entre polos diferentes, esta fuerza sería capaz de desplazar el imán y desarrollar un trabajo. Por otra parte, la espira posee cierta resistencia, y al circular por ella una corriente eléctrica, existiría una disipación de energía en forma de calor. Más aún, si pensamos que el experimento se realiza en el vacío, no habrá fricción y la fuerza magnética entre el polo norte del imán y la cara izquierda de la

espira, aceleraría el imán produciendo una mayor rapidez de variación del flujo magnético, una mayor fuerza electromotriz y en consecuencia mayor corriente inducida y disipación de energía en forma de calor; todo esto gratuitamente, es decir, se obtiene un trabajo sobre el imán y una energía en forma de calor en la espira, sin invertir más allá que un ligero impulso inicial para mover el imán y propiciar la ocurrencia del fenómeno descrito.

Lo anterior viola el principio de conservación de la energía y la raíz de este absurdo estriba en haber supuesto la corriente inducida en el sentido mostrado en la figura 4.5(a).

Si en cambio suponemos que el sentido de la corriente es el de la figura 4.5(b), no existe violación alguna, ya que al circular la corriente, el extremo izquierdo de la espira se comporta como un polo norte y, debido a la repulsión entre polos magnéticos del mismo tipo, será necesario aplicar una fuerza externa que contrarreste dicha repulsión y permita mover el imán con velocidad constante. Esta fuerza desarrolla trabajo sobre el imán y, en ausencia de efectos disipativos (fricciones), este trabajo será igual a la energía disipada en forma de calor en la espira, ya que éstas son las únicas transformaciones de energía que ocurren en el fenómeno.

El sentido de la corriente inducida se puede determinar fácilmente aplicando la regla enunciada por Lenz, que dice: **El sentido de la corriente inducida debe ser tal, que se oponga a la causa que la produce.**

La causa mencionada en el principio es única: La variación del flujo concatenado, aunque dicha variación puede ser un aumento o una disminución. Como ejemplo, se puede tomar la figura anterior al acercarse el polo norte del imán a la espira, el flujo concatenado por ésta aumenta y es mayor el número de líneas de campo magnético que cruzan la espira hacia la derecha; de acuerdo con el principio de Lenz, la corriente debe oponerse a dicho aumento y esto se consigue con una corriente inducida que produzca flujo magnético en dirección opuesta al que proviene del polo norte del magneto.

Aplicando la *regla de la mano derecha*, se determina que la corriente inducida debe tener el sentido mostrado en la figura 4.5(b).

Diferencia de potencial inducida

Michael Faraday descubrió, en 1831, las corrientes eléctricas inducidas al realizar experimentos con una bobina y un imán. En la figura se observa un imán y una bobina a la cual se conecta un galvanómetro que servirá para detectar la presencia de corrientes eléctricas de poca intensidad.

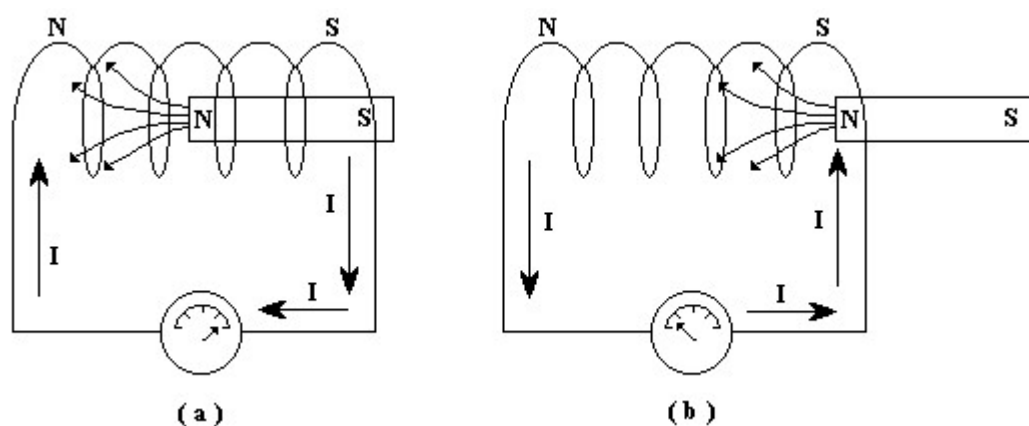


FIGURA 4.6

Cuando el imán y la bobina de la figura permanecen inmóviles, no se produce ninguna corriente inducida, pero si se acerca el imán a la bobina se produce inmediatamente una corriente que se detecta con el galvanómetro. Igual ocurriría si el imán permanece fijo y se mueve la bobina; lo que interesa es que se produzca una variación en el flujo magnético que actúa sobre ésta. El sentido de la corriente está en función de si se acerca o aleja el imán. La corriente inducida será más intensa a medida que avance más rápido el imán, la bobina o los dos. Una forma práctica de obtener mayor intensidad de corriente inducida es hacer que la bobina gire a través del campo magnético. El hecho de que se haya producido una corriente en el circuito formado por ésta, señala que se ha inducido una fuerza electromotriz en el circuito al variar el flujo magnético debido al movimiento del imán.

De acuerdo con los experimentos realizados por Faraday podemos decir que:

1.- *Las corrientes inducidas* son aquellas que se producen cuando se mueve un conductor en sentido transversal a las líneas de flujo de un campo magnético.

2.- *La inducción electromagnética* es el fenómeno que da origen a la producción de una fuerza electromotriz (*fem*) y de una corriente eléctrica inducida, como resultado de la variación del flujo magnético debido al movimiento relativo entre un conductor y un campo magnético.

Actualmente, casi toda la energía eléctrica que se consume en nuestros hogares y en la industria se obtiene gracias al fenómeno de la inducción electromagnética. Por todo el mundo existen generadores que son movidos por agua, vapor, petróleo o energía atómica, en los cuales, enormes bobinas giran entre los polos de potentes imanes y generan grandes cantidades de energía eléctrica. Los fenómenos de inducción electromagnética tienen una aplicación práctica invaluable, ya que con ellos se fundan los dínamos y los alternadores que transforman la energía mecánica en energía eléctrica.

Inductancia

Existen fenómenos de inducción electromagnética generados por un circuito sobre sí mismo llamados de inductancia propia o de autoinducción, también los producidos por la proximidad de dos circuitos, a los cuales se les define como de inductancia mutua.

La autoinducción es la producción de una *fem* (Fuerza Electromotriz) inducida siempre que se opone al cambio de corriente. La capacidad de una bobina de producir una *fem* autoinducida se mide por una magnitud llamada inductancia. La bobina es conocida como “*autoinductor*” o simplemente inductor. En muchos circuitos de corriente alterna se utilizan inductores o bobinas con el objeto de producir deliberadamente

inductancia en el circuito; cuando ésta posee un gran número de espiras tiene un valor alto de inductancia, mientras que en caso contrario su valor es pequeño. Cuando mayor sea la inductancia, más lentamente se elevará o descenderá la corriente dentro de la bobina.



La unidad de inductancia es el henry (H), llamado así en honor de **Joseph Henry** (1797-1878), maestro y físico norteamericano pionero del estudio del electromagnetismo.

Como el fenómeno de la inductancia se debe a que un cambio de corriente en una bobina induce una *fem* en ella, el henry se puede definir en términos de la *fem* inducida por unidad de rapidez de cambio de la corriente. Por tanto, la inductancia equivale a un henry si la rapidez de cambio de la corriente es de amper por segundo e induce una *fem* de un volt. Matemáticamente se expresa por:

$$L = - \frac{\epsilon}{\frac{\Delta i}{\Delta t}}$$

- bien, si despejamos a la *fem* inducida:

$$\epsilon = -L \frac{\Delta i}{\Delta t}$$

donde: L = inductancia, expresada en volts - segundo/amper = henry (H).

ϵ = fem inducida, medida en volts (V).

Δi = cambio de la corriente en amperes (A). La letra i indica que es una corriente inducida.

Δt = tiempo en el que se efectúa el cambio en la corriente, medido en segundos (s).

El signo negativo indica que la *fem* autoinducida ϵ es una fuerza llamada contraelectromotriz que se opone al cambio en la corriente.

La forma geométrica de la bobina afecta su inductancia. Por ello, existen inductores de diversos tamaños y formas en los que varía el número de espiras y la longitud del conductor; algunos tienen núcleo de hierro. Para el caso de la bobina larga de sección transversal uniforme, la inductancia se calcula con la expresión:

$$L = \mu \frac{N^2 A}{l}$$

donde: L = inductancia de la bobina, expresada en henrys (H).

μ = permeabilidad magnética del núcleo, medida en webers/ampermetro (Wb/Am).

N = número de espiras de la bobina.

A = área de la sección transversal del núcleo en metros cuadrados (m^2).

l = longitud de la bobina, en metros (m).

Inductancia mutua. Cuando dos bobinas se colocan una cerca de la otra, al pasar una corriente i por una de ellas, creará un campo magnético cuyo flujo penetrará a través de la otra, de tal manera que se puede inducir una **fem** en cada una por efecto de la otra. La bobina por la que circula la corriente en forma inicial recibe el nombre de bobina primaria, y en la que se induce una **fem**, bobina secundaria. El valor de la **fem** secundaria inducida es directamente proporcional a la rapidez con que cambia la corriente en la bobina primaria $\Delta i_p/t$. Matemáticamente se expresa como:

$$\epsilon_s = M \frac{\Delta i_p}{t}$$

despejando el valor de M tenemos:

$$M = \epsilon_s \frac{\Delta t}{\Delta i_p}$$

donde: M es constante que recibe el nombre de inducción mutua del sistema de dos bobinas.

Principio del transformador

Una de aplicaciones más importantes de la inducción mutua y de la autoinducción puede verse en un transformador. Un *transformador* es un dispositivo que sirve para aumentar o disminuir una tensión CA. Por ejemplo, siempre que un radio o una calculadora portátiles se enchufan a un tomacorriente para recargar sus baterías, un transformador participa en la reducción de la tensión CA de 120 V a un valor mucho menor; por lo general, para cargar las baterías se requieren entre 3 y 9 volts. En otro caso, un cinescopio de televisión requiere aproximadamente 15000 V para acelerar el haz de electrones, y se utiliza un transformador para obtener esta alta tensión a partir de la relativamente baja tensión suministrada por el tomacorriente de la pared.

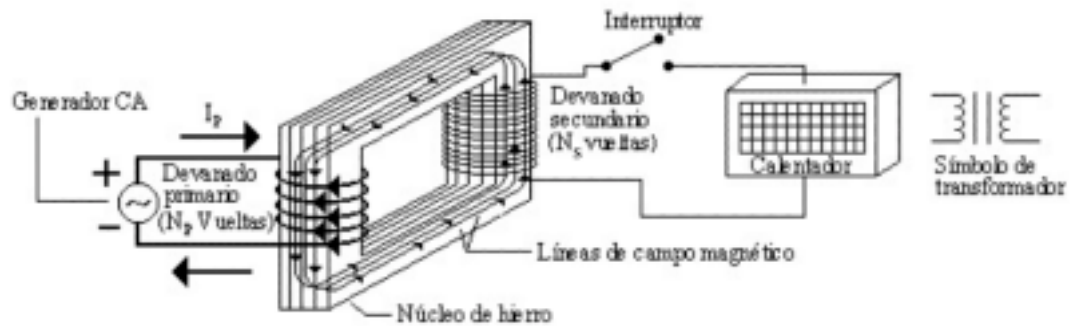


FIGURA 4.7

El transformador consta de un núcleo de hierro sobre el que están arrolladas dos bobinas: un devanado primario con N_p vueltas y un devanado secundario con N_s vueltas. Como se indica en la figura, el devanado primario está conectado a un generador CA. Por ahora, suponga que el interruptor en el circuito secundario está abierto, de modo que en este circuito no hay corriente.

La corriente alterna en el devanado primario establece un campo magnético variable en el núcleo de hierro. Debido a que el hierro se magnetiza fácilmente, aumenta en gran medida el campo magnético con respecto al campo que hay en un núcleo de aire y orienta las líneas de campo al devanado secundario. En un núcleo bien diseñado, casi todo el flujo magnético Φ que pasa a través de cada vuelta del devanado primario

también pasa a través de cada vuelta del devanado secundario. Dado que el campo magnético es variable, entonces el flujo a través de los devanados primario y secundario también es variable y, por consiguiente, en ambas bobinas se induce una fem. En la bobina secundaria, la fem inducida ϵ_s surge de la inducción mutua y está dada por la ley de Faraday de la inducción electromagnética como:

$$\epsilon_s = -N_s \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Donde:

ϵ_s = fem inducida

N_s = Número de vueltas en el devanado secundario

$\Delta\Phi$ = Variación del flujo magnético

ΔT = Tiempo en el que se efectuará el cambio del flujo

En el devanado primario, la **fem** inducida ϵ_p se debe a la autoinducción y está especificada por la ley de Faraday como

$$\epsilon_p = -N_p \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

El término $\Delta\Phi/\Delta t$ es el mismo en ambas ecuaciones, ya que el mismo flujo penetra en cada vuelta de ambos devanados. Al dividir las ecuaciones anteriores se obtiene que

$$\frac{\epsilon_s}{\epsilon_p} = \frac{N_s}{N_p}$$

En un transformador de alta calidad, las resistencias de las bobinas son insignificantes por lo que las magnitudes de las fems, ϵ_s y ϵ_p , son casi iguales a las tensiones terminales, V_s y V_p , a través de los devanados. La relación $\epsilon_s/\epsilon_p = N_s/N_p$ se denomina **ecuación del transformador** y suele escribirse en términos de las tensiones terminales:

$$\text{Ecuación del transformador} \rightarrow \frac{\text{Tension - secundaria}}{\text{Tension - primaria}} = \frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p}$$

Según la ecuación del transformador, si N_s es mayor que N_p , entonces la tensión secundaria (de salida) es mayor que la primaria (de entrada). En este caso, se tiene un transformador *elevador*. Por el contrario, si N_s es menor que N_p , entonces la tensión secundaria es menor que la primaria, y se tiene un transformador *reductor*. La razón N_s/N_p se denomina *razón de transformación*. Una razón de transformación de 8/1 (a menudo se escribe como 8:1) significa, por ejemplo, que el devanado secundario tiene 8 veces más vueltas que el devanado primario. A la inversa, una razón de transformación 1:8 implica que el devanado secundario tiene la octava parte de vueltas que tiene el devanado primario.

Un transformador opera con electricidad CA y no con corriente directa estacionaria. Una corriente directa estacionaria en el devanado principal produce un flujo que no cambia y, por tanto, no se induce ninguna fem en el devanado secundario. La razón más importante por la cual se prefiere CA a CD es la facilidad con que los transformadores pueden utilizarse para cambiar tensiones de un valor a otro.

Si el interruptor en el circuito secundario de la figura está cerrado, entonces en el circuito existe una corriente I_s y se suministra energía eléctrica al calentador. Esta energía proviene del generador CA conectado al devanado primario. Aunque la tensión secundaria V_s puede ser mayor o menor que la primaria V_p , el transformador no crea ni destruye energía. La conservación de la energía requiere que la energía suministrada al devanado secundario sea la misma que la suministrada al devanado primario, en el supuesto de que no se pierda la energía en calentar a los devanados o de alguna otra manera. En un transformador bien diseñado, menos del 1% de la energía de entrada se pierde en forma de calor. Al observar que la potencia es energía por unidad de tiempo y suponiendo el 100% de traspaso de energía, la potencia media \bar{P} suministrada al devanado primario es igual a la potencia media \bar{P} suministrada al devanado secundario: $\bar{P}_p = \bar{P}_s$. Pero $P = IV$ de modo que $I_p V_p = I_s V_s$, o bien,

$$\frac{I_p}{I_s} = \frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p}$$

Observe que V_s/V_p es igual a la razón de transformación N_s/N_p , en tanto que I_s/I_p es igual a la razón de transformación inversa N_p/N_s . Por consiguiente, un transformador que eleva la tensión, simultáneamente reduce la corriente. A la inversa, un transformador que reduce la tensión, eleva la corriente. Pero en un transformador ideal, la potencia no se eleva ni se reduce, ya que $\overline{P}_p = \overline{P}_s$.

Impedancia

Los capacitores y los inductores pueden combinarse junto con resistores en un solo circuito. La combinación más simple es el circuito RLC, que contiene un resistor, un capacitor y un inductor. Antes de comenzar con el estudio de la impedancia es necesario estudiar la reactancia capacitiva y la reactancia inductiva que a continuación se describen.

Reactancia inductiva.

De acuerdo con la ley de Lenz, sabemos que la acción de un inductor es tal que se opone a cualquier cambio de corriente. Como la corriente alterna cambia constantemente, un inductor se opone de igual manera a ello, por lo que reduce la corriente en un circuito de corriente alterna.

A medida que aumenta el valor de la inductancia, mayor es la reducción de la corriente. De igual manera, como las corrientes de alta frecuencia cambian más rápidamente que las de baja, mientras mayor sea la frecuencia mayor será el efecto de reducción. De donde, la capacidad de un inductor es directamente proporcional a la inductancia y a la frecuencia de la corriente alterna. Este efecto de la inductancia (reducir a la corriente) se puede comparar en parte al que produce una resistencia. Sin embargo, como una resistencia real produce energía calorífica al circular una corriente eléctrica por ella, para diferenciarlas se le denomina reactancia inductiva al efecto provocado por la inductancia. La reactancia inductiva (X_L) es la capacidad que tiene un inductor para reducir la corriente en un circuito de corriente alterna. La expresión matemática de ella es:

$$X_L = 2\pi fL$$

donde: X_L = reactancia inductiva, expresada en ohms (Ω).

f = frecuencia de la corriente alterna, medida en ciclos/s = hertz(Hz).

L = inductancia, expresada en henrys (H).

Cuando se tiene un circuito puramente inductivo se puede sustituir en la ley de Ohm, X_L por R ; así:

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

donde: I = intensidad de la corriente, medida en ampers (A).

V = voltaje, expresado en volts (V).

X_L = reactancia inductiva, medida en ohms (Ω).

En un circuito eléctrico donde existe únicamente inductancia, la onda de intensidad de corriente se atrasa $\frac{1}{4}$ de ciclo o sea 90° , por lo que se dice que están desfasadas 90° como se observa en la figura, ello se debe al efecto producido por la reactancia inductiva X_L .

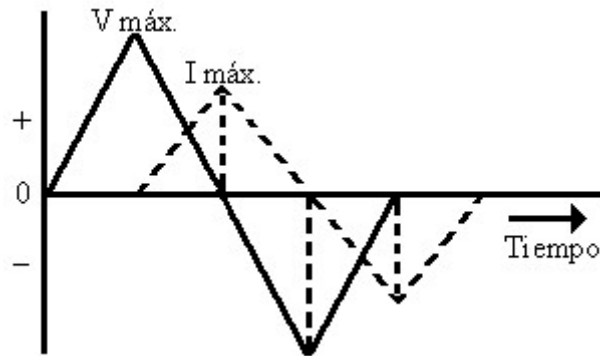


FIGURA 4.8

Reactancia capacitiva.

Al introducir un capacitor o condensador en un circuito de corriente alterna, las placas se cargan y la corriente eléctrica disminuye a cero. Por tanto, el capacitor se comporta como una resistencia aparente. Pero, en virtud de que está conectado a una fem alterna se observa que a medida que la frecuencia de la corriente aumenta, el efecto de resistencia del capacitor disminuye.

Como el capacitor se diferencia de una resistencia pura por su capacidad para almacenar cargas, al efecto que produce de reducir la corriente se le da el nombre de reactancia capacitiva (X_c). El valor de ésta, en un capacitor varía de manera inversamente proporcional a la frecuencia de la corriente alterna. La expresión matemática de esta es:

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C}$$

donde: X_c = reactancia capacitiva expresada en ohms (Ω).

f = frecuencia de la corriente alterna medida en ciclos/s=hertz(Hz).

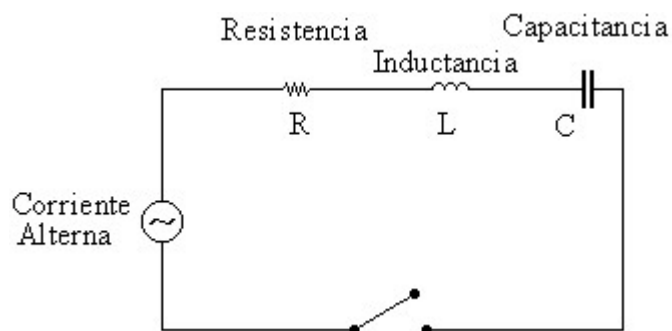
C = capacitancia calculada en farads (F).

La reactancia capacitiva (X_C) es la propiedad que tiene un capacitor para reducir la corriente en un circuito de corriente alterna. Como la corriente en un circuito capacitivo aumenta a medida que es mayor la frecuencia de la corriente alterna se observa que la reactancia capacitiva X_C actúa en forma inversa a la reactancia inductiva X_L , toda vez que la corriente en un circuito inductivo disminuye a medida que es mayor la frecuencia.

A la diferencia entre X_L-X_C se le da simplemente el nombre de reactancia (X) y se expresa como:

$$X = X_L - X_C$$

Como mencionamos al principio de este tema, el circuito esta compuesto por una resistencia, inductancia y capacitancia conectados en serie. A éste circuito se le denomina circuito RLC en serie, por los elementos que lo constituyen y que están conectados en serie. Cuando se conectan en paralelo recibe el nombre de circuito RLC en paralelo.

**FIGURA 4.9**

Cuando se desea conocer cuál es el valor de la resistencia total en un circuito debido a la resistencia, al inductor y al capacitor, se determina su impedancia. Por definición: En un circuito de corriente alterna, la impedancia (Z) es la oposición total a la corriente eléctrica producida por R , X_L y X_C . Matemáticamente Z se expresa como:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

donde: Z = impedancia del circuito expresada en ohms (Ω).

R = resistencia debido al resistor, en Ω

X_L = reactancia inductiva medida en Ω

X_C = reactancia capacitiva expresada en Ω

De acuerdo con la ley de ohm, para una corriente continua, tenemos que:

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

En el caso de una corriente alterna, R se substituye por Z:

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

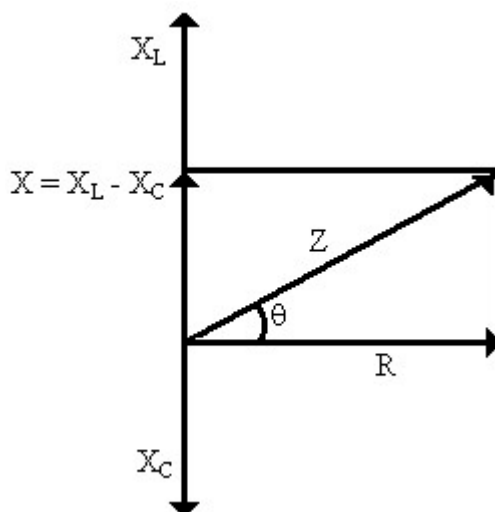
donde: I = intensidad de la corriente en un circuito de CA, expresada en amperes (A).

V = fem o voltaje suministrado por el generador, medida en volts(V).

Z = impedancia del circuito, calculado en ohms (Ω).

En un circuito en serie, las relaciones entre R, X_L , X_C y su valor resultante Z (o sea la impedancia) se pueden representar en forma gráfica al considerar a las magnitudes anteriores como vectores. En la figura 4.10, vemos que la resistencia R se representa por medio de un vector sobre el eje X; mientras que, la reactancia inductiva X_L es un vector en el eje de las Y, y la reactancia capacitiva X_C se representa por un vector negativo sobre el mismo eje. El vector resultante de la reactancia $X = X_L - X_C$ y la resistencia R originada por los alambres del circuito y el devanado de la inductancia, está representado por la impedancia Z.

Cuando la capacitancia y la inductancia de un circuito de CA no tienen valores relativamente pequeños, producen diferencias de fase o retardos entre la corriente y el voltaje. Cuando la reactancia inductiva X_L es mayor que la reactancia capacitiva X_C , la corriente fluye con un desfaseamiento respecto al voltaje que recibe. En el caso contrario, cuando X_C es mayor que X_L , la corriente fluye con un adelanto respecto al voltaje.

**FIGURA 4.10**

Para determinar cuál es el valor del retraso o adelanto de la corriente respecto al voltaje, se determina el ángulo de fase θ mismo que se calcula con la expresión:

$$\tan\theta = \frac{X}{R}$$

donde: θ = ángulo formado por los vectores Z y R

X = reactancia del circuito ($X = X_L - X_C$) expresada en ohms(Ω).

R = resistencia total del circuito, medida en ohms (Ω).

Podemos definir como impedancia, una resistencia aparente que se mide en ohms (Ω). Cuando se acoplan dos circuitos de diferente impedancia se produce en la conexión una reflexión que provoca una disminución en la corriente total. Es por ello que, cuando una antena se conecta a un televisor ambos deben tener la misma impedancia, ya que en caso contrario se perderá una parte de la mínima corriente que capta la antena.

Tema



Conceptos – Cantidad y calidad de iluminación – Fuentes luminosas – Luminarios – Iluminación

LUZ E ILUMINACIÓN

Concepto de Luz

Aproximadamente el 80% de las impresiones sensoriales humanas son de naturaleza óptica; esto evidencia la importancia de la luz, natural o artificial, como vehículo de información para el desarrollo de cualquier actividad.

La luz es la sensación producida en el ojo humano por las ondas electromagnéticas. Se trata de campos electromagnéticos alternativos que transportan energía a través del espacio y se propagan bajo la forma de oscilaciones o vibraciones. Al igual que todos los movimientos ondulatorios, las ondas electromagnéticas se caracterizan por una longitud de onda (λ) y por una frecuencia (f) (número de periodos por segundo). Estas dos magnitudes se relacionan con la velocidad de propagación (v) mediante la ecuación: $v = \lambda \cdot f$



Figura 5.1

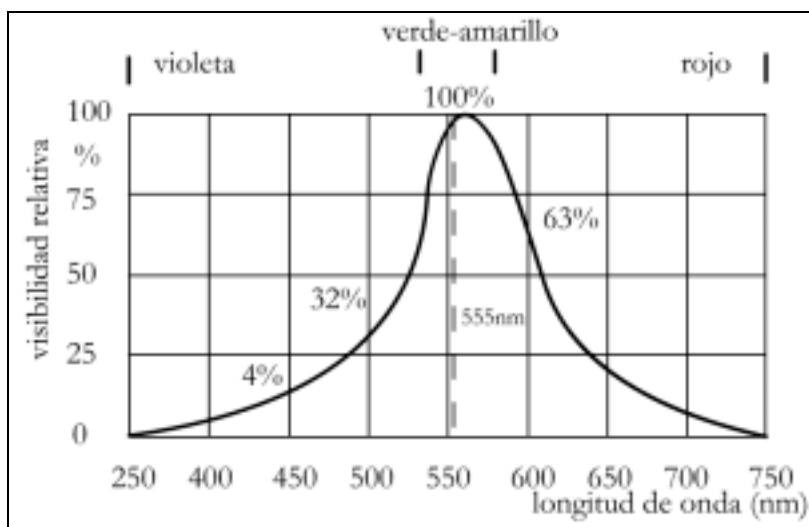
La velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas es de unos 300 000 Km por segundo.

La longitud de onda de las ondas electromagnéticas visibles suele medirse en *nanómetros*.

El campo (espectro) de las ondas electromagnéticas visibles por el hombre se extiende desde 3800 a 7600 Å. Las ondas más largas corresponden al extremo visible rojo (colindante con el campo de las radiaciones infrarrojas, las cuales no son ya visibles y tienen propiedades caloríficas); las ondas más cortas corresponden al extremo visible violeta (colindante con el campo de las radiaciones ultravioleta, que no son visibles pero favorecen las reacciones fotoquímicas).

Ondas electromagnéticas visibles de distinta longitud de onda dan una percepción (visibilidad) distinta de los objetos y de su color. En realidad el color es una sensación óptica que depende de l conjunto de las longitudes de onda que un cuerpo no absorbe, o sea, que refleja.¹

La sensibilidad del ojo humano es máxima para el color verde amarillo (5600 Å) y cae rápidamente tanto del lado del ultravioleta como en el infrarrojo.



CURVA FOTOPICA PARA EL DÍA

Figura 5.2

¹ Por ejemplo, un cuerpo blanco refleja todas las ondas electromagnéticas en tanto que un cuerpo negro las absorbe.

Se dice de una luz que es monocromática si está constituida por ondas electromagnéticas de igual longitud de onda, que revelan un solo color (por ejemplo, las lámparas de vapor de sodio, de baja presión).

La luz solar o la de una lámpara de incandescencia, en cambio, es de espectro continuo (luz blanca) porque comprende toda la gama de las longitudes de onda visibles. Un rayo de luz blanca, al atravesar un prisma de cristal, se descompone en los colores fundamentales.

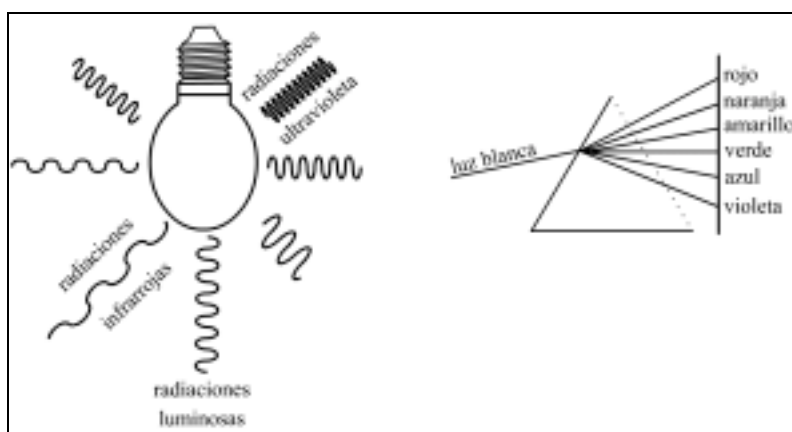


Figura 5.3

El color de la luz se determina por su longitud de onda. La energía del extremo de las ondas cortas del espectro visible produce la sensación de violeta desde 3800 a 4500 Angstroms², aproximadamente. Las ondas visibles, mas bajas, desde unos 6300 a 7600 Å aparecen como rojas. Entre las dos anteriores se encuentran las longitudes de onda que el ojo ve como azules(4500-4900 Å), verdes (4900-5600 Å), amarillas (5600-5900 Å) y naranjas (5900-6300 Å), en suma, los colores del arcoiris.

El espectro de una fuente de luz puede ser continuo, incluyendo todas las longitudes de onda visibles, o un espectro lineal o de banda conteniendo solamente o varios grupos

² 1 Å = 10⁻¹⁰ metros

separados de longitudes de onda. Por ejemplo, un filamento de tungsteno tiene espectro continuo, mientras que el de un arco de mercurio es lineal. Un espectro de energía uniforme, esto es, con todas las longitudes de onda visibles en igual cantidad, produce la sensación de luz blanca. La luz del sol a mediodía se aproxima a un espectro de ésta clase.

La temperatura del color es un término que se usa para describir el color de una fuente luminosa comparándola con el de un cuerpo negro, que es teóricamente “radiante perfecto”. Como cualquier cuerpo incandescente, un cuerpo negro cambia de color al aumentar de temperatura, poniéndose primero rojo oscuro y después rojo claro, naranja, amarillo y, finalmente blanco, blanco azulado y azul. El color de la llama de una vela es igual al de un cuerpo negro a 1800 Kelvin³. La luz de una lámpara de filamento de tungsteno de 100 volts se acerca mucho más al blanco, y el cuerpo negro ha de ser elevado a 2875 Kelvin para igualarla. Así la lámpara tiene una temperatura de color de 2875 Kelvin.

Se ha de tener en cuenta que la temperatura de color no es una medida de temperatura real, ya que define solamente el color, y que se puede aplicar únicamente a fuentes que se parezcan mucho al cuerpo negro. Las lámparas de mercurio, sodio y las más intensamente coloreadas no se igualan con el cuerpo negro a ninguna temperatura, y por ello no se les puede asignar ninguna temperatura. Los valores de la temperatura de color que a veces se dan por conveniencia a varios tipos de lámparas fluorescentes “blancas”, solo pueden considerarse como aproximaciones.

“La luz se desplaza en línea recta, a menos que su trayectoria sea modificada o redirigida por un medio reflectante, refractante o difusor”

“La luz es invisible a su paso por el espacio, a menos que algún medio (tal como el polvo) la disperse en la dirección del ojo.”

³ La escala Kelvin es una escala de temperatura que tiene su punto cero a -273° centígrados.

Conceptos de iluminación

Es bien conocido por todos que existe una gran variedad de conceptos referidos a la iluminación, sus unidades de medida y de sus efectos. Estos conceptos serán tratados con mayor detalle a continuación,

Flujo luminoso: Es la cantidad de luz emitida por una fuente luminosa en la unidad de tiempo (segundo). Y está representada por la letra griega Φ (léase fi). Y su unidad de medida es el lumen “**lm**”.

Las medidas de flujo de las fuentes luminosas se efectúan por procedimientos de laboratorio que requieren equipos especiales. No obstante, la cantidad de lúmenes que incide sobre una superficie puede evaluarse con la ayuda de un luxómetro normal. Para ello se obtendrán en primer lugar las lecturas en luz en varios puntos de la superficie, con objeto de hallar un valor promedio, y se multiplica a continuación este valor medio obtenido por el área de la superficie en metros cuadrados.

- Lúmenes incidentes sobre una superficie:

$$F = E \times S$$

F – Flujo Luminoso

E – Nivel de iluminación en lux

S – Superficie en metros cuadrados (m²)

- Lúmenes emitidos o reflejados por una superficie difusora:

$$F = B \times s$$

B – Brillo fotométrico en lamberts

s – Superficie en centímetros cuadrados (cm²)

- Flujo luminoso total de una fuente:

$$F = \text{MSCP} \times 12.57 \text{ lúmenes}$$

MSCP – Mean Spherical Candle Power , ó potencia media

en candelas de una fuente en todas direcciones.

(como 1 esfera de 1 m² tiene $4\pi = 12.57 \text{ m}^2$, una fuente puntual uniforme de 1 cd producirá 12.57 lm. La misma relación existe entre la intensidad luminosa de una fuente cualquiera y su flujo luminoso total).

El lumen sirve para expresar cantidades de flujo luminoso: la emisión total de una fuente, la emisión en una zona angular determinada, la cantidad de luz reflejada, absorbida o transmitida por un objeto, la cantidad de luz incidente sobre una superficie, etc. El método de los lúmenes ó **método de lumen**⁴ para calcular el nivel de iluminación se basa en el flujo luminoso emitido por las fuentes y en la distribución del mismo dentro de la zona considerada.

El lumen: es el flujo de la luz que incide sobre una superficie de 1 metro cuadrado, la totalidad de cuyos puntos diste 1 metro de una fuente puntual teórica que tenga una intensidad luminosa de 1 candela en todas direcciones. Esta superficie es una sección de 1 metro cuadrado de una esfera de 1 metro de radio, en cuyo centro se encuentra una fuente puntual uniforme de una candela. El mismo concepto puede expresarse diciendo que un lumen es el flujo luminoso emitido en un ángulo sólido unidad por una fuente puntual uniforme de una candela. La diferencia entre el lumen y la candela reside en que aquél es una medida del flujo luminoso, independientemente de la dirección.

Intensidad luminosa: Es la parte del flujo emitido, por una fuente luminosa, en una dirección dada, por el ángulo sólido que lo contiene, y su unidad de medida es **la candela** “cd”; imaginemos una esfera(figura 5.4) de cristal translúcido cuyo radio sea de 1 metro. Si en el centro se coloca un proyector de dimensiones tan reducidas que, hipotéticamente, se

⁴ Ver método de lumen en el capítulo 9

pueda identificar con una fuente luminosa puntiforme y si el área de la zona iluminada (S) equivale a 1 m^2 , el ángulo del cono de luz se identifica con la unidad de ángulo sólido ω (léase omega). La unidad de medida del ángulo sólido es el estereorradián.

Las medidas de intensidad luminosa son ante todo trabajos de laboratorio que requieren instrumentos especiales. Pueden conseguirse estimaciones aproximadas de la intensidad luminosa de una fuente o luminaria, 1º) colocando un luxómetro a una distancia mínima de cinco veces la dimensión máxima de la luminaria; 2º) orientando la célula del aparato directamente hacia la luminaria; y 3º) multiplicando la lectura efectuada en lux por el cuadrado de la distancia en metros. Naturalmente, no debe existir otra luz en la habitación y además puede que sea preciso efectuar una corrección por la luz reflejada en las paredes y el techo.

$$I = E \times D^2$$

I – Intensidad luminosa en candelas

E – Nivel de iluminación en lux

D – Distancia en metros desde la fuente a la superficie iluminada.

La intensidad luminosa se emplea no sólo para indicar la intensidad de una fuente en una determinada dirección, sino que frecuentemente se toman medidas de la potencia en candelas desde distintos ángulos alrededor de la fuente o luminaria, y se representan gráficamente los resultados para obtener la curva de distribución luminosa. Esta curva muestra la intensidad luminosa en cualquier dirección, y a partir de ella pueden hacerse cálculos de iluminación⁵

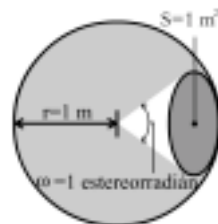


Figura 5.4

⁵ Ver método punto por punto en el capítulo 9

Candela: es la cantidad física básica internacional en todas las medidas de luz; las demás unidades se derivan de ella. Su valor está determinado por la luz emitida por un patrón de laboratorio llamado cuerpo negro, trabajando a una temperatura específica. Una vela corriente de cera tiene en dirección horizontal una intensidad luminosa de aproximadamente una candela. La intensidad luminosa es una propiedad característica de una fuente de luz, y da la información relativa al flujo luminoso en su origen.

Iluminación: Se define como el flujo luminoso (Φ) por unidad de superficie (S). Su símbolo es **E**, y su unidad de medida es el **Lux** ($\text{lx}=\text{lumen}/\text{m}^2$). Se ve que un lux no solo es la iluminación producida por un lumen incidente sobre una superficie de un metro cuadrado, o sea un lumen por metro cuadrado, sino también es una candela a un metro de distancia.

Ahora bien, si la fuente es puntiforme, la iluminación toma valores inversamente proporcionales al cuadrado de la distancia. No es aplicable a fuentes de iluminación extensas (techos luminosos, etc.).

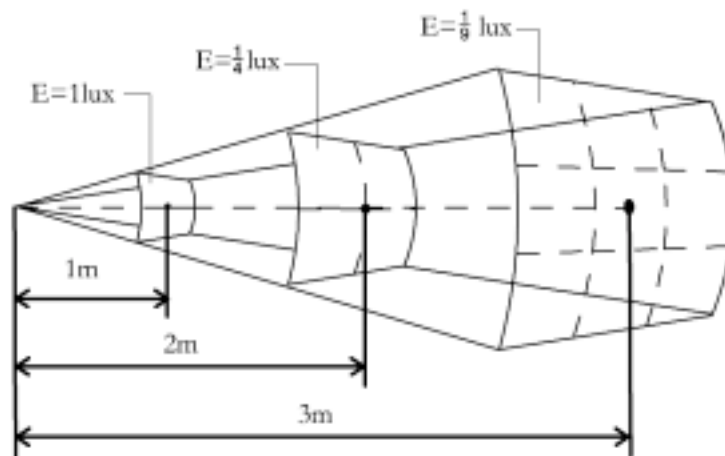


Figura 5.4

Las lecturas en lux sirven para indicar la iluminación en un punto determinado o la iluminación media sobre una superficie. La ley de la inversa del cuadrado constituye la base de cálculo en el método punto por punto para proyectos de alumbrado. La ley de la inversa del cuadrado se aplica estrictamente sólo a una fuente puntual.

Algunos valores que ejemplifican la magnitud de iluminación son:

Iluminación natural

Día de verano, a pleno sol	100 000 lx
Día de invierno, a mediodía, al aire libre	10 000 lx
Luna llena, cielo despejado	0.25 lx

Iluminación general con luz artificial

Oficinas y escuelas	300-500 lx
Sala de estar	150-200 lx
Dormitorio	70 – 100 lx
Calles con buen alumbrado	15 – 25 lx

Lux: Es la iluminación en un punto (A) sobre una superficie que dista, en dirección perpendicular a un metro de la fuente puntual de una candela.



Figura 5.6

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

$$\text{Número de lux incidentes sobre una superficie} = \frac{\text{lúmenes}}{\text{área en m}^2}$$



Cantidad y calidad de iluminación

Una de las medidas más significativas de la idoneidad de una instalación de alumbrado es la cantidad de luz que se proporcione al área de trabajo. La lista que se presenta al final de este capítulo muestra una referencia de los trabajos visuales más frecuentes, junto con los niveles luminosos considerados como buenos en la práctica de hoy día.

Comparados con los niveles que normalmente aparecen en la naturaleza los expresados en la lista son bajos. La razón no es que los niveles bajos (**cantidad de luz**) sean satisfactorios para la visión normal, si no más bien las limitaciones reales de nuestra capacidad para producir niveles más altos con comodidad y economía. La comodidad y facilidad para realizar los trabajos de visión próxima se pueden mejorar con intensidades luminosas más altas, siempre que se consiga también una adecuada calidad de luz y unas convenientes condiciones ambientales.

La distribución de la iluminación, lo mismo que el nivel luminoso deberá venir determinada por la finalidad de la instalación. Tanto en la luz para tareas específicamente visuales, como en la luz para trabajos de producción, normalmente es conveniente colocar las luminarias de tal manera que den una iluminación razonable uniforme sobre toda el área. La relación entre la iluminación máxima, bajo las luminarias, y la mínima, en lugares situados entre dos de ellas, no debe ser nunca mayor de $3/2$, y para obtener los mejores resultados debe acercarse todo lo posible a la unidad.

Las luminarias con distribución ancha pueden colocarse más separadas, para la misma altura de montaje, que las que tienen una distribución más concentrada.

Los fabricantes proporcionan las distancias máximas para diversos tipos de equipos en función de la altura de montaje o del techo. Debe tenerse en cuenta que estas cifras son valores máximos desde el punto de vista exclusivo de una razonable uniformidad, y que con frecuencia será necesaria una colocación más próxima para producir los niveles de iluminación deseados.

Cuando sea ventajoso concentrar luz en áreas específicas de trabajo, o cuando se utilice ésta para efectos dramáticos o decorativos, la iluminación uniforme no es aconsejable. En la mayoría de los restaurantes y salas de fiestas, por ejemplo el contraste producido por la variación de niveles luminosos ayuda a crear una atmósfera atractiva. En ciertos tipos de comercios resulta una buena medida dirigir mayor cantidad de iluminación sobre las zonas de venta y exposición que sobre las zonas generales de tráfico, y en otras muchas circunstancias el uso más efectivo de la luz implica una distribución completamente distinta de la uniforme.

La adecuada cantidad de luz por sí sola no asegura una buena iluminación. La buena **calidad de luz** es tan importante como la cantidad, y normalmente más difícil de conseguir. Los factores que intervienen en la calidad de la iluminación son muchos y complejos, pero el deslumbramiento, las relaciones de brillo, la difusión y el color pueden considerarse como los más importantes.

El deslumbramiento es cualquier brillo que produce molestia, interferencia con la visión o fatiga visual. Como es difícil evaluar matemáticamente los distintos elementos del deslumbramiento, se han establecido ciertos factores específicos determinantes.

Brillo de la fuente. Cuanto mayor sea éste, mayor será la molestia y la interferencia con la visión.

Brillantez

Brillantez. La brillantez de un objeto depende de la intensidad de luz incidiendo sobre él y la proporción en la cual la luz es reflejada hacia el órgano visual. Aumentando el nivel de iluminación en una superficie oscura es posible aumentar su brillantez.

Tamaño de la fuente

Tamaño de la fuente, expresado en función del ángulo subtendido por el ojo. Un área grande de bajo brillo, como un panel luminoso, o un cierto número de luminarias de bajo brillo pueden ser tan molestas como una sola fuente pequeña de alto brillo. **Tamaño, cuando más grande sea un objeto en términos de ángulo visual (ángulo subtendido del objeto al ojo) más rápidamente podrá verse. Al no poder aumentar el tamaño de los detalles de una tarea visual, será necesario aumentar el nivel de iluminación.**

Posición de la fuente de luz. El deslumbramiento decrece rápidamente a medida que la fuente se aparta de la línea de visión. Una luminaria suspendida en el campo de la visión produce mayor deslumbramiento que una montada por encima del ángulo visual normal.

Contraste

Contraste de brillo. Cuanto mayor es el contraste de brillo entre una fuente que deslumbre y sus alrededores, mayor será el efecto de deslumbramiento. **El contraste, es la relación que existe entre las luminancias de un objeto y su inmediato alrededor.**

Los niveles altos de iluminación compensan en parte los bajos contrastes en brillantez y son de gran asistencia donde no se pueden tener condiciones de alto contraste.

Tiempo

Tiempo. Una exposición a la luz que puede no ser molesta durante un corto espacio de tiempo, puede resultar muy molesta y fatigosa para una persona que tuviera que trabajar en tales condiciones durante 8 horas al día. **La visión no es un proceso instantáneo sino que requiere de tiempo. Al aumentarse el nivel de iluminación aumenta al mismo tiempo, la velocidad de percepción.**

En consecuencia un estudio del posible efecto de deslumbramiento en una instalación de alumbrado implica no sólo el brillo intrínseco del aparato individual o del elemento, sino también muchas características de la sala y las condiciones de uso. Los brillos de luminarias que son muy agradables en una pequeña oficina, donde las unidades están fuera del campo de visión, puede ser excesivo en habitaciones mayores, donde las luminarias más apartadas quedan próximas a la línea normal de visión. De igual modo, las luminarias que individualmente no tienen brillo muy desagradable, pueden si se montan en grandes grupos, presentar un área total lo suficientemente grande para producir una sensación desagradable. Esto ocurre ocasionalmente cuando se colocan algunos tipos de luminarias fluorescentes a lo largo de la línea de visión, en zonas grandes con techos relativamente bajos.

Son precauciones lógicas contra el deslumbramiento excesivo la protección de todas las lámparas que hayan de instalarse dentro del campo de la visión, el uso de colores claros en techos y paredes para reducir el contraste, el montaje de las fuentes de luz por encima de la línea normal de visión siempre que sea posible, y la reducción del brillo de las luminarias a límites razonables. Cuando se ha de proporcionar iluminación para visión crítica, es importante para la comodidad y la buena visibilidad que las

luminarias o los sistemas luminosos del techo se seleccionen entre los de luminancias medias, especialmente entre 45° - 85° desde vertical, y patrones de luminancias que estén dentro de los límites prescritos. Como estos límites están relacionados con la naturaleza del trabajo visual, el nivel de iluminación, el tamaño del área luminosa y otros factores, el modelo de una particular luminancia no es el mejor para todas las situaciones.

Lo anterior se refiere principalmente al deslumbramiento directo, cuando por alguna causa la iluminación llega directamente de la fuente al ojo, o de una superficie brillante situada dentro del campo de visión. La imagen de una fuente de luz (de cualquier objeto de mucho brillo) reflejadas por una superficie especular en la dirección del ojo puede causar un deslumbramiento reflejado, que puede ser tan incómodo y molesto como el directo.

Las superficies brillantes tales como muebles metálicos, los tableros pulidos de las mesas, los índices de celofán de los ficheros o incluso el papel brillante suelen ser fuentes de deslumbramiento reflejado. Como la reflexión especular es direccional se puede, con frecuencia, impedir el deslumbramiento mediante la colocación de la fuente de luz, la superficie de trabajo o la persona que realiza éste de tal manera que la luz reflejada no incida en el ojo. También se puede controlar el deslumbramiento reflejado mediante fuentes de bajo brillo y gran área, y la utilización de colores claros, con acabados opacos de reflexión sin brillo en muebles y superficies de trabajo.

A continuación se muestra la lista de algunos de los diferentes sitios así como los niveles de iluminación recomendados.

I.E.S. – Illuminating Engineering Society

S.M.I.I. – Sociedad Mexicana de Ingeniería e Iluminación

	LUXES I.E.S. 99%	LUXES S.M.I.I. 95%
1.- EDIFICIOS INDUSTRIALES		
ACUMULADORES MANUFACTURA DE		
Moldeado de celdas	500	300
ARCILLA Y CEMENTOS PRODUCTOS DE		
Moliendo, prensa filtrado, hornos de secado, vaciado y devastado.	300	200
Esmaltado, pintura y vidriado (trabajo burdo)	1000	600
Pintura y vidriado (trabajo fino)	3000	1700
AUTOMOVILES, MANUFACTURA DE		
Ensamblado bastidor	500	300
Ensamblado chasis	1000	600
Ensamblado final e inspección	2000	1100
Manufactura carrocería:		
Ensamblado	1000	600
Partes	700	400
Acabado e inspección	2000	1100
CUARTO PINTURA		
Trazado sobre aluminio, formado partes pequeñas de fuselaje y alas.	1000	600
Soldadura:		
Iluminación Gral.	500	300
ILUMINACION LOCALIZADA		
subensamblado:		
Tren de aterrizaje, fuselaje, secciones, alas y otras partes grandes.	1000	600
ASERRADEROS		
Clasificación de la madera	2000	1700
AZUCAR, REFINERIAS DE		
Clasificación	500	300
Inspección color	2000	1100
CERVECERAS, INDUSTRIAS		
Elaboración y lavado de barriles	300	200
Llenado (de botellas, lata, barriles)	500	300

	LUXES I.E.S. 99%	LUXES S.M.I.I. 95%
EMPACADORAS DE CARNE		
Matadero (rastros)	300	200
Limpiado, destazado, cocido, moliendas, enlatado y empaçado	1000	600
JABONES, MANUFACTURA DE		
Paila, corte, escamas de jabón y detergentes en polvo	300	200
Troquelado, envoltura y empaque, llenado y detergentes en polvo	300	200
2.- OFICINAS, ESCUELAS Y EDIFICIOS PUBLICOS		
AUDITORIOS		
Para exhibiciones	300	200
Para asambleas	150	100
Para actividades sociales	50	50
BANCOS		
Vestíbulo (iluminación general)	500	300
Pagadores, contadores y recibidores	1500	900
Gerencia y correspondencia	1500	900
BIBLIOTECAS		
Sala de lectura	700	400
Anaqueles	300	200
Reparación de libros	500	300
Archiveros y catalogar	700	400
Mesa checadora de salidas y entradas de libros	700	400
CORREOS		
Vestíbulos, sobre mesas	300	200
Correspondencia, selección, etc.	1000	600
BOMBEROS Y POLICIA		
Policía:		
Archivos de identificación	1500	900
Celdas y cuartos para interrogar	300	200
Bomberos:		
Dormitorios	200	100
Sala recreativa	300	200
Garaje carros bomba	300	200
ESCUELAS		
Salones de clase	700	400
Salones de dibujo (sobre restirador)	1000 ^a	600
Lectura de movimientos de labios (sordo-mudos), pizarrones, costura	1500 ^a	900

	LUXES I.E.S. 99%	LUXES S.M.I.I. 95%
GALERIAS DE ARTE		
Iluminación general:	300	200
Sobre pinturas (localizado)	300	200
Sobre estatuas y otras exhibiciones	1000c	600
3.- HOSPITALES		
Sala de preparación y anestesia	300	200
Autopsia y anfiteatro:		
Mesa de autopsia	25000	14000
Sala de autopsia	1000	600
Anfiteatro (iluminación general)	200	100
Central de instrumentos esterilizados:		
Iluminación general	300	200
Afilado agujas	1500	900
Sala de Cistoscópica:		
Iluminación general	1000	600
Mesa cistoscópica	25000	14000
Sala de emergencia:		
Iluminación general	1000	60
Iluminación localizada	20000	9000
Sala para ojos, oídos, nariz y garganta:		
Cuarto oscuro	100	60
Cuarto de reconocimiento y tratamiento	500	300
Sala de fracturas:		
Iluminación general.	500	300
Mesa de fracturas	2000	1100
Laboratorio:		
Cuartos de ensayo	300	200
Mesas de trabajo	500	300
trabajos más precisos	1000	600
Cirugía:		
Cuarto de limpieza (instrumentos)	1000	600
Sala de operaciones, iluminación general	1000	600
Lavabo de cirujano	300	200
Mesa de operaciones	25000	14000
Sala de restablecimiento	300	200
Terapia:		
Física	200	100
Ocupacional	300	200
Salas de espera	300	200

	LUXES I.E.S. 99%	LUXES S.M.I.I. 95%
Cuarto utilería	200	100
Puesto de enfermeras:		
Iluminación general	200	100
Escritorio	500	300
Mostrador para medicinas	1000	600
4.- HOTELES, RESTAURANTES, TIENDAS Y RESIDENCIAS		
CASAS		
Alumbrado nocturno:		
Zonas comerciales principales:		
General	2000	1100
Atracciones principales	10000	6000
Zonas comerciales secundarias:		
General	2000	1100
Atracciones principales	10000	6000
GASOLINERAS:		
Áreas de servicio	300	200
Cuarto de ventas	500	300
Estantes	1000	600
HOTELES		
Recámaras:		
Iluminación general	100	60
Para lectura y escritura	300	200
Administración	500	300
Vestíbulo:		
Áreas de trabajo y lectura	300	200
Iluminación general	100	200
Marquesina	500	300
SALONES DE BAILES		
TIENDAS (o)		
Áreas de circulación	300	200
Áreas de mercancías:		
Con servicio de vendedores	1000	600
Autoservicio	2000	1100
Mostradores y vitrinas en muro:		
Con servicio de vendedoras	2000	1100
Autoservicio	5000	3000

	LUXES I.E.S. 99%	LUXES S.M.I.I. 95%
Atracciones principales:		
Con servicio de vendedoras	5000	3000
Autoservicio	10000	6000
5.- AREAS COMUNES		
BODEGAS O CUARTOS DE ALMACENAMIENTO		
Inactivas	50	30
Activas:		
Piezas toscas	100	60
Piezas medianas	200	100
Piezas finas	500	300
ELEVADORES DE CARGA Y PASAJERO	200	100
ESCALERAS	200	100
PASILLOS Y CORREDORES	200	100
BAÑOS Y TOCADORES		
Iluminación general	100	60
Espejo	300	200
		I.E.S S.M.I.I. LUXES
6.- ALUMBRADO EXTERIOR		
ALUMBRADO DE PROTECCION		
Alrededores de áreas activas de embarque		50
Alrededores de edificios		10
Áreas de almacenamiento activas		200
Áreas de almacenamiento inactivas		10
Entradas:		
Activas (peatones y/o transportes)		50
Inactivos (normalmente cerradas, no usadas con frecuencia)		10
Límites de propiedad:		
Deslumbramiento por medio de la técnica de protección (Reflectores de dentro hacia afuera)		1.5
Técnica de iluminación general		2
Iluminación general de áreas inactivas		2
Plataformas de carga y descarga		200
Ubicaciones y estructuras de importancia		50
EDIFICIOS		
Construcción general		10
Trabajos de excavación		20

I.E.S
S.M.I.I.
LUXES

GASOLINERAS	
Alrededores brillantes:	
Acceso	30
Calzada para coches	50
Áreas de bomba de gasolina	300
Fachadas de edificios (de vidrio)	300
Áreas de servicio	70
Alrededores oscuros:	
Acceso	15
Calzadas para coches	15
Áreas bombas de gasolina	200
Fachadas edificio (de vidrio)	100
Áreas de servicio	30
PLATAFORMA DE CARGA Y DESCARGA	200
Interior de los furgones	100
PRESIDIO, PATIOS DE	50
TABLEROS PARA BOLETINES, CARTELES O LETREROS	
Alrededores brillantes:	
Superficies claras	500
Superficies oscuras	1000
Alrededores oscuros:	
Superficies claras	200
Superficies oscuras	500
7.- ALUMBRADO AREAS DEPORTIVAS	
ARQUERIA	
Blanco:	
Torneo	100
Recreativo	50
BASQUETBOL	
Universitario y profesional	500
Dentro de colegios y secundarias	300
Sin espectadores	200
Recreativo (exterior)	100
BILLARES	
Torneo	500
Recreativo	300

	I.E.S S.M.I.I. LUXES
Área general	100
CARRERAS	
De motor (autos enanos o motocicleta)	200
Bicicletas	200
Caballos	200
Perros	300
PATINAJE	
Pista para patines de ruedas	50
Pistas para patinar sobre hielo (interior o exterior)	
TENIS	
Torneo	300
Club	200
Recreativo	100
8.- ALUMBRADO DE TRANSPORTES	
AEROPUERTOS	
Plataforma frente hangares	10
Plataforma frente edificio de la terminal:	
Área de estacionamiento	5
Área de carga	20
AUTOBUSES	
Urbanos	300
Foráneos	150
AVIONES	
Compartimentos pasajeros:	
Iluminación general	50
lectura (en asientos)	200
AUTOMOVILES	
Sobre placas	5
BARCOS	
Camarotes	500
Literas, sobre plano de lectura	150
Espejo, sobre cara	500
Baños	50
Pasillos y corredores	50
Escaleras:	
Pasajeros	100
Tripulación	50
Entrada pasajeros	100
Salas de descanso, pasajeros y oficiales	100

	I.E.S S.M.I.I. LUXES
Cuartos de esparcimiento tripulación	200
Sobre mesas	300
Comedor pasajeros	100
Salón comedor, oficiales y tripulación	100
Sobre mesas	150

Clasificación

El desarrollo de nuevas tecnologías ha permitido la realización de una notable gama de lámparas destinadas a las aplicaciones más dispares. No obstante, las fuentes luminosas eléctricas se pueden clasificar en dos grandes categorías:

- de irradiación por efecto térmico(lámparas de incandescencia);
- de descarga en gas o vapores(lámparas fluorescentes, de vapor de mercurio, de sodio, etc.).

Para decidir qué tipo de lámpara se va a utilizar es necesario tener en cuenta las siguientes características:

Potencia nominal: condiciona el flujo luminoso y las proporciones de la instalación bajo el punto de vista eléctrico.

Eficacia luminosa y degeneración del flujo luminoso durante el funcionamiento, promedio de vida y costo de la lámpara: estos factores condicionan la economía de la instalación.

Rendimiento cromático: condiciona la mayor o menor apreciación de los colores respecto a la observación con luz natural.

Temperatura de color: condiciona la tonalidad de luz. Se dice que una lámpara proporciona luz “cálida” o “fría” si prevalecen las radiaciones luminosas de color rojizo o azulado;

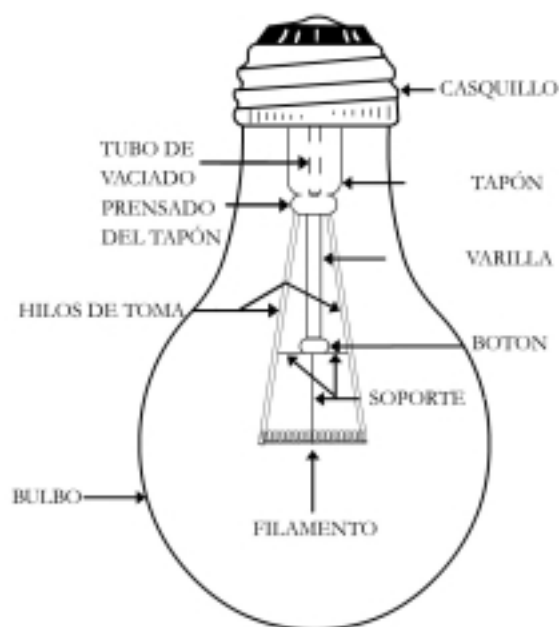
Tamaño: condiciona la construcción de los aparatos de iluminación.

Fuentes artificiales

Existen diferentes tipos de lámparas (fuentes artificiales de luz), entre las más usadas tenemos las de incandescencia, y las de descarga en atmósfera gaseosa, en donde entran las fluorescentes, y las lámparas de vapor de mercurio o sodio. A continuación se presenta una tabla con características de cada una de las lámparas más usadas que existen hoy en día.

Tipo de Lámpara	Potencia nominal (W)	Eficacia luminosa (lm/W)	Vida útil (horas)	Acabado	Factor de depreciación(L.L.D.)	Tamaño(cm)
Incandescente	40	12	1500	Perla o claro	0.875	11.3
Fluorescente	40	80	20000	Blanco cálido	0.84	57.2
Vapor de mercurio	250	51	24000	Blanco de lujo	0.84	21
Vapor de Sodio Baja presión	180	183	18000	Claro	1.00	112
Vapor de Sodio Alta presión	250	110	24000	Claro	0.90	24.8
Aditivos metálicos	250	82	10000	Claro	0.83	21.1

LÁMPARAS INCANDESCENTES



Principio de funcionamiento

Un delgado filamento de tungsteno enrollado en simple o doble espiral, se lleva al punto de incandescencia mediante el paso de una corriente eléctrica. Para que no se quemase se encierra en una pequeña ampolla de vidrio en la que se practica el vacío o se introduce un gas inerte (ázo, argón, criptón, etc.) En el primer caso (vacío) se encuentran las lámparas de pequeña potencia; en el segundo (gas inerte) las

lámparas de media y gran potencia.

La vida media de las lámparas de incandescencia es de 1500 horas, a la tensión nominal.

Campos de aplicación

Para la iluminación general y localizada de interiores (vivienda, oficinas, comercios, etc.). Con las lámparas normales de empleo más generalizado (100-300W), es conveniente no sobrepasar los 3 – 4 metros de altura (tiendas, oficinas, escuelas, etc.). Para las alturas superiores es preferible recurrir a otros tipos de fuentes luminosas.

Ventajas

Encendido inmediato sin necesidad de equipo auxiliar; dimensiones reducidas y costo poco elevado; sin limitaciones en cuanto a la posición de funcionamiento.

Desventajas

Baja eficacia luminosa y por lo tanto costo de funcionamiento elevado; elevada producción de calor; elevada luminancia con el correspondiente deslumbramiento (100 – 2000 cd/cm²); duración media de vida limitada.

Características de las lámparas de incandescencia normales, claras o esmeriladas, para funcionamiento en derivación.

Potencia nominal (W)	Flujo luminoso (lm)		Eficacia luminosa (lm/W)	
	125 V	220 V	125 V	220 V
40	465	---	12	---
60	890	588	15	10
100	1750	1085	18	11
150	2780	2060	19	14
200	3750	3040	19	15
300	6103	4735	20	16
500	10100	9270	20	18
1000	---	17800	---	18

Lámparas de incandescencia con halógenos

En algunos tipos particulares de lámparas de incandescencia, aparte del gas de relleno, se introducen pequeñas cantidades de un halógeno (generalmente yodo). Esto da lugar a un proceso que devuelve al filamento el tungsteno volatilizado impidiendo el ennegrecimiento del globo. Este tipo de lámparas se caracteriza por una menor decadencia luminosa, mayor eficacia y menores dimensiones de la ampolla (generalmente hecha de cuarzo).

Entre las desventajas se deben enumerar el alto costo y la elevada luminancia.

Prescindiendo de las aplicaciones particulares(indicadas en la tabla), se utilizan para la iluminación de monumentos y campos deportivos, aplicaciones con tiempos reducidos de funcionamiento continuo.

Características y empleo de las lámparas halógenas.

Aplicaciones	Gama de potencia (W)	Eficacia luminosa (lm/W)	Duración (horas)
Para proyectores	500-1000	20-25	2000
Para tomas fotográficas	600-1250	30-33	15
Para tomas fotográficas y televisivas	250-5000	25	75-200
Para proyección de películas de paso reducido	50-1000	30	25-100
Para faros de vehículos automóviles	40-70	25	150

Advertencias

- Aumentando la potencia de una lámpara de incandescencia se aumenta también la eficacia luminosa. Por lo tanto, con el empleo de fuentes luminosas de elevada potencia se tiene un mayor rendimiento que con las de pequeña potencia.
- Alimentando las lámparas con una tensión superior a la nominal, se reduce sensiblemente su duración; cada hora de funcionamiento a una tensión 10% mayor que la nominal, acorta en dos horas la vida de la lámpara.

- Alimentando la lámpara con una tensión inferior a la nominal, disminuye sensiblemente el flujo luminoso.
- Las lámparas de incandescencia emiten mucho calor: las luminarias que no permiten la disipación de calor reducen su duración.
- Cada luminaria está prevista para lámparas de una potencia dada; sustituir éstas por otras de potencia superior puede comprometer la duración de la propia lámpara. Además, el calor excesivo puede afectar al aislamiento de los conductores de alimentación o dañar el portalámparas y dar lugar a situaciones peligrosas (explosión de la ampolla, focos de incendio).

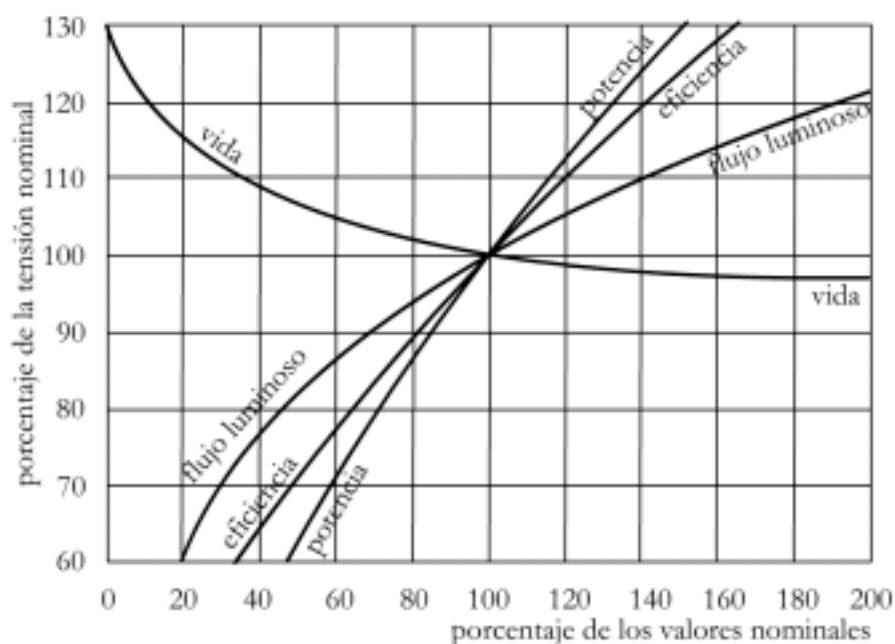


FIGURA 7.2

LÁMPARAS FLUORESCENTES

En las lámparas fluorescentes la luz se genera por el fenómeno de fluorescencia; esto es debido a una descarga eléctrica en una atmósfera de vapor de mercurio a baja presión, que se lleva a cabo en el interior de un tubo de longitud grande en comparación a su diámetro, y

en cuya pared interior lleva una fina capa de sustancias minerales fluorescentes, además contiene un gas noble, normalmente argón. Existen lámparas fluorescentes en forma de “u”, rectas(mas usadas), y circulares.

Las lámparas fluorescentes se utilizan primordialmente en oficinas, despachos, escuelas, ascensores, transportes, bibliotecas y tiendas comerciales entre otros, debido a que son lámparas que proporcionan una buena iluminación y emiten poco calor, logrando que sean agradables a la vista y de un gran confort.

Los componentes de una lámpara fluorescente son los siguientes:

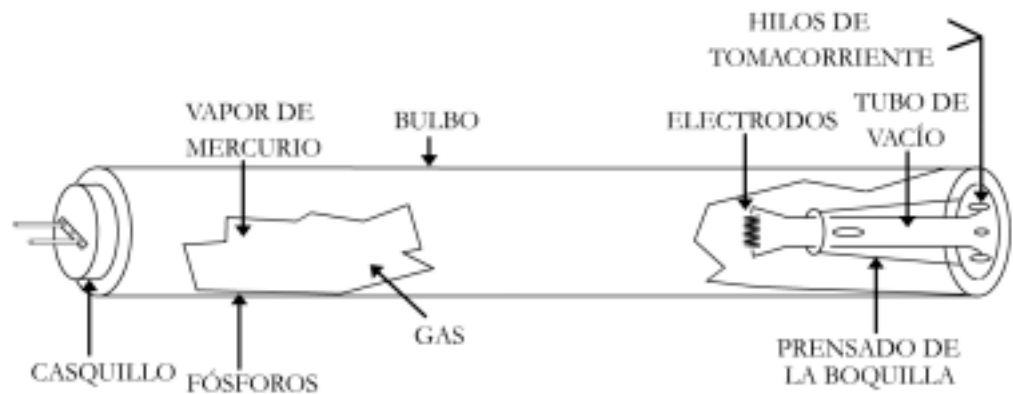


FIGURA 7.3

- 1.- BULBO: Mediante una clave que consiste en la letra T se determina la forma y tamaño del mismo, esta letra va seguida de un número que expresa el diámetro del bulbo en octavos de pulgadas, Ej. T-8 (Tubular de una pulgada de diámetro), T-12(tubular de una pulgada y media de diámetro).
- 2.- FÓSFOROS: El color de la luz producida por una lámpara fluorescente depende de la composición química del fósforo utilizado en el revestimiento interno del tubo. Dependiendo de las mezclas de los diferentes tipos de fósforos, se produce una amplia variedad de colores.
- 3.- ELECTRODOS: Consiste generalmente en un alambre de tungsteno de doble o triple enrollamiento en espiral, esta espiral lleva un revestimiento de un material emisor

de electrones, como el bario o el estroncio, cuya emisión tiene lugar a una temperatura de 950°C.

4.- TUBO DE VACÍO: Este tubo se utiliza para la extracción del aire, cuando la lámpara está en fabricación y para introducir el gas en el tubo.

5.- GAS: El gas que se utiliza generalmente es el argón.

6.- MERCURIO: Este va colocado en el bulbo en muy pequeñas cantidades para proveer el vapor de mercurio.

7.- CASQUILLO: Se utilizan diferentes tipos de casquillos que generalmente son:

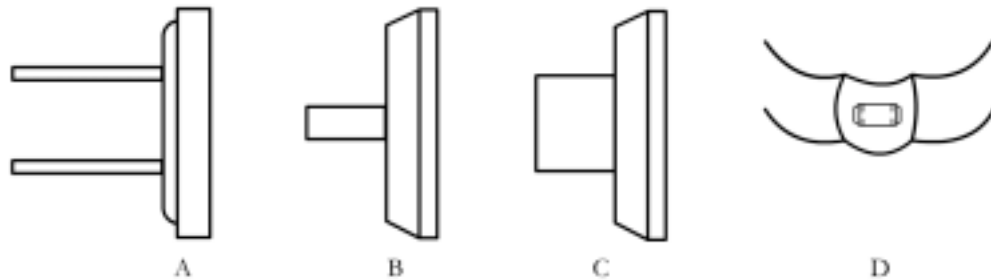


FIGURA 7.4

A) Para encendido normal, lámparas de precalentamiento y arranque rápido.

B) Slim-line (arranque instantáneo).

C) HO y VHO (alta y muy alta luminosidad).

D) Para lámparas circulares.

8.- PRENSADO DE LA BOQUILLA: Los hilos de toma corriente van en este punto fusionados en el vidrio de la boquilla.

9.- HILOS DE LA TOMA DE CORRIENTE: Estos van conectados a los pernos del casquillo y conducen hasta el cátodo.

Para que las lámparas puedan funcionar necesitan de un equipo auxiliar llamado balastro, que además de limitar o controlar la intensidad de corriente, tiene también la función de regular la corriente necesaria para el precalentamiento de los electrodos y de proveer la tensión que ayude al encendido de la lámpara.

El cebador es un dispositivo auxiliar que utilizan las lámparas de precalentamiento, para que junto con el balastro provean la tensión de encendido. Las lámparas fluorescentes por su tipo de arranque se pueden dividir en tres grupos:

1.- Arranque por precalentamiento: Estas lámparas utilizan un circuito de arranque con dispositivo arrancador que sirve para precalentar a los electrodos, estas lámparas además requieren del balastro (reactor), un cebador.

2.- Arranque instantáneo: Este tipo se diseñó para eliminar el dispositivo de arranque y conseguir un dispositivo más rápido, el dispositivo de arranque se eliminó al utilizar un balastro que suministra a la lámpara una elevada tensión de arranque, y solo llevan un perno de contacto en cada extremo y se les conoce como slim-line (línea delgada).

3.-Arranque rápido: En este tipo de lámparas el precalentamiento se obtiene a través de un devanado de calentamiento por cada electrodo, incluido el balastro, no requieren de arrancador pues encienden rápidamente, casi como las de arranque instantáneo.

El rendimiento luminoso que se obtiene de las lámparas fluorescentes es elevado, aproximadamente de 96 lm/W. Debido a las sustancias fluorescentes que se mezclan dentro de las lámparas, se tienen diferentes tonos de color, siendo los más comúnmente usados los siguientes:

- a) Luz de día: Esta lámpara se denomina así debido a que el espectro luminoso se asemeja bastante a la luz natural y tiene una temperatura de color igual 6000 K. Estas lámparas se aplican en lugares donde se deseen apreciar mejor los colores, sin importar la hora ni las condiciones meteorológicas, por ejemplo en tiendas, supermercados, estudios fotográficos, relojerías, joyerías, fabricas textiles, artes gráficas, laboratorios, carpinterías, museos, galerías de arte, clínicas, consultorios, etc.

- b) **Blanco frío:** Tiene la ventaja práctica de poderse combinar indistintamente con la luz natural y con la luz de las lámparas de incandescencia, y tiene una temperatura de color de 4300 K. Esta es la lámpara fluorescente más usada, y su campo de aplicación es prácticamente ilimitado. Se usa en alumbrados industriales, de granjas y hangares, oficinas y archivos, talleres, escuelas, etc.
- c) **Blanco cálido:** En estas lámparas la temperatura de color es de 3000 K, y debido a la gran cantidad de radiaciones rojas hace que sea más parecida a las lámparas de incandescencia.- Esta lámpara es adecuada en aquellos lugares donde sea esencial una perfecta reproducción de colores, sobre todo en expendio de víveres, despachos, oficinas, pasillos, salas de reunión, aulas, auditorios, bibliotecas, panaderías, teatros, restaurantes, hoteles, cocinas, bodegas, etc.

Este tipo de lámparas tienen una buena eficacia luminosa (de 4 a 6 veces mejor que las lámparas incandescentes) y por tanto un costo más bajo de operación. Tiene baja luminancia, de forma que se reducen sensiblemente los problemas de deslumbramiento, bueno y óptimo rendimiento cromático (variando según el tipo), con un tiempo de vida elevado (20000 horas), y sin ninguna limitación en cuanto a la posición de funcionamiento.

Su desventaja principal es que necesita de un equipo auxiliar para el arranque, es de grandes dimensiones, el costo de esta lámpara es mayor, entre 10 o más veces que una lámpara de incandescencia de potencia similar (según tamaños y tipos)

LÁMPARAS DE VAPOR DE MERCURIO

Están constituidas por un pequeño tubo de cuarzo que contiene vapor de mercurio a alta presión y un gas inerte (argón), para facilitar la descarga. En ambos extremos se hallan dispuestos los electrodos, dos de los cuales son principales y uno o dos son auxiliares.

El tubo de cuarzo –llamado también tubo de descarga- se encierra en un globo de vidrio para aislarlo del ambiente externo. Este globo, no solamente absorbe las radiaciones ultravioleta (perjudiciales para los ojos), que dan lugar a la formación de ozono en el aire, sino

que también sirven para mejorar la calidad de la luz siempre y cuando esté revestido internamente de polvo fluorescente.

La forma del globo, que recibe el nombre de isotérmica, ha sido estudiada a propósito para que proporcione una distribución uniforme de la temperatura en toda su superficie. Sin embargo, también existen lámparas de forma cilíndrica.

El globo se fabrica con un vidrio de tipo duro a fin de que resista los saltos térmicos y las salpicaduras.

Las lámparas de vapor de mercurio pueden ser: con globo fluorescente; con reflector incorporado; de luz mixta y con halogenuros.

Existen diversos tipos de lámparas de vapor de mercurio.

- a) **Con ampolla fluorescente:** la cara interna de la ampolla revestida de vanadio de itrio, activado con europio. Dicha sustancia fluorescente permite obtener un espectro luminoso compuesto, principalmente, por radiaciones rojas y de gran longitud de onda.
- b) **Con ampolla fluorescente y reflector incorporado:** la parte superior del globo está provista de una gran superficie reflectante que dirige el flujo luminoso hacia abajo. Ofrecen la ventaja de requerir luminarias sencillas y económicas.
- c) **De luz mixta:** proporcionan una luz mixta, mercurio-incandescencia. Al tubo de descarga normal se le ha añadido un filamento metálico (conectado en serie) que ejecuta la doble función de suministrar una radiación luminosa de color rojo (típica de las lámparas de incandescencia) y de servir como resistencia de estabilización de la descarga. Por dicha razón no hacen falta dispositivos auxiliares de alimentación.
- d) **Con halogenuros:** añadiendo al mercurio algunos metales en forma de yoduros (sodio, indio, talio) se obtiene un buen rendimiento cromático y elevada

luminosa (75-90 lm/W). Estas lámparas, de reducidas dimensiones, permiten un buen control del flujo luminoso. Requieren dispositivos auxiliares para facilitar el arranque de la descarga (reactancia y arrancador).

LÁMPARAS DE VAPOR DE SODIO

-De baja presión

Están constituidas por un tubo doblado sobre sí mismo en forma de U, relleno de una mezcla de gases inertes (por ejemplo neón) a la que se agrega una cierta cantidad de sodio. Cuando la lámpara está fría, el sodio se deposita a lo largo del tubo en forma de gotitas; bajo el efecto de la descarga el sodio pasa al estado gaseoso.

Fijados a los extremos del tubo se hallan los electrodos, revestidos de sustancias capaces de emitir electrones. El tubo está dotado de prominencias que hacen la función de pequeños pozos para la recogida del sodio, así como de “puntos fríos” que neutralizan la tendencia del sodio, durante la condensación, a dirigirse hacia la parte curva del tubo. Para reducir la cantidad de calor transmitido al exterior, el tubo doblado en U está encerrado en una ampolla de vidrio en la que se ha practicado el vacío.

Áreas de utilización

Iluminación viaria (bifurcaciones y nudos de carreteras, túneles, pasos subterráneos) y en general para indicar lugares peligrosos.

Se emplean también para la iluminación en fundiciones y acererías, donde interesa más la percepción de la forma que la de los colores.

Es aconsejable montar las lámparas a una altura de 8 a 15 metros, según sea su potencia.

Ventajas

Eficacia luminosa elevadísima(100-183 lm/W) y notable duración media de vida (18000horas); luminancia mediana (7.5 – 14 cd/cm²).

Desventajas

La luz emitida es monocromática (amarilla) y los colores de los cuerpos iluminados resultan alterados: esta característica limita el área de su utilización.

Es necesario recurrir a dispositivos auxiliares para el arranque de la descarga. Hasta transcurridos 5-10 minutos desde la conexión inicial no se alcanza el 80% de la emisión máxima.

Características de las lámparas de sodio a baja presión

Potencia nominal (W)	Longitud (cm)	Vida útil (horas)	L.L.D.	Flujo luminoso (lm)	Eficacia luminosa (lm/W)
18	21.6	18000	1	1800	100
35	31.1	18000	1	4800	137
55	42.5	18000	1	8000	145
90	52.8	18000	1	13500	150
135	77.5	18000	1	22500	167
180	112	18000	1	33000	183

Existen también lámparas de vapor de sodio a baja presión, de forma lineal. Los accesorios para el encendido y la alimentación son similares a los de las lámparas fluorescentes tubulares. Sin embargo, no son muy utilizadas.

-De alta presión

Son lámparas en las que el contenido de sodio es muy elevado. La luz que emiten – calificada de “blanco oro” – permite un rendimiento cromático discreto.

Para la construcción del tubo de descarga se recurre a un óxido de aluminio sinterizado que resiste las altas temperaturas y no es atacado por el sodio.

En el tubo de descarga se introduce una amalgama de sodio (aleación de sodio y mercurio), junto con un gas raro a baja presión para favorecer el arranque de la descarga. El

tubo de descarga se coloca en una ampolla o tubo de vidrio duro, en el que se practica el vacío para reducir la dispersión térmica y conseguir la máxima eficiencia.

Para el arranque de la descarga se recurre a cebadores hechos mediante tiristores que determinan la formación de picos de tensión muy elevados (del orden de los 3 kV) a través de los electrodos de la lámpara, y que se superponen a la tensión suministrada por la reactancia. Una vez que la descarga se ha iniciado, el cebador se desconecta automáticamente.

Existen, sin embargo, nuevos tipos de lámparas que no requieren el cebador electrónico para el arranque y, por lo tanto, se pueden alimentar con las mismas reactancias que se emplean para las lámparas de vapor de mercurio. Esto permite una rápida sustitución de estas últimas cuando se pretende elevar el nivel del alumbrado o ahorrar energía.

Áreas de utilización

Para el alumbrado industrial (almacenes, naves industriales) y viario (zonas portuarias y aeropuertos), así como iluminación de fachadas de edificios y monumentos.

Para la iluminación de interiores es aconsejable montar las lámparas a una altura de 6 a 10 metros para potencias de 250-400 W y de 15 a 30 metros para potencias superiores.

Ventajas

Buena eficacia luminosa; limitada depreciación del flujo luminoso; largo promedio de vida (24000 horas); rendimiento monocromático discreto; reducidas dimensiones.

No existe ninguna limitación en cuanto a la posición de funcionamiento.

Se pueden emplear como opción alternativa de las lámparas de vapor de mercurio (de 250 W en adelante) cuando se pretende reducir el número de centros luminosos (admitiendo que la luminaria lo permita desde el punto de vista de la uniformidad). Realmente, una lámpara de sodio a alta presión de 400 W, emite 50000 lúmenes frente a los 23000 de una lámpara de vapor de mercurio de igual potencia.

Desventajas

Empleo de dispositivos auxiliares para la alimentación. Tarda varios minutos en alcanzar el 80% de la emisión luminosa. La luminancia es más elevada que la de las lámparas de vapor de mercurio con ampollas fluorescentes (300 – 600 cd/cm²). Costo superior al de una lámpara de vapor de mercurio de la misma potencia (incluidos la reactancia y el cebador).

Advertencias

- El empleo de la reactancia hace necesaria la corrección de la fase.
- Comprobar que la luminaria sea adecuada para la potencia de la lámpara, a fin de que pueda disipar el calor producido por la fuente luminosa y los sistemas de alimentación
- No sustituir la lámpara por otra de mayor potencia en una luminaria prevista para un determinado tipo de fuente de luz.

DATOS DE LAMPARAS FLUORESCENTES COMPACTAS

WATTS	TIPO	ACABADO	LUMENES INICIALES	VIDA EN HORAS	EFICACIA LUMENES/WATTS	FACTOR DE DEPRECIACION (L.L.D.)	BASE	BULBO	LONGITUD EN CENTIMETROS	ENCENDIDO
9	TUBO SENCILLO	BLANCO CALIDO	600	10,000	67	0.87	G23	T-4	16.70	RAPIDO
9	TUBO SENCILLO	BLANCO FRIO	600	10,000	67	0.87	G23	T-4	16.70	RAPIDO
13	TUBO SENCILLO	BLANCO CALIDO	900	10,000	69	0.87	GX23	T-4	17.70	RAPIDO
13	TUBO SENCILLO	BLANCO FRIO	900	10,000	69	0.87	GX23	T-4	17.70	RAPIDO
9	TUBO DOBLE	BLANCO CALIDO	600	10,000	67	0.87	G23-2	T-4	11.10	RAPIDO
9	TUBO DOBLE	BLANCO FRIO	600	10,000	67	0.87	G23-2	T-4	11.10	RAPIDO
13	TUBO DOBLE	BLANCO CALIDO	900	10,000	69	0.87	GX23-2	T-4	12.30	RAPIDO
13	TUBO DOBLE	BLANCO FRIO	900	10,000	69	0.87	GX23-2	T-4	12.30	RAPIDO
18	TUBO DOBLE	BLANCO FRIO	1,250	10,000	69	0.87	G24d2,2 PINES	T-4	17.00	RAPIDO
26	TUBO DOBLE	BLANCO FRIO	1,800	10,000	69	0.87	G24d2,3 PINES	T-4	19.00	RAPIDO
18	LARGE	BLANCO CALIDO	1,250	12,000	69	0.84	2G11	T-5	22.50	RAPIDO
18	LARGE	BLANCO FRIO	1,250	12,000	69	0.84	2G11	T-5	22.50	CON ARRANCADOR
36	LARGE	BLANCO CALIDO	2,900	12,000	80	0.84	2G11	T-5	41.50	CON ARRANCADOR
36	LARGE	BLANCO FRIO	2,900	12,000	80	0.84	2G11	T-5	41.50	RAPIDO
40	LARGE	BLANCO CALIDO	3,200	20,000	80	0.84	2G11	T-5	57.20	RAPIDO
40	LARGE	BLANCO FRIO	3,500	20,000	87	0.84	2G11	T-5	57.20	RAPIDO

DATOS DE LAMPARAS FLUORESCENTES ALTA DESCARGA H.O. 800 m. A.

60	TUBULAR	BLANCO FRIO	4,300	12,000	72	0.82	2 CONTAC. EMBUTIDA	T-12	121.92	RAPIDO
85	TUBULAR	BLANCO FRIO	6,650	12,000	78	0.82	2 CONTAC. EMBUTIDA	T-12	182.88	RAPIDO
110	TUBULAR	BLANCO FRIO	8,800	12,000	80	0.82	2 CONTAC. EMBUTIDA	T-12	243.84	RAPIDO
110	TUBULAR	LUZ DE DIA	7,800	12,000	70	0.82	2 CONTAC. EMBUTIDA	T-12	243.84	RAPIDO

DATOS DE LAMPARAS FLUORESCENTES MUY ALTA DESCARGA H.O. 1500 m. A.

110	TUBULAR	BLANCO FRIO	6,250	10,000	57	0.69	2 CONTAC. EMBUTIDA	T-12	121.92	RAPIDO
165	TUBULAR	BLANCO FRIO	9,900	10,000	60	0.72	2 CONTAC. EMBUTIDA	T-12	182.88	RAPIDO
215	TUBULAR	BLANCO FRIO	14,500	10,000	67	0.72	2 CONTAC. EMBUTIDA	T-12	243.84	RAPIDO

DATOS DE LAMPARAS FLUORESCENTES POWER GROOVE 1500 m. A.

110	TUBULAR	BLANCO FRIO	6,800	12,000	62	0.69	2 CONTAC. EMBUTIDA	PG-17	121.92	RAPIDO
165	TUBULAR	BLANCO FRIO	11,000	12,000	67	0.69	2 CONTAC. EMBUTIDA	PG-17	182.88	RAPIDO
215	TUBULAR	BLANCO FRIO	15,300	12,000	71	0.69	2 CONTAC. EMBUTIDA	PG-17	243.84	RAPIDO

DATOS DE LAMPARAS DE VAPOR DE MERCURIO

WATTS	ACABADO	LUMENES INICIALES	VIDA EN HORAS	EFICIENCIA LUMENES/WATTS	FACTOR DE DEPRECIACION (L.L.D.)	BASE	BULBO	LONGITUD EN CENTIMETROS
100	BLANCO DE LUJO	4,400	24,000	44	0.82	MOGUL	BT-25	19.10
175	BLANCO DE LUJO	8,500		49	0.89		E-28	21.00
250	BLANCO DE LUJO	12,775		51	0.84		E-28	21.00
400	BLANCO DE LUJO	23,000		58	0.86		BT-37	29.20
1000	BLANCO DE LUJO	63,000		63	0.77		BT-56	39.00

DATOS DE LAMPARAS DE ADITIVOS METALICOS

70	CLARO	5,200	15,000V - 10,000H	74	0.81	E-26	ED-17	14.60
70	FOSFORADO	4,800	15,000V - 10,000H	74	0.75	E-26	ED-17	14.60
100	CLARO	7,800	10,000V - 7,500H	78	0.75	E-26	ED-17	14.60
100	FOSFORADO	8,000	15,000V - 10,000H	78	0.73	E-26	ED-17	14.60
175	CLARO	14,000	10,000V - 7,500H	80	0.77	MOGUL	BT-28	21.10
175	FOSFORADO	13,000	10,000V - 7,500H	80	0.73		BT-28	21.10
250	CLARO	22,000V-20,000H	10,000	82	0.83		BT-28	21.10
250	FOSFORADO	22,000V-20,000H	10,000	82	0.78		BT-28	21.10
400	CLARO	36,000V-32,000H	20,000V - 15,000H	90	0.75		BT-37	29.20
400	FOSFORADO	36,000V-32,000H	20,000V - 15,000H	90	0.72		BT-37	29.20
400	CLARO	40,000	20,000	100	0.80		BT-37	29.20*
1000	CLARO	110,000V-107,800H	12,000V - 9,000H	110	0.80		BT-56	39.00
1000	FOSFORADO	105,000 V-100,000H	12,000V - 9,000H	105	0.78		BT-56	39.00
1500	CLARO	155,000V	3,000	103	0.92		BT-56	39.00*
1500	CLARO	155,000V-150,000H	3,000	103	0.92		BT-56	39.00**

DATOS DE LAMPARAS DE HALOGENUROS METALICOS "H.Q.I."

70	BLANCO CALIDO	5,200	10,000	74	0.80	G-12	SINGLE ENDED "T"	8.40
70	BLANCO FRIO	5,500	10,000	79	0.80	RX-7S	DOUBLE ENDED "TS"	11.42
70	BLANCO CALIDO	5,000	10,000	71	0.80	RX-7S	DOUBLE ENDED "TS"	11.42
150	BLANCO CALIDO	12,000	10,000	80	0.80	G-12	SINGLE ENDED "T"	8.40
150	BLANCO FRIO	12,500	10,000	83	0.80	G-12	SINGLE ENDED "T"	8.40
150	BLANCO CALIDO	11,000	10,000	73	0.80	RX-7S	DOUBLE ENDED "TS"	13.20
150	BLANCO FRIO	11,250	10,000	75	0.80	RX-7S	DOUBLE ENDED "TS"	13.20
250	LUZ DE DIA	19,000	10,000	76	0.80	MOGUL	T-14	22.50
400	LUZ DE DIA	33,000	10,000	83	0.80	MOGUL	T-14	28.50

* BASE ARRIBA

** BASE ABAJO

DATOS DE LAMPARAS DE VAPOR DE SODIO ALTA PRESION (STANDAR)

WATTS	ACABADO	LUMENES INICIALES	VIDA EN HORAS	EFICIENCIA LUMENES/WATTS	FACTOR DE DEPRECIACION (L.L.D.)	BASE	BULBO	LONGITUD EN CENTIMETROS
35	CLARO	2,250	16,000	64	0.90	MEDIUM	ED-17	13.81
50	CLARO	4,000	24,000	80	0.90	MEDIUM	ED-17	13.81
70	CLARO	6,300		90	0.90	MOGUL	ED-23 ½	19.70
70	DIFUSO	6,000		86	0.86		ED-23 ½	19.70
100	CLARO	9,500		95	0.90		ED-23 ½	19.70
100	DIFUSO	8,800		88	0.90		ED-23 ½	19.70
150(55V)*	CLARO	16,000		107	0.90		E-28	19.70
150(55V)*	DIFUSO	15,000		100	0.90		E-28	19.70
250	CLARO	27,500		110	0.90		E-18	24.80
250	DIFUSO	26,000		104	0.90		E-28	22.90
400	CLARO	50,000		125	0.90		E-18	24.80
400	DIFUSO	47,500		119	0.90		E-37	28.70
1000	CLARO	140,000		140	0.90	E-25	38.30	

DATOS DE LAMPARAS DE VAPOR DE SODIO BAJA PRESION

WATTS	ACABADO	LUMENES INICIALES	VIDA EN HORAS	EFICIENCIA LUMENES/WATTS	FACTOR DE DEPRECIACION (L.L.D.)	BASE	BULBO	LONGITUD EN CENTIMETROS
18	CLARO	1,800	18,000	100	1.00	BY22d	T-17	21.60
35		4,800		137				31.10
55		8,000		145				42.50
90		13,500		150			T-21	52.80
135		22,500		167				77.50
180		33,000		183				112.00

DATOS DE LAMPARAS FLUORESCENTES

WATTS	TIPO	ACABADO	LUMENES INICIALES	VIDA EN HORAS	EFICIENCIA LUMENES/WATTS	FACTOR DE DEPRECIACION (L.L.D.)	BASE	BULBO	LONGITUD EN CENTIMETROS	ENCENDIDO
22	CIRCULAR	LUZ DE DIA	895	12,000	41	0.72	4 ALFILERES	T-9	20.96 Ø	RAPIDO
22	CIRCULAR	B. FRIO DE LUJO	875	12,000	40	0.72	4 ALFILERES	T-9	20.96 Ø	RAPIDO
22	CIRCULAR	B. CALIDO DE LUJO	785	12,000	36	0.72	4 ALFILERES	T-9	20.96 Ø	RAPIDO
32	CIRCULAR	BLANCO FRIO	1,850	12,000	58	0.82	4 ALFILERES	T-9	30.48 Ø	RAPIDO
32	CIRCULAR	LUZ DE DIA	1,590	12,000	50	0.82	4 ALFILERES	T-9	30.48 Ø	RAPIDO
40	CIRCULAR	BLANCO FRIO	2,650	12,000	66	0.77	4 ALFILERES	T-9	40.64 Ø	RAPIDO
17	TUBULAR	BLANCO CALIDO	1,400	20,000	82	0.80	MEDIANA 2 ALFILERES	T-8	60.20	RAPIDO
17	TUBULAR	BLANCO FRIO	1,400	20,000	82	0.80	MEDIANA 2 ALFILERES	T-8	60.20	RAPIDO
20	TUBULAR	BLANCO CALIDO	1,300	9,000	65	0.85	MEDIANA 2 ALFILERES	T-12	60.96	CON ARRANCADOR
20	TUBULAR	BLANCO FRIO	1,300	9,000	65	0.85	MEDIANA 2 ALFILERES	T-12	60.96	CON ARRANCADOR
20	TUBULAR	LUZ DE DIA	1,075	9,000	54	0.85	MEDIANA 2 ALFILERES	T-12	60.96	CON ARRANCADOR
21	TUBULAR	LUZ DE DIA	1,030	7,500	49	0.81	SLIMLINE UN ALFILER	T-12	60.96	INSTANTANEO
30	TUBULAR	LUZ DE DIA	1,900	7,500	63	0.81	MEDIANA 2 ALFILERES	T-8	60.00	CON ARRANCADOR
32	TUBULAR	BLANCO CALIDO	3,050	20,000	95	0.82	MEDIANA 2 ALFILERES	T-8	122.00	RAPIDO
32	TUBULAR	BLANCO FRIO	3,050	20,000	95	0.82	MEDIANA 2 ALFILERES	T-8	122.00	RAPIDO
32	TUBULAR	BLANCO CALIDO	3,050	15,000	95	0.83	MEDIANA 2 ALFILERES	T-8	122.00	INSTANTANEO
32	TUBULAR	BLANCO FRIO	3,050	15,000	95	0.83	MEDIANA 2 ALFILERES	T-8	122.00	INSTANTANEO
32	TUBULAR	B. FRIO DE LUJO	2,700	12,000	84	0.84	SLIMLINE UN ALFILER	T-12	116.80	INSTANTANEO
32	TUBULAR	BLANCO CALIDO	2,700	12,000	84	0.84	SLIMLINE UN ALFILER	T-12	116.80	INSTANTANEO
34	TUBULAR	BLANCO LIGERO	2,700	20,000	79	0.80	MEDIANA 2 ALFILERES	T-12	121.90	RAPIDO
34	TUBULAR	BLANCO FRIO	2,700	20,000	79	0.80	MEDIANA 2 ALFILERES	T-12	121.92	RAPIDO
39	TUBULAR	B. FRIO DE LUJO	3,200	12,000	82	0.82	SLIMLINE UN ALFILER	T-12	117.00	INSTANTANEO
39	TUBULAR	B. CALIDO DE LUJO	3,200	12,000	82	0.82	SLIMLINE UN ALFILER	T-12	117.00	INSTANTANEO
39	TUBULAR	BLANCO FRIO	3,100	12,000	77	0.82	SLIMLINE UN ALFILER	T-12	121.92	INSTANTANEO
39	TUBULAR	LUZ DE DIA	2,600	12,000	64	0.82	SLIMLINE UN ALFILER	T-12	121.92	INSTANTANEO
40	TUBULAR	BLANCO FRIO	3,150	12,000	79	0.83	MEDIANA 2 ALFILERES	T-12	121.92	RAPIDO
40	TUBULAR	LUZ DE DIA	2,600	12,000	65	0.83	MEDIANA 2 ALFILERES	T-12	121.92	RAPIDO
31	TIPÓ "U" 1 5/8"	BLANCO FRIO	2,800	20,000	90	0.90	MEDIANA 2 ALFILERES	T-8	57.15	RAPIDO
32	TIPÓ "U" 8"	BLANCO FRIO	3,000	20,000	94	0.80	MEDIANA 2 ALFILERES	T-8	57.15	RAPIDO
40	TIPÓ "U" 8"	BLANCO FRIO	2,900	12,000	73	0.84	MEDIANA 2 ALFILERES	T-12	57.15	RAPIDO
59	TUBULAR	BLANCO FRIO	6,000	15,000	102	0.81	SLIMLINE UN ALFILER	T-8	243.84	INSTANTANEO
60	TUBULAR	B. FRIO DE LUJO	6,100	12,000	102	0.82	SLIMLINE UN ALFILER	T-12	243.84	INSTANTANEO
60	TUBULAR	BLANCO CALIDO	6,100	12,000	102	0.82	SLIMLINE UN ALFILER	T-12	243.84	INSTANTANEO
75	TUBULAR	BLANCO FRIO	6,300	12,000	84	0.89	SLIMLINE UN ALFILER	T-12	243.84	INSTANTANEO
75	TUBULAR	LUZ DE DIA	5,450	12,000	73	0.89	SLIMLINE UN ALFILER	T-12	243.84	INSTANTANEO

DATOS DE LAMPARAS INCANDESCENTES

WATTS	VOLTS (TENSION DE OPERACION)	LUMENES INICIALES	VIDA EN HORAS	EFICACIA LUMENES/ WATTS	FACTOR DE DEPRECIACION (L.L.D.)	BASE	BULBO	ACABADO PERLA O CLARO	LONGITUD EN CENTIMETROS
40	125	465	1,500	12	.875	MEDIA (E-26)	A-19	*	11.3
60	125	890	1,000	15	.930	MEDIA (E-26)	A-19	*	11.3
60	220	588	1,000	10	.930	MEDIA (E-26)	A-21	*	11.3
75	125	1,190	750	18	.920	MEDIA (E-26)	A-19	*	11.3
100	125	1,750	750	18	.905	MEDIA (E-26)	A-19	*	11.3
100	220	1,085	2,500	11	.900	MEDIA (E-26)	A-21	*	13.5
150	125	2,780	750	19	.895	MEDIA (E-26)	A-23	*	15
150	220	2,060	1,000	14	.870	MEDIA (E-26)	PS-25	*	15
200	125	5,750	750	19	.850	MEDIA (E-26)	PS-25	*	17.6
200	220	3,040	1,000	15	.900	MEDIA (E-26)	PS-30	*	20.5
300	125	6,103	1,000	20	.825	MEDIA (E-26)	PS-30	*	20.5
300	220	4,735	1,000	16	.890	MEDIA (E-26)	PS-30	*	20.5
500	125	10,100	1,000	20	.890	MOGUL (E-40)	PS-40	*	24.8
500	220	9,270	1,000	18	.870	MOGUL (E-40)	PS-40	*	24.8
1000	220	17,800	1,000	18	.820	MOGUL (E-40)	PS-52	*	33.1

DATOS DE LAMPARAS DE IODO CUARZO

500	125	10,500	2,000	21	0.96	CONTACTO EMBUITIDO	T-3	CLARO	11.90
1000	220	21,500		22					25.60
1500	220	35,800		24					25.60

* NOTA: LA LETRA INDICA LA FORMA DE BULBO O BOMBILLO Y EL NUMERO QUE LE SIGUE EL DIAMETRO MAXIMO EN OCTAVOS DE PULGADA

EJEMPLO: PS-40 "S" RECTO "6" REDONDO "PS" PERA CON CUELLO RECTO "P" PERA "A" NORMAL "40R" DE DIAMETRO "PAR" REFLECTOR PARABOLICO "R" REFLECTOR "F" FLAMA "CA" DECORATIVO

DATOS DE LAMPARAS DE LUZ MIXTA

180	220	3,100	6,000	19	0.57	MEDIA (E-26)	BF-75	COLOR	17.20
250		5,600		23	0.65	MOGUL (E-40)	BF-90	CORRE-	22.50
500		14,000		25	0.74	MOGUL (E-40)	ED-37	GIDO	27.70

Definición de luminarias

Se emplean para modificar la distribución del flujo luminoso emitido por las fuentes de luz con el objeto de dirigirlo en determinadas direcciones (reflectores) o para atenuar el deslumbramiento, ocultando parcial o totalmente la visión de la lámpara (difusores).

Asimismo protegen a las lámparas de daños de origen mecánico o ambiental e impiden el acceso a las partes sometidas a tensión evitando los contactos directos. De acuerdo con lo que antecede, las luminarias se clasifican por la distribución del flujo luminoso, el tipo de protección contra los contactos directos y el tipo de protección contra la penetración de líquidos y polvo.

Clasificación de luminarias

A - POR LA FORMA DE DISTRIBUIR EL FLUJO

Difusores

Están formados por envoltentes opalinas de vidrio o material plástico en cuyo interior se coloca la lámpara y son adecuados para la ejecución de sistemas de iluminación semi-indirecta, difusa o semi-difusa, ya que el flujo luminoso se distribuye de un modo casi uniforme en todas direcciones. Disminuyen la luminancia de la lámpara y, por lo tanto, atenúan el deslumbramiento.

Parte del flujo luminoso emitido por la lámpara es absorbido por el material empleado en la fabricación de la luminaria (vidrio esmerilado u opalino: 10-20%); en los difusores de tipo “lechoso” la absorción es elevada (30-40%).

No son adecuados para grandes potencias: generalmente están previstos para albergar lámparas de incandescencia de 40-200W o lámparas fluorescentes tubulares normales (lineales, circulares o en U).

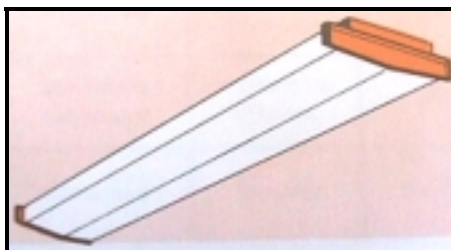
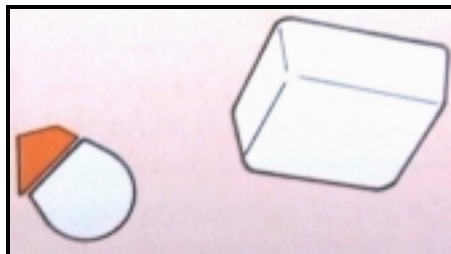


FIGURA 8.1

Reflectores

Están formados por superficies especulares (aluminio pulido, vidrio plateado, plancha de hierro esmaltada de blanco, etc.) que reflejan en determinadas direcciones la luz emitida por la lámpara (en un haz ancho o estrecho según los tipos). Si su construcción es racional se puede conseguir un elevado rendimiento.

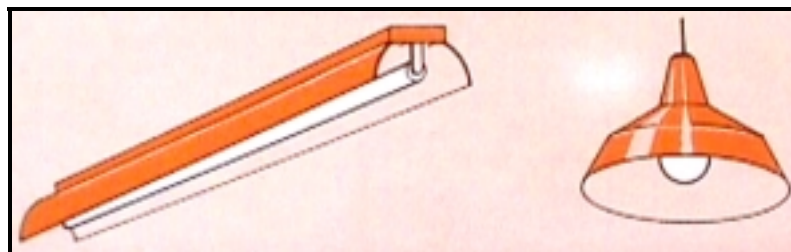


FIGURA 8.2

Los proyectores entran en la categoría de los reflectores. Sirven para concentrar la luz en una dirección bien definida, generalmente sobre superficies delimitadas.

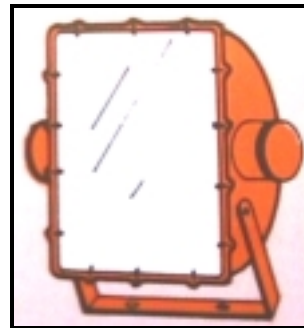


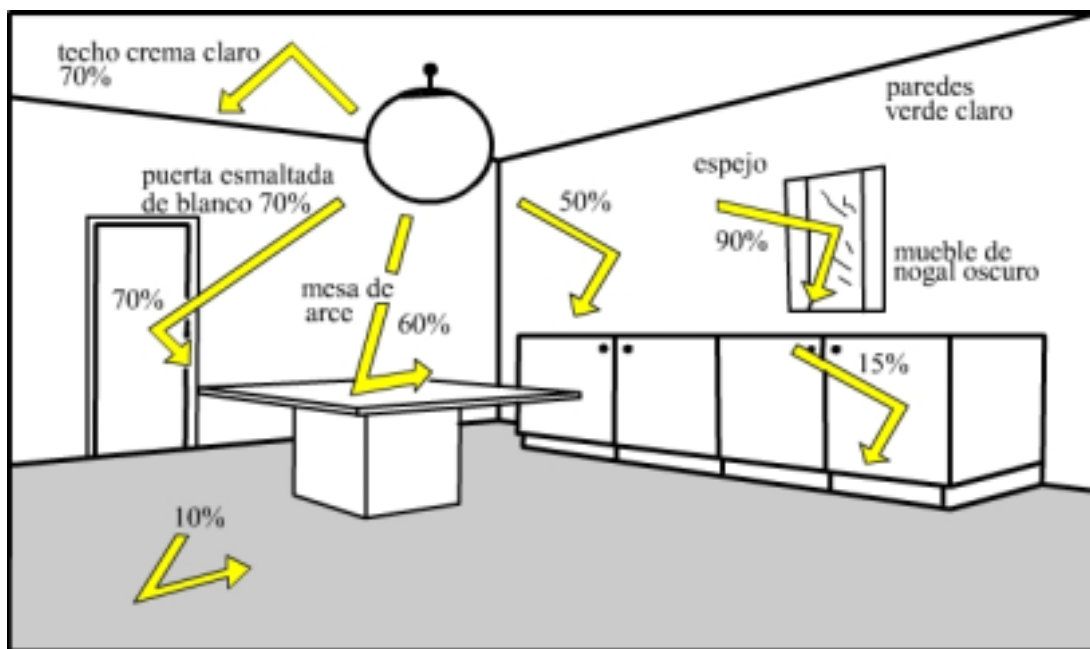
FIGURA 8.3

Refractores

Están constituidos por recipientes de material transparente dotados de una profunda cavidad y cuyo perfil y orientación han sido predeterminados a fin de modificar notablemente la distribución del flujo luminoso. Disminuyen sensiblemente el deslumbramiento.

Algunas luminarias pueden ser a la vez proyectores y refractores. Por ejemplo, el “faro” de un automóvil está constituido por un proyector (concentración de la luz) y un refractor (pantalla frontal de vidrio prensado, dotado de acanaladuras prismáticas).

PODER REFLEJANTE DE LOS MATERIALES Y DE LAS SUPERFICIES



Tipo de reflexión	Materiales	Luz reflejada %
Regular	Vidrio plateado	80 – 90
	Aluminio brillante	75 – 85
	Aluminio pulido y cromo	60 – 70
Difusa	Encalado con yeso	80 – 90
	Arce y maderas similares	60
	Hormigón	15 – 40
	Nogal y maderas similares	15 – 20
Mixta	Esmalte blanco-aluminio satinado	70 – 90
	Aluminio cepillado – cromo satinado	55 – 58

Tonalidad	Color de las paredes Y techos	Luz reflejada %
Clara	Blanco	75 – 90
	Crema-claro	70 – 80
	Verde claro y rosa	55 – 65
	Azul y gris claro	45 – 50
		40 – 45
Media	Beige	25 – 35
		20 – 25
Oscura	Verde, azul, rojo, gris (todos oscuros)	10 – 15
	negro	4

B - POR LA PROTECCIÓN CONTRA LOS CONTACTOS INDIRECTOS

De acuerdo con las normas CEI los aparatos de iluminación se clasifican dentro de las siguientes categorías:

- **aparatos de clase 0:** provistos únicamente de aislamiento funcional (se define como funcional el aislamiento necesario para asegurar el funcionamiento normal del aparato y la protección fundamental contra las tensiones de contacto) y sin dispositivo de toma de tierra. Sólo se pueden emplear conectados a sistemas eléctricos de categoría 0 y/o OS y, por lo tanto, con una tensión de alimentación menor o igual a 50V respecto a tierra en corriente alterna y 75V en corriente continua.

- **aparatos de clase I:** provistos de aislamiento funcional en todas sus partes y dotados de un terminal para borne de puesta a tierra. Si las luminarias se conectan a la red por medio de un cable flexible, la clavija de toma de corriente debe estar dotada de un contacto para la puesta a tierra. Los aparatos de clase I se tienen que proteger mediante la puesta a tierra coordinada con la presencia de dispositivos prontos a

interrumpir la alimentación en caso de avería peligrosa (interruptores automáticos o fusibles).

Se pueden utilizar conectados a sistemas eléctricos cuya tensión sea 50V o más respecto a tierra, en corriente alterna y 75V o más en corriente continua.

- **aparatos de clase II:** provistos de aislamiento especial y sin borne para la puesta a tierra. Se utilizan como alternativa a los de clase I cuando dicha conexión no ofrece garantías en cuanto a su eficiencia, y sólo en sistemas eléctricos de categoría I (de 50 a 1000V en corriente alterna y de 75 a 1500V en corriente continua).

C - POR LA PROTECCIÓN CONTRA CONTACTOS DIRECTOS Y LA PENETRACIÓN DE LÍQUIDOS Y POLVO.

Con relación al tipo de protección prevista, los aparatos destinados a instalaciones en interiores se clasifican del modo siguiente.

Símbolo	Tipo de protección	Aplicación
IP 20	Protección contra contactos directos con los dedos y la entrada de cuerpos sólidos de diámetro mayor de 12mm; sin protección alguna contra la penetración de líquidos.	En los locales secos y sin polvo.
IP 50	Completa protección contra los contactos directos y contra el depósito peligroso de polvo; sin protección alguna contra la penetración de líquidos.	En los locales polvorientos.
IP57	Igual protección al anterior; estanco a la inmersión.	En los locales polvorientos y muy mojados.
IP60	Protección completa contra los contactos directos y la penetración del polvo; sin protección alguna contra la penetración de líquidos.	En los locales secos, aunque muy polvorientos.

Rendimiento

El rendimiento (η , léase eta) de una luminaria se deduce de la relación entre el flujo luminoso que sale del aparato (Φ_a) y el emitido por la lámpara (Φ_e).

$$\eta = \frac{\Phi_a}{\Phi_e}$$

El rendimiento depende de los materiales empleados en la construcción del aparato (en particular, del poder reflectante propio de los materiales o de las pinturas empleados), de la forma del propio aparato y de los medios utilizados para apantallar la fuente de luz.

Depende, además de las condiciones de instalación e incluso en algunos casos, de la temperatura ambiente.

Otro factor que condiciona notablemente el rendimiento de las luminarias es el estado de conservación de las características iniciales: un mal mantenimiento (por ejemplo, falta de limpieza) hace que aquel decaiga sensiblemente. El diagrama que aparece más abajo demuestra de qué forma la eficiencia inicial de un aparato disminuye sensiblemente en el transcurso de seis meses si no se procede a efectuar un mantenimiento periódico (por ejemplo, cada 3 meses).

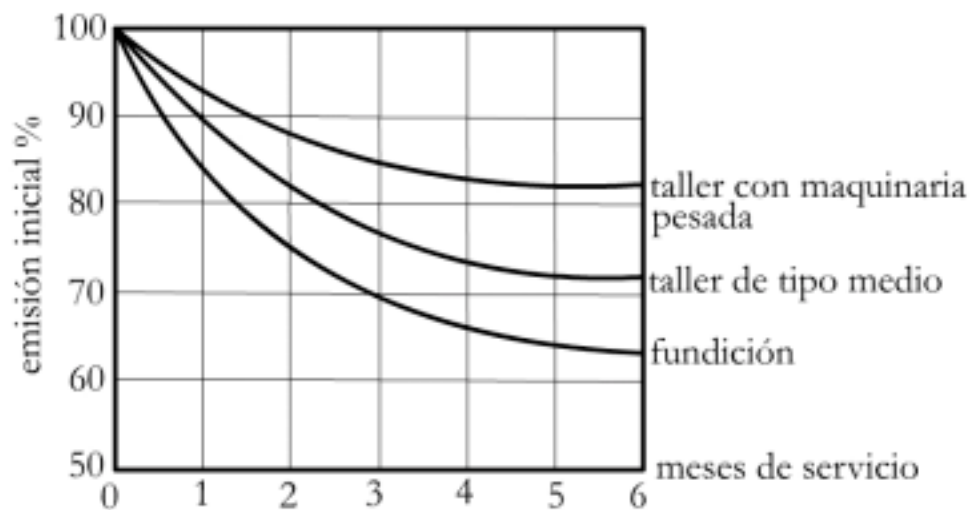


figura 8.4

Curvas fotométricas

Cada lámpara o luminaria se caracteriza por una distribución particular del flujo luminoso.

Por ejemplo, la distribución del flujo luminoso de una lámpara normal de incandescencia es la que indica la figura que aparece a continuación: obsérvese que la intensidad luminosa es máxima entre los 30° y 60° respecto del eje y casi nula por encima del casquillo.

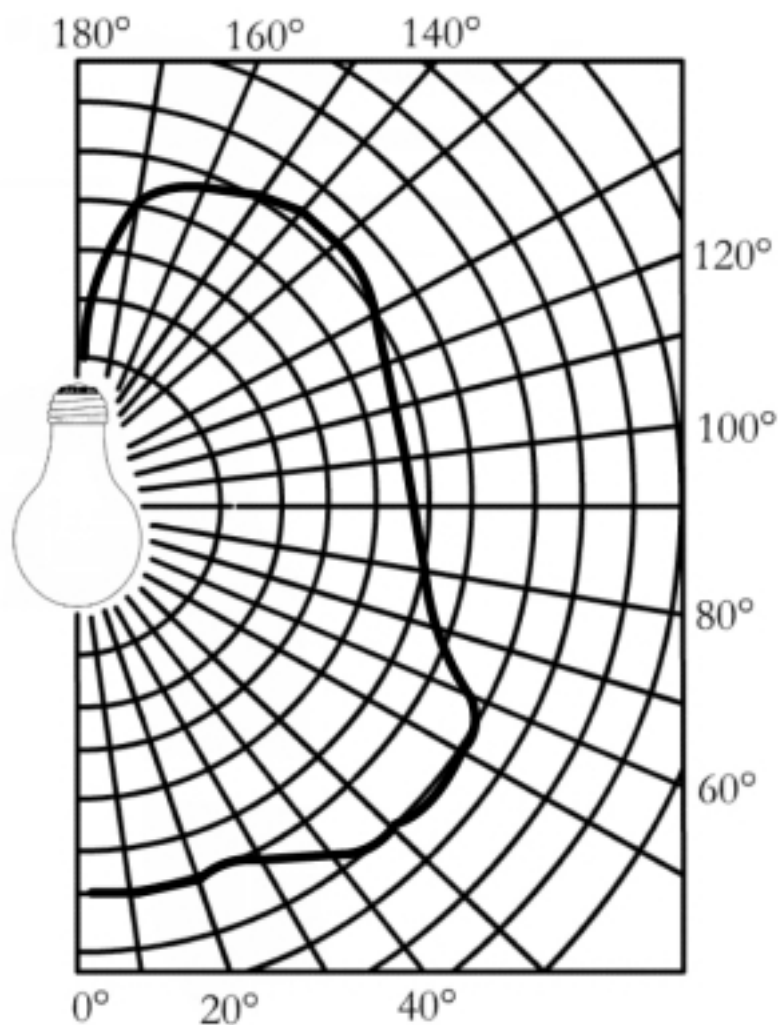


FIGURA 8.5

También las luminarias se caracterizan por un diagrama polar de la intensidad luminosa (o curva fotométrica). Para trazar dichos diagramas se imagina la fuente luminosa reducida a un punto se toman medidas de la intensidad luminosa en un elevado número de direcciones (desde cero a 180°) y los valores obtenidos se trasladan al diagrama.

Para simplificar, dicha curva se limita a sólo dos dimensiones, como si se hubiese practicado una sección de la luminaria siguiendo su eje longitudinal. Las curvas fotométricas se suelen trazar con referencia a un flujo luminoso de 1000 lm, a fin de poder efectuar comparaciones entre aparatos de diferente origen.

Método de Lumen

Este método se utiliza únicamente para el cálculo de alumbrado en interiores y está basado en la definición de lux, que es igual a un lumen por metro cuadrado. Con la información del fabricante sobre la emisión luminosa inicial de cada lámpara, la cantidad instalada y el área de la zona considerada (en metros cuadrados) puede obtenerse el número de lúmenes por metro cuadrado o luxes:

$$E = \frac{\Phi_e}{S} = \frac{\text{Lúmenes emitidos}}{\text{Area en m}^2} = \text{Luxes} \quad 9.1$$

Este valor difiere de los luxes medidos, debido a que algunos lúmenes son absorbidos por la misma luminaria o por la influencia de otros factores tales como la suciedad de la luminaria y la disminución gradual de la emisión de luz de las lámparas, entre otras.

A continuación aparece el procedimiento utilizado en el método de los lúmenes que se puede dividir en cinco puntos fundamentales:

Determinación del nivel de iluminación requerido.

Al final del capítulo 6 se presentan los niveles de iluminación para diversas tareas, recomendados por el informe #29 de la “International Commission on Illumination” (Comisión Internacional de Iluminación) constituida por comités nacionales de iluminación de treinta países (Manual de Alumbrado Westinghouse, 1985). Estas recomendaciones

representan valores mínimos en el lugar mismo de la tarea visual de acuerdo con la práctica actual; una total comodidad visual puede requerir niveles superiores.

Es importante señalar que existen otras publicaciones que recomiendan valores distintos a los propuestos en el capítulo 6.

Determinación del coeficiente de utilización.

El coeficiente de utilización es el cociente de los lúmenes que llegan al plano de trabajo (plano horizontal a 75 cm. del suelo) y los totales generados por la lámpara. Este factor toma en cuenta la eficacia y la distribución de la luminaria, su altura de montaje, las dimensiones del local y las reflectancias de las paredes, techo y suelo. A causa de las múltiples reflexiones que tienen lugar dentro de un local, una parte de luz pasa hacia abajo a través del plano imaginario de trabajo más de una vez, por lo que en algunas circunstancias el coeficiente de utilización suele sobrepasar la unidad. En general cuanto más alto y estrecho sea el local mayor será la proporción de luz absorbida por las paredes y menor el coeficiente de utilización. Este efecto se considera mediante la relación de la cavidad del local (RLC) que se define como sigue:

$$RLC = \frac{5H(\text{largo} + \text{ancho})}{\text{largo} \times \text{ancho}} \quad 9.2$$

Los datos técnicos para distintas luminarias están reunidos en la tabla 9.1 Cuando se trabaja con luminarias no incluidas en dichas páginas, el coeficiente de utilización deberá tomarse de la tabla de otra luminaria de eficacia y curva de distribución similares. El coeficiente de utilización buscado puede determinarse entonces para la propia relación de la cavidad del local y las reflectancias apropiadas de la pared y de la cavidad del techo. Para luminarias montadas o empotradas en el techo, la reflectancia de la cavidad del techo es la misma que la del techo real. Para lámparas suspendidas, en cambio, es necesario obtener la reflectancia efectiva de la cavidad del techo como sigue:

- a) Determinar la relación de la cavidad del techo con la misma expresión utilizada para determinar la cavidad del local considerando H como la distancia desde el plano de

colocación de las luminarias al techo (Figura 9.1). Entonces la relación de cavidad del techo es igual a la del local multiplicada por el coeficiente de la distancia del techo a las luminarias entre la altura de la cavidad local.

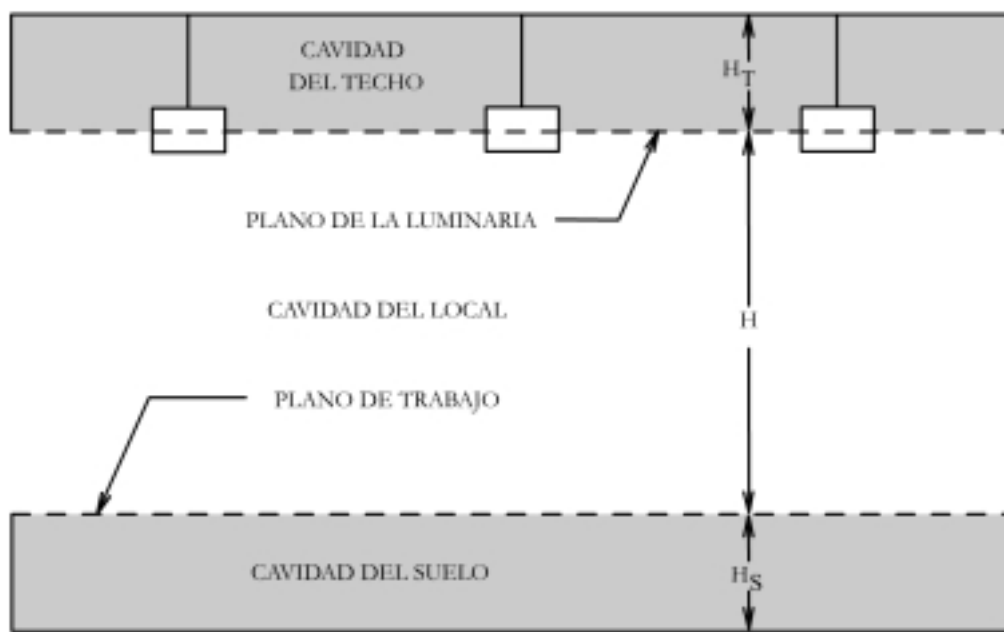


FIGURA 9.1

En la figura 9.1 se muestran:

H = Altura de la cavidad local.

H_T = Altura de la cavidad del techo.

H_S = Altura de la cavidad del suelo.

- b) Determinar la reflectancia efectiva de la cavidad del techo utilizando la tabla 9.2 con las reflectancias base del techo y de la pared (correspondiente a la parte que esta sobre el nivel de las luminarias)

El coeficiente de utilización determinado en la forma indicada será aplicable a zonas que tengan una reflectancia de la cavidad del suelo efectiva del 20%. Si la reflectancia real del suelo difiere sensiblemente del 20% (más de 25% o menos de 15%), dependiendo de la precisión deseada, se recomienda hacer una corrección. Los factores de corrección para

reflectancias del suelo cercanas al 10% y 30% se dan en la tabla 9.3. La reflectancia efectiva de la cavidad del suelo se determina del mismo modo y usando la misma Tabla 9.2 que se usó para la determinación de la reflectancia efectiva del techo.

Determinación del factor de pérdidas totales (FPT)

Desde el primer día en que se pone a funcionar el alumbrado la iluminación va cambiando conforme las lámparas envejecen. Además de la suciedad acumulada en las luminarias y otros factores contribuyen a la pérdida de luz. El efecto neto es casi siempre una disminución del nivel de iluminación, aunque ciertos factores pueden producir un incremento.

El efecto de pérdidas totales es el resultado final por la presencia de todos los factores parciales. Se define como el cociente de la iluminación cuando alcanza su nivel más bajo en el plano de trabajo (antes de efectuar alguna acción correctora) entre el nivel nominal de iluminación de las lámparas (sin considerar factores parciales de pérdidas). Los fabricantes clasifican las lámparas de filamento de acuerdo con la luminosidad que emiten cuando están nuevas, mientras que las lámparas de descarga de vapor (fluorescentes, de mercurio y demás tipos comunes) la catalogan según la emisión luminosa que tienen después de 100 horas de funcionamiento.

Los niveles de iluminación dados al final del capítulo representan los valores mínimos requeridos en todo momento. De acuerdo con esto, el factor de pérdidas totales debe incluir las pérdidas atribuibles a todo tipo de causas, algunas de las cuales se van acumulando hasta que se efectúa una acción correctora. Por esta razón el programa de mantenimiento debe incluir una evolución de los factores de pérdida de luz y las acciones periódicas que deben llevarse a cabo para corregir su efecto. La precisión del proceso de cálculo puede perderse si no se pone cuidado en la estimación de los factores de pérdida y se ignora el programa de mantenimiento.

Los factores de pérdida que deben considerarse se detallan a continuación. Algunos de ellos sólo pueden estimarse de manera aproximada; otros pueden evaluarse a través de pruebas o ensayos. Estos ocho factores son:

- a. Características de funcionamiento de la balastra o reactor.
- b. Tensión de alimentación de las luminarias.
- c. Variaciones de la reflectancia de la luminaria.
- d. Lámparas fundidas.
- e. Temperatura ambiente
- f. Luminarias con intercambio de calor.
- g. Degradación luminosa de la lámpara
- h. Disminución de emisión luminosa por suciedad.

Cálculo de número de luminarias.

El número de luminarias (unidades de alumbrado) pueden calcularse de la siguiente manera:

$$N = \frac{E \cdot S}{\Phi \cdot I \cdot CU \cdot FPT} \quad 9.3$$

donde:

- N = Número de luminarias o unidades alumbrado
- E = Iluminación requerida.
- S = Superficie.
- θ = Flujo luminoso por lámpara
- I = Número de lámparas por luminaria.
- CU = Coeficiente de utilización
- FPT = Factor de pérdidas totales

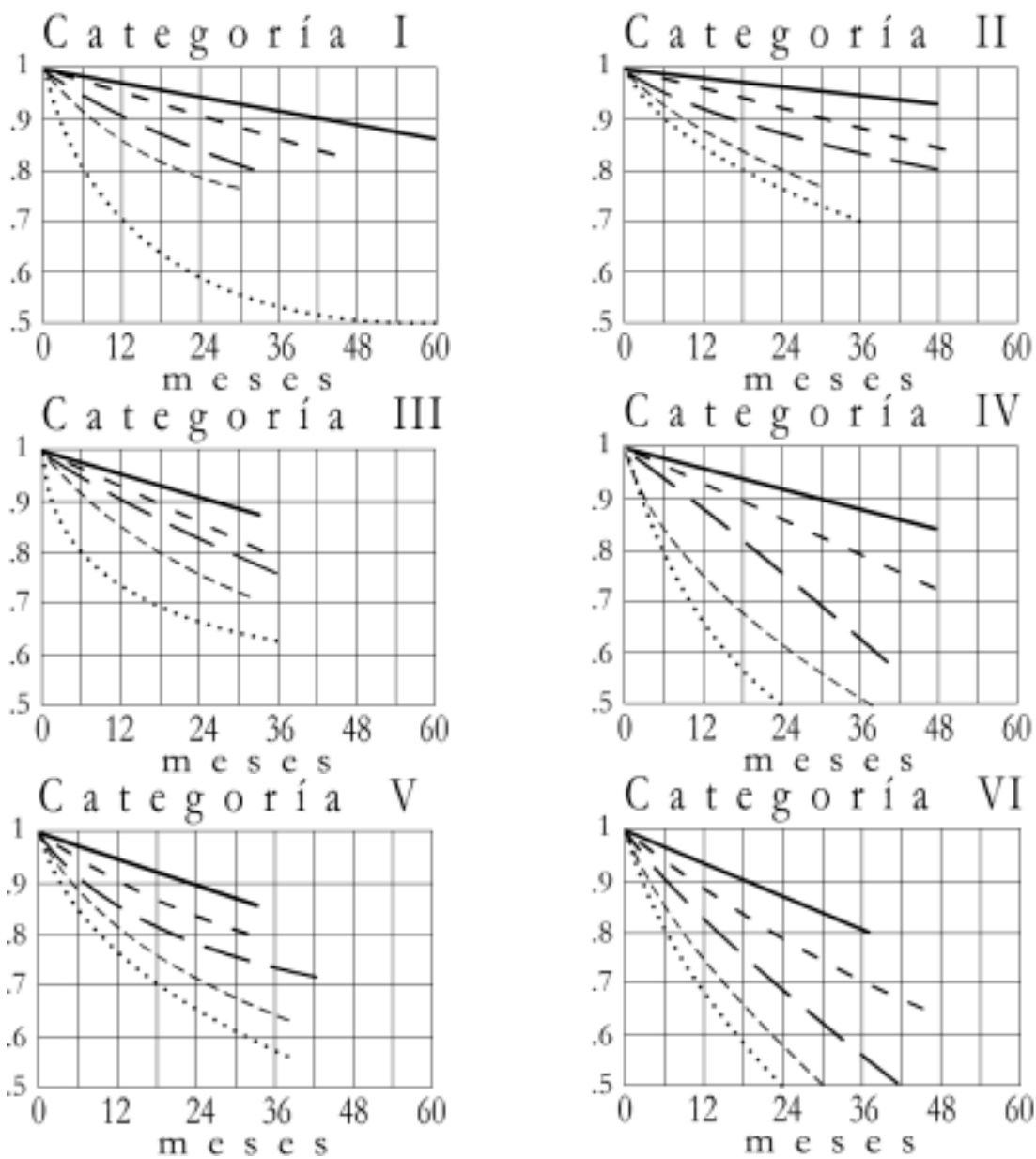
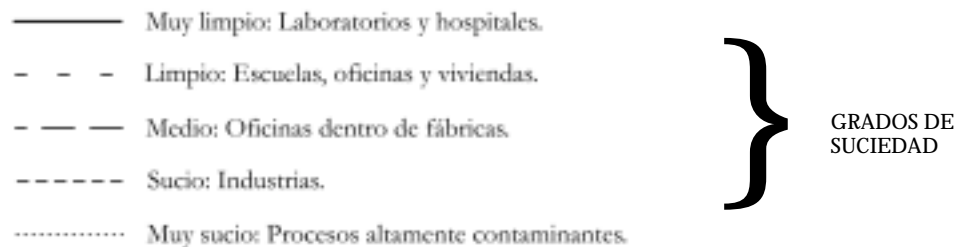


FIGURA 9.2

Figura 9.2 Gráficas del factor de degradación clasificadas de acuerdo con las seis categorías que aparecen en la Tabla 9.1, para cinco diferentes grados de suciedad y dependiendo del lapso transcurrido entre limpiezas consecutivas.

Determinación del acomodo de luminarias

La colocación de las luminarias depende de la arquitectura en general, de las dimensiones del edificio, del tipo de luminaria y de la ubicación de las tomas de energía existentes.

Para conseguir una distribución uniforme de iluminación sobre una zona, se recomienda respetar la separación resultante al usar los factores que aparecen en la nota: “Separación no superior a” de la Tabla 9.1 y que están en función de la altura de montaje (al plano de trabajo). En la mayoría de los casos, resulta necesario colocarlas próximas a fin de obtener los niveles de iluminación requeridos. Frecuentemente los equipos fluorescentes deben montarse en filas continuas.

Si la relación entre la separación y la altura de montaje excede el límite de la Tabla 9.1 se debe escoger mayor número de unidades de menor potencia para eliminar los conos de sombra. Si por el contrario resulta demasiado baja, se deben escoger unidades del mismo tipo, pero más potentes. Una vez determinado el número de luminarias conforme al plano real, se vuelve a calcular el nivel luminoso con la relación:

$$E_e = \frac{N_e \cdot 1 \cdot CU \cdot FPT}{S} \quad 9.4$$

donde:

E_e = Iluminación resultante según nueva especificación

N_e = Número de luminarias de la nueva especificación

Ejemplo de cálculo

Se requiere determinar el alumbrado de una oficina donde se llevarán a cabo labores administrativas normales. Sus dimensiones son 6m. De ancho, 12m. De largo y de altura 2.75m. Se considera una reflectancia de 80% para el techo, de 50% para las paredes y 20% para el piso. Se propone utilizar luminarias de lados opacos (Consultar Tabla 9.1) suspendidas a 25 cm. Del techo. La altura del plano de trabajo se considera a 75 cm. Por lo tanto la altura de la cavidad del local es de 1.75 metros; la del techo es de

0.25 metros y la del piso es de 0.75 metros. Para aplicar la metodología se puede utilizar (para cada cálculo) el formato que aparece al final del ejemplo. Además de facilitar la tarea, constituye parte importante de la memoria de cálculo del proyecto.

De los niveles de iluminación recomendados dentro del capítulo 6 de ésta publicación se desprende que para los trabajos normales de oficina el nivel luminoso recomendado es de 500 lux. La relación de la cavidad del local es:

$$RCL = \frac{5 \times 1.75 (6 + 12)}{6 \times 12} = 2.19$$

La altura de la cavidad del techo es 7 veces más pequeña que la del local, por lo que la relación de cavidad del techo resulta de 0.31. De la misma manera se puede calcular la relación de cavidad del piso que resulta de 0.94.

La reflectancia del techo se obtiene haciendo una interpolación en la Tabla 9.2. Se puede ver que, para una reflectancia base del techo de 80% y de paredes del 50%, la reflectancia efectiva de la cavidad sería del 74% si la relación de la cavidad fuera de 0.4 y 77% si la relación fuera de 0.2; por lo que para este caso puede aproximarse la reflectancia efectiva de la cavidad del techo a un 75.5%. Con este valor de reflectancia del techo se busca en la Tabla 9.1 el C.U.(Coeficiente de utilización) de la luminaria propuesta que resulta de 0.557.

Por lo que respecta a la reflectancia efectiva del piso se puede obtener utilizando la Tabla 9.2: en el apartado de la reflectancia base del piso de 20%, en el renglón correspondiente a 50% de reflectancia de las paredes, no existe una columna de relación de cavidad de 0.94. Sin embargo se puede hacer una interpolación de los valores correspondientes a 0.8 y 1.0, con lo que resulta un valor de 19%.

Para reflectancias efectivas de piso que sean diferentes a 20% debe corregirse el C.U. de acuerdo con los factores de la Tabla 9.3. Sin embargo en este caso no se aplica porque la diferencia de 1% es despreciable. De hecho conviene corregir el C.U. sólo cuando los valores de reflectancia del piso estén cerca de 10% (menos de 15%) o cerca de 30% (más de 25%). Se recomienda leer las notas de la Tabla 9.3 para entender mejor la explicación de los factores.

Para determinar el factor de pérdidas totales de luz se considera que: el rendimiento de la reactancia es de 0.95, el factor de caída de tensión de 1.0, el factor por las variaciones es de la reflectancia de la luminaria de 0.98; no se admiten lámparas fundidas por lo que el factor correspondiente es de 1.0; no hay corrección por cambio de temperatura ambiente; la luminaria no forma parte del sistema de ventilación o aire acondicionado, por lo que el factor de intercambio de calor es de 1.0; el factor de disminución de la emisión luminosa de la lámpara es de 0.8; la degradación por suciedad es de 0.86 (determinada en la Figura 9.2 para luminaria de categoría VI en la curva de “limpio” para la periodicidad de limpieza anual). El producto de todos estos elementos da por resultado un factor de 0.64.

Ahora considerando que la emisión luminosa de cada lámpara es de 2900 lúmenes y que cada luminaria tiene dos lámparas (información proporcionada por el fabricante para luminaria Whestinghouse, modelo F64T6/CW 38.5w), el número de luminarias resulta:

$$N = \frac{500 \times 72}{2900 \times 2 \times 0.557 \times 0.64} = 17.4$$

Si se decide instalar dieciocho luminarias de dos lámparas en tres filas (montadas longitudinalmente), el nivel luminoso resultante es:

$$E_e = \frac{18 \times 2 \times 2900 \times 0.557 \times 0.64}{72} = 517 \text{ lux}$$

La diferencia entre este resultado y el planteamiento original de 500 se considera aceptable.

Formato resumen de datos y resultados:

A. Datos del local			
Dimensiones		Superficie de reflexión	
Longitud	12m	Plafón	80%
Ancho	6m	Muro	50%
Área	72m ²	Piso	20%
Altura techo	2.75m	Altura de montaje	2.5m

B. Datos de la cavidad					
Cavidad del local		Cavidad del plafón		Cavidad del piso	
Altura	1.75	Altura	0.25	Altura	0.75
Relación	2.19	Relación	0.31	Relación	0.94
		Reflectancia efectiva	75.5%	Reflectancia efectiva	19%

C. Datos de la luminaria.				
Marca Catálogo Y tipo	Lámparas por unidad	Lúmenes por lámpara	Coefficiente de utilización (CU)	Factor de pérdidas totales (FPT)
Wh F64T6	2	2900	0.557	0.64

D. Nivel de iluminación (luxes)			
Nivel requerido	500	Nivel resultante	517

E. Corrección del C.U. del piso		
Factor de corrección	de	C.U. corregido
multiplicar	Dividir	$\frac{0.557}{1} = 0.557$
	1	

F. Factor de pérdidas totales.	
Rendimiento del reactor	0.95
Factor de tensión	1.00
Factor de reflectancia	0.98
Factor de lámparas inutilizadas	1.00
Factor de temperatura ambiente	1.00
Factor de intercambio de calor	1.00
Degradación luminosa	0.80
Degradación por suciedad	0.86
Factor de pérdidas totales	0.64

G. Cálculo de relaciones de cavidad.
$RC = \frac{5 H (\text{longitud} + \text{ancho})}{\text{longitud} \times \text{ancho}}$
$RCL = \frac{5 \times 1.75 (12 + 6)}{12 \times 6} = 2.19$
$RCT = \frac{5 \times 0.25 (12 + 6)}{12 \times 6} = 0.31$
$RCS = \frac{5 \times 0.75 (12 + 6)}{12 \times 6} = 0.94$

H. Cálculo del número de luminarias.	N_e=18
$N = \frac{E \cdot S}{\Phi \cdot 1 \cdot CU \cdot FPT} = \frac{500 \times 72}{2 \times 2900 \times 0.557 \times 0.64} = 17.4$	

I. Cálculo del nivel de iluminación resultante
$E_e = \frac{N_e \cdot 1 \cdot \Phi \cdot CU \cdot FPT}{S} = \frac{18 \times 2 \times 2900 \times 0.557 \times 0.64}{72} = 517$

Método punto por punto

ALUMBRADO PARA EXTERIORES

El método punto por punto (o alguna variante de éste) es indispensable para el cálculo de alumbrado de exteriores; además resulta muy útil para entender el proceso de cálculo de alumbrado de exteriores; además resulta muy útil para entender el proceso de cálculo de cualquier alumbrado.

Para la aplicación de este método se requiere de la curva fotométrica que caracteriza a las fuentes de luz. Esta curva proporciona en forma gráfica o tabla la información relativa a la distribución de la luz producida por la unidad de alumbrado o luminaria. En luminarias que tienen una distribución simétrica con respecto al eje vertical que pasa por ellas (consideradas como un punto), resulta suficiente la información de un plano vertical que pase por ese eje, donde se indique la intensidad de

luz (en candelas) para haces con diferentes ángulos de apertura (con respecto al eje). En la Figura 9.3 se presenta un ejemplo.

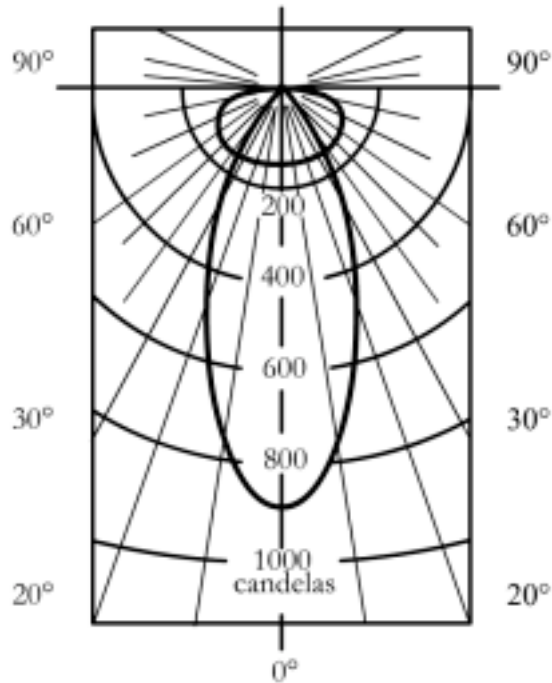


Figura 9.3 Curva de distribución luminosa en plano vertical de una luminaria con distribución luminosa simétrica con respecto al eje vertical.

Existen muchas luminarias para exteriores que tienen una distribución asimétrica. Para esos casos la curva fotométrica debe proporcionar la distribución del flujo luminoso en el plano (horizontal) que se va a iluminar, en donde las coordenadas sean los grados de los ángulos entre la vertical y la línea que describe la curva de distribución luminosa (ver Figura 9.4).

Estas curvas se utilizan en la aplicación del método punto por punto en su forma más general.

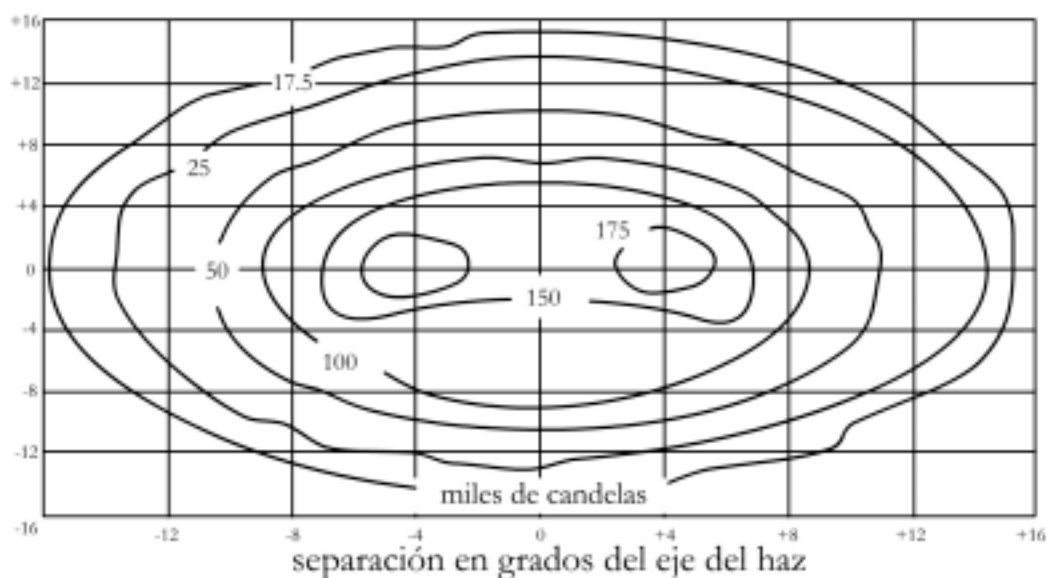


Figura 9.4 Curva en plano horizontal para una luminaria con distribución luminosa asimétrica.

Considérese cierta luminaria suspendida a una altura de “H” metros, situada a la distancia “D” de cierto punto “P”. Esta luminaria produce una intensidad luminosa de “I” candelas (con magnitud y dirección) en el ángulo θ mostrado en la Figura 9.5

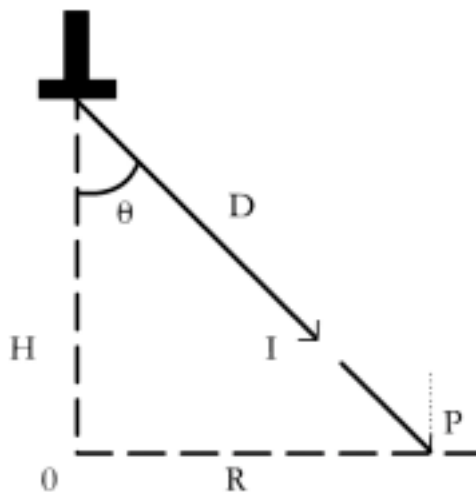


Figura 9.5 Proyecciones de la iluminación de una luminaria sobre los planos vertical y horizontal.

La iluminación en luxes sobre una superficie horizontal será:

$$E_h = \frac{I \cdot \cos\theta}{D^2} = \frac{I \cdot \cos^3\theta}{H^2} \quad 9.5$$

La iluminación sobre un plano vertical será:

$$E_v = \frac{I \cdot \text{sen}\theta}{D^2} \quad 9.6$$

Estas relaciones suponen que la unidad de alumbrado es un punto, lo cual es razonable si “D” es por lo menos cinco veces la dimensión de la luminaria.

Si el punto “P” del plano (horizontal o vertical) tiene contribuciones de iluminación de “n” luminarias, la iluminación total del punto será:

$$E_p = \sum_1^n E_{pi} \quad 9.7$$

Curvas isolux

Debido a que el diseño de las luminarias puede producir que la iluminación tenga una distribución complicada, es común que en vez de las curvas fotométricas – intensidad luminosa en candelas para diferentes ángulos del haz de luz- se utilicen las llamadas curvas isolux, que proporcionan la iluminación en luxes correspondiente a los contornos descritos por las curvas isocandela para cada ángulo y una altura de montaje dada.

Estas curvas son el resultado de pruebas de laboratorio realizadas a cierta altura de montaje de la luminaria, por lo que son exclusivamente válidas para esa luminaria cuando esté colocada a la misma altura. En la Figura 9.7 se presenta un ejemplo de tal curva.

Con las curvas isolux se puede calcular gráficamente el alumbrado de exteriores. Para lograrlo se utiliza un plano en el que se sobre pone la curva isolux en cada poste y se suma la iluminación aportada por cada una de las luminarias. Esto garantiza que cierta luminaria colocada a la altura especificada en la curva isolux y con determinada separación (máxima) entre postes proporcione un nivel mínimo de iluminación a todos los puntos del área.

Subdivisión de la superficie en áreas elementales.

Para el cálculo de la iluminación exterior se pueden utilizar otros procedimientos derivados del método punto por punto que proporcionan resultados más exactos que el método descrito con las curvas isolux, pero que son menos largos y laboriosos que la aplicación rigurosa del método punto por punto.

Aquí se propone un procedimiento que más bien resulta ser un método de revisión, ya que, a partir de supuestos (ensayos), se calcula la iluminación para varios puntos de un plano. Esto permite asegurar que se tiene cierto nivel luminoso en los puntos analizados. Se procede como sigue:

- a) Se subdivide la superficie objeto del proyecto en rectángulos iguales de áreas suficientemente pequeñas, de tal forma que pueda considerarse que la iluminación es uniforme en el interior de estas superficies.
- b) Se calcula el nivel de iluminación medio (E_{medio}) en el interior de cada una de estas áreas utilizando el método punto por punto.

Si las luminarias están colocadas simétricamente respecto al área seleccionada, es suficiente estudiar la cuarta parte de la superficie (o alguna otra fracción conveniente). Esta fracción típica se subdivide a su vez en varias áreas elementales (8 a 20; ver Figura 9.6).

Supongamos que cierta área “S” se subdivide en “m” rectángulos de superficies iguales “s” que recibe luz de “n” luminarias. El flujo luminoso que recibe el rectángulo elemental “i” de la luminaria “j” es:

$$\Phi_{ij} = E_{ij} \cdot s_i \quad 9.8$$

El flujo luminoso total que recibe “i” es:

$$\Phi_i = \sum_1^n E_{ij} \cdot s_i = s_i \sum_1^n E_{ij} \quad 9.9$$

El flujo útil recibido por toda la superficie “S” es:

$$\Phi_m = \sum_1^m \Phi_i = \sum_1^m s_i \sum_1^n E_{ij} = m \cdot s \sum_1^m \sum_1^n E_{ij} = S \sum_1^m \sum_1^n E_{ij} \quad 9.10$$

O sea que el flujo útil es igual a la suma de todos los flujos recibidos por todos los elementos que componen la superficie “S”, pero cada elemento tiene iluminación aportada por todas las luminarias (algunas se pueden despreciar).

Si dividimos este flujo entre el flujo luminoso producido por todas las “n” luminarias consideradas, se puede encontrar la eficiencia de nuestro proyecto de alumbrado.

$$\eta = \frac{\Phi_m}{n \cdot \Phi} \cdot 100 (\%) \quad 9.11$$

El flujo luminoso total dividido entre el área total proporciona la iluminación media. Comparando la iluminación recibida por los distintos elementos de superficie podemos evaluar si cumplimos con la iluminación mínima para toda la superficie y con el factor de uniformidad definido como el cociente de la iluminación mínima entre la iluminación máxima.

Ejemplo de cálculo

Se desea diseñar el alumbrado de una calle de 12m de ancho de doble sentido con camellón. Se plantea la colocación de postes en el camellón. Se requiere de una iluminación de 15 lux con un factor de uniformidad mínimo de 0.3. Se propone una separación de postes de 18 metros.(Nota: la luminaria utilizada en este ejemplo fue seleccionada debido a que ya se contaba con los datos y gráficas necesarias para el desarrollo del mismo, tomando en cuenta que en la actualidad éste tipo de lámpara ha sido desplazado por algunas de mayor eficacia, tales como: aditivos metálicos, vapor de sodio,etc..)

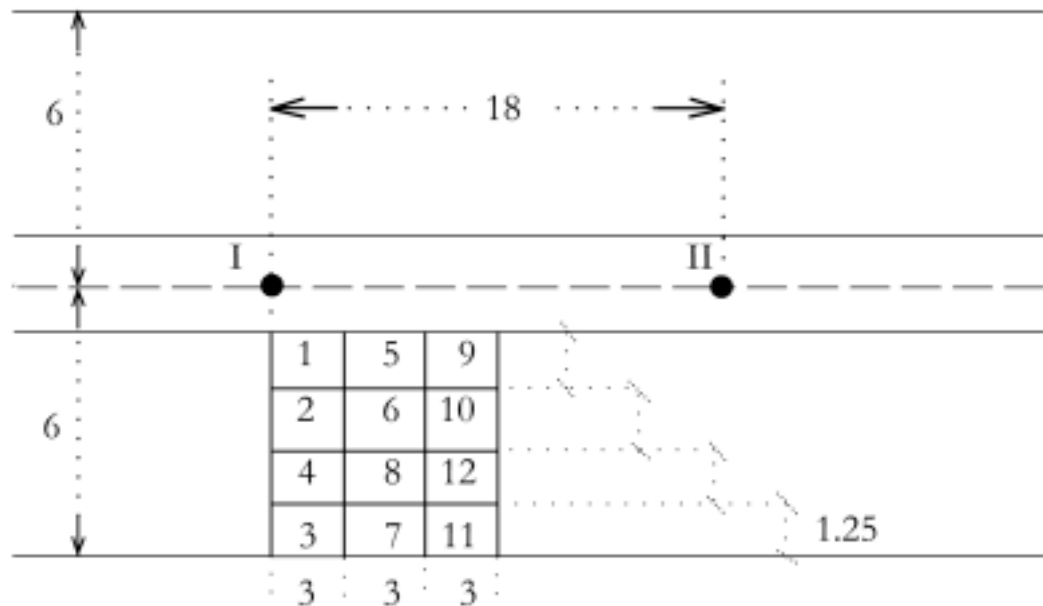
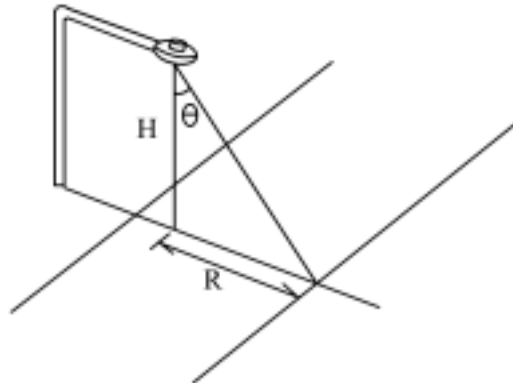


Figura 9.6 Plano de la calle y colocación de postes propuesta.

- a) Se propone una luminaria con distribución simétrica con lámpara de vapor de mercurio de 500 W, 6592 lúmenes en el haz luminoso (la lámpara proporciona 10,500 lúmenes) instalada a 12 m de altura. En la Figura 9.7 se presenta la curva fotométrica.
- b) Como la distribución es simétrica basta con calcular el alumbrado para $\frac{1}{4}$ del área considerada. Se divide el cuarto de área en doce elementos de superficie iguales (ver Figura 9.6).
- c) Se procede a calcular la iluminación media en el punto central de cada elemento con la relación 9.5 proporcionada por el método punto por punto para una superficie horizontal. Todos los elementos reciben iluminación de dos luminarias (la aportación de las otras luminarias se considera despreciable).
- d) Se prepara una forma con la siguiente información: en la primera columna se identifican los elementos del área conforme a la Figura 9.6; en la segunda y tercera columnas se colocan los ángulos que forman el eje vertical de cada luminaria (I y II) con la recta que une la luminaria correspondiente con el centro del elemento de área. Este ángulo se calcula con la relación:

$$\theta = \arctan \frac{R}{H}$$

donde “R” es la distancia (en planta) entre luminaria y elemento de área y “H” es la altura de montaje.



En la cuarta y quinta columnas se coloca la intensidad luminosa obtenida, en forma aproximada, en la Figura 9.7 para el ángulo correspondiente a cada luminaria (columnas segunda y tercera). La sexta y séptima columnas se llenan con la iluminación que llega al elemento de área desde cada luminaria (I y II) calculada con la segunda forma de la expresión 9.5.

Finalmente, en la última columna se acumula la iluminación aportada por las dos luminarias al centro de cada uno de los elementos. Entonces la iluminación media será igual a la suma de todas las aportaciones en la octava columna entre el número de elementos considerados: 23.88 lux.

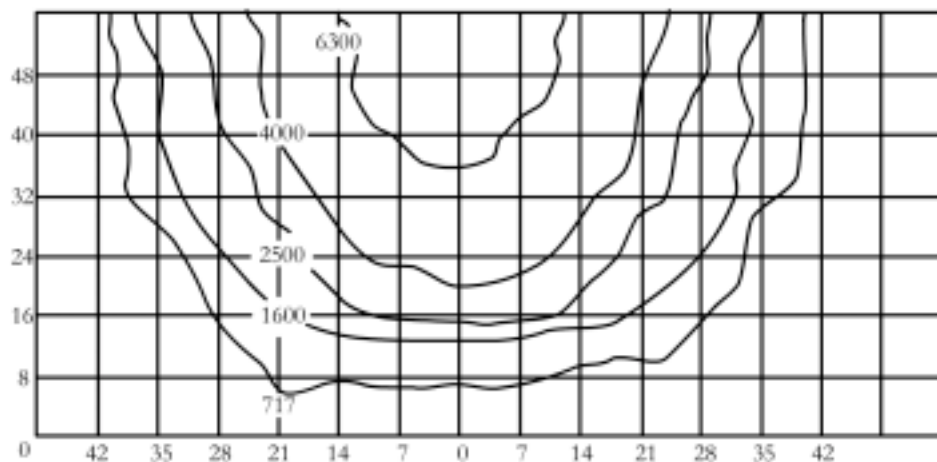


Figura 9.7 Curva fotométrica de luminaria propuesta (Crouse Hinds Domes 3705A)

Elemento de área(#)	Ángulo θ (°)		Intensidad luminosa (candelas)		Iluminación sobre cada área		Iluminación de I y II en cada área
	I	II	I	II	I	II	
1	10.4	54.1	6500	300	42.7	0.4	43.1
2	15.1	54.4	5800	290	36.2	0.4	36.6
3	20.1	54.8	4200	280	25.7	0.4	26.1
4	24.9	55.3	3400	250	19.3	0.3	19.6
5	21.7	48.6	5300	720	31.8	1.4	33.2
6	24.0	49.0	4500	700	23.8	1.4	25.2
7	27.0	49.6	3500	680	17.2	1.3	18.5
8	30.0	50.4	2500	670	11.3	1.2	12.5
9	32.6	41.5	4100	2500	17.0	7.3	24.3
10	33.8	42.2	3500	2100	14.0	5.9	19.9
11	35.5	43.2	3000	1600	11.2	4.3	15.5
12	37.5	44.5	2100	1170	9.2	2.9	12.1
Iluminación de I y II sobre las 12 áreas							286.6

La iluminación máxima corresponde al punto 1 con 43.1 lux. El punto más pobremente iluminado es el 12 con 12.1 lux. Por lo tanto el factor de uniformidad es:

$$\frac{E_{\min}}{E_{\max}} = \frac{12.1}{43.1} = 0.28$$

lo cual es muy cercano al 0.3 planteado. El flujo luminoso útil será:

$$23.88 \times 4 \times 9 \times 5 = 4300 \text{ lúmenes.}$$

Y la eficiencia, de acuerdo con la expresión 9.11 será:

$$23.88 \times 4 \times 9 \times 5 = 4300 \text{ lúmenes.}$$



$$\eta = \frac{4300}{6592} = 65\%$$

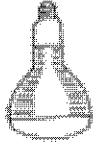
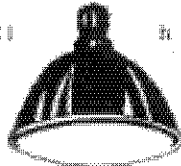
Al parecer se cumple con el factor de uniformidad y con la iluminación mínima, aunque algunos puntos parecen tener menor iluminación. La eficiencia es buena para un alumbrado exterior, pero si además la calle está bordeada por edificios, bardas, u otros elementos verticales, inclusive colocados con separaciones mayores al ancho de la calle, habrá

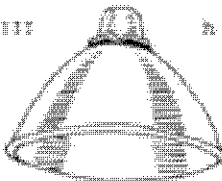
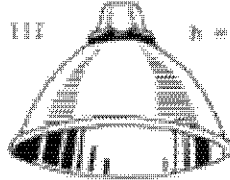
muchas reflexiones que mejorarán sustancialmente la uniformidad del nivel de iluminación y la eficiencia del alumbrado.





En el caso de que no existan elementos verticales que bordeen la calle, la luz contribuirá a alumbrar los alrededores. Todos estos elementos deberán ser considerados en el proyecto.

Tablas 9.1 Coeficientes de Utilización.

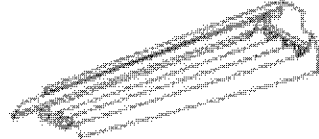
		Techo		80%		50%		10%		0%		
Separación no superior a: "h" por altura de montaje.		Pared	50%	30%	10%	50%	30%	10%	50%	30%	10%	0%
Categoría III	h = 1.3	RCL*										
 Reflector de cúpula ventilado	1	0.85	0.82	0.79	0.79	0.77	0.75	0.73	0.72	0.71	0.69	
	2	0.74	0.69	0.65	0.70	0.68	0.62	0.65	0.62	0.59	0.58	
	3	0.65	0.60	0.54	0.62	0.57	0.53	0.57	0.54	0.51	0.49	
	4	0.58	0.51	0.46	0.55	0.48	0.45	0.51	0.47	0.44	0.42	
	5	0.50	0.44	0.38	0.47	0.42	0.37	0.45	0.40	0.36	0.35	
	6	0.44	0.38	0.33	0.43	1.36	0.32	0.40	0.35	0.32	0.30	
	7	0.40	0.33	0.28	0.38	0.33	0.28	0.36	0.32	0.27	0.26	
	8	0.36	0.29	0.24	0.34	0.28	0.24	0.32	0.27	0.23	0.22	
	9	0.33	0.25	0.20	0.31	0.25	0.20	0.29	0.24	0.20	0.18	
	10	0.29	0.22	0.18	0.28	0.22	0.18	0.26	0.21	0.18	0.17	
Categoría I	h = 1.5	RCL*										
 Lámpara reflectora de filamento R-52. Haz ancho, 500 y 750 W.	1	1.08	1.05	1.02	1.01	0.99	0.97	0.94	0.93	0.91	0.89	
	2	0.98	0.93	0.89	0.93	0.89	0.86	0.88	0.85	0.82	0.80	
	3	0.89	0.83	0.78	0.85	0.80	0.76	0.80	0.76	0.73	0.71	
	4	0.81	0.74	0.68	0.77	0.72	0.67	0.73	0.69	0.65	0.64	
	5	0.73	0.66	0.60	0.70	0.64	0.59	0.65	0.62	0.58	0.56	
	6	0.67	0.59	0.53	0.64	0.58	0.52	0.61	0.56	0.52	0.50	
	7	0.60	0.52	0.47	0.58	0.51	0.46	0.55	0.50	0.46	0.45	
	8	0.54	0.46	0.40	0.52	0.45	0.40	0.49	0.44	0.40	0.38	
	9	0.48	0.40	0.35	0.46	0.39	0.35	0.44	0.38	0.34	0.33	
	10	0.43	0.36	0.30	0.42	0.35	0.30	0.40	0.34	0.30	0.28	

Separación no superior a: "h" por altura de montaje.		Techo		90%		50%		10%		0%		
		Fuente	50%	30%	10%	50%	30%	10%	50%	30%	10%	0%
<p>Categoría I</p>  <p>Lámpara reflector de tipo N-67. Haz estrecho, 500 y 750 W.</p>	h = 1.5	FCI.*	1	1.10	1.08	1.05	1.04	1.02	1.00	0.97	0.95	0.93
			2	1.02	0.98	0.94	0.97	0.94	0.91	0.88	0.85	0.82
			3	0.95	0.90	0.85	0.91	0.87	0.83	0.80	0.77	0.74
			4	0.88	0.82	0.78	0.85	0.80	0.76	0.73	0.70	0.67
			5	0.82	0.76	0.71	0.78	0.74	0.70	0.67	0.64	0.61
			6	0.77	0.70	0.65	0.74	0.69	0.65	0.62	0.59	0.56
			7	0.71	0.65	0.61	0.69	0.64	0.60	0.57	0.54	0.51
			8	0.65	0.60	0.56	0.65	0.59	0.55	0.52	0.49	0.46
			9	0.62	0.56	0.51	0.60	0.55	0.51	0.48	0.45	0.42
			10	0.58	0.51	0.47	0.56	0.51	0.47	0.44	0.41	0.38
<p>Categoría III</p>  <p>Ventilada de porcelana esmaltada, bajas alturas. Lámpara de vapor revestida de iodo 400 W.</p>	h = 1.2	FCI.*	1	0.81	0.79	0.76	0.75	0.74	0.72	0.71	0.69	0.67
			2	0.73	0.69	0.65	0.69	0.66	0.63	0.61	0.59	0.57
			3	0.65	0.60	0.56	0.62	0.59	0.56	0.54	0.52	0.50
			4	0.58	0.53	0.48	0.56	0.52	0.48	0.45	0.43	0.41
			5	0.53	0.47	0.43	0.51	0.48	0.45	0.42	0.40	0.38
			6	0.48	0.42	0.38	0.46	0.41	0.37	0.34	0.32	0.30
			7	0.43	0.37	0.33	0.41	0.36	0.32	0.29	0.27	0.25
			8	0.38	0.32	0.28	0.36	0.32	0.28	0.25	0.23	0.21
			9	0.32	0.27	0.23	0.34	0.29	0.25	0.22	0.20	0.18
			10				0.31	0.26	0.22	0.20	0.18	0.16

Separación no superior a: "h" por altura de montaje.		Techo		80%		50%		10%		0%		
		Fuente	50%	30%	10%	50%	30%	10%	50%	30%	10%	0%
<p>Categoría III</p>  <p>Ventilada de aluminio 400 mm, para grandes alturas. Haz concentrado. Lámpara iodo de vapor de 400 W.</p>	h = 7	FCI.*	1	0.82	0.80	0.78	0.75	0.73	0.72	0.70	0.68	0.67
			2	0.80	0.78	0.76	0.73	0.71	0.70	0.68	0.66	0.65
			3	0.79	0.75	0.71	0.74	0.70	0.68	0.65	0.64	0.62
			4	0.74	0.69	0.65	0.69	0.65	0.62	0.61	0.59	0.57
			5	0.69	0.63	0.59	0.64	0.60	0.57	0.55	0.54	0.52
			6	0.63	0.56	0.54	0.60	0.56	0.52	0.50	0.49	0.47
			7	0.58	0.51	0.48	0.55	0.51	0.48	0.46	0.45	0.43
			8	0.53	0.46	0.43	0.52	0.47	0.44	0.43	0.41	0.40
			9	0.50	0.43	0.41	0.48	0.45	0.43	0.42	0.39	0.38
			10	0.47	0.41	0.38	0.45	0.42	0.37	0.35	0.34	0.32
<p>Categoría III</p>  <p>Ventilada de aluminio 450 mm, grandes alturas. Haz medio. Lámpara de vapor revestida de 400 W.</p>	h = 1.2	FCI.*	1	0.80	0.78	0.74	0.73	0.72	0.71	0.70	0.69	0.67
			2	0.81	0.78	0.74	0.75	0.72	0.70	0.67	0.65	0.64
			3	0.74	0.71	0.74	0.73	0.69	0.67	0.64	0.62	0.60
			4	0.68	0.63	0.69	0.64	0.60	0.57	0.55	0.53	0.51
			5	0.63	0.57	0.63	0.58	0.55	0.51	0.54	0.51	0.49
			6	0.58	0.52	0.48	0.54	0.50	0.46	0.50	0.47	0.44
			7	0.53	0.47	0.43	0.50	0.45	0.42	0.46	0.43	0.40
			8	0.48	0.43	0.39	0.45	0.41	0.38	0.42	0.39	0.36
			9	0.44	0.39	0.35	0.42	0.37	0.34	0.38	0.35	0.33
			10	0.41	0.35	0.31	0.38	0.34	0.30	0.36	0.32	0.30

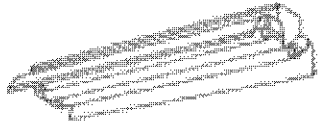
		Techo		80%			50%			10%		0%	
Separación no superior a: "h" por altura de montaje.		Pared	50%	30%	10%	50%	30%	10%	50%	30%	10%	0%	
Categoría III	 h = 1.3	RCL*											
		1	0.86	0.83	0.80	0.78	0.76	0.73	0.68	0.67	0.65	0.63	
		2	0.77	0.72	0.68	0.70	0.66	0.63	0.61	0.59	0.57	0.55	
		3	0.68	0.62	0.57	0.62	0.58	0.54	0.55	0.52	0.49	0.47	
		4	0.61	0.55	0.49	0.56	0.51	0.47	0.50	0.46	0.43	0.41	
		5	0.55	0.48	0.42	0.50	0.45	0.41	0.45	0.41	0.38	0.36	
		6	0.49	0.42	0.37	0.45	0.39	0.35	0.40	0.36	0.33	0.31	
		7	0.43	0.36	0.31	0.40	0.34	0.30	0.36	0.31	0.28	0.26	
		8	0.39	0.32	0.28	0.36	0.30	0.26	0.32	0.28	0.25	0.23	
		9	0.35	0.28	0.24	0.33	0.27	0.23	0.29	0.25	0.22	0.20	
		10	0.32	0.25	0.21	0.29	0.24	0.20	0.26	0.22	0.19	0.17	
	Ventilada de porcelana esmaltada, 675 mm. Lámpara de vapor revestida de fósforo, 1000 W.												
Categoría III	 h = 1	RCL*											
		1	0.91	0.88	0.86	0.84	0.82	0.80	0.75	0.74	0.73	0.71	
		2	0.83	0.78	0.75	0.77	0.73	0.71	0.70	0.67	0.65	0.64	
		3	0.75	0.69	0.65	0.70	0.65	0.62	0.64	0.61	0.58	0.56	
		4	0.68	0.62	0.57	0.63	0.58	0.55	0.58	0.55	0.52	0.50	
		5	0.61	0.55	0.50	0.57	0.52	0.48	0.53	0.49	0.46	0.44	
		6	0.55	0.49	0.44	0.52	0.47	0.43	0.48	0.44	0.41	0.39	
		7	0.50	0.43	0.38	0.47	0.41	0.37	0.43	0.39	0.36	0.34	
		8	0.45	0.38	0.34	0.43	0.37	0.33	0.39	0.35	0.32	0.30	
		9	0.41	0.34	0.30	0.39	0.33	0.29	0.36	0.32	0.28	0.27	
		10	0.37	0.31	0.27	0.35	0.30	0.26	0.33	0.28	0.25	0.24	
	Ventilada de aluminio 675 mm, grandes alturas. Haz medio. Lámpara de vapor revestida de fósforo, 1000 W.												
		Techo		80%			50%			10%		0%	
		Pared	50%	30%	10%	50%	30%	10%	50%	30%	10%	0%	
Categoría III	 h = 1.3	RCL*											
		1	0.80	0.88	0.86	0.81	0.80	0.78	0.71	0.70	0.70	0.67	
		2	0.83	0.79	0.76	0.76	0.73	0.71	0.67	0.66	0.64	0.62	
		3	0.70	0.72	0.68	0.70	0.67	0.64	0.63	0.61	0.59	0.57	
		4	0.71	0.65	0.62	0.66	0.62	0.59	0.59	0.57	0.55	0.53	
		5	0.65	0.60	0.58	0.61	0.57	0.53	0.55	0.52	0.50	0.48	
		6	0.60	0.55	0.50	0.56	0.52	0.48	0.52	0.48	0.46	0.44	
		7	0.55	0.50	0.45	0.52	0.47	0.44	0.48	0.44	0.42	0.40	
		8	0.51	0.45	0.41	0.48	0.43	0.40	0.44	0.41	0.38	0.37	
		9	0.47	0.41	0.38	0.44	0.40	0.37	0.41	0.38	0.35	0.34	
		10	0.44	0.38	0.34	0.41	0.37	0.33	0.38	0.35	0.32	0.31	
	Ventilada de aluminio 675 mm, grandes alturas. Lámpara de vapor revestida de fósforo, 1000 W.												
Categoría III	 h = 1.3	RCL*											
		1	0.88	0.84	0.81	0.79	0.77	0.74	0.69	0.68	0.66	0.64	
		2	0.77	0.71	0.66	0.70	0.65	0.62	0.61	0.59	0.56	0.54	
		3	0.68	0.61	0.56	0.61	0.56	0.52	0.54	0.51	0.48	0.46	
		4	0.60	0.52	0.47	0.54	0.49	0.44	0.48	0.44	0.41	0.39	
		5	0.52	0.45	0.39	0.48	0.42	0.37	0.43	0.38	0.35	0.33	
		6	0.47	0.39	0.34	0.43	0.37	0.32	0.38	0.34	0.30	0.28	
		7	0.42	0.34	0.29	0.38	0.32	0.28	0.34	0.30	0.26	0.24	
		8	0.37	0.30	0.25	0.34	0.28	0.24	0.31	0.26	0.22	0.21	
		9	0.33	0.26	0.21	0.31	0.25	0.21	0.28	0.23	0.19	0.18	
		10	0.30	0.23	0.19	0.28	0.22	0.18	0.25	0.20	0.17	0.15	
	2 lámparas T-2. Cualquier carga. Para lámparas T-10. C.U. x 1.02												

Separación no superior a:
"h" por altura de montaje.

Categoría II	h = 1.3	NCL*	Techo		80%		60%		10%		0%		
			50%	30%	10%	50%	30%	10%	50%	30%	10%	0%	
			1	0.88	0.85	0.81	0.77	0.73	0.73	0.69	0.64	0.62	0.59
			2	0.77	0.71	0.67	0.66	0.64	0.60	0.57	0.55	0.53	0.50
			3	0.68	0.61	0.58	0.60	0.58	0.51	0.51	0.48	0.45	0.42
			4	0.60	0.53	0.47	0.50	0.48	0.43	0.45	0.42	0.39	0.36
			5	0.53	0.45	0.40	0.47	0.41	0.38	0.40	0.36	0.33	0.30
			6	0.47	0.38	0.34	0.42	0.36	0.31	0.36	0.31	0.28	0.26
			7	0.42	0.34	0.29	0.36	0.31	0.27	0.32	0.28	0.24	0.23
			8	0.38	0.30	0.25	0.34	0.28	0.23	0.28	0.24	0.21	0.19
			9	0.34	0.26	0.22	0.30	0.24	0.20	0.25	0.21	0.18	0.16
			10	0.31	0.24	0.19	0.26	0.22	0.18	0.24	0.19	0.16	0.14

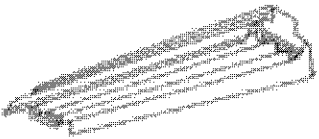
2 lámparas T-12. Cualquier carga.
Para lámparas T-10. C.U. x 1.02

Separación no superior a:
"h" por altura de montaje.

Categoría II	h = 1.3	NCL*	Techo		80%		60%		10%		0%		
			50%	30%	10%	50%	30%	10%	50%	30%	10%	0%	
			1	0.84	0.81	0.78	0.74	0.72	0.70	0.61	0.60	0.59	0.58
			2	0.75	0.70	0.68	0.66	0.62	0.59	0.58	0.53	0.51	0.48
			3	0.66	0.60	0.58	0.58	0.54	0.51	0.48	0.47	0.44	0.42
			4	0.59	0.52	0.47	0.52	0.47	0.43	0.44	0.41	0.38	0.36
			5	0.52	0.45	0.40	0.46	0.41	0.37	0.38	0.36	0.33	0.31
			6	0.47	0.40	0.35	0.42	0.36	0.32	0.36	0.32	0.29	0.27
			7	0.42	0.35	0.30	0.37	0.32	0.28	0.32	0.28	0.25	0.23
			8	0.38	0.31	0.26	0.34	0.28	0.24	0.28	0.25	0.22	0.20
			9	0.34	0.27	0.22	0.30	0.24	0.21	0.25	0.22	0.19	0.17
			10	0.31	0.24	0.20	0.27	0.22	0.18	0.23	0.19	0.17	0.15

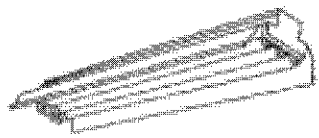
2 lámparas T-12. Cualquier carga. Protección central.
Para lámparas T-10. C.U. x 1.02

Separación no superior a:
"h" por altura de montaje.

Categoría III	h = 1.3	NCL*	Techo		80%		60%		10%		0%		
			50%	30%	10%	50%	30%	10%	50%	30%	10%	0%	
			1	0.88	0.83	0.80	0.78	0.76	0.73	0.69	0.67	0.66	0.64
			2	0.75	0.70	0.66	0.68	0.65	0.61	0.61	0.58	0.56	0.54
			3	0.67	0.60	0.58	0.61	0.59	0.52	0.54	0.51	0.48	0.46
			4	0.59	0.52	0.47	0.54	0.49	0.44	0.48	0.45	0.41	0.39
			5	0.52	0.45	0.39	0.48	0.42	0.38	0.43	0.39	0.36	0.33
			6	0.46	0.38	0.34	0.43	0.37	0.32	0.38	0.34	0.30	0.28
			7	0.41	0.34	0.29	0.38	0.32	0.28	0.34	0.30	0.26	0.25
			8	0.37	0.30	0.25	0.34	0.28	0.24	0.31	0.26	0.23	0.21
			9	0.33	0.26	0.22	0.31	0.25	0.21	0.28	0.23	0.20	0.18
			10	0.30	0.23	0.19	0.26	0.22	0.18	0.25	0.21	0.17	0.16

Lámparas T-12. 435 a 800 mA.
Para lámparas T-10. C.U. x 1.02

Separación no superior a:
"h" por altura de montaje.

Categoría II	h = 1.3	NCL*	Techo		80%		60%		10%		0%		
			50%	30%	10%	50%	30%	10%	50%	30%	10%	0%	
			1	0.88	0.82	0.78	0.76	0.73	0.71	0.64	0.63	0.62	0.59
			2	0.75	0.70	0.66	0.67	0.63	0.59	0.57	0.55	0.52	0.50
			3	0.66	0.60	0.58	0.59	0.54	0.50	0.51	0.48	0.45	0.42
			4	0.59	0.52	0.46	0.52	0.47	0.42	0.45	0.41	0.38	0.36
			5	0.51	0.44	0.39	0.46	0.40	0.36	0.40	0.36	0.33	0.30
			6	0.46	0.38	0.33	0.41	0.35	0.31	0.35	0.31	0.28	0.26
			7	0.41	0.34	0.29	0.37	0.32	0.27	0.32	0.28	0.24	0.23
			8	0.37	0.30	0.25	0.33	0.27	0.23	0.28	0.24	0.21	0.19
			9	0.33	0.26	0.21	0.30	0.24	0.20	0.25	0.21	0.18	0.16
			10	0.30	0.23	0.19	0.27	0.21	0.18	0.23	0.19	0.16	0.14

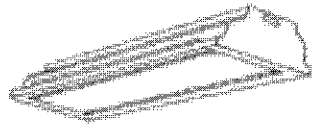
3 lámparas T-12. 435 a 800 mA.
Para lámparas T-10. C.U. x 1.02

		Techo		80%		50%		30%		0%		
Separación no superior a: "h" por altura de montaje.		Pared		50%	30%	10%	50%	30%	10%	50%	0%	
Categoría V	h = 1.5	RCL*										
		1	0.70	0.66	0.63	0.62	0.59	0.57	0.55	0.51	0.48	0.47
		2	0.60	0.54	0.50	0.53	0.49	0.46	0.45	0.42	0.40	0.37
		3	0.52	0.46	0.41	0.45	0.41	0.38	0.36	0.35	0.33	0.31
		4	0.46	0.39	0.34	0.41	0.36	0.32	0.35	0.31	0.28	0.26
		5	0.40	0.33	0.28	0.35	0.30	0.26	0.31	0.27	0.24	0.22
		6	0.36	0.29	0.24	0.32	0.26	0.22	0.27	0.23	0.20	0.18
		7	0.32	0.25	0.21	0.28	0.23	0.19	0.25	0.21	0.17	0.16
		8	0.29	0.22	0.18	0.26	0.20	0.17	0.22	0.18	0.15	0.13
		9	0.26	0.19	0.15	0.23	0.18	0.14	0.20	0.16	0.13	0.11
10	0.23	0.17	0.13	0.21	0.16	0.12	0.18	0.14	0.11	0.10		



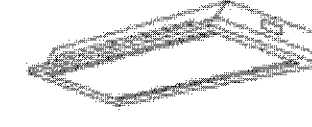
2 lámparas T-12 430 mA.
Para 800 mA. C.U. x 0.90

		Techo		80%		50%		30%		0%		
Separación no superior a: "h" por altura de montaje.		Pared		50%	30%	10%	50%	30%	10%	50%	0%	
Categoría V	h = 1.2	RCL*										
		1	0.63	0.61	0.59	0.59	0.56	0.56	0.55	0.54	0.53	0.52
		2	0.57	0.54	0.51	0.54	0.51	0.49	0.50	0.49	0.47	0.46
		3	0.51	0.48	0.44	0.49	0.45	0.43	0.45	0.44	0.42	0.41
		4	0.46	0.42	0.39	0.44	0.41	0.38	0.42	0.39	0.37	0.36
		5	0.42	0.37	0.34	0.40	0.36	0.34	0.39	0.36	0.33	0.32
		6	0.38	0.34	0.30	0.37	0.33	0.30	0.35	0.32	0.29	0.28
		7	0.35	0.30	0.27	0.33	0.29	0.27	0.32	0.29	0.26	0.25
		8	0.31	0.27	0.24	0.30	0.26	0.23	0.29	0.26	0.23	0.22
		9	0.28	0.24	0.21	0.27	0.23	0.20	0.26	0.23	0.20	0.19
10	0.25	0.21	0.18	0.25	0.21	0.18	0.24	0.20	0.18	0.17		



2 lámparas T-12 430 mA. Lente
prismática 30 cm ancha. Para
lámparas T-10. C.U. x 1.02

		Techo		80%		50%		30%		0%		
Separación no superior a: "h" por altura de montaje.		Pared		50%	30%	10%	50%	30%	10%	50%	0%	
Categoría V	h = 1.2	RCL*										
		1	0.73	0.71	0.68	0.69	0.67	0.65	0.64	0.62	0.61	0.60
		2	0.66	0.62	0.58	0.62	0.58	0.57	0.56	0.56	0.55	0.53
		3	0.59	0.55	0.51	0.56	0.53	0.50	0.53	0.50	0.48	0.47
		4	0.53	0.48	0.45	0.51	0.47	0.44	0.48	0.45	0.43	0.41
		5	0.48	0.43	0.39	0.46	0.42	0.39	0.44	0.40	0.38	0.36
		6	0.44	0.38	0.34	0.42	0.37	0.34	0.40	0.36	0.33	0.32
		7	0.39	0.34	0.30	0.38	0.33	0.30	0.36	0.32	0.30	0.28
		8	0.36	0.30	0.26	0.34	0.30	0.26	0.33	0.29	0.26	0.25
		9	0.32	0.27	0.23	0.31	0.26	0.23	0.29	0.25	0.23	0.21
10	0.29	0.24	0.20	0.28	0.23	0.20	0.27	0.23	0.20	0.18		






4 lámparas T-12 430 mA. Lente
prismática 60 cm ancha. Para
lámparas T-10. C.U. x 1.01



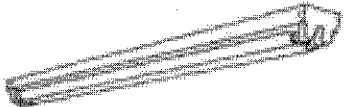

		Techo		80%		50%		30%		0%		
Separación no superior a: "h" por altura de montaje.		Pared		50%	30%	10%	50%	30%	10%	50%	0%	
Categoría V	h = 1.2	RCL*										
		1	0.86	0.84	0.82	0.82	0.81	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75
		2	0.80	0.76	0.73	0.76	0.74	0.72	0.73	0.71	0.69	0.68
		3	0.74	0.70	0.66	0.71	0.68	0.65	0.68	0.66	0.64	0.63
		4	0.69	0.64	0.61	0.66	0.63	0.60	0.64	0.61	0.59	0.58
		5	0.64	0.59	0.55	0.62	0.58	0.55	0.60	0.57	0.54	0.53
		6	0.60	0.55	0.51	0.58	0.54	0.51	0.56	0.53	0.50	0.49
		7	0.56	0.51	0.47	0.54	0.50	0.47	0.52	0.49	0.46	0.45
		8	0.52	0.47	0.43	0.50	0.46	0.43	0.48	0.45	0.42	0.41
		9	0.48	0.43	0.39	0.46	0.42	0.39	0.44	0.41	0.38	0.37
10	0.44	0.39	0.35	0.42	0.38	0.35	0.40	0.37	0.34	0.33		
11	0.40	0.35	0.31	0.38	0.34	0.31	0.36	0.33	0.30	0.29		
12	0.36	0.31	0.28	0.35	0.30	0.27	0.33	0.30	0.27	0.26		
13	0.32	0.28	0.24	0.31	0.27	0.24	0.30	0.26	0.24	0.23		
14	0.29	0.24	0.21	0.28	0.24	0.21	0.27	0.23	0.21	0.20		
15	0.27	0.22	0.19	0.26	0.23	0.19	0.25	0.21	0.18	0.17		



4 lámparas T-12 430 mA. Lente
prismática 60 cm ancha. Para
lámparas T-10. C.U. x 1.02

Separación no superior a: "h" por altura de montaje.		Techo			50%			10%			0%		
		Pared	50%	30%	10%	50%	30%	10%	50%	30%	10%	0%	
Categoría V  6 lámparas T-12 430 mA. Lente prismática 1.2 x 1.2 m. Para lámparas T-10. C.U. x 1,05	h = 1.2	RCL*											
		1	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.54	0.52	0.51	0.50	0.49	
		2	0.54	0.51	0.48	0.51	0.49	0.47	0.46	0.45	0.45	0.44	
		3	0.49	0.45	0.42	0.45	0.43	0.41	0.44	0.41	0.40	0.39	
		4	0.44	0.40	0.37	0.42	0.39	0.36	0.40	0.37	0.36	0.34	
		5	0.40	0.35	0.32	0.38	0.35	0.32	0.36	0.33	0.31	0.30	
		6	0.36	0.32	0.29	0.35	0.31	0.28	0.33	0.30	0.28	0.27	
		7	0.33	0.29	0.25	0.32	0.28	0.25	0.30	0.27	0.25	0.24	
		8	0.30	0.25	0.22	0.28	0.25	0.22	0.27	0.24	0.22	0.21	
		9	0.27	0.22	0.19	0.25	0.22	0.19	0.25	0.21	0.19	0.18	
10	0.24	0.20	0.17	0.23	0.20	0.17	0.22	0.19	0.17	0.16			
Categoría V  6 lámparas T-12 430 mA. Lente prismática 1.2 x 1.2 m. Para lámparas T-10. C.U. x 1,02	h = 1.3	RCL*											
		1	0.59	0.57	0.55	0.58	0.54	0.52	0.51	0.50	0.49	0.48	
		2	0.53	0.50	0.47	0.50	0.48	0.45	0.47	0.45	0.44	0.43	
		3	0.48	0.44	0.41	0.45	0.42	0.40	0.43	0.40	0.39	0.38	
		4	0.43	0.39	0.36	0.41	0.38	0.35	0.39	0.36	0.34	0.33	
		5	0.38	0.35	0.31	0.37	0.34	0.31	0.35	0.32	0.30	0.29	
		6	0.35	0.31	0.28	0.34	0.30	0.28	0.32	0.29	0.27	0.26	
		7	0.32	0.28	0.25	0.31	0.27	0.25	0.29	0.26	0.24	0.23	
		8	0.29	0.25	0.22	0.28	0.24	0.22	0.27	0.24	0.21	0.20	
		9	0.26	0.22	0.19	0.25	0.21	0.19	0.24	0.21	0.19	0.18	
10	0.24	0.20	0.17	0.23	0.19	0.17	0.22	0.19	0.16	0.16			

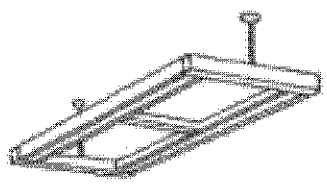
Separación no superior a: "h" por altura de montaje.		Techo			50%			10%			0%		
		Pared	50%	30%	10%	50%	30%	10%	50%	30%	10%	0%	
Categoría V  4 lámparas T-12 430 mA. Lente prismática 60 cm ancho. Para lámparas T-10. C.U. x 1,02	h = 1.2	RCL*											
		1	0.58	0.54	0.52	0.52	0.50	0.48	0.47	0.46	0.45	0.44	
		2	0.53	0.47	0.45	0.47	0.44	0.42	0.43	0.41	0.40	0.39	
		3	0.45	0.41	0.38	0.42	0.39	0.37	0.39	0.37	0.36	0.34	
		4	0.41	0.36	0.34	0.38	0.35	0.32	0.35	0.33	0.31	0.30	
		5	0.37	0.32	0.29	0.34	0.31	0.28	0.32	0.29	0.27	0.26	
		6	0.33	0.29	0.26	0.31	0.28	0.25	0.29	0.27	0.24	0.23	
		7	0.30	0.26	0.23	0.28	0.25	0.22	0.27	0.24	0.22	0.20	
		8	0.27	0.23	0.20	0.25	0.22	0.20	0.24	0.21	0.19	0.18	
		9	0.25	0.20	0.18	0.23	0.20	0.17	0.22	0.19	0.17	0.16	
10	0.22	0.18	0.16	0.21	0.18	0.15	0.20	0.17	0.15	0.14			

		Techo		60%			70%			80%		
Separación no superior a: "h" por altura de montaje.		Pared	50%	10%	50%	30%	10%	50%	30%	10%		
<p>Categoría V</p> <p>h = 1.2</p>  <p>2 lámparas T-12 430 mA. Envoltura prismática 30 cm ancha.</p>		ACL*										
		1	0.58	0.58	0.53	0.55	0.53	0.51	0.51	0.50	0.50	
		2	0.50	0.50	0.53	0.50	0.55	0.52	0.55	0.52	0.48	
		3	0.54	0.49	0.45	0.52	0.48	0.45	0.50	0.45	0.43	
		4	0.49	0.43	0.40	0.47	0.43	0.39	0.45	0.41	0.38	
		5	0.44	0.38	0.34	0.43	0.38	0.34	0.40	0.36	0.33	
		6	0.40	0.34	0.30	0.38	0.34	0.30	0.37	0.32	0.29	
		7	0.36	0.31	0.27	0.35	0.30	0.26	0.33	0.29	0.26	
		8	0.32	0.27	0.24	0.32	0.27	0.23	0.30	0.26	0.23	
		9	0.29	0.24	0.21	0.29	0.24	0.20	0.27	0.23	0.20	
10	0.27	0.22	0.19	0.26	0.21	0.18	0.25	0.21	0.18			
<p>Categoría V</p> <p>h = 1.2</p>  <p>4 lámparas T-12 430 mA. Envoltura prismática 60 cm ancha.</p>		1	0.66	0.64	0.61	0.64	0.62	0.60	0.61	0.59	0.57	
		2	0.59	0.56	0.52	0.57	0.54	0.51	0.55	0.52	0.49	
		3	0.53	0.48	0.45	0.52	0.48	0.44	0.49	0.45	0.43	
		4	0.48	0.43	0.39	0.47	0.42	0.38	0.45	0.41	0.38	
		5	0.43	0.38	0.34	0.42	0.37	0.34	0.40	0.36	0.33	
		6	0.39	0.34	0.30	0.38	0.34	0.30	0.36	0.32	0.29	
		7	0.35	0.30	0.26	0.34	0.30	0.26	0.33	0.29	0.26	
		8	0.32	0.27	0.23	0.31	0.26	0.23	0.30	0.26	0.23	
		9	0.28	0.24	0.20	0.28	0.23	0.20	0.27	0.23	0.20	
		10	0.26	0.21	0.18	0.25	0.21	0.18	0.25	0.20	0.17	
<p>Categoría I</p> <p>h = 1.5</p>  <p>2 lámparas desmontables cualquier carga.</p>		ACL*										
		1	0.63	0.78	0.75	0.78	0.76	0.72	0.73	0.70	0.67	
		2	0.71	0.65	0.60	0.68	0.62	0.57	0.62	0.58	0.54	
		3	0.62	0.55	0.49	0.55	0.53	0.47	0.52	0.49	0.45	
		4	0.55	0.47	0.41	0.52	0.45	0.39	0.45	0.42	0.37	
		5	0.48	0.40	0.34	0.45	0.38	0.33	0.42	0.36	0.31	
		6	0.43	0.35	0.29	0.41	0.33	0.28	0.38	0.31	0.26	
		7	0.38	0.30	0.25	0.38	0.29	0.24	0.34	0.27	0.23	
		8	0.34	0.26	0.21	0.33	0.25	0.21	0.30	0.24	0.19	
		9	0.30	0.23	0.18	0.30	0.23	0.18	0.27	0.21	0.17	
10	0.28	0.21	0.16	0.27	0.20	0.15	0.25	0.19	0.15			
<p>Categoría V</p> <p>h = 1.2</p>  <p>1 lámpara cualquier carga. Lente prismática 60 cm ancha y 30 cm alta.</p>		1	0.64	0.62	0.60	0.63	0.61	0.59	0.60	0.59	0.57	
		2	0.56	0.55	0.52	0.57	0.54	0.51	0.55	0.52	0.50	
		3	0.52	0.48	0.45	0.53	0.47	0.44	0.49	0.45	0.44	
		4	0.47	0.42	0.38	0.45	0.42	0.38	0.45	0.41	0.38	
		5	0.42	0.37	0.33	0.42	0.37	0.34	0.40	0.36	0.34	
		6	0.38	0.33	0.30	0.38	0.33	0.30	0.37	0.32	0.30	
		7	0.35	0.30	0.26	0.34	0.30	0.26	0.33	0.29	0.26	
		8	0.31	0.26	0.23	0.31	0.26	0.23	0.30	0.26	0.23	
		9	0.28	0.23	0.20	0.28	0.23	0.20	0.27	0.23	0.20	
		10	0.26	0.21	0.18	0.25	0.21	0.18	0.25	0.21	0.18	

Separación no superior a "h" por altura de montaje.

Categoría VI	h = 1.6	RCL*	Techo			70%			50%		
			Fared	50%	30%	10%	50%	30%	10%	50%	30%
		1	0.58	0.55	0.52	0.58	0.55	0.54	0.42	0.41	0.38
		2	0.58	0.54	0.51	0.51	0.48	0.44	0.37	0.35	0.32
		3	0.52	0.48	0.42	0.45	0.40	0.37	0.32	0.29	0.27
		4	0.46	0.40	0.35	0.40	0.35	0.31	0.28	0.25	0.23
		5	0.40	0.34	0.30	0.35	0.30	0.26	0.25	0.22	0.20
		6	0.36	0.30	0.26	0.31	0.27	0.23	0.22	0.20	0.17
		7	0.32	0.26	0.23	0.28	0.23	0.19	0.20	0.17	0.14
		8	0.28	0.23	0.19	0.25	0.20	0.17	0.18	0.15	0.13
		9	0.20	0.20	0.17	0.23	0.18	0.15	0.17	0.13	0.11
		10	0.24	0.18	0.15	0.21	0.16	0.13	0.15	0.12	0.10

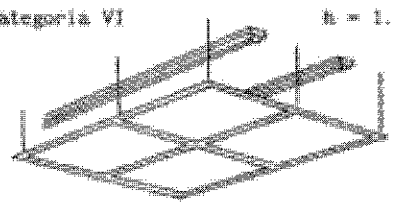
3 lámparas cualquier carga.
Índex opacos.



Categoría VI

Categoría VI	h = 1.5 a 2	RCL*	Techo			70%			50%		
			Fared	50%	30%	10%	50%	30%	10%	50%	30%
		1				0.60	0.58	0.56	0.58	0.55	0.54
		2				0.53	0.49	0.45	0.51	0.47	0.43
		3				0.47	0.42	0.37	0.45	0.41	0.36
		4				0.41	0.38	0.32	0.39	0.35	0.31
		5				0.37	0.31	0.27	0.35	0.30	0.26
		6				0.33	0.27	0.23	0.31	0.25	0.23
		7				0.29	0.24	0.20	0.26	0.23	0.20
		8				0.26	0.21	0.18	0.25	0.20	0.17
		9				0.23	0.19	0.15	0.23	0.18	0.15
		10				0.21	0.17	0.13	0.21	0.16	0.13

Techo luminoso. Transmisión 50%.
Reflectancia de cavidad 85%.



Categoría VI	RCL*	Techo			70%			50%		
		Fared	50%	30%	10%	50%	30%	10%	50%	30%	10%
	1	0.42	0.40	0.36	0.38	0.35	0.33	0.25	0.24	0.23
	2	0.37	0.34	0.32	0.32	0.29	0.27	0.22	0.20	0.19
	3	0.32	0.29	0.26	0.28	0.25	0.23	0.19	0.17	0.16
	4	0.28	0.25	0.22	0.25	0.22	0.19	0.17	0.15	0.13
	5	0.25	0.21	0.19	0.22	0.19	0.16	0.15	0.13	0.11
	6	0.23	0.19	0.16	0.20	0.16	0.14	0.14	0.12	0.10
	7	0.20	0.17	0.14	0.17	0.14	0.12	0.12	0.10	0.08
	8	0.18	0.15	0.12	0.15	0.13	0.10	0.11	0.09	0.08
	9	0.17	0.13	0.10	0.15	0.11	0.09	0.10	0.08	0.07
	10	0.15	0.12	0.09	0.15	0.10	0.08	0.09	0.07	0.06

Medida sin reflector.

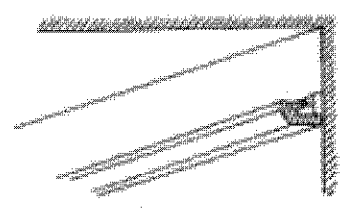


Tabla 9.2 Reflectancias efectivas de cavidad

Reflectancia base de piso o techo de 90%															
Ref pared %	Relación de cavidad														
	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	5.0	6.0	8.0	10.0
90	89	88	87	87	86	85	83	82	80	79	77	75	73	68	65
80	88	87	86	85	83	80	77	75	72	70	69	59	61	55	51
70	88	86	84	82	80	76	72	68	64	61	58	53	49	42	38
50	86	84	80	77	75	68	62	57	52	48	44	38	34	27	22
30	85	81	77	73	69	61	53	47	42	37	33	28	24	18	15
10	84	79	74	69	64	55	47	40	34	31	25	20	16	12	09
0	82	76	73	67	62	51	43	36	30	26	22	18	11	06	04

Reflectancia base de piso o techo de 80%															
Ref pared %	Relación de cavidad														
	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	5.0	6.0	8.0	10.0
90	79	79	78	78	77	75	74	73	72	71	70	68	66	62	59
80	78	77	76	75	74	72	69	67	65	63	61	58	55	50	46
70	78	76	75	73	72	68	64	61	58	55	53	48	44	38	33
50	77	74	71	69	67	61	56	51	47	43	40	35	31	25	21
30	76	72	68	65	62	54	48	42	37	33	30	25	22	17	14
10	74	70	65	61	57	49	41	35	30	26	22	18	15	11	08
0	72	68	57	57	55	46	38	32	27	24	20	14	10	05	03

Reflectancia base de piso o techo de 70%															
Ref pared %	Relación de cavidad														
	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	5.0	6.0	8.0	10.0
90	70	69	69	68	68	67	66	65	64	63	63	61	60	57	55
80	69	68	67	66	65	62	60	60	58	57	55	52	51	46	43
70	68	67	65	64	62	59	56	54	52	50	48	44	41	35	31
50	67	65	63	60	58	54	49	45	42	38	26	31	28	23	19
30	66	63	59	56	53	46	40	36	32	29	26	22	19	15	12
10	65	61	57	53	50	42	36	31	27	23	20	16	13	10	08
0	64	58	54	50	47	40	33	29	24	21	17	12	09	05	03

Reflectancia base de piso o techo de 60%															
Ref pared %	Relación de cavidad														
	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	5.0	6.0	8.0	10.0
90	60	60	60	59	59	59	58	58	57	57	57	56	55	53	51
80	59	59	58	57	57	55	54	53	52	50	49	48	45	42	39
70	59	59	57	56	55	52	50	47	46	44	42	40	37	33	29
50	58	57	55	54	51	46	43	39	37	35	32	28	25	22	18
30	56	54	51	48	45	40	35	30	28	25	23	20	17	14	11
10	55	52	50	46	43	37	31	25	23	20	18	14	11	08	07
0	53	50	46	43	41	34	29	23	20	17	14	11	07	04	02

Reflectancia base de piso o techo de 50%

Ref pared %	Relación de cavidad														
	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	5.0	6.0	8.0	10.0
90	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	49	47
80	50	49	48	48	48	47	46	46	45	44	44	42	42	40	37
70	49	48	47	47	46	45	43	41	40	39	38	35	34	30	27
50	48	47	45	44	43	40	37	35	32	30	28	25	23	19	17
30	47	45	43	40	38	34	30	27	24	22	20	17	15	12	10
10	46	44	41	38	36	31	26	22	19	17	15	12	10	07	06
0	44	42	38	36	34	26	24	21	17	15	12	09	06	03	02

Reflectancia base de piso o techo de 40%

Ref pared %	Relación de cavidad														
	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	5.0	6.0	8.0	10.0
90	40	41	41	41	42	42	42	43	43	44	44	45	44	44	43
80	40	40	40	40	39	39	39	39	39	39	38	38	37	35	34
70	39	39	39	38	38	37	36	35	35	34	33	31	30	28	25
50	39	38	37	36	34	32	31	29	27	26	25	22	20	18	15
30	38	36	34	33	32	28	25	23	21	20	18	15	13	11	08
10	36	34	32	31	29	24	21	18	16	14	12	10	08	06	05
0	36	34	31	29	27	22	19	12	13	12	10	07	05	03	02

Reflectancia base de piso o techo de 30%

Ref pared %	Relación de cavidad														
	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	5.0	6.0	8.0	10.0
90	31	31	32	32	33	34	35	36	37	38	38	39	39	40	40
80	31	31	31	31	32	33	33	32	33	33	33	33	33	33	32
70	30	30	30	30	30	30	29	29	29	29	28	28	27	26	24
50	29	29	28	28	27	25	24	24	22	21	21	19	18	16	14
30	29	28	26	25	24	22	20	18	17	15	14	13	11	09	08
10	28	26	25	23	22	18	16	14	12	10	09	08	06	04	03
0	27	25	23	22	20	17	14	12	10	09	07	05	04	02	01

Reflectancia base de piso o techo de 20%

Ref pared %	Relación de cavidad														
	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	5.0	6.0	8.0	10.0
90	21	22	23	24	25	26	28	29	30	32	33	35	36	37	37
80	20	21	21	22	23	24	25	26	27	27	28	29	30	30	29
70	20	20	21	21	22	22	23	23	23	23	23	24	24	23	22
50	20	20	19	19	19	18	18	18	17	17	17	16	16	15	13
30	19	19	18	18	17	16	15	14	13	12	11	10	10	08	07
10	19	18	17	16	15	13	11	10	09	08	07	06	05	03	03
0	17	16	15	14	13	11	09	08	07	05	07	04	02	01	01

Reflectancia base de piso o techo de 10%

Ref pared %	Relación de cavidad														
	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	5.0	6.0	8.0	10.0
90	11	12	13	15	16	18	20	22	24	26	27	30	31	33	34
80	11	11	13	14	14	16	18	20	21	22	23	25	26	27	28
70	11	11	12	13	13	15	16	17	18	19	20	20	21	21	21
50	10	11	11	11	12	12	13	13	13	13	14	14	14	13	12
30	10	10	10	10	10	10	09	09	09	09	09	09	09	07	07
10	09	09	08	08	08	07	06	05	05	05	04	04	03	03	02
0	08	08	08	07	07	06	05	04	03	03	02	02	01	01	01

Reflectancia base de piso o techo de 0%

Ref pared %	Relación de cavidad														
	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	5.0	6.0	8.0	10.0
90	02	04	05	07	08	11	14	16	18	20	22	25	27	30	31
80	02	03	05	06	07	10	12	14	16	17	18	21	23	25	25
70	02	03	04	05	06	08	10	12	13	15	15	17	18	20	20
50	01	02	03	04	04	06	07	08	09	10	10	11	12	12	12
30	01	01	02	02	02	03	04	05	05	05	05	06	06	06	06
10	00	00	01	01	01	01	01	02	02	02	02	02	02	02	02
0	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00

Tabla 9.3 Factores de corrección del coeficiente de utilización para reflectancias efectivas de cavidad del suelo diferentes del 20%.

Reflectancia efectiva de la cavidad del techo de 80%										
Ref pared	Relación de cavidad del local									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
50%	1.08	1.07	1.05	1.05	1.04	1.03	1.03	1.03	1.02	1.02
30%	1.08	1.06	1.04	1.03	1.03	1.02	1.02	1.02	1.01	1.01
10%	1.07	1.05	1.03	1.02	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
Reflectancia efectiva de la cavidad del techo de 70%										
Ref pared	Relación de cavidad del local									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
50%	1.07	1.06	1.05	1.04	1.03	1.03	1.03	1.02	1.02	1.02
30%	1.06	1.05	1.04	1.03	1.02	1.02	1.02	1.02	1.01	1.01
10%	1.06	1.04	1.03	1.02	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
Reflectancia efectiva de la cavidad del techo de 50%										
Ref pared	Relación de cavidad del local									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
50%	1.05	1.04	1.03	1.03	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
30%	1.03	1.03	1.03	1.02	1.02	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01
10%	1.04	1.03	1.02	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
Reflectancia efectiva de la cavidad del techo de 10%										
Ref pared	Relación de cavidad del local									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
50%	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
30%	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
10%	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

- a) Para una reflectancia efectiva de la cavidad del suelo de 30% (o más del 25%) se debe de multiplicar el CU (Coeficiente de Utilización) de la luminaria correspondiente, que aparece en la Tabla 3.1 por el factor indicado en la tabla 9.3, para las correspondientes reflectancia efectiva de la cavidad del techo y relación de la cavidad del local.
- b) Para una reflectancia efectiva de la cavidad del suelo de 10% (o menos de 15%) se debe dividir el CU (Coeficiente de Utilización) de la luminaria correspondiente, que aparece en la tabla 9.1 por el factor indicado en la tabla 9.3, para las correspondientes reflectancia efectiva de la cavidad del techo y relación de la cavidad del local.

Tema



Cálculo de conductores – Concentración del factor de potencia – Selección del sistema de voltaje – Sistemas de distribución de energía eléctrica – Subestaciones – Sistemas de tierra

INSTALACIONES ELÉCTRICAS



Cálculo de conductores

Al realizar cualquier tipo de instalación eléctrica es de vital importancia para el funcionamiento de esta la adecuada elección del conductor idóneo para las diferentes condiciones, existentes de acuerdo a las necesidades de alimentación del área a instalar. Estas dependerán del giro ó equipo que se utilizará dentro del espacio a instalar, ya que existen marcadas diferencias de acuerdo a la cantidad de potencia que se consuma.

A continuación se hace una descripción de una instalación para alumbrado y contactos, así también como para el cálculo de conductores para el uso de un motor de potencia considerable. Cabe mencionar que dos conductores con una misma sección de cobre, pueden tener diferente capacidad de conducción de corriente esto debido al material aislante que los recubre, estos forros están clasificados de acuerdo con la temperatura de operación permisible, por ello que pueda tener diferente capacidad de conducción de corriente, de acuerdo al aislante que se seleccione.

CÁLCULO DE CONDUCTORES PARA ALUMBRADO Y CONTACTOS

Los conductores para circuitos derivados de alumbrado, se calculan, **por capacidad de conducción de corriente y por caída de tensión;** y éstos, no deberán ser menores que el No. 14 AWG, NOM 001.

Para circuitos de alumbrado, se procurará, que la carga sea de un 50% de la capacidad del conductor seleccionado y, de preferencia. No deberán cargarse más allá de 3000 watts por circuito de 125V.

Las normas no limitan el número de salidas por circuito de alumbrado, pero, se recomienda, no poner más de 10 salidas por circuito.

Para seleccionar el conductor de un circuito de alumbrado o contactos, se realiza de la siguiente manera:

POR CAPACIDAD:

- 1.- Se calcula la **corriente** a partir de la **ley de watt**, y de éste valor se le denomina corriente nominal (I_n).
- 2.- Se le aplica el **factor de agrupamiento**, el cual, se saca de la tabla nombrada de igual manera.
- 3.- Se le aplica el **factor de temperatura**, el cual se obtiene de la tabla 310-16 de la NOM-001-SEMP-1994

Cuando ya se han aplicado estos factores, se llama: **corriente corregida (I_c)**.

- 4.- Con la corriente corregida, se entra a las tablas de capacidad en amperes de los conductores y se selecciona el calibre que habrá de instalarse.
- 5.- Si la distancia L del circuito es considerable se calcula el conductor por caída de tensión seleccionándose el que salga mayor.

EJEMPLO:

Calcular el conductor de un circuito de alumbrado que tiene 8 luminarios de 2X74W, 127V, cuyo control está a 30 metros de distancia y los conductores estarán alojados en un tubo conduit que contendrá un total de 6 conductores y pasan por una zona cuya temperatura es de 31 °C, aproximadamente.

SOLUCIÓN:

Los luminarios fluorescentes, tienen una pérdida en el balastro (reactor), que la compañía de luz considera de 25%.

Entonces:

$$8 \text{ luminarios de } 2X74W \quad (148W) - 1184W$$

Por capacidad:

1.- Aplicando la ley de Watt.

$$I_n = \frac{W}{E_n \text{Cos}\theta} \quad I_n = \frac{1184}{127 \times 0.9} = 10.36$$

2.- Aplicando **el factor de agrupamiento:**

Como tenemos 6 conductores en un solo tubo, se busca el factor de agrupamiento de tablas, siendo este factor de 80% ó 0.8.

3.- Aplicando el **factor de temperatura :**

En la tabla 310-16 NOM-001-SEMP-1994 dice que para 31°C de temperatura ambiente, y utilizando un conductor con aislamiento propio de 60°C (TW), la capacidad se afecta al 0.91 de lo indicado.

Conductor	Conduce	Factor corrección Temperatura	Factor corrección Agrupamiento	Conduce
14AWG	15 A	0.91	0.8	10.92
12AWG	20 A	0.91	0.8	14.56

4.- Ahora calculando el porcentaje de caída de tensión con estos valores y tomando la superficie de el conductor de tablas tenemos que:

$$e\% = \frac{4LI}{SE_n} = \frac{4 \times 30 \times 10.36}{2.08 \times 127} = 4.7\%$$

Como vemos el porcentaje de caída de tensión es muy elevado ya que entre el alimentador y derivados deberá ser como máximo 5% de la suma de caída entre alimentador y derivados.

$$e\% = \frac{4 \times 30 \times 10.36}{3.307 \times 127} = 2.96\%$$

Por lo tanto:

Conductor por capacidad: cable TW – 12 AWG

5.- Cálculo por caída de tensión:

Teniendo que:

$$S = \frac{(4L)(I_n)}{(En)(e\%)}$$

donde:

S = Sección del conductor en mm²

L = Distancia del circuito = 30 mts.

I = Corriente nominal (I_n) = 11 . 8 A

En = Voltaje de fase a neutro = 125V

e% = Caída de voltaje en % = 2.9%

Sustituyendo valores:

$$S = \frac{4 \times 30 \times 10.36}{127 \times 2.9} = 3.3 \text{ mm}^2$$

Como el cable 12AWG tiene 3.307mm² de sección, se selecciona el No. 12 AWG, recordando que en el cálculo por capacidad se seleccionó el calibre 12AWG.

Conductor por caída de tensión: cable TW – 12 AWG.

Conductor seleccionado: cable THW – 12 AWG.

CÁLCULO DE CONDUCTORES PARA UN SOLO MOTOR.

Para seleccionar el conductor para un motor se procede de la siguiente manera:

Por capacidad:

- 1.- Se calculan los amperes a partir de la ley de watt, o bien se sacan de la placa de datos del propio motor y a este valor se le denomina **corriente nominal** (I_n).
- 2.- Se le agrega, por lo menos el 25% de dicho valor debido a que el valor de protección de sobrecarga opera a $1.25 I_n$
- 3.- Se le aplica el **factor de agrupamiento**, el cual se saca de la tabla ya mencionada antes y que se citará al término de este capítulo.
- 4.- Se le aplica el **factor de temperatura**, el cual se saca de tablas.

Quando se le han aplicado todos estos factores recibirá el nombre de **corriente corregida** (I_c)

- 5.- Con esta corriente corregida, se entra a tablas de capacidad de amperes para la selección de calibre a usarse.

Sin antes olvidar que de acuerdo a la temperatura que habrán de soportar, existen diversos aislamientos en dichos conductores.

En general se recomienda escoger el calibre indicado para 60°C , e instalar el mismo calibre, con un aislamiento para mayor temperatura.

Por caída de tensión:

- 6.- Si la distancia L del circuito del motor, es considerable se calcula el conductor, por caída de tensión, seleccionándose el que salga mayor.

EJEMPLO:

Calcular el conductor de:

Un motor de 10HP, 220V, 3F, 0.9 de eficiencia y 0.85 de F.P., se va a instalar a 32 mts. De distancia del tablero de distribución, en una zona cuya temperatura es de 35°C , y el tubo de alimentación lleva en total 9 conductores iguales.

SOLUCIÓN:

Por capacidad:

1.- Aplicando la ley de Watt, calculamos **la corriente nominal** (I_n).

$$I_n = \frac{C.P.x746}{Efx\sqrt{3}xF.P.x\eta}$$

donde:

I_n = Corriente nominal

C.P. = Caballos de potencia = 10

Ef = Voltaje entre fases = 220V

F.P. = Factor de potencia = 0.85

η = Eficiencia del motor = 0.9

Sustituyendo valores:

$$I_n = \frac{10x746}{220x1.73x0.85x0.9} = 25.6 \text{ Amperes}$$

2.- Se agrega el 25% del valor obtenido.

$$25.6 + 6.4 = 32 \text{ Amperes}$$

3.- Aplicando el **factor de agrupamiento**:

En la tabla dice que para 9 conductores en un solo tubo, la capacidad se afecta al 70% de lo indicado.

4.- Aplicando **factor de temperatura**:

En la tabla para corrección de este factor nos dice que para 35°C de temperatura ambiente, y utilizando un conductor de aislamiento propio para 60°C (TW), la capacidad se afecta al 91% de lo indicado.

Conductor	Conduce	Factor corrección	Factor corrección	Conduce
		Temperatura	Agrupamiento	
8AWG	40 A	0.91	0.70	25.2 A
6AWG	55 A	0.91	0.70	35.03 A

5.- Entrando a tablas, para cable TW (60°C), el calibre adecuado es:

cable – TW-6AWG

6.- Por **caída de tensión**

Empleando formula de **3F, 3H**

$$S = \frac{2xLxI_nx\sqrt{3}}{Efxe\%}$$

$$e\% = \frac{2x32x32x\sqrt{3}}{220x13.3} = 1.21$$

donde:

S = sección del conductor en mm²

L = distancia del circuito = 32mts.

I_n = corriente nominal 25.6 A.

e% = caída de tensión en % = 1.21

Ef = voltaje entre fases = 220volts.

Sustituyendo:

$$S = \frac{2 \times 32 \times 25.6 \times 1.732}{220 \times 1.21} = 10.64 \text{ mm}^2$$

Que corresponde al alambre 6 AWG (13.30mm²)

Conductor por caída: cable TW-6 AWG.

Por lo tanto seleccionando el conductor mayor que es:

Conductor seleccionado por capacidad cable TW-6AWG.

TABLA 310-16 CAPACIDAD DE CONDUCCIÓN DE CORRIENTE EN AMPERES DE CONDUCTORES AISLADOS DE 0 A 2000 V, 60°C A 90°C. NO MAS DE TRES CONDUCTORES EN UN CABLE, EN UNA CANALIZACIÓN O DIRECTAMENTE ENTERRADOS Y PARA UNA TEMPERATURA AMBIENTE DE 30°C.

Área de la sección transversal mm ² (AWG-kCM)	Temperaturas máximas de operación					
	60°C	75°C	90°C	60°C	75°C	90°C
	Tipos	Tipos	Tipos	Tipos	Tipos	Tipos
	TW*, UF*	RHW*, THW*, THHW*, THW-LS, THHW-LS, THWN*, XHHW*, USE*	SA, SIS, FEP*, FEPB*, RHH*, RHW-2, THW-2, THHW*, THHW-LS, TT, THWN-2, THHN*, USE-2, XHHW*, XHHW-2	TW*, UF*	RHW*, THW*, THHW*, THW-LS, THHW-LS, THWN*, XHHW*, USE*	SA, SIS, RHH*, RHW-2, THW-2, THHW*, THHW-LS, THWN-2, THHN*, USE-2, XHHW*, XHHW-2
	COBRE			ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE		
0.8235 (18)	...	...	14	...	...	...
1.307 (16)	...	...	18	...	...	...
2.082 (14)	20*	20*	25*	...	...	...
3.307 (12)	25*	25*	30*	20*	20*	25*
5.260 (10)	30	35*	40*	25*	30*	35*
8.367 (8)	40	50	55	30	40	45
13.30 (6)	55	65	75	40	50	60
21.15 (4)	70	85	95	55	65	75

33.62 (2)	95	115	130	75	90	100
42.41 (1)	110	130	150	85	100	115
53.48 (1/0)	125	150	170	100	120	135
67.43 (2/0)	145	175	195	115	135	150
85.01 (3/0)	165	200	225	130	155	175
107.2 (4/0)	195	230	260	150	180	205
126.7 (250)	215	255	290	170	205	230
152.0 (300)	240	285	320	190	230	255
177.3 (350)	260	310	350	210	250	280
202.7 (400)	280	335	380	225	270	305
253.4 (500)	320	380	430	260	310	350
304.0 (600)	355	420	475	285	340	385
380.0 (750)	400	475	535	320	385	435
506.7 (1000)	455	545	615	375	445	500
FACTORES DE CORRECCIÓN						
21 – 25	1.08	1.05	1.04	1.08	1.05	1.04
26 – 30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
31 – 35	0.91	0.94	0.96	0.91	0.94	0.96
36 – 40	0.82	0.88	0.91	0.82	0.88	0.91
41 – 45	0.71	0.82	0.87	0.71	0.82	0.87
46 – 50	0.58	0.75	0.82	0.58	0.75	0.82
51 – 55	0.41	0.67	0.76	0.41	0.67	0.76
56 – 60	...	0.58	0.71	...	0.58	0.71
61 – 70	...	0.33	0.58	...	0.33	0.58
71 – 80	...	...	0.41	...	...	0.41

- La protección para sobrecorriente para conductores de cobre, aluminio o aluminio recubierto de cobre, en los tipos marcados con un asterisco *, no debe exceder de:

15 A para 2.082 mm² (14), 20 A para 3.307 mm² (12) y 30 A para 5.260 mm² (10) para conductores de cobre.

15 A para 3.307 mm² (12), y 25 A para 5.260 mm² (10) para conductores de aluminio o aluminio recubierto de cobre, después de que se han aplicado los factores de corrección por temperatura ambiente y agrupamiento de conductores.

TABLA 310-17 CAPACIDAD DE CONDUCCIÓN DE CORRIENTE EN AMPERES DE CABLES MONOCONDUCTORES AISLADOS 0 – 2000 V, AL AIRE LIBRE Y PARA TEMPERATURA AMBIENTE DE 30°C

Área de la sección transversal mm ² (AWG-kCM)	Temperaturas máximas de operación					
	60°C	75°C	90°C	60°C	75°C	90°C
	Tipos	Tipos	Tipos	Tipos	Tipos	Tipos
	TW*, UF*	RHW*, THW*, THHW*, THW-LS, THHW-LS, THWN*, XHHW*	SA, SIS, FEP*, FEPB*, RHH*, RHW-2, THW-2, THHW*, THHW-LS, THWN-2, USE-2, XHHW-2	TW*, UF*	RHW*, THW*, THHW*, THW-LS, THHW-LS, THWN*, XHHW*	SA, SIS, RHH*, RHW-2, THW-2, THHW*, THHW-LS, THWN-2, THHN*, USE-2, XHHW*, XHHW-2
	COBRE			ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE		
0.8235 (18)	...	...	18	...	...	...
1.307 (16)	...	...	24	...	...	...
2.082 (14)	25*	30*	35*	...	...	...
3.308 (12)	30*	35*	40*	25*	30*	35*
5.260 (10)	40*	50*	55*	35*	40*	40*
8.368 (8)	60	70	80	45	55	60
13.31 (6)	80	95	105	60	75	80

21.16 (4)	105	125	140	80	100	110
33.63 (2)	140	170	190	110	135	150
42.41 (1)	165	195	220	130	155	175
53.49 (1/0)	195	230	260	150	180	205
67.44 (2/0)	225	265	300	175	210	235
85.02 (3/0)	260	310	350	200	240	275
107.3 (4/0)	300	360	405	235	280	315
126.8 (250)	340	405	455	265	315	355
152.0 (300)	375	445	505	290	350	395
177.4 (350)	420	505	570	330	395	445
202.8 (400)	455	545	615	335	425	480
253.5 (500)	515	620	700	405	485	545
305.0 (600)	575	690	780	455	540	615
381.0 (750)	655	785	885	515	620	700
506.7 (1000)	780	935	1055	625	750	845
FACTORES DE CORRECCIÓN						
21 – 25	1.08	1.05	1.04	1.08	1.05	1.04
26 – 30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
31 – 35	0.91	0.94	0.96	0.91	0.94	0.96
36 – 40	0.82	0.88	0.91	0.82	0.88	0.91
41 – 45	0.71	0.82	0.87	0.71	0.82	0.87
46 – 50	0.58	0.75	0.82	0.58	0.75	0.82
51 – 55	0.41	0.67	0.76	0.41	0.67	0.76
56 – 60	...	0.58	0.71	...	0.58	0.71
61 – 70	...	0.33	0.58	...	0.33	0.58
71 – 80	...	...	0.41	...	...	0.41

- La protección para sobrecorriente para conductores de cobre, aluminio o aluminio recubierto de cobre, en los tipos marcados con un asterisco *, no debe exceder de:

15 A para 2.082 mm² (14), 20 A para 3.307 mm² (12) y 30 A para 5.260 mm² (10) para conductores de cobre.

15 A para 3.307 mm² (12), y 25 A para 5.260 mm² (10) para conductores de aluminio o aluminio recubierto de cobre, después de que se han aplicado los factores de corrección por temperatura ambiente y agrupamiento de conductores.





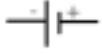

FACTORES DE AGRUPAMIENTO

No. Conductores	Por ciento del valor
4 a 6	80
7 a 24	70
25 a 42	60
Más de 42	50



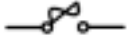
Simbología eléctrica








Podemos definir como simbología a la representación gráfica mediante insignias que simbolizan a los diferentes elementos que constituyen una instalación eléctrica, con lo cual se pretende facilitar el trabajo entre los instaladores y los proyectistas. De tal manera que al elaborar un plano eléctrico se facilite su trazado así mismo como la lectura del mismo. A continuación se presentan algunos de los símbolos mas comúnmente usados en instalaciones eléctricas.

Elementos de circuito





Resistencia fija	
Reactancia inductiva	
Reactancia capacitiva Fija (condensador)	
Impedancia	
Pila	
Motores y generadores -Motor de corriente alterna, jaula de ardilla -Generador de corriente alterna -Motor síncrono	 M G M.S.




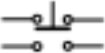

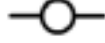
Subestaciones, tierras y pararrayos.

Acometida	
Cuchilla de separación	
Interruptor con fusibles o cortacircuito	





Interruptor en aceite, gas o vacío	
Transformador de Potencial	
Transformador de Corriente	
Conexión a tierra	
Varilla para conexión a tierra	
Apartarrayos	
Punta de pararrayos	

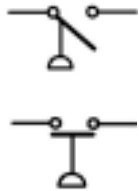
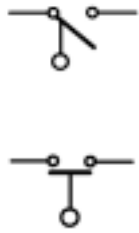
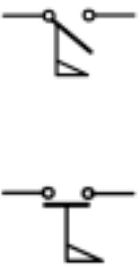
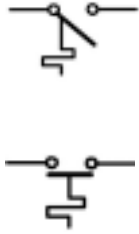
Operación, protección y control.

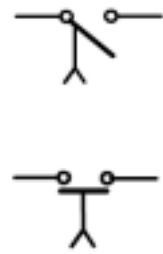
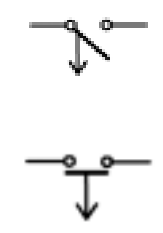

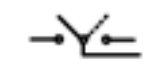
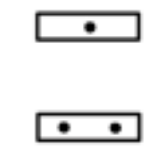


Tablero o centro de control de motores	
Elemento térmico Bimetalico	
Elemento fusible	
Elemento Electromagnético	

Interrupor termomagnético	
Botón pulsador.	
Normalmente abierto (N.A.)	
Normalmente cerrada (N.C.)	
Doble (con uno N.A. y uno N.C.)	
Con enlace mecánico	
Bobina para elemento de operación y control	



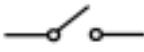
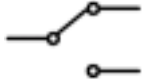

Operación protección y control

Contactos de elementos de operación de control y de protección	
Normalmente abierto	
Normalmente cerrado	
Interrupor limitador	
Normalmente abierto	
Normalmente cerrado	

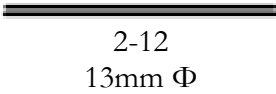



<p>Interruptor de presión</p> <p>Normalmente abierto</p> <p>Normalmente cerrado</p>	
<p>Interruptor de nivel</p> <p>Normalmente abierto</p> <p>Normalmente cerrado</p>	
<p>Interruptor de flujo</p> <p>Normalmente abierto</p> <p>Normalmente cerrado</p>	
<p>Interruptor de temperatura (termostato)</p> <p>Normalmente abierto</p> <p>Normalmente cerrado</p>	

<p>Contacto relevador de tiempo (retraso al energizar)</p> <p>Normalmente abierto</p> <p>Normalmente cerrado</p>	
<p>Contacto relevador de tiempo (retraso al desenergizar)</p> <p>Normalmente abierto</p> <p>Normalmente cerrado</p>	
<p>Elemento enchufable</p>	
<p>Interruptor de transferencia</p>	
<p>Estación de botones</p> <p>Una unidad de control</p> <p>Dos unidades de control</p>	
<p>Arrancador manual</p>	
<p>Arrancador automático</p>	

Alumbrado y contactos

Unidad de alumbrado tipo incandescente	
Unidad de alumbrado fluorescente A- Altura de montaje (sobre piso terminado) D- Apagador (si lleva) E- Tablero circuito (identificación) F- Potencia en watts	
Apagador sencillo	
Apagador de tres vías	
Contacto	

Ductería y alimentadores.

Tubería conduit de 13mm (1/2") de diámetro con dos conductores cal. 12 AWG.	
Ducto cuadrado embisagrado	
Charolas para cables	
Cajas de registro	

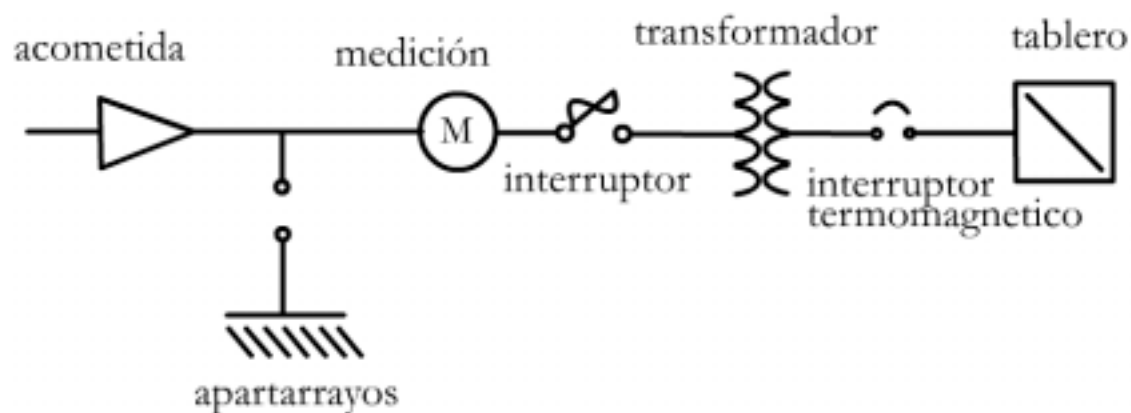
Instrumentos

Amperímetro	A
Medidor de demanda máxima	D
Frecuenciómetro	F
Indicador de pérdidas a tierra	DI
Miliampérmetro	MA
Ohmetro	OHM
Fasómetro	NF
Medidor de factor de potencia	FP
Sincronoscopio	S
Varhorímetro	VARH
Vóltmetro	V
Voltampérmetro	VA
Voltampérmetro reactivo	VAR
Wattmetro	W
Wathorímetro	WH
Dispositivo de medición de la compañía suministradora	M

Diagrama

Es la representación gráfica mediante símbolos, interconectados uno de otro por una, o varias líneas. De acuerdo a la cantidad de líneas con que son conectados entre los símbolos es el nombre con el que se le denominan, los diagramas interconectados con una sola línea entre componentes se le denomina diagrama unifilar, para los diagramas con unión entre componentes de dos líneas se le denomina bifilar. El propósito de representar una instalación eléctrica de esta forma, es como ya se mencionó antes de tener una comunicación clara entre el proyectista y el instalador.

Enseguida se presenta un ejemplo de diagrama unifilar desde la acometida hasta el tablero general.



Banco de capacitores

En las instalaciones eléctricas normalmente se encuentran dispositivos que transforman la energía en calor o en trabajo junto con elementos inductivos y capacitivos que no desarrollan trabajo. Entonces prácticamente siempre existe un ángulo entre el voltaje y la corriente que se conoce como ángulo de fase. Es importante hacer notar que este ángulo está medido en el tiempo y no en el espacio.

De acuerdo con el diccionario de términos eléctricos y electrónicos de (1977), “el factor de potencia es el cociente de la relación del total de watts entre el total de volt- amperes RMS (root-mean-square, valor medio cuadrático o valor efectivo), es decir, la relación de la potencia activa entre la potencia aparente. Cuando la corriente y el voltaje son funciones senoidales y ϕ es el ángulo de defasamiento entre ellos, el coseno de ϕ es el factor de potencia (f.p)”. Entonces el f.p. depende del defasamiento entre el voltaje y la corriente, que a su vez depende de la carga conectada al circuito.

Por lo tanto, el f.p. es el factor que debe aplicarse a la potencia aparente para conocer la cantidad de ésta que se está utilizando para producir trabajo y/o calor. De esta forma, la potencia activa es igual al producto de los valores efectivos (RMS o cuadrático) del voltaje “V” y la corriente “I” por el coseno del ángulo de defasamiento entre ellos:

$$P = V \cdot I \cos \phi \qquad 11.1$$

donde: ϕ = ángulo de fase entre el voltaje y la corriente

En la Figura 11.1 se muestra el diagrama vectorial donde aparece la potencia aparente “S” con sus dos componentes: la potencia activa “P” y la potencia reactiva “Q”.

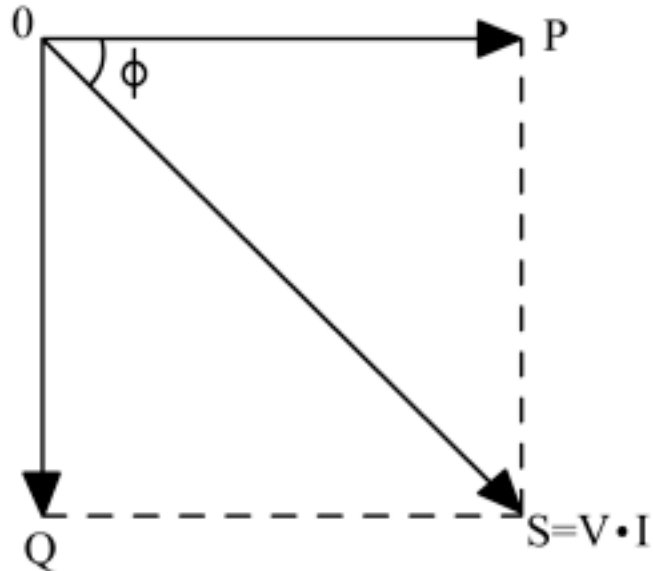


FIGURA 11.1

De la figura se desprende que:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad 11.2$$

Entonces el f.p. será:

$$\text{f.p.} = \cos \phi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \quad 11.3$$

La carga de una instalación está constituida principalmente por equipos eléctricos (motores y transformadores) fabricados a base de bobinas (inductancias). Por esta razón es normal encontrar que predomine la carga inductiva sobre la capacitiva, es decir, generalmente la corriente está atrasada con respecto al voltaje, por lo que es más común oír hablar del f.p. atrasado.

Se define como positiva a la potencia reactiva generada por las centrales eléctricas o por bancos de capacitores y consumida por los usuarios.

Consecuencias de un factor de potencia bajo

Para entender las consecuencias del f.p. bajo conviene considerar que la corriente que circula en los conductores puede descomponerse matemáticamente (no físicamente) en dos componentes: una que coincida con la potencia activa y otra con la potencia reactiva.

Es decir:

$$I = \sqrt{I_a^2 + I_r^2} \quad 11.4$$

$$\text{f.p.} = \cos \varphi = \frac{I_a}{I} = \frac{I_a}{\sqrt{I_a^2 + I_r^2}} \quad 11.5$$

donde:

I = corriente total.

I_a = componente activa de la corriente (en fase con el voltaje).

I_r = componente reactiva atrasada 90° con respecto al voltaje.

El f.p. disminuye o aumenta de acuerdo con la función coseno del ángulo de fase. Si se tiene una carga donde el defasamiento de la corriente (atrasada) con respecto al voltaje es muy cercano a 90° , el f.p. será muy cercano al cero y la componente reactiva de la corriente será muy grande comparada con la componente activa.

Incremento de pérdidas en las líneas de transmisión o distribución.

Para una carga en kW (activa) dada, la corriente total que circula por las líneas de transmisión será mayor para un f.p. bajo que para otro cercano a la unidad. El f.p. bajo provoca que se incrementen notablemente las pérdidas por efecto Joule (caloríficas) en las líneas ya que se crecen con el cuadrado de la corriente.

$$\text{pérdidas} = R \cdot I^2 \quad 11.6$$

Deficiente regulación de voltaje.

Considerando que una línea de transmisión (incluyendo transformadores) tiene una impedancia “Z”, la caída de voltaje a lo largo de la línea será igual al producto de la impedancia por la corriente:

$$\Delta V = Z \cdot I = V_0 - V_n \quad 11.7$$

donde:

V_0 = volts al principio de la línea
 V_n = volts nominales que recibe el usuario

La regulación de voltaje se define en % como:

$$\% \text{ de R} = \frac{V_0 - V_n}{V_n} \cdot 100 \quad 11.8$$

De esta manera para una misma impedancia la regulación de voltaje será más deficiente entre mayor sea la corriente total. Es decir, para una misma cantidad de kilowatts la regulación de voltaje tendrá un mayor rango de fluctuación entre menor sea el f.p. Entonces un f.p. bajo tiene como consecuencia una deficiente regulación del voltaje.

Inversión inicial alta

Los equipos que componen un sistema eléctrico de potencia están generalmente diseñados para suministrar su capacidad con cierto f.p. (es normal que en los generadores sea de 0.8 atrasado). Entonces cuando el f.p. es menor al de diseño se requiere de mayor potencia aparente (kVA's) para suministrar la componente reactiva y debido a la capacidad de corriente que tienen los equipos, se hace necesario reducir (en proporción directa) la cantidad de kilowatts generados y transmitidos.

El disminuir el f.p. de diseño representa un aumento de la sección de cobre para permitir la circulación de una corriente mayor, por lo tanto el costo por kilowatt de un generador es más alto mientras más bajo sea su f.p. nominal.

Esta disminución se presenta igualmente en el resto de los equipos que constituyen una red eléctrica. Entonces la inversión inicial de una red crece conforme su f.p. de diseño disminuye.

Penalizaciones por bajo factor de potencia

Debido a las razones expuestas en los incisos anteriores, todas las compañías de suministro eléctrico establecen un f.p. límite (ligeramente por encima del diseño de la red) y penalizan económicamente a los usuarios cuya carga tenga un f.p. menor.

El usuario procurará tener un factor de potencia tan aproximado a 100% como le sea posible, pero en el caso de que su factor de potencia durante cualquier periodo de facturación tenga un promedio de 90% atrasado, determinado por métodos aprobados por la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, el suministrador tendrá derecho de cobrar al usuario la cantidad que resulte de aplicar el monto de la facturación el porcentaje de recargo que se determine según la fórmula que se señala. En el caso de que el factor de potencia tenga un valor igual o superior a 90% el suministrador tendrá la obligación de bonificar al usuario la cantidad que resulte de aplicar a la factura el porcentaje de bonificación según la fórmula que también se señala.

Fórmula de recargo:

$$\text{Porcentaje de recargo} = 3 / 5 \times ((90/\text{F.P}) - 1) \times 100 \quad \text{F.P. menor que 90\%}$$

Fórmula de bonificación:

$$\text{Porcentaje de bonificación} = 1 / 4 \times (1 - (90/\text{F.P})) \times 100 \quad \text{F.P mayor o igual a 90\%}$$

Donde F.P. es el factor de potencia expresado en por ciento.

Los valores resultantes de la aplicación de estas fórmulas se reducirán a un solo decimal, por defecto o por exceso, según sea, o no menor que 5 (cinco) el segundo decimal. En ningún caso se aplicarán porcentajes de recargo superiores a 120% ni porcentajes de bonificación superiores al 2.5% (dos punto cinco).

Compensación del factor de potencia

Las instalaciones eléctricas industriales cuya carga está compuesta principalmente por motores de inducción tienen un f.p. atrasado. Por esta razón resulta necesario compensar la carga inductiva con carga capacitiva.

La solución que normalmente resulta más económica, y sencilla es la colocación de bancos de capacitores que proporcionen los kVA's reactivos necesarios para que el f.p. esté por arriba de lo estipulado en el contrato de suministro. De hecho las mismas compañías suministradoras utilizan este sistema para compensar el f.p. de su red de transmisión y distribución.

El f.p. también puede ser compensado utilizando motores síncronos en lugar de motores de inducción, pero una vez definidos los kilovars (kVA reactivos) necesarios, el problema requiere más bien de un análisis económico que técnico.

La cantidad de kvar necesarios para mejorar el f.p. se obtiene a partir de la potencia reactiva requerida por los equipos que constituyen la instalación. En muchas ocasiones esto se hace con la medición del primer mes de operación de los equipos. Considérese que las condiciones iniciales son:

$$S_1 = \frac{P}{\cos\phi_1}; \quad Q_1 = \sqrt{S_1^2 - P^2} \quad 11.9$$

y las condiciones de operación que se desean son:

$$S_2 = \frac{P}{\cos\phi_2}; \quad Q_2 = \sqrt{S_2^2 - P^2} \quad 11.10$$

Entonces resulta que el banco de capacitores a instalar deberá suministrar una potencia reactiva trifásica:

$$Q = \sqrt{3} \ V \cdot I = Q_1 - Q_2 \quad 11.11$$

donde:

V = voltaje nominal aplicado al banco de capacitores.

I = corriente que debe circular por el banco.

De esta manera quedan definidas las especificaciones eléctricas del banco de capacitores.

Puede ser necesario considerar valores de capacitancia escalonados para prever las variaciones nominales de carga. Es también importante vigilar el comportamiento del voltaje, sobre todo si existen muchas maniobras de conexión y desconexión cercanas a los capacitores.

Consideraciones para la localización de los capacitores

Como se sabe la forma más práctica y económica para corregir el factor de potencia, es mediante capacitores de potencia, los cuales se pueden situar en distintos puntos de una instalación eléctrica, como se muestra en la figura 11.2, sin embargo, mientras más cerca se conecten de la carga por compensar, mayor es el beneficio que reportan, ya que la potencia reactiva es confinada a segmentos pequeños de la instalación. El caso ideal sería el emplazar los capacitores junto a cada carga inductiva, pero debido al alto costo que esto representa. Se opta por soluciones intermedias.

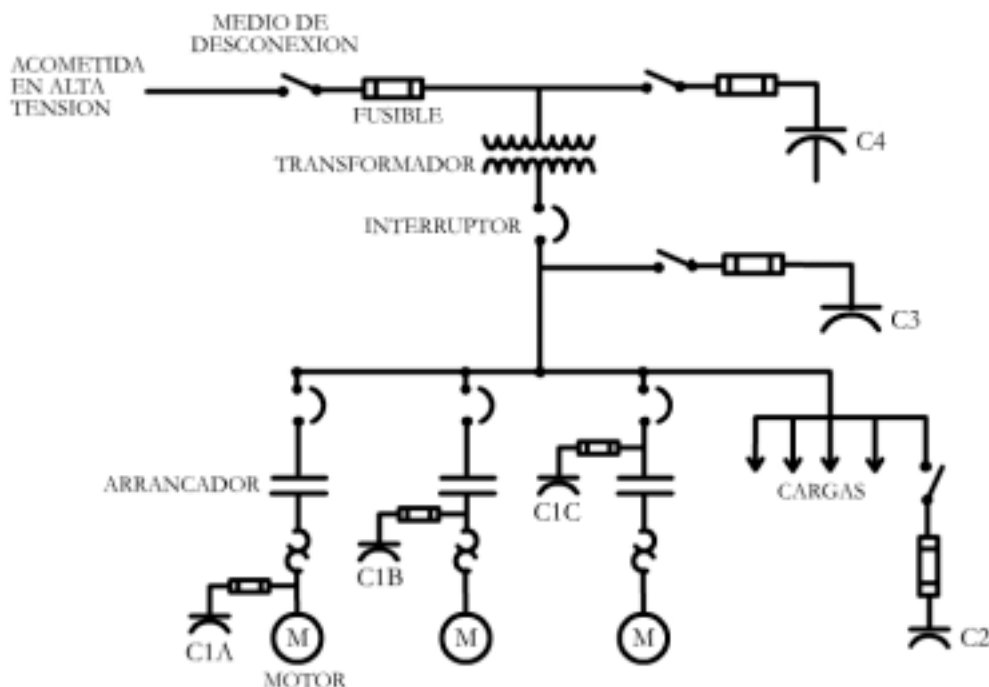


FIGURA 11.2 Diagrama de instalación eléctrica en donde se muestra la localización de capacitores para corregir el factor de potencia.

Dependiendo de la localización de los capacitores, se distinguen cuatro tipos de compensación, los cuales se describen a continuación.

Compensación individual. Esta se justifica en el caso de las cargas como motores de mediana y gran capacidad, de preferencia con ciclos significativos de trabajo, de tal forma que los capacitores tengan un alto factor de servicio. Los puntos C_{1A} , C_{1B} Y C_{1C} indican tres posibles emplazamientos en donde un interruptor extra para los capacitores no es necesario, ya que pueden operarse con el mismo interruptor de la carga que van a compensar.

Nótese que en los dos primeros, los capacitores son energizados a través de los arrancadores de los motores, por lo que sólo estarán en servicio cuando estos estén trabajando. Sin embargo, como los capacitores quedan conectados a las terminales de los motores cuando se interrumpe la alimentación, es importante que su potencia, no exceda de la necesaria para corregir el factor de potencia de los motores a la unidad, ya que de tener un factor de potencia adelantado, pueden ocurrir sobrevoltajes que dañen el aislamiento de los motores y anomalías en el par del motor que sometan sus partes mecánicas a esfuerzos excesivos. Esto particularmente, en accionamientos que sigan funcionando después de desconectar el motor, como por ejemplo, ventiladores, sierras mecánicas, etc.

Una regla practica es la de que los KVAR en capacitores no excedan en magnitud la de los KVA que toman los motores cuando trabajan sin carga. En la tabla 11.1 se da una orientación de la potencia de los capacitores para compensar individualmente motores trifásicos de inducción, en función de la potencia y de la velocidad síncrona. La potencia de los capacitores esta dada en KVAR.

Los inconvenientes que se han mencionado se pueden prevenir instalando los capacitores en el punto C_{1C} ; si bien, los capacitores podrían quedar permanentemente conectados a la instalación, con el riesgo de una elevación de voltaje, cuando los motores no estén trabajando. Sin embargo, hay casos en los que la conexión directa de los capacitores es en extremo peligroso y se opta por esta solución; tal como ocurre con

motores reversibles, de varias velocidades, con ciclos frecuentes de arranque y paro y cuando se utilicen arrancadores con transición abierta a de estado sólido.

TABLA 11.1

Potencia del motor CP	Velocidad de sincronismo del motor RPM					
	3600	1800	1200	900	720	600
10	2.5	4	4	5	5	7.5
15	2.5	5	5	7.5	7.5	10
20	5	5	5	7.5	10	12.5
25	5	7.5	7.5	10	10	15
30	7.5	10	10	10	12.5	15
40	10	10	10	12.5	15	17.5
50	12.5	12.5	12.5	15	20	22.5
60	15	15	15	17.5	22.5	25
75	17.5	17.5	17.5	20	27.5	30
100	22.5	22.5	22.5	25	35	37.5
125	25	27.5	27.5	30	40	47.5
150	32.5	35	35	37.5	47.5	55
200	42.5	42.5	42.5	45	60	67.5

Compensación en grupo. Cuando se tienen varias cargas como motores y equipos de alumbrado de igual capacidad y ciclo de trabajo, en medida de lo posible, se pueden agrupar para compensar su potencia reactiva con un capacitor común, emplazado en un punto de distribución como un tablero o un alimentador. La localización C_2 ilustra este tipo de compensación, en donde las pérdidas sólo se reducen en el alimentador principal.

Compensación central. La potencia reactiva de un número de cargas de distintas capacidades y diferentes períodos de conexión, puede ser compensada con un banco único de capacitores generalmente instalado en la entrada de la instalación, con lo que se tiene una mejor utilización de la potencia de los capacitores y se mejora en general el nivel de voltaje, aunque no se reducen las pérdidas I^2R , como ocurre en los dos casos anteriores. Los puntos C_3 y C_4 , en baja y alta tensión corresponden a éste tipo de compensación.

Económicamente resulta más conveniente instalar capacitores en alta tensión, pero si se requiere aumentar la capacidad de la carga de los transformadores de distribución, los capacitores se deben instalar en el lado de baja, para disminuir la corriente reactiva que pasa por ellos. En este caso, se recomienda que la potencia de los capacitores no exceda del 10% de la capacidad del transformador, con los que se evitan problemas de resonancia y se reducen las pérdidas cuando trabaja en vacío.

En la tabla 11.2 se tiene una guía del orden de la magnitud de la potencia de los capacitores en KVAR, en función de la potencia nominal de los transformadores y de su voltaje de línea.

TABLA 11.2

Potencia del transformador KVA	Voltaje de línea KV		
	5/13	15/23	25/34
25	2	2.5	3
50	3.5	5	6
75	5	6	7
100	6	8	10
160	10	12.5	15
250	15	18	22
315	18	20	24
400	20	22.5	28
630	28	32.5	40

Compensación mixta. En el caso de las instalaciones en las que se tienen grandes motores u otras cargas con un gran consumo de reactivos, en comparación con el resto de las cargas, suele ser conveniente combinar los arreglos anteriores. Por ejemplo, compensando individualmente las cargas de gran capacidad y para los restantes, instalar bancos de capacitores para compensación en grupo o central.

Bancos de capacitores automáticos.

La demanda de reactivos en las plantas industriales, suele presentar variaciones en el transcurso de la jornada, que dependen de los equipos instalados y de sus ciclos de trabajo. Cuando las variaciones son significativas, como en las instalaciones de hornos, equipos de laminación, sistemas de refrigeración, etc., mantener un perfil del factor de

potencia , usualmente implica la utilización de bancos de capacitores automáticos, diseñados para conectar y desconectar parte de su capacidad, de acuerdo con los requerimientos de la carga.

La operación automática se realiza a través de equipos de control, sensibles a magnitudes como el voltaje de la línea, corriente, potencia reactiva demandada, etc., y para la conexión de los capacitores, se emplean equipos electromecánicos, como los contactores magnéticos, y más recientemente dispositivos electrónicos de estado sólido.

Motor síncrono

Un motor síncrono tiene el mismo aspecto constructivo y de hecho un generador síncrono podría trabajar como motor síncrono alimentándolo con corriente alterna y excitándolo con corriente continua.

En el caso de un motor síncrono la estructura del campo (rotor) se alimenta con corriente continua en forma semejante al caso del generador, mientras que el devanado del estator se conecta a una alimentación de corriente alterna, o sea que se requieren dos fuentes de alimentación una de corriente alterna y otra de corriente continua, la de corriente alterna para accionar la armadura y la de corriente continua para excitar al campo.

La corriente directa para la excitación del rotor se puede tomar de una fuente independiente que puede ser a base de generador de corriente continua, o bien en el caso de motores que operan con alta velocidad con excitatrices acopladas al eje del rotor.

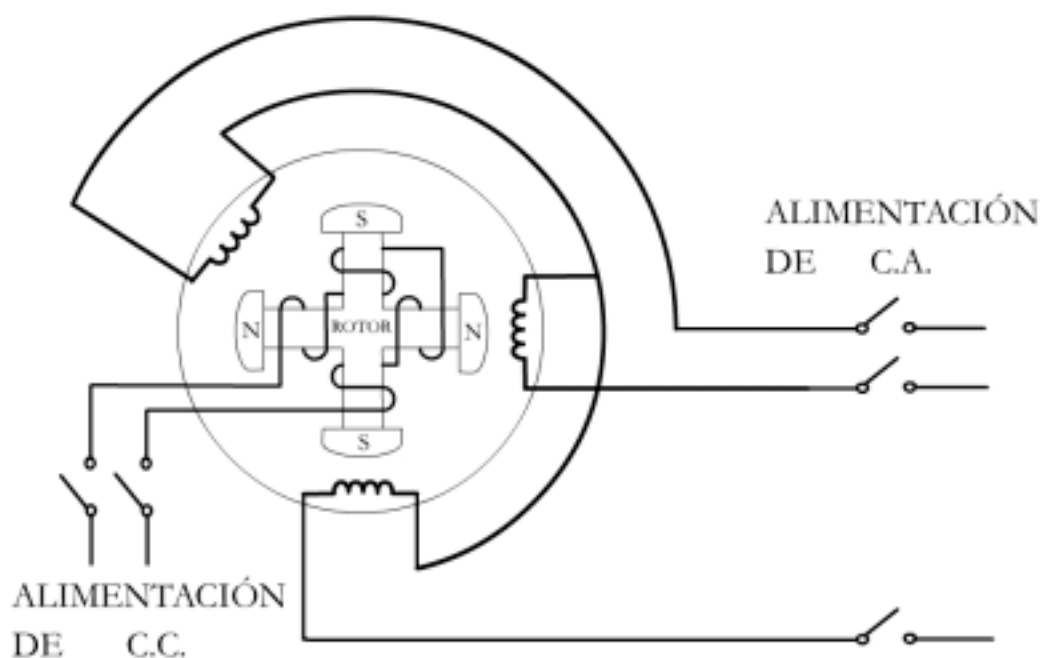
Las partes esenciales de un motor síncrono trifásico son:

- i. El núcleo laminado del estator en donde se aloja el devanado trifásico de corriente alterna (C.A.).

- ii. La estructura giratoria formada por el rotor en donde se alojan las bobinas del devanado de campo que se excita con corriente continua (C.C.), con su flecha correspondiente y los anillos rozantes montados en ésta. El portaescobillas y escobillas para conexión a la fuente de excitación
- iii. Dos apoyos con sus chumaceras para soportar el eje del rotor.

El devanado del estator en un motor síncrono es semejante al de los generadores trifásicos, es decir, se calculan y construyen en la misma las terminales de este devanado generalmente llegan a una caja de conexiones que normalmente se monta a un lado de la carcasa del motor.

Con relación al rotor de los motores síncronos se puede decir que por lo general se construyen de polos salientes que se conectan para dar una polaridad alterna. El número de polos del rotor debe corresponder a los del estator.



La aplicación de los motores síncronos

Antes de entrar al análisis del comportamiento de los motores síncronos es conveniente mencionar algunas de las aplicaciones típicas de los motores síncronos con particular referencia a los motores síncronos para aplicaciones industriales y en sistemas de potencia en donde se pueden encontrar:

- i. En las centrales eléctricas y en las subestaciones en paralelo a las barras del sistema para mejorar el factor de potencia.
- ii. En las industrias que tienen un elevado número de motores de inducción, es posible usarlos como una de las alternativas para mejorar el factor de potencia.
- iii. Al final de algunas líneas de transmisión para controlar el voltaje mediante el procedimiento de variar su excitación.
- iv. Como elemento de accionamiento de grandes cargas como por ejemplo molinos de cemento, molinos textiles, molinos de hule y en la industria minera.

Este tipo de motores se usan principalmente para operar en forma continua con equipo que requieren velocidad constante, tal como bombas centrífugas, ventiladores centrífugos, compresores de aire y amoníaco, grupos motor-generador, etc..

Con relación a los motores trifásicos de inducción los motores síncronos trifásicos tienen las siguientes ventajas y desventajas:

VENTAJAS

- a) El factor de potencia se puede variar como sea requerido.
- b) Puede dar velocidad constante de condiciones de vacío a condiciones de plena carga.
- c) La potencia varía linealmente con el voltaje.

DESVENTAJAS

- a) No puede ser usado para aplicaciones en donde se requiera la velocidad ya que no tiene posibilidad de ajustar su velocidad.
- b) Requiere de una excitación de CC que se debe proveer en algunos casos de una fuente externa.
- c) No puede arrancar bajo carga ya que su par de arranque es cero.
- d) Puede salir de sincronismo y parar cuando se sobrecarga.
- e) Requiere de anillos colectores y de escobillas.
- f) Tiene la tendencia a oscilar.

Selección del sistema de voltaje.

La selección del sistema de voltaje es uno de los factores de mayor importancia en la designación del sistema de potencia para una planta industrial, comercial un hospital etc. Este factor determina costo, flexibilidad, y fácil expansión a futuro.

FACTORES QUE AFECTAN LA SELECCIÓN DEL SISTEMA DE VOLTAJE

- 1.- Magnitud de carga
- 2.- Distancia entre la fuente de poder y la carga.
- 3.- Disponibilidad de utilización-dispositivo como una función de rangos de voltaje y limitaciones.
- 4.- Seguridad
- 5.- Códigos y estándares

El efecto de estos factores varia ampliamente de acuerdo al tipo de planta industrial. Magnitud de la carga total y área de la planta, afectan de manera directa la selección del voltaje si son pequeños entran en la clase de 600-volts.

SELECCIÓN DE VOLTAJE 600 VOLTS O MENOR

En la mayoría de las plantas, la carga mayoritaria es constituida por motores polifásicos, hornos y soldadoras que son muy convenientes para el funcionamiento en 600 volts o menos.

La opción de voltaje del sistema en esta clase por servir estas cargas es 208Y/120 o 480 o 600 volts. El uso de un sistema a 480Volts es generalmente deseable para su uso en plantas procesadoras por que su costo es menor que el sistema de 240 volts y equipo de 440 volts para uso sobre sistemas de 480 volts tiene mayor viabilidad un equipo de 550 volts para uso sobre un sistema de 600 volts.

SISTEMAS DE 480 VOLTS VS 600 VOLTS

Mientras un sistema de carga de 600 volts su costo es alrededor del 2 al 7% menor que el centro de sistema de carga de 480 volts estos sistemas tienen un decremento en demanda principalmente porque la falta de viabilidad del sistema de 550 y 575volts que son utilizados en equipos de fabricación y distribución.

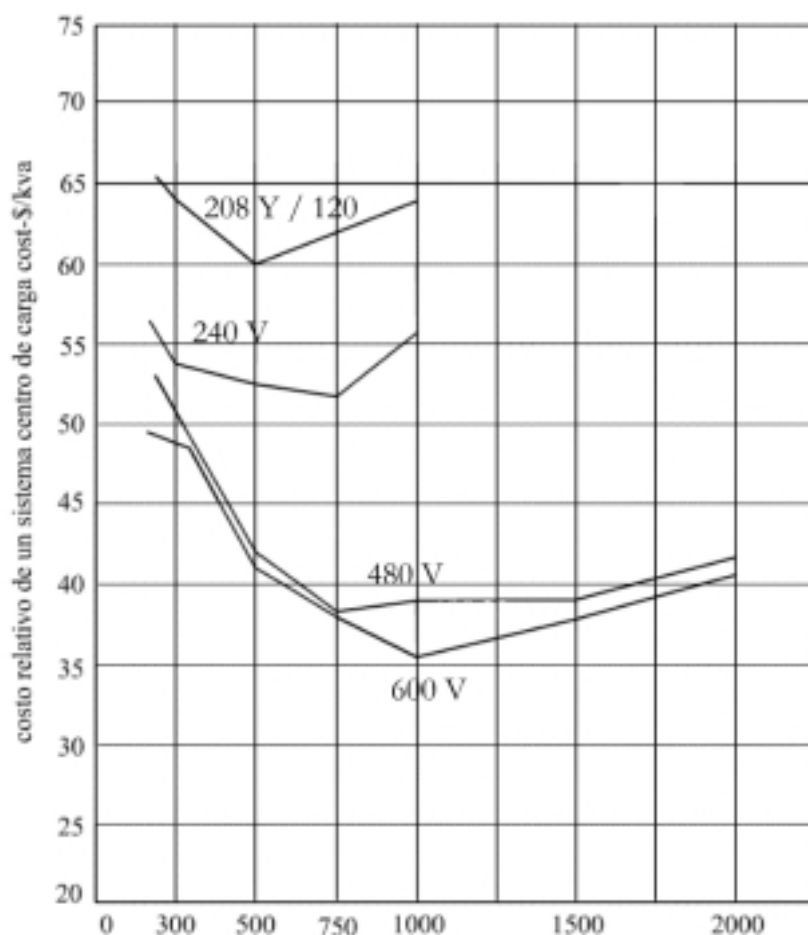


FIGURA 12.1 Mapa que muestra el costo comparativo aproximado de 208Y/120 -, 240 -, 480 - y 600 volts de los sistemas de carga-centro radiales.

La disponibilidad de equipo es el mayor problema al utilizar y escoger sistemas entre 600 volts y 480 volts. En la actualidad los sistemas de 600 volts están siendo principalmente limitados a la expansión de esas plantas manufactureras ya que operan a 600 volts o algunas plantas textiles donde la mayoría de los motores son diseñados especialmente de acuerdo a la labor que desempeñaran.

SISTEMAS DE 480 VS 240 VOLTS

Económicamente hablando, esto rara vez es razón para seleccionar un sistema de 240 en lugar de 480 volts el sistema de carga de 240 volts cuesta aproximadamente 35% más que el sistema de carga de 480 volts (fig. 12.1)

Como se muestra en la tabla , los sistemas de 240 volts tienen generalmente perdidas más altas y porcentaje de caída de voltaje mayor que en los sistemas de 480 volts, Si es usado suficiente cobre en alimentadores de 240 volts, pueden hacerse las pérdidas y porcentaje de caída de voltaje comparables con los sistemas de 480 volts, pero en sistemas prácticos esto es raramente utilizado.

	240 volts	480 volts
Disponibilidad de equipo	Igual	Igual
Costo	135%	100%
Perdidas	alto	bajo
Caída de voltaje	alto	bajo
seguridad	Ninguna diferencia. Solo trabajar sin energía	Ninguna diferencia. Solo trabajar sin energía.

En algunas de las industrias existe humedad considerable como en lecherías y mataderos, se selecciona a menudo 240 volts debido a que se siente estar más seguro que con 480 volts. Al trabajar en circuitos mientras hay energía, existe riesgo de una mayor lesión debido a un choque eléctrico, ya que con tensiones sobre 50 volts pueden ser letales: Por consiguiente, la única manera segura de manejar estos circuitos en humedad u otras situaciones son llevar estos conductores de manera apropiada a tierra y para trabajar en solo partes sin energía y si es necesario con una tierra temporal establecida entre la parte de servicio y tierra.

En general, en áreas que contienen hornos principalmente eléctricos, pueden aplicarse 240 volts a este tipo de lugares. Sin embargo, estos solo cubren una porción pequeña de la planta, por lo tanto pueden ser alimentados por una subestación que opere abajo de 240 volts el resto de la carga se podrá alimentar a 480 volts.

SISTEMAS DE POTENCIA DE BAJO-VOLTAJE QUE SIRVEN VOLTAJES DIFERENTES

Se muestra a continuación, la forma de combinar la alimentación para luces y motores donde los caballos de fuerza íntegros son la carga así como sistemas de una subestación de potencia donde es más barato que la luz se maneje de forma conjunta con los motores y sistemas de la subestación de potencia.

Hay una discusión que muestra después cómo las cargas de poder, como hornos eléctricos, las cocinas eléctricas en cafeterías, y otro equipo calorífico eléctrico que requiere 240 volts o 208 volts, puede servirse de sistemas de 480-volts.

SELECCIÓN DE VOLTAJE DE ILUMINACIÓN

La carga de la planta es por lo general motores sin olvidarnos de la carga de iluminación. En la actualidad, la iluminación de 50 foot-candles es considerado como un nivel muy practico, y algunos niveles altos en iluminación están considerados entre 100 foot-candles y mayor que no están fuera de lo ordinario.

Con la llegada de la lámpara fluorescente, la mayor parte de la distribución de potencia para cargas de iluminación era de 120 volts para un funcionamiento de mayor eficacia en operación de lámparas incandescentes. Con un voltaje más alto las lámparas incandescentes son frágiles y generalmente no satisfactorio.

Las modernas practicas de iluminación incluyen cada vez más el uso de lámparas fluorescentes, solas o en combinación con otros tipos. El voltaje requerido al momento de arranque siempre es 120 volts y es proporcionado por un transformador construido en el balastro. Así el uso de lámparas fluorescentes ha abierto nuevas posibilidades para el uso de circuitos de voltaje más altos al reducir el costo del sistema de poder.

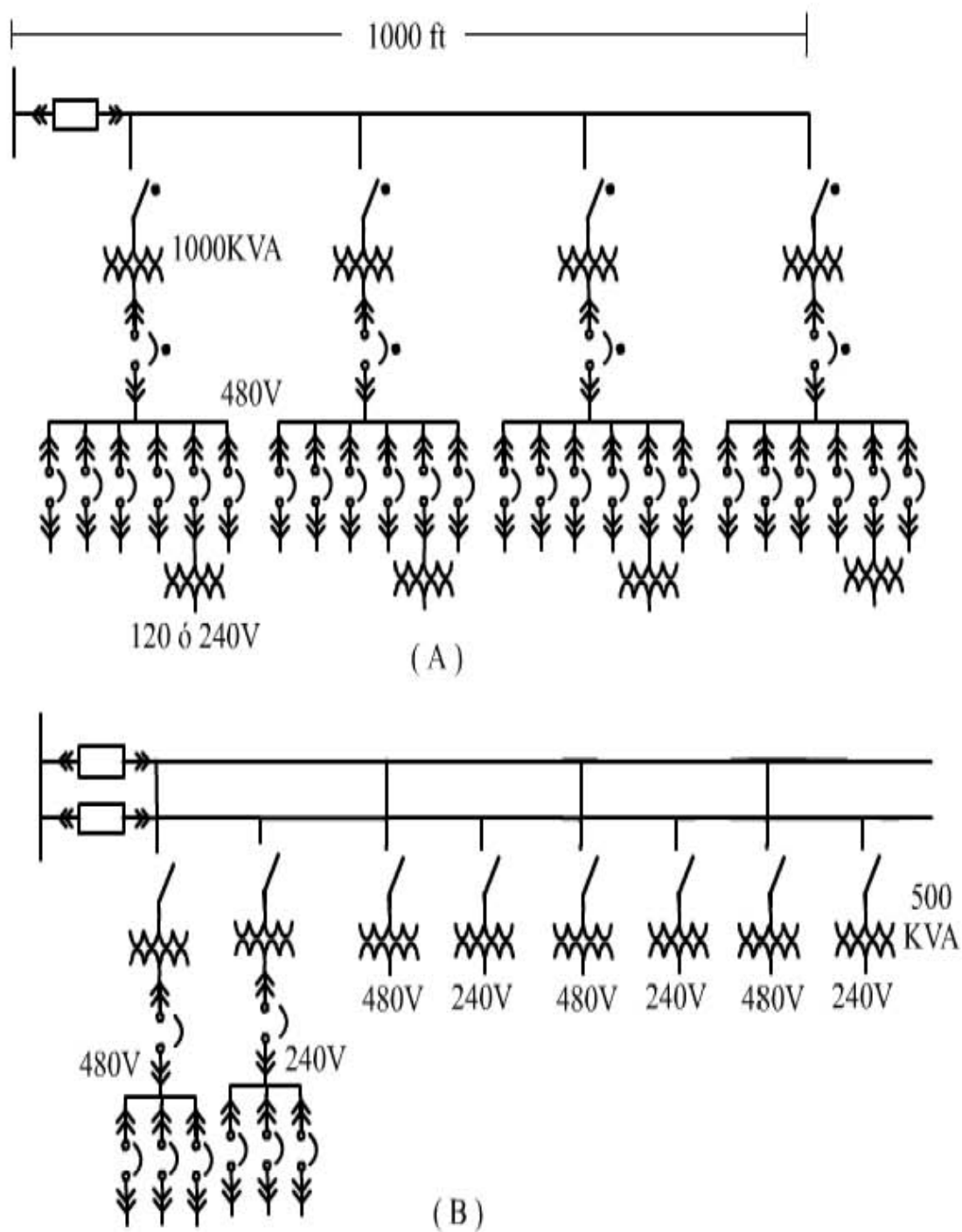


FIGURA 12.2 Dos combinaciones de voltaje en una subestación con rangos en Kva a suministro de cargas que operan con voltajes que difieren entre 600 volts y menos.

SELECCIÓN DE VOLTAJES PARA SISTEMAS DE 2.4 A 15 KV

Se usan voltajes de esta clase principalmente para la distribución de potencia primaria en plantas industriales. Todas las plantas usan voltaje primario de esta clase excepto alguna planta muy grande por ejemplo planta química, fundidora de acero, etc. En esta última puede emplear voltajes de subtransmisión sobre 15,000 volts.

Cuando el voltaje de utilización está debajo de 15,000 volts, no hay ningún problema de seleccionar el voltaje primario.

Puesto que el código eléctrico nacional permite 15,000 volts en los edificios, no hay generalmente ninguna razón por transformar voltajes del orden de 13,800 volts a, 2400 o 4160 volts para el suministro de la transmisión en el edificio. El voltaje más alto puede llevarse en cable y canalización o en cable con armadura enclavada, de las subestaciones al centro de carga y ahí transformar a voltaje de utilización.

Cuando el suministro de voltaje es inferior a 15,000 volts en la mayoría de las plantas exceptuando las de fundiciones de acero muy grandes, plantas químicas, etc., la transformación a un voltaje un poco menor de 15,000 volts es considerable, económicamente y técnicamente, por transmitirse de la planta de poder a las subestaciones de centro-carga donde ha disminuido a voltaje de utilización. En este caso el ingeniero de la planta debe seleccionar una planta de voltaje primario. La tendencia de los últimos años ha sido seleccionar voltajes más altos para obtener una mayor economía y flexibilidad en la expansión. Muchos de los estudios han demostrado que cualquiera de estos dos voltajes estará en la mayoría de los casos, figura 12.3, 4160 volts para plantas que tienen un transformador de suministro y/o la capacidad generadora de 10,000 Kva y menos y 13,800 volts para las plantas un transformador de suministro y/o capacidad de generación de 20,000 kva o mayor. Para el rango entre 10,000 y 20,000 kva, o 4160 o 13,800 volts pueden resultar ser muy económicos.

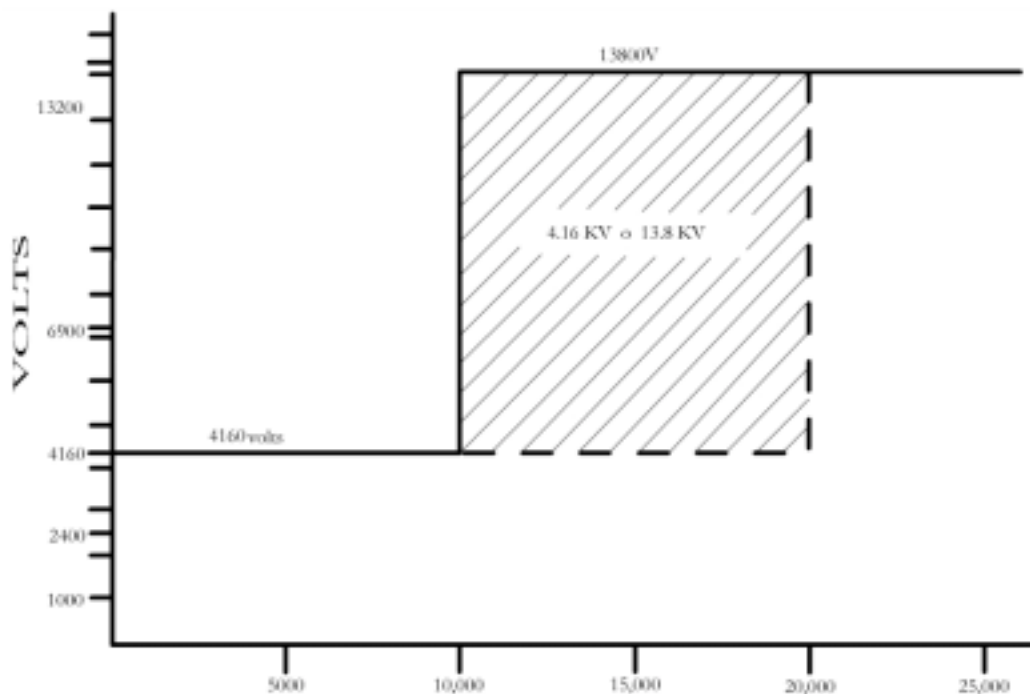


FIGURA 12.3 Mapa que muestra el voltaje primario más económico para las plantas industriales donde este sea una opción.

Sin embargo al seleccionar el rango de voltaje, no debe perderse de vista el hecho de que todas las plantas crecen en tamaño y que mientras 4160 volts pueden ser apropiados y sea ligeramente menos caro para una planta de 15,000 Kva, si esta planta debe crecer de 25,000 o 30,000 Kva, entonces 13,800 volts serían muy baratos. En este caso la selección del voltaje más alto pagaría indudablemente en el extremo.

Las ventajas básicas de voltaje más alto se consideran por la mejor economía en circuitos primarios de distribución, en primero más bajo costo de equipo, además de mejorar y simplificar el arreglo del bus de la estación principal.

USO DEL SISTEMA DE VOLTAJE SUPERIOR A 15KV

En muchas plantas y molinos, se usan voltajes de transmisión superiores a los 15kv. Tales voltajes no pueden generarse directamente y tampoco ser utilizados en los motores de igual forma, debe de sufrir una transformación del voltaje del generador a un voltaje más bajo para los motores que se requiere. Esto agregara uno o dos pasos extras de transformación de poder, no requeridos con el sistema de 13.8kv mostrado en la siguiente figura y un costo extra de \$3 a \$6 por KVA del sistema para la capacidad adicional del sistema debido a un voltaje más alto.

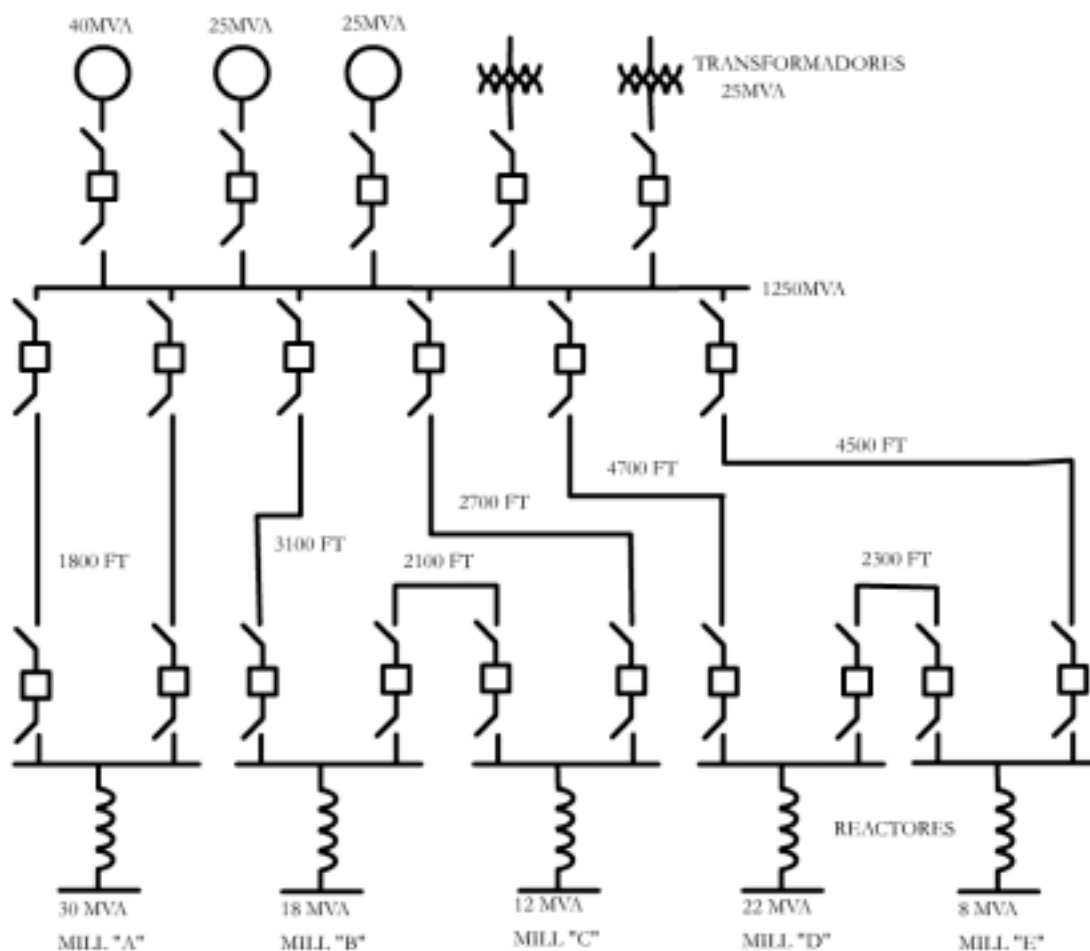


FIGURA 12.4 Grandes sistemas de poder con voltaje de distribución menor de 15k

Este costo de transformador extra debe ser compensado por economías en circuitos para justificar el uso de voltajes de la transmisión sobre 13.8 kv. Esto sin embargo, puede justificarse donde están envueltas a menudo grandes distancias o las cargas son muy grandes.

Hay cuatro clases de voltajes que se han usado para este servicio en general. Éstos son 23kv, 34.5kv, 46kv, y 69kv. Estos voltajes pueden subdividirse en dos clases, 34.5 y 69kv, debido a su diferencia.

Donde el espacio para ubicar la subestación no es ninguna limitante seria y el aislador no es considerado un obstáculo mayor, pueden construirse sistemas más grandes, más simples para un costo más bajo a los 69kv que a los 34.5kv.

Los sistemas de alto voltaje requieren una cantidad menor de circuitos donde hay una transmisión de grandes cantidades de voltaje de un punto a otro.

Actualmente en la mayoría de los países se ha tratado de adoptar el uso de las tensiones preferentes o valores cercanos los recomendados por las normas, teniendo hacia el establecimiento de valores preferentes de tensiones que unifiquen los niveles de tensión en la distribución, subtransmisión y transmisión, este proceso desde luego que es lento, pero ofrece ventajas considerables, una de ellas es la tendencia hacia la normalización de equipos y materiales usados en las instalaciones, facilidad de interconexiones, normalización de capacidades interruptivas, etc.

En la distribución existe una continua tendencia a elevar las tensiones a medida que la densidad de carga aumenta, pero en cualquier caso se busca la mayor economía, flexibilidad de operación y seguridad en el suministro de la energía eléctrica considerando los problemas técnicos inherentes como la capacidad para soportar los efectos de las corrientes de corto circuito.

Para las líneas de subtransmisión y transmisión la sección transversal mínima tiene una influencia directa para su selección del nivel de radio de transferencia que a su vez depende principalmente de la graduación de la tensión en la superficie del conductor, de esta forma, por ejemplo para una línea de 115KV con un conductor ACSR el conductor más pequeño posible es de 266.8 MCM (26/7) con una sección transversal de aluminio de 134.9mm^2 y un diámetro total de 16.28 mm.

En la actualidad existen programas digitales que permiten determinar muy rápidamente el diseño óptimo de una línea de transmisión considerando todos los aspectos como sección económica, tensión mas conveniente, número de estructuras y claro, nivel de aislamiento, etc., no obstante esto es conveniente regresar a los conceptos elementales que clasifican las ideas, en particular para aquellas personas que se inician en el estudio de estos tópicos, o para aquellas que por rutina de trabajo descuiden un poco aquellas reflexiones elementales que justifican algún criterio de diseño y que principalmente caen dentro del campo de la planeación de los sistemas.

En general se puede afirmar que el costo de una línea aumenta con la sección de los conductores, que para anteproyectos se puede considerar formado por dos sumandos, uno que es independiente de la sección (costo de los postes ó torres, aisladores, etc) otro proporcional a la sección de los conductores es claro además que en la construcción de una línea el costo de los conductores, disminuye al aumentar la tensión, pero en cambio el costo de los aisladores y demás material, incluyendo los elementos de las subestaciones eléctricas como los transformadores aumenta, evidentemente que hay una tensión en la que el costo total será mínimo, que se conoce como tensión económica, para determinar esta tensión son precisos algunos tanteos , haciendo varios estudios para la línea y las subestaciones.

Los valores de las tensiones a elegir están dentro de un número limitado y los estudios se reducen al análisis de unas cuantas alternativas, ya que la tendencia es a no adoptar demasiadas tensiones afin de no usar una gran cantidad de niveles de aislamiento y equipos, tendiendo en lo posible hacia la normalización.

Como una orientación para una primera aproximación desde hace algunos años se ha empleado una **fórmula empírica desarrollada por Still** para estimar la tensión mas económica en las líneas de transmisión trifásicas hasta de 220KV, que relaciona la potencia transmitida con la distancia a la que se va a transmitir para determinar la tensión mas económica. Dicha formula es:

$$KV = 5.5 \sqrt{\frac{Km}{1.61} + \frac{Kw}{100}} \quad \text{(KV entre fases).....(12.1)}$$

donde:

Km = distancia en kilómetros

Kw = potencia en kilowatts

Ejemplo:

Estimar la tensión mas económica de transmisión que debe transportar 3000Kw a una distancia de 30Km.

Solución:

Aplicando la formula antes mencionada

$$KV = 5.5 \sqrt{\frac{30}{1.61} + \frac{3000}{100}} = 38.35KV$$

Una práctica común da una idea de la longitud de una línea en función de la tensión de operación es que por cada kilómetro de longitud de línea se tenga por lo menos un kilovolt de tensión en la transmisión, siguiendo este criterio aproximado de la fórmula de Still se puede determinar la potencia a transmitir para una tensión dada y una longitud determinada.

Elevando al cuadrado ambos miembros y haciendo algunas operaciones, la potencia en Kw a transmitir se obtiene como:

$$Kw = 100 \left(\left(\frac{KV}{5.5} \right)^2 - \frac{Km}{1.61} \right) \dots\dots\dots(12.2)$$

donde:

KV = Tensión entre fases en Kv.

Km = Longitud de la línea en Km.

Ejemplo:

Calcular la potencia aproximada a transmitir para las líneas cuya tensión se indican a continuación.

Tensión nominal (KV)	Longitud (Km)
69	70
115	115
230	100

Solución:

Aplicando la ecuación 12.2 (ecuación anterior) se obtienen los valores que se presentan a continuación.

Tensión nominal (KV)	Longitud (Km.)	Potencia (Kw)
69	70	11.39
115	115	36.576
230	100	168.664

La impedancia característica de carga (ICC) se define como $ICC = V^2 / Z_0$; donde Z_0 es la impedancia característica de la línea, suponiendo por ejemplo que las impedancias características de carga para 69, 115 y 230Kv son 200, 230 y 260 ohms respectivamente la ICC es:

Tensión Nominal (Kv)	ICC (ohms)
69	23.805
115	57.5
230	203.46
231	

De lo anterior expuesto se puede notar que la línea mas económica implica una libertad de elección tanto en la tensión como en la sección transversal y para cualquier conductor si se trazan curvas que relacionen los criterios de selección de la tensión más económica y la sección transversal mas económica, el punto de intersección de estas curvas dará el criterio óptimo ya que como se ilustra en la figura 12.5 para conductores de aluminio, cada par de curvas se corta en un solo punto.

En general se concluye que la sección transversal óptima es directamente proporcional a la tensión óptima del sistema y se determina únicamente por la relación entre el aumento entre el costo por incremento en la tensión en relación con el costo en el aumento de la sección transversal como se muestra en la figura 12.6 para conductores de

aluminio, de esta forma la relación entre la tensión óptima, la potencia económica transmitida y la sección transversal para estos conductores se obtiene de acuerdo a la tabla siguiente.

Tensión (Kv)	Potencia transmitida (MVA)	Corriente (Amperes)	Sección óptima (mm ²)
34.5	0.5	9	13
69	2.0	18	26
115	5.5	30	42

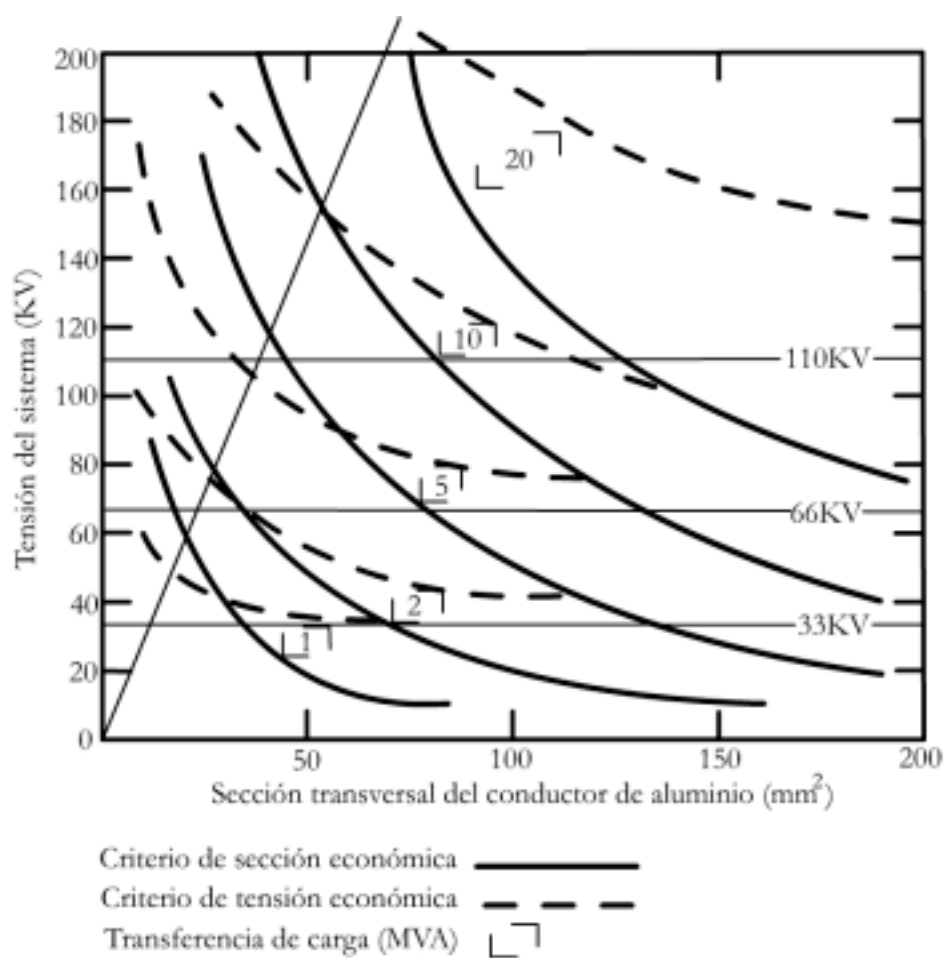


FIGURA 12.5 Interpretación grafica del criterio para la selección de tensión / sección económica para un conductor de aluminio.

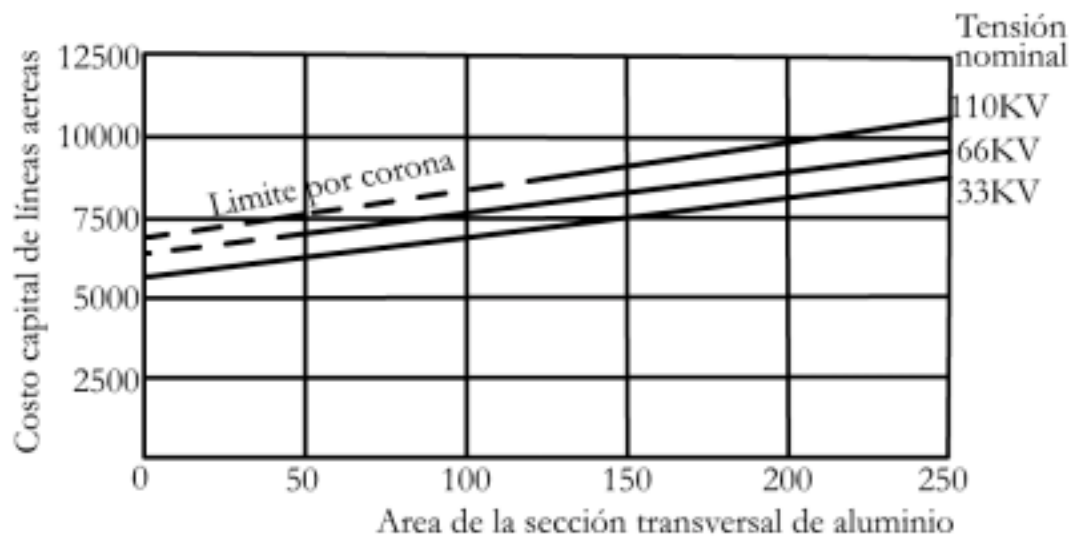


FIGURA 12.6 Curva de variación del costo capital de líneas de subtransmisión con un conductor de aluminio.

Los niveles de tensión de transmisión, subtransmisión y distribución se seleccionan para la republica mexicana entre los valores siguientes:

- | | |
|--------|-------|
| 6.6KV* | 85KV* |
| 13.2KV | 115KV |
| 23KV | 132KV |
| 34.5KV | 230KV |
| 44KV | 400KV |
| 69KV | |

* Valores de uso restringido

Los valores internacionales recomiendan los siguientes niveles:

- 11KV, 22KV, 33KV, 47KV, 56KV, 110KV, 132KV, 154KV, 220KV, 275KV, 380KV, 500KV, 765KV.

Si se seleccionan dentro de estas pocas alternativas, para las que tienen que hacerse algunas estimaciones del costo una vez seleccionada la configuración del sistema.

Los factores principales sobre los que depende la tensión son:

- I).- Longitud de transmisión.
- II).- Niveles de tensión en las redes próximas.
- III).- Pérdidas por I^2R , corona y dispersión.
- IV).- Corriente de excitación en vacío.
- V).- Regulación de tensión en el punto de recepción y en las líneas. Para propósitos de diseño la regulación debe mantenerse entre -5% y 5% de la tensión nominal en subtransmisión y 10% para transmisión.
- VI).- Límite de estabilidad permanente en la potencia de salida.

$$P = \frac{E_1 E_2}{X_{12}} \text{sen} \delta$$

Donde:

E_1 = Tensión de envío.

E_2 = Tensión de recepción.

X_{12} = Reactancia entre los puntos 1 y 2.

- VII).- Comportamiento de la estabilidad transitoria.

Sistema de distribución de energía eléctrica

Los sistemas de distribución son aquellos que llevan la potencia eléctrica hasta el consumidor haciendo la transferencia desde los sistemas de transmisión o subtransmisión. En términos generales se dividen en primarias y secundarias, siendo estas últimas aquellas que empiezan en el secundario de un transformador reductor y terminan en la entrada de servicio de los consumidores en donde se miden los consumos.

En la mayoría de los casos los sistemas de distribución operan con tensiones de 33KV ó menores, siendo así como en la República Mexicana se tienen tensiones de 34.5KV y menores para el nivel de distribución. Estos sistemas se caracterizan por muchas conexiones sólidas con pocas posibilidades de desconexión entre sí, por lo que no se tiene un control de la carga, excepto en áreas donde se usan redes subterráneas con protección automática.

En general la mayoría de los dispositivos de desconexión se usan normalmente en las redes primarias que operan a 13.2, 13.8, 23 ó 34.5 KV. Para fines de normalización de las redes de distribución se pueden clasificar en dos categorías en base a su tensión de operación.

Categoría 1.- Las redes que operan de 0 a 1000 volts.

Dentro de esta categoría caen las tensiones de distribución secundarias que recomienda la Comisión Internacional de Electrotecnia y que agrupa en dos series según el tipo de servicio como sigue:

Tipo de Servicio	Volts de operación Serie I	Volts de operación Serie II
Trifásico 3 hilos	500	600
Trifásico 3 hilos	380	480
Trifásico 3 hilos	220	240
Trifásico 4 hilos	220/380	240/415
Monofásico 3 hilos	---	120/240
Monofásico 2 hilos	---	240
Monofásico 2 hilos	220	---
Monofásico 2 hilos	127	120

En México los circuitos de distribución secundarios son por lo general trifásicos de cuatro hilos de 115 a 127 volts de línea a neutro y 200 a 220 entre líneas.

Categoría 2.- Las redes que operan desde 1000 hasta 34,500 volts.

En México las tensiones preferentes para distribución primaria son 6.6, 13.2, 23 y 34.5 KV.

Desde luego existen otras clasificaciones según el país y sistema de que se trate, pero en términos generales las categorías anteriores establecen claramente una diferencia entre las redes primarias y secundarias, el diseño de estas redes debe cumplir con los siguientes objetivos:

- 1) Mantener la tensión de suministro a los consumidores dentro de los límites del reglamento vigente (variaciones de $\pm 5\%$).
- 2) Máxima seguridad en el suministro de la energía eléctrica estableciendo un equilibrio técnico y económico, hasta el establecimiento de tarifas por consumo.
- 3) Dimensionado de la instalación para cubrir demandas futuras a un costo mínimo.

CLASIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

En general se puede mencionar que para llevar la energía eléctrica a los consumidores desde el punto de vista de construcción se tienen dos tipos de instalaciones:

- 1) Aéreas
- 2) Subterráneas

Las instalaciones aéreas comparativamente con las subterráneas tienen costos iniciales bajos y en la República Mexicana son las más usadas tanto en ciudades como en poblaciones rurales, son susceptibles en fallas que pueden provocar un gran número de interrupciones en el servicio por periodos de tiempo que acumulados anualmente pueden ser considerables, esto se debe a que están expuestos a contingencias físicas como son: descargas atmosféricas, lluvia, granizo, viento, polvos, temblores, gases contaminantes, lluvia salina, y otras como contacto con cuerpos extraños como ramas de árbol, vandalismo y choques de vehículos.

Por el contrario una red subterránea bien diseñada puede resultar mucho más confiable debido a que la mayoría de las contingencias mencionadas anteriormente no son características de este tipo de redes, lo que las hace más confiables, además de mas estéticas particularmente en zonas urbanas, no obstante tienen la relativa desventaja de su alto costo ya que en distribución pueden ser hasta 10 veces mas costosa que una aérea equivalente.

Por su aplicación las redes de distribución pueden ser para:

- a) Fuerza Motriz.
- b) Alumbrado residencial y comercial.
- c) Alumbrado público.
- d) Servicio de tracción.

Las principales características de estas redes según su aplicación son las siguientes:

- a).-Fuerza Motriz.

La principal característica que debe tener una red usada para fuerza motriz debe ser su continuidad de servicio, razón por la que debe cumplir con un buen diseño, y un sistema de conexión adecuado como es el denominado tipo anillo.

b).- Alumbrado Residencial y Comercial.

En este concepto se incluyen a todos los consumidores de casas habitación ya sea en casas unifamiliares, condominios o conjuntos habitacionales, así como los centros comerciales que tienen distinta utilización de la energía eléctrica, la característica de estas redes es que las variaciones permisibles de tensión son pequeñas, dándose un 3% de regulación por lo general en centros urbanos, en poblaciones rurales este porcentaje puede variar según la importancia de la carga por suministrar.

c).- Alumbrado Público.

El servicio a este tipo de alumbrado generalmente cubre las necesidades que se presentan en centros urbanos y poblaciones relacionados con alumbrado de calle y avenidas, parques y jardines, y en general caminos y centros de reunión exteriores, por lo general este sistema de alumbrado está conectado en serie y puede ser con lámparas de vapor de sodio, mercurio, incandescente o fluorescente dependiendo del área por iluminar y la importancia de la misma, también dependiendo de esto puede cambiar el tipo de conexión del sistema de alumbrado a paralelo.

d).- Servicio de Tracción.

El suministro a este tipo de servicio se hace por lo general en forma independiente debido a que en este servicio se hace uso normalmente de corriente directa rectificándose la corriente alterna de suministro por las redes de distribución en las subestaciones de las empresas que proporcionan el servicio de tracción, teniendo como característica principal este servicio su carga variable.

Se tiene otra clasificación que considera la tensión de operación, el tipo de zona a la que se proporcione el servicio y el número de fases del suministro y se hace como sigue:

Baja Tensión (Categoría 1)

Redes Urbanas que pueden ser aéreas o subterráneas con alimentación trifásica o monofásica.

Redes rurales aéreas con alimentación trifásica o monofásica.

Mediana Tensión (Categoría 2)

Redes Urbanas que pueden ser aéreas o subterráneas con alimentación trifásica o monofásica.

Redes rurales aéreas con alimentación trifásica o monofásica.

SISTEMAS RADIALES AÉREOS

Los sistemas de distribución radiales aéreos se usan generalmente en las zonas suburbanas y en las zonas rurales.

Los alimentadores primarios que parten de la subestación de distribución están constituidos por líneas aéreas sobre postes y alimentan los transformadores de distribución, que están también montados sobre postes. En regiones rurales, en las que la densidad de carga es baja, se utiliza el sistema radial puro. En regiones suburbanas, con mayor densidad de carga, los alimentadores primarios que parten de la misma subestación o subestaciones diferentes, tienen puntos de interconexión. En servicio normal estos puntos de interconexión están abiertos; en condiciones de emergencia permiten pasar parte de la carga de un alimentador a otro.

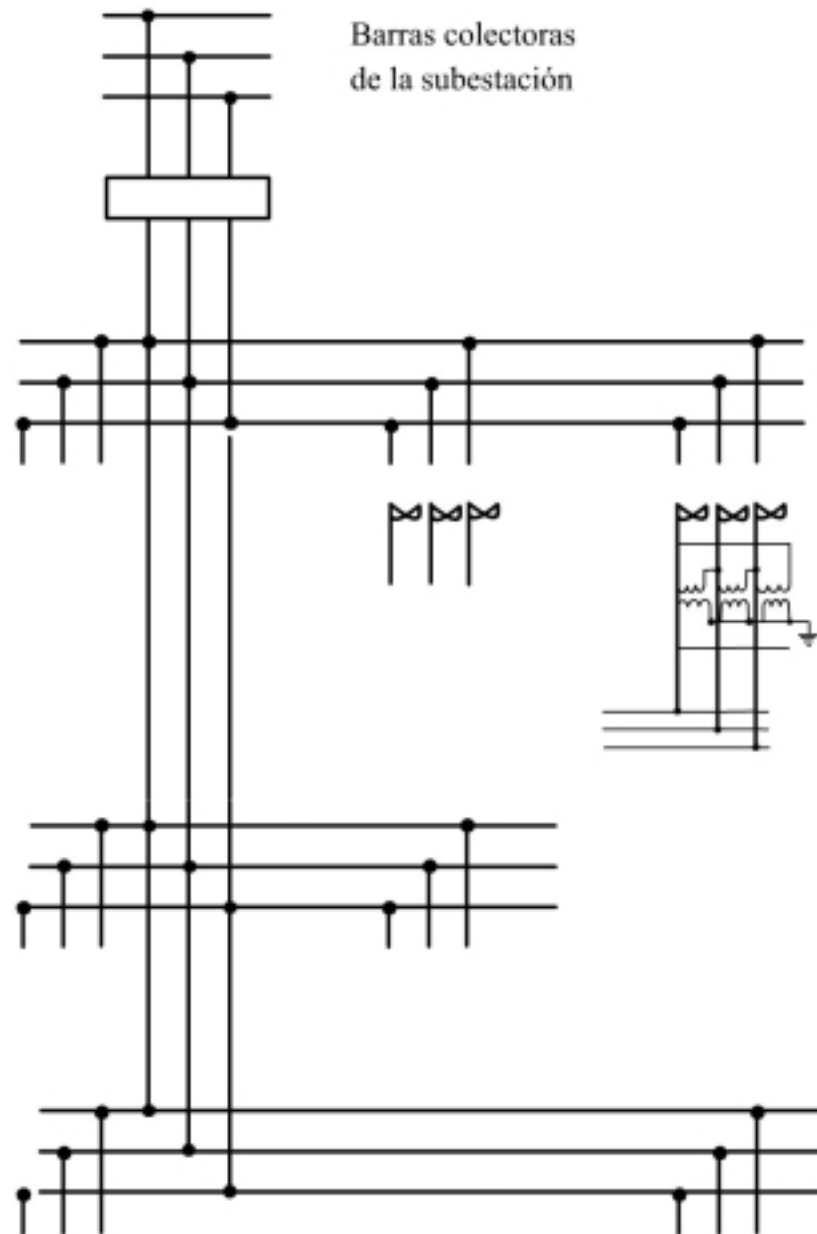


FIGURA 13.1 Sistema de distribución radial con alimentadores trifásicos de tres hilos. (Diagrama trifilar).

Los circuitos secundarios conectan el secundario de cada transformador de distribución a los servicios alimentados por ese transformador siguiendo también una disposición radial, aunque en algunos casos se interconectan los secundarios de transformadores adyacentes.

Para la alimentación primaria radial se utilizan dos sistemas: trifásico de tres hilos y trifásico de cuatro hilos.

Sistema primario trifásico de tres hilos. En este sistema, del cual se muestre un diagrama trifilar en la figura 13.1, la alimentación troncal del alimentador primario está constituida por un circuito trifásico de tres hilos; los ramales pueden ser también trifásicos de tres hilos y alimentar transformadores de distribución trifásicos, o bien estar constituidos por dos conductores de fase que alimentan transformadores de distribución monofásicos.

Sistema primario trifásico de cuatro hilos. En este sistema, cuyo diagrama trifilar se muestra en la figura 13.2, la alimentación que sale de la subestación consiste en una alimentación trifásica formada por tres conductores de fase y un conductor neutro. La mayor parte del alimentador primario consiste en un circuito monofásico formado por un conductor de fase y un conductor neutro. Para que un sistema funcione correctamente el neutro debe quedar conectado a tierra en forma efectiva, lo que requiere hacer una conexión a tierra del neutro en cada poste. Si por algún motivo el neutro se desconectase de tierra, o la impedancia a tierra fuese muy alta, el sistema se transformaría en estrella sin neutro a tierra, lo que podría dar lugar a elevaciones peligrosas de la tensión y a corrientes excesivas, provocadas por el desplazamiento del neutro con cargas desequilibradas.

En este sistema de cuatro hilos, las cargas trifásicas se toman entre tres conductores de fase y las cargas monofásicas pueden tomarse entre dos conductores de fase o entre un conductor de fase y el neutro. Sin embargo su aplicación principal ha sido como sistema de distribución monofásico, para zonas rurales de densidad de carga baja.

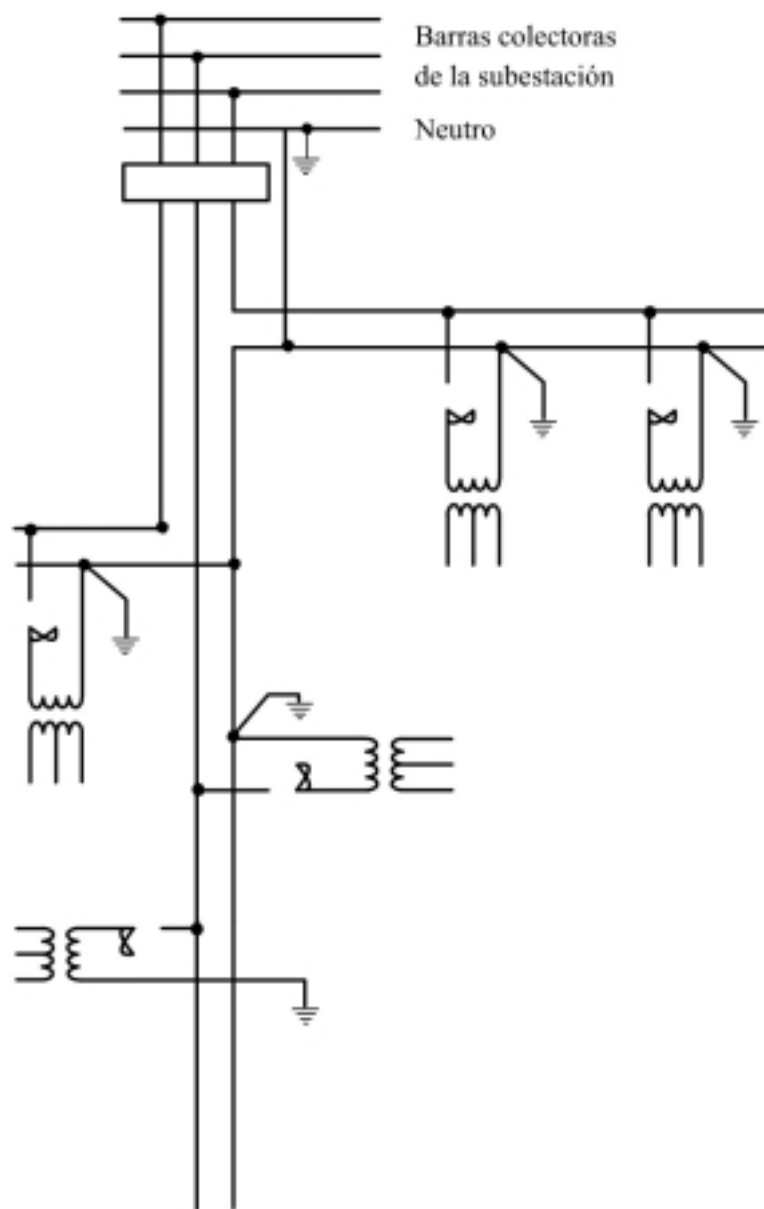


FIGURA 13.2 Sistema de distribución radial con alimentadores primarios trifásicos de cuatro hilos (Diagrama trifilar)

Conexión de los alimentadores primarios en anillo. En zonas de densidad de carga elevada, se puede recurrir, para mejorar la continuidad del servicio, a interconectar los dos extremos de dos alimentadores primarios que salen de una misma subestación mediante un interruptor, como se muestra en la figura 13.3. Este arreglo puede operarse de las siguientes dos maneras:

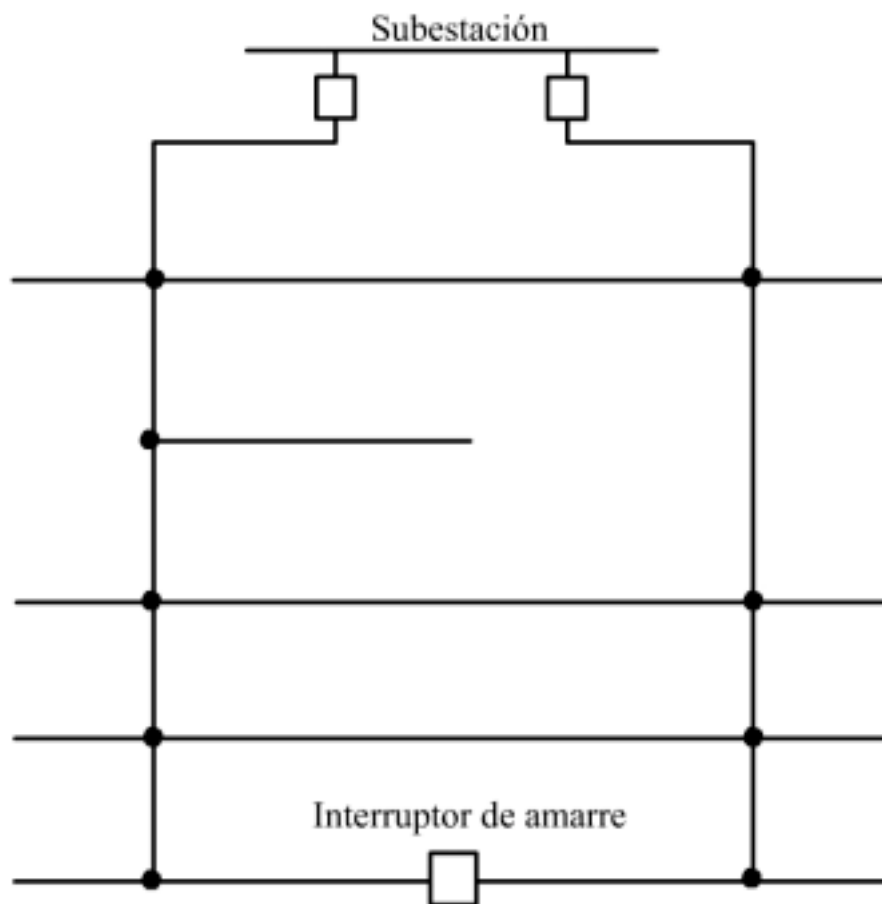


FIGURA 13.3 Conexión de dos alimentadores primarios para formar un anillo (Diagrama unifilar)

Operación con el interruptor de amarre normalmente abierto, en cuyo caso los dos alimentadores funcionan como alimentadores radiales; en caso de una falla de un alimentador, abre el interruptor correspondiente de la subestación y después de desconectar la zona afectada por la falla puede cerrarse el interruptor de amarre para tomar parte de la carga del alimentador afectado por la falla.

Operación con el interruptor de amarre normalmente cerrado en cuyo caso opera como anillo; la carga total se divide entre los dos alimentadores y se obtiene una mejor regulación de voltaje y se reducen las pérdidas. Una falla en un punto del anillo provoca la apertura del interruptor de amarre el cual abre instantáneamente, separando los dos

alimentadores y después abre el interruptor de la subestación correspondiente al alimentador afectado por la falla.

Por lo que hace que los circuitos secundarios de los sistemas radiales, existen dos tipos principales; trifásicos de cuatro hilos y monofásicos de tres hilos. Se emplean también, aunque menos frecuentemente, circuitos trifásicos de tres hilos para alimentar cargas industriales.

Sistema secundario trifásico de cuatro hilos. Este tipo de circuitos secundarios se alimentan desde el circuito primario mediante transformadores de distribución trifásicos con conexión delta en el lado de alta tensión y conexión estrella con neutro a tierra en el lado de baja tensión, como se muestra en la figura 13.4

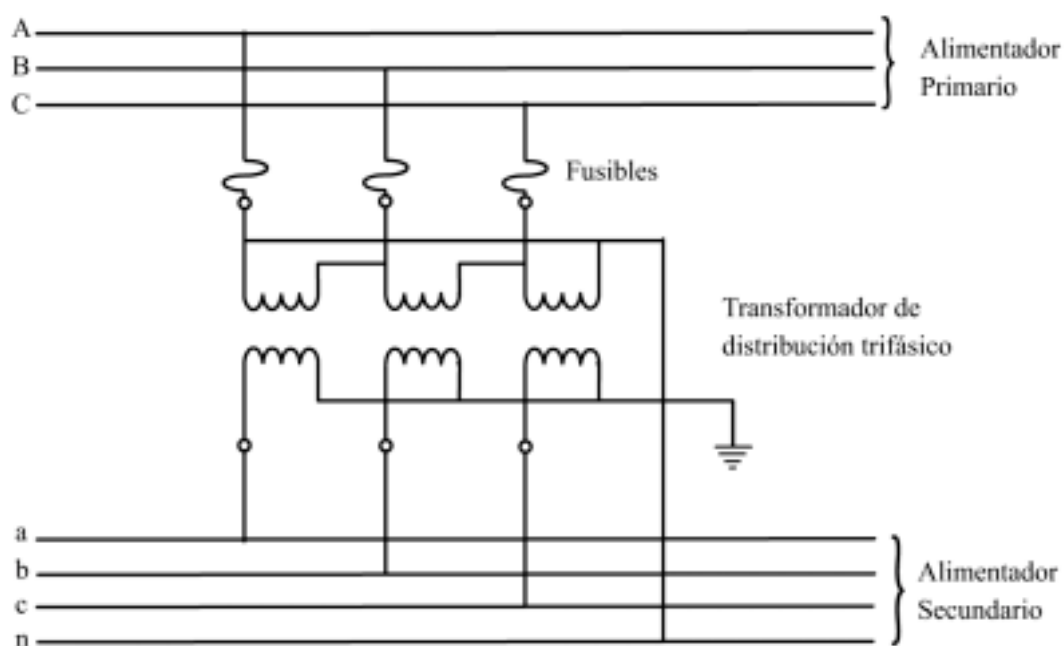
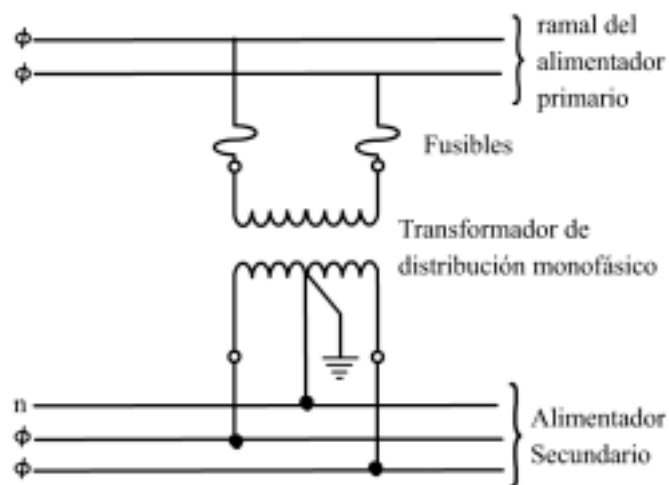


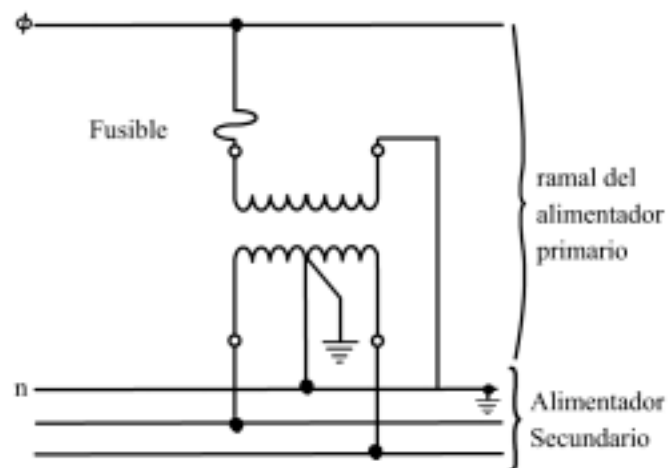
FIGURA 13.4 Sistema secundario trifásico de cuatro hilos

Las cargas trifásicas se alimentan de los tres hilos conductores de fase; las cargas monofásicas pueden alimentarse de una fase y el neutro, a la tensión V_n o de dos fases, a la tensión $\sqrt{3} V_n$.

Sistema secundario monofásico de tres hilos Este sistema se alimenta desde el circuito primario mediante transformadores de distribución monofásicos, como se muestra en la figura 13.5. La figura 13.5a representa el caso de un sistema alimentado desde dos fases de un alimentador primario de tres hilos y la figura 13.5b el de un sistema alimentado de una fase y el neutro de un alimentador primario de cuatro hilos. En este sistema las cargas monofásicas pueden alimentarse de un hilo de fase y el neutro, a la tensión V_n o de dos hilos de fase, a la tensión $2 V_n$.



a) Sistema secundario monofásico de tres hilos alimentado desde dos fases de un sistema primario de tres hilos



b) Sistema secundario monofásico de tres hilos alimentado de una fase y el neutro de un sistema primario de cuatro hilos con neutro común.

FIGURA 13.5 sistemas secundarios monofásicos de tres hilos

Con este sistema pueden servirse ocasionalmente una carga trifásica mediante dos transformadores monofásicos conectados en delta abierta en el secundario, como se indica en la figura 13.6, resultando una tensión entre fases de $2V_n$. Sin embargo esa conexión puede dar lugar a desequilibrios importantes de las tensiones.

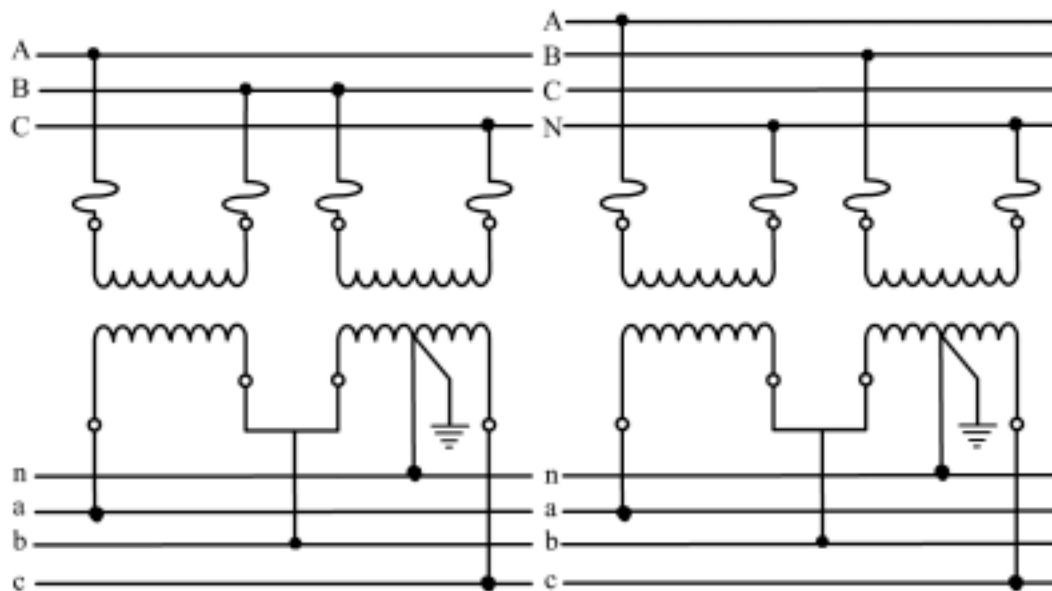


FIGURA 13.6 Alimentación ocasional de cargas trifásicas en zonas de alimentación monofásica

SISTEMAS RADIALES SUBTERRÁNEOS

Los sistemas de distribución radiales subterráneos se usan en zonas urbanas de densidad de carga media y alta.

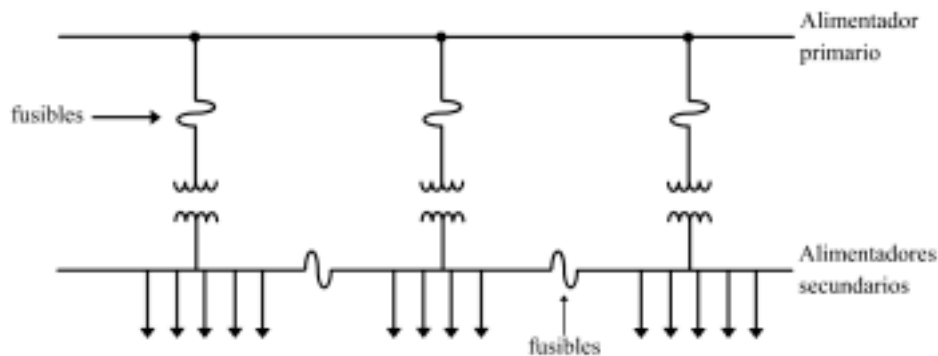


FIGURA 13.7 Interconexión de los alimentadores secundarios (Diagrama Unifilar)

Los sistemas de distribución subterráneos están menos expuestos a fallas que los aéreos, pero cuando se produce una falla es más difícil de localizar y su reparación lleva más tiempo. Por esta razón, para evitar interrupciones prolongadas y proporcionar flexibilidad a la operación, en el caso de los sistemas radiales subterráneos se instalan seccionadores para permitir pasar la carga de un alimentador primario a otro. También se instalan seccionadores para poder conectar los circuitos secundarios, para que en caso de falla o de desconexión de un transformador, se puedan conectar secundarios a un transformador contiguo. En la figura 13.8 se muestra el diagrama unifilar de un sistema subterráneo.

Actualmente existe la tendencia a realizar la distribución eléctrica de zonas residenciales suburbanas mediante instalaciones subterráneas. Generalmente los alimentadores primarios consisten en cables subterráneos dispuestos formando un anillo, que funciona normalmente abierto, conectados a un alimentador aéreo próximo. En la figura 13.9 se muestra el diagrama unifilar de una instalación de este tipo.

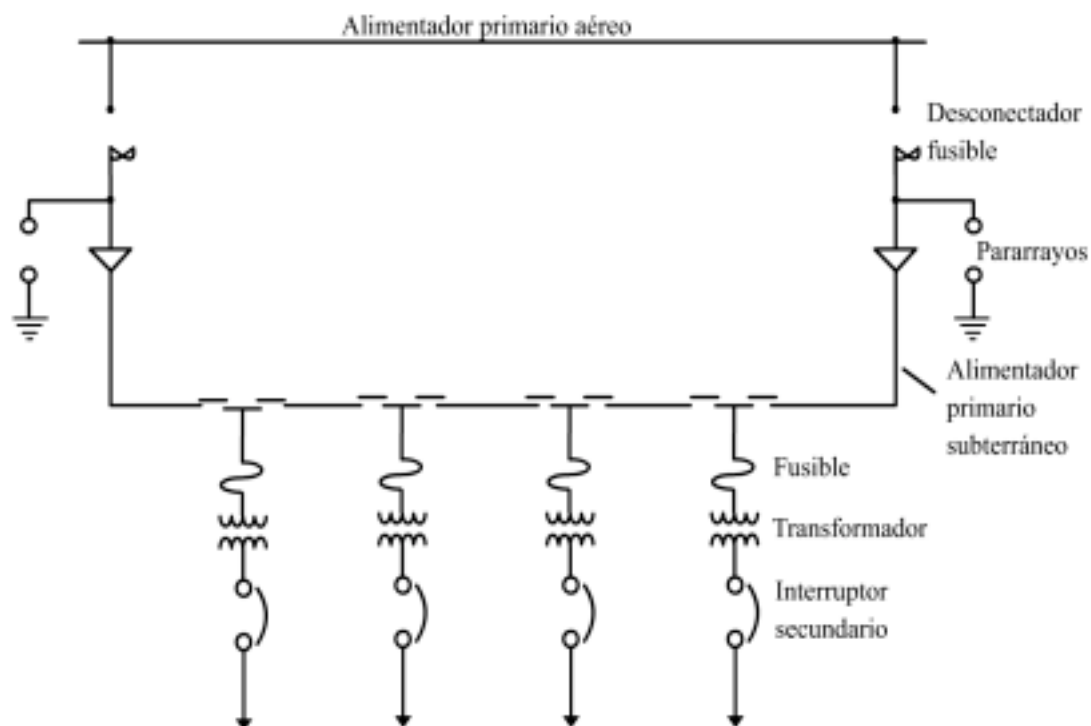


FIGURA 13.9 Sistema de distribución en anillo normalmente abierto, para zonas residenciales suburbanas (Diagrama Unifilar)

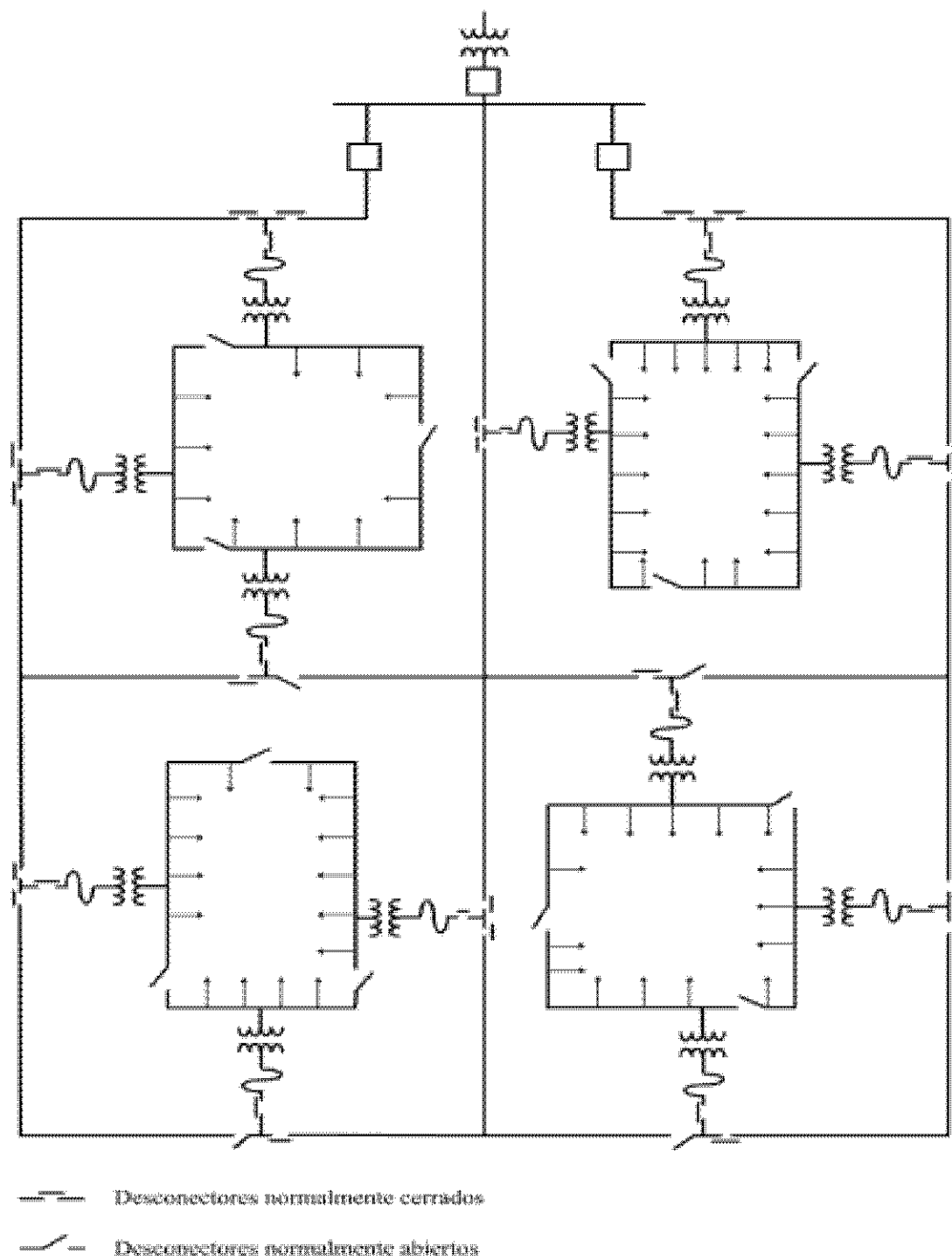


FIGURA 13.8 Sistema de distribución radial subterráneo (Diagrama Unifilar)

Sistema de red automática secundaria

Este sistema de distribución se utiliza en zonas urbanas de gran densidad de carga y proporciona un grado de continuidad de servicio muy elevado. Las instalaciones son subterráneas.

Como se muestra en la figura 13.10, la red secundaria está constituida por alimentadores secundarios, trifásicos de cuatro hilos, interconectados formando una malla, siguiendo el trazado de las calles de la zona urbana a la que le suministra la energía eléctrica y de la que se derivan los servicios a los consumidores.

La red secundaria se alimenta por varios alimentadores primarios, trifásicos radiales, procedentes de una misma subestación, a través de transformadores de distribución trifásicos, conectados del lado de baja tensión a los nudos de la red secundaria. Estos transformadores están conectados al alimentador primario correspondiente por unas simples cuchillas desconectadoras y a la red secundaria por un protector de red, que es un interruptor en aire operado automáticamente por un relevador principal direccional y un relevador auxiliar de fase, que tiene como función abrir el protector de red cuando la potencia eléctrica fluye de la red secundaria hacia el alimentador primario y cerrar el protector cuando el voltaje en las terminales secundarias del transformador es mayor que el voltaje de la red secundaria y ambos están aproximadamente en fase, de manera que al cerrar el protector la potencia eléctrica circulará del alimentador primario a la red secundaria.

Cuando ocurre una falla de aislamiento en un alimentador primario, la protección automática de dicho alimentador hace abrir el interruptor correspondiente de la subestación. La falla es alimentada también desde la red secundaria, lo que provoca la apertura de los protectores de red de los transformadores conectados al alimentador primario afectado por la falla. Para restablecer el servicio una vez que la falla ha sido eliminada, basta con cerrar el interruptor de la subestación lo que provoca el cierre automático de los protectores de red. La red automática se diseña de manera que pueda funcionar satisfactoriamente con un alimentador primario fuera de servicio.

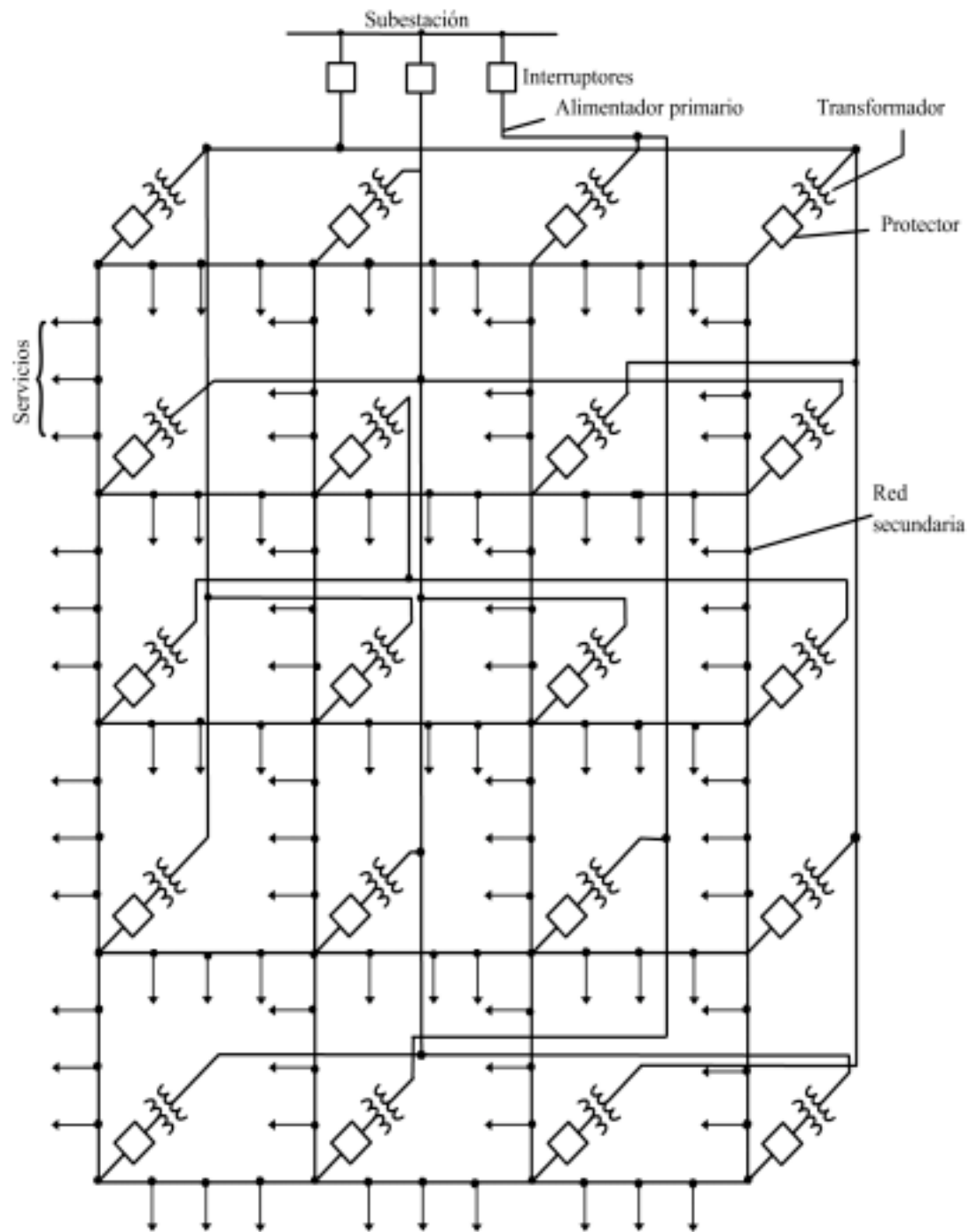


FIGURA 13.10 Sistema de distribución de red automática secundaria. (Diagrama Unifilar)

El protector de red incluye fusibles cuya función es proteger contra fallas en el mismo protector o servir como protección de respaldo para fallas en el transformador o en los alimentadores primarios y la red secundaria.

La mayoría de las redes automáticas secundarias están diseñadas de manera que una falla en la red secundaria se elimine sin necesidad de que opere ninguna protección, al quemarse el cable en el punto de falla. Este sistema funciona bien con voltajes secundarios de 120/208 volts ó 125/216 volts, que son los más utilizados en este tipo de instalaciones, ya que estos voltajes no son suficientes para mantener el arco eléctrico; se requiere también que la corriente de cortocircuito sea de intensidad suficiente para quemar el cable en el punto de falla y eliminar así la falla. Periódicamente (por ejemplo una vez al año) deben hacerse pruebas de continuidad de la red, para localizar los puntos donde se han producido fallas y proceder a la reparación de los cables.

En redes automáticas secundarias con voltajes más altos que los antes mencionados el procedimiento de auto-extinción de fallas no es siempre seguro. En estos casos se recurre a realizar la protección mediante limitadores, que son piezas de cobre de menor sección que los alimentadores secundarios, que se instalan en serie con éstos cerca de los puntos de unión de la red y que, cuando hay una sobrecorriente de suficiente magnitud, se funden antes de que se dañe el cable.

En caso de cargas concentradas de gran magnitud, que pueden afectar el buen funcionamiento de una red automática secundaria convencional, puede recurrirse a un arreglo como el mostrado en la figura 13.11

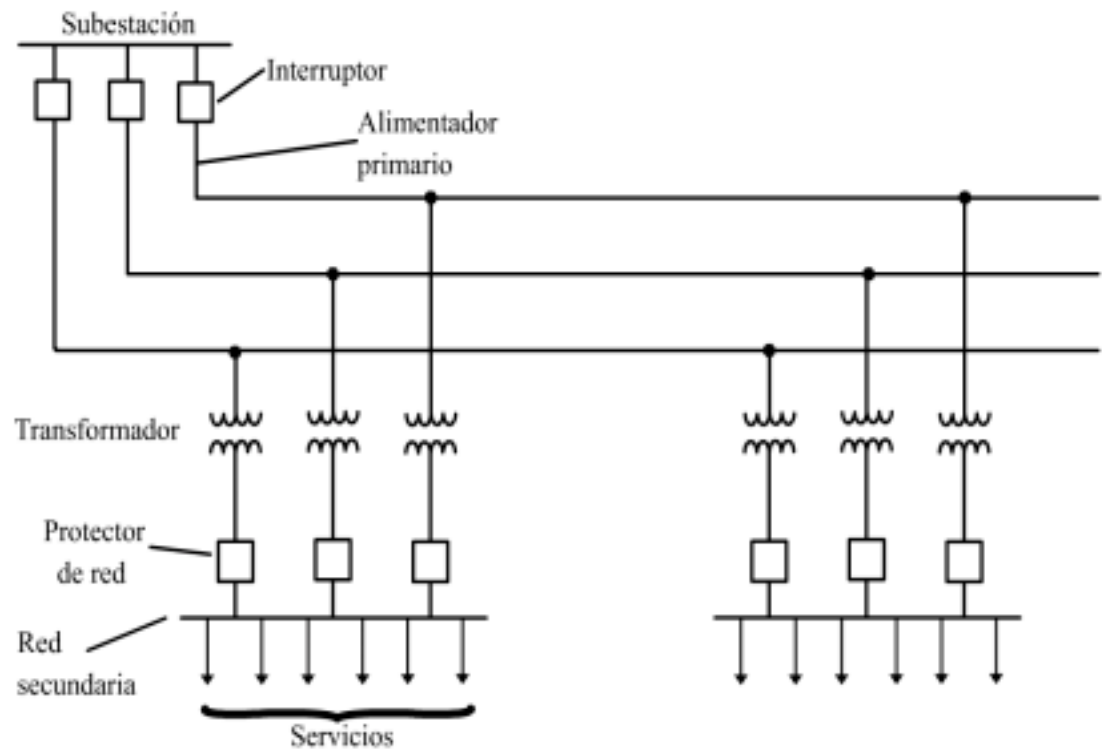


FIGURA 13.11 Red automática secundaria para cargas concentradas (Diagrama Unifilar)

Subestaciones

La subestación es un conjunto de dispositivos eléctricos, que forman parte de un sistema eléctrico de potencia; sus funciones principales son: transformar tensiones y derivar circuitos de potencia.

Relación entre las Subestaciones Eléctricas, Líneas de Transmisión y Centrales Generadoras.

Los voltajes de generación en las centrales generadoras por razones técnicas (aislamiento, enfriamiento, etc.) son relativamente bajos en relación a los voltajes de transmisión, por lo que si la energía eléctrica se va a transmitir a grandes distancias estos voltajes de generación resultarán antieconómicos debido a la gran caída de tensión que se tendría y a las pérdidas por efecto Joule que daría lugar el cuadrado de la corriente transportada; por lo que aquí se presenta la necesidad de transmitir la energía eléctrica a voltajes mas elevados que resulten más económicos.

Por ejemplo si se va a transmitir energía eléctrica de una central generadora a un centro de consumo que esta situado a mil kilómetros de distancia será necesario elevar el voltaje que supondremos de 13.8 KV, a otro de transmisión mas conveniente que

supondremos de 110 KV. Como se ilustra en la figura 14.1. Para poder elevar el voltaje de generación de 13.8 KV al de transmisión de 110 KV. Es necesario el empleo de una subestación eléctrica “A”. Es obvio que éste voltaje no es posible emplearlo en las instalaciones eléctricas industriales y aun menos comerciales y residenciales. De aquí se desprende la necesidad de reducir el voltaje de transmisión de 110 KV. A otro u otros más convenientes de distribuciones de centros urbanos o de consumo, por tal razón será necesario emplear otra subestación eléctrica “B” como se ilustra en la figura de la siguiente página (fig.14.1). Se puede observar que existe una estrecha relación entre las subestaciones eléctricas, líneas de transmisión y centrales generadoras.

Las subestaciones se pueden denominar, de acuerdo con el tipo de función que desarrollan, en tres grupos:

- a) Subestaciones variadoras de tensión.
- b) Subestaciones de maniobra o seccionadoras de circuito.
- c) Subestaciones mixtas (mezcla las dos anteriores).

De acuerdo con la potencia y tensión que manejan las subestaciones, éstas se pueden agrupar en:

- a) Subestaciones de transmisión. (arriba de 230KV.)
- b) Subestaciones de subtransmisión. (entre 230 y 115KV)
- c) Subestaciones de distribución primaria. (entre 115 y 23KV)
- d) Subestaciones de distribución secundaria (debajo de 23KV)

CAPACIDAD

La capacidad de una subestación se fija, considerando la demanda actual de la zona en KVA, más el incremento, obtenido por extrapolación, durante los siguientes diez años, previendo el espacio necesario para las futuras ampliaciones.

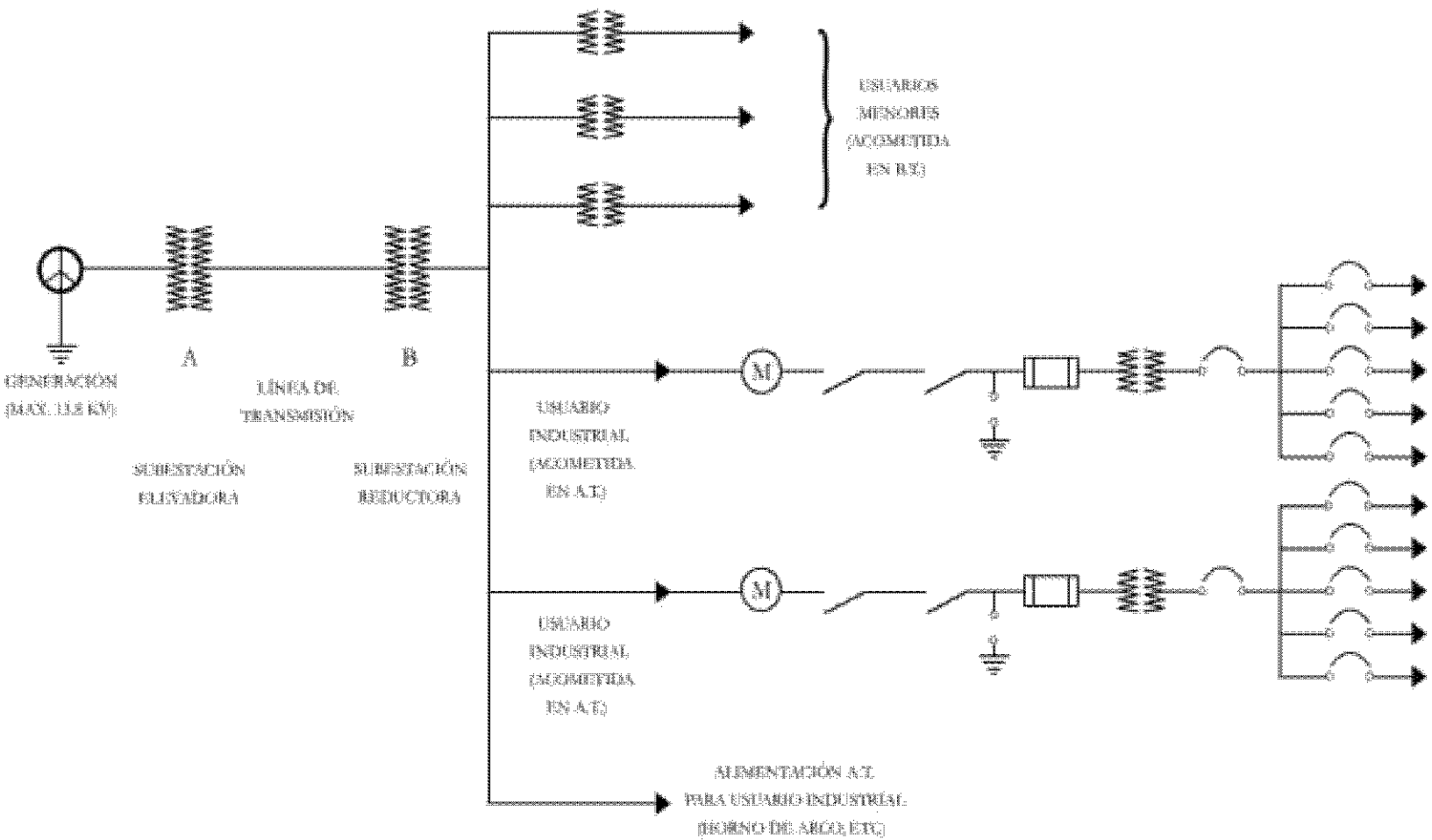


DIAGRAMA UNIFILAR TÍPICO DE GENERACIÓN, ELEVACIÓN, TRANSMISIÓN, REDUCCIÓN, DISTRIBUCIÓN Y UTILIZACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA
FIGURA 14.1

TENSIÓN

Dentro de la gama existente de tensiones normalizadas, la tensión de una subestación se puede fijar en función de los factores siguientes:

- a) Si la subestación es alimentada en forma radial, la tensión se puede fijar en función de la potencia de la misma.
- b) Si la alimentación proviene de un anillo, la tensión queda obligada por la misma del anillo.
- c) Si la alimentación se toma de una línea de transmisión cercana, la tensión de la subestación queda obligada por la tensión de la línea citada.

Tensiones normalizadas

Las tensiones en un sistema de potencia se normalizan, en primer término, dependiendo de las normas que se utilizan en cada país y, en segundo término, según las normas internas de las empresas propietarias de los sistemas eléctricos.

En México, en el sistema central, las tensiones normalizadas son las siguientes:

Alta tensión 400, 230, 85 y 23 KV

Baja tensión 440, 220 y 127 Volt

Equipo de una subestación

Los elementos que constituyen una subestación se pueden clasificar en elementos principales y elementos secundarios.

Elementos Principales

1. TRANSFORMADOR
2. INTERRUPTOR DE POTENCIA
3. CUCHILLAS FUSIBLES
4. CUCHILLAS DESCONECTADORAS Y CUCHILLAS DE PRUEBA
5. APARTARRAYOS
6. TABLEROS
7. CONDENSADORES
8. TRANSFORMADORES DE MEDICIÓN (POTENCIAL Y CORRIENTE)
9. CABLES DE POTENCIA
10. CABLES DE CONTROL
11. ALUMBRADO
12. ESTRUCTURA
13. HERRAJES
14. EQUIPO CONTRA INCENDIO
15. EQUIPO DE FILTRADO DE ACEITE
16. SISTEMA DE TIERRAS O RED DE TIERRAS.

A continuación se describe de una manera sencilla algunos de los elementos mas importantes de una subestación como son:

Transformadores de potencia como sabemos un transformador es una máquina electromagnética, cuya función es cambiar la magnitud de las tensiones eléctricas.

Se considera que esta formado por tres partes principales:

Parte activa

Parte pasiva

Accesorios

Parte activa

Esta formada por un conjunto de elementos separados del tanque principal y que agrupa los siguientes elementos.

Núcleo.- Este constituye el circuito magnético, que está fabricado en lámina de acero al silicio, con un espesor de 0.28mm. La norma que utiliza el fabricante para el diseño del núcleo, no establece formas ni condiciones especiales para su fabricación. Se busca la estructura más adecuada para satisfacer las necesidades de servicio que se tienen, el núcleo puede ir unido a la tapa y levantarse con ella, o puede ir unido a la pared del tanque, lo cual produce mayor resistencia durante las maniobras mecánicas de transporte.

Bobinas.- Éstas constituyen el circuito eléctrico, se fabrican utilizando alambre o solera de cobre o de aluminio. Los conductores se forran de material aislante que pueden tener diferentes características, de acuerdo con la tensión de servicio de la bobina, la temperatura y el medio en que va a estar sumergida.

Las normas tampoco establecen condiciones específicas quedando a mano de los diseñadores el adoptar criterios que vayan de acuerdo con la capacidad y la tensión, y que incidan en la forma de las bobinas.

Los devanados deben de tener conductos radiales y axiales que permitan fluir el aceite y eliminar el calor generado en su interior. Además, deben tener apoyos y sujeciones suficientes para soportar los esfuerzos mecánicos debidos al propio peso, y sobre todo los de tipo electromagnético que se producen durante los cortocircuitos.

Las bobinas, según la capacidad y tensión del transformador pueden ser de tipo rectangular para pequeñas potencias, de tipo cilíndrico para potencias medianas y de tipo galleta para las potencias altas.

Bobina rectangular.- Se instala sobre un núcleo de sección rectangular. Es la bobina más barata. Se puede utilizar en transformadores trifásicos con potencias limitadas hasta de 5MVA y tensiones de hasta 69KV.

Bobina cilíndrica.- se forma con una serie de discos, con separaciones de cartón aislante para permitir el flujo del aceite; los discos se instalan sobre un tubo de material aislante. Cada disco consta de varias vueltas devanadas en espiral. Se utilizan en transformadores de potencias medianas, a sea de hasta 10 MVA y 15 KV.

Devanado continuo tipo disco.- Semejante al anterior. Se inicia a partir de un disco que se devana en espiral desde el tubo aislante hacia fuera. La vuelta exterior del disco se conecta con la exterior del siguiente disco, y en éste el devanado espiral se arrolla ahora desde afuera hacia dentro, continuando así sucesivamente hasta terminar la bobina. Los discos se separan entre sí por medio de espaciadores de cartón prensado.

Este tipo de embobinados se utiliza en transformadores con potencias de hasta 40 MVA y para tensiones entre 15 y 69 KV.

Bobina tipo galleta.- El primario y el secundario se devanan en forma de galletas rectangulares, colocando las bobinas primarias y secundarias en forma alternada. Se utilizan en transformadores de tipo acorazado, para altas potencias y altas tensiones (230 o 400 KV).

En la construcción de las bobinas existen especificaciones particulares de cada usuario que imponen ciertos criterios, como pueden ser:

Forma de la sección del conductor en los devanados de alta y baja tensión, tipo de aislamiento para soportar altas temperaturas, aplicación de compuestos aislantes a las bobinas, etcétera.

Cambiador de derivaciones.- Constituye el mecanismo que permite regular la tensión de la energía que fluye de un transformador. Puede ser de operación automática o manual, puede instalarse en el lado de alta o de baja tensión dependiendo de la

capacidad y tensión del aparato, aunque conviene instalarlos en alta tensión, debido a que su costo disminuye en virtud de que la intensidad de corriente es menor.

Bastidor.- está formado por un conjunto de elementos estructurales que rodean el núcleo y las bobinas, y cuya función es soportar los esfuerzos mecánicos y electromagnéticos que se desarrollan durante la operación del transformador.

Parte pasiva

Consiste en el tanque donde se aloja la parte activa; se utiliza en los transformadores cuya parte activa va sumergida en líquidos.

El tanque debe ser hermético, soportar el vacío absoluto sin presentar deformación permanente, proteger eléctrica y mecánicamente el transformador, ofrecer puntos de apoyo para el transporte y la carga del mismo, soportar los enfriadores, bombas de aceite, ventiladores y los accesorios especiales.

La base del tanque debe ser lo suficientemente reforzada para soportar las maniobras de levantamiento durante la carga o descarga del mismo.

El tanque y los radiadores de un transformador deben tener un área suficiente para disipar las pérdidas de energía desarrolladas dentro del transformador, sin que su elevación de temperatura exceda 55°C, o más, dependiendo de la clase térmica de aislamiento especificado.

A medida que la potencia de diseño del transformador crece, el tanque y radiadores, por si solos no alcanzan a disipar el calor generado, por lo que en diseños de unidades de alta potencia se hace necesario adicionar enfriadores, a través de los cuales se hace circular aceite forzado por bombas, y se sopla aire sobre los enfriadores, por medio de ventiladores. A este tipo de eliminación térmica se le llama enfriamiento forzado.

El enfriamiento de los transformadores se clasifica en los siguientes grupos:

Clase 0A.- Enfriamiento por aire. Circulación natural.

Clase 0W.- Enfriamiento por agua a través de un serpentín. Circulación natural.

Clase F0A.- Enfriamiento por aceite y aire forzados.

1.1.- Transformadores con aislante en seco

1.2.- Transformadores con aislante en aceite

1.1.- Transformadores con Aislante en Seco.- Tienen su parte activa en contacto directo con su medio gaseoso (Por lo general aire) o bien con algún medio aislante sólido como por ejemplo resina, materiales plásticos, etc. Estas máquinas por lo general se construyen para potencias hasta algunos KVA y con tensiones que normalmente no exceden a la clase de 15 KV por lo que su empleo es reducido casi a los servicios auxiliares de algunas instalaciones o como parte integrante de las instalaciones secundarias, industriales ó comerciales.

1.2.- Transformadores con Aislante en Aceite.- Tienen su parte activa sumergida en aceite mineral, por lo que en éstas máquinas de hecho no se tienen limitaciones ni en la potencia ni en las tensiones ya que es común encontrar transformadores hasta de 400 KVA y con tensiones del orden de los 500 KV. El aspecto del medio de enfriamiento es tan importante que existe una clasificación de los transformadores con relación a esto y que están referidas a las recomendaciones por la Comisión Internacional de Electrotecnia como sigue:

TRANSFORMADORES TIPO SECO

- Con enfriamiento por aire natural.
- Con circulación forzada del aire en el exterior por medio de ventiladores.
- Con circulación forzada de aire en el núcleo y los devanados.

TRANSFORMADORES EN ACEITE

- Circulación natural del aceite y del aire (Tipo OA)
- Circulación natural del aceite y aire auxiliado por circulación forzada del aire con ventiladores en tubos radiadores.
- Circulación forzada del aceite y circulación forzada del aire.
- Circulación forzada del aceite y circulación forzada del agua por medios externos.

- Circulación forzada de agua.

Un aspecto importante a considerar con respecto al medio de enfriamiento de los transformadores es que la disipación del calor por convección que resulta la más importante en los equipos eléctricos disminuye con la altitud, es decir, que a mayor altura de operación sobre el nivel del mar debido a la variación en la densidad del aire, la disipación del calor se hace menos efectiva por lo que es común que los fabricantes de transformadores los diseñen para una altura de 1000 metros sobre el nivel del mar; reduciendo entonces su capacidad “Potencia” a una altura mayor.

Accesorios

Los accesorios de un transformador son un conjunto de partes y dispositivos que auxilian en la operación y facilitan las labores de mantenimiento.

Tanque conservador.- es tanque extra colocado sobre el tanque principal del transformador, cuya función es absorber la expansión del aceite debido a los cambios de temperatura, provocados por los incrementos de carga. El tanque se mantiene lleno de aceite aproximadamente hasta la mitad. En caso de una elevación de temperatura, el nivel de aceite se eleva comprimiendo el gas contenido en la mitad superior si el tanque es sellado, o expulsando el gas hacia la atmósfera si el tanque tiene respiración.

La tubería entre los dos tanques debe permitir un flujo adecuado de aceite. En ella se instala el relevador de gas (Bucholz) que sirve para detectar fallas internas en el transformador.

En el conservador no debe permanecer el aceite en contacto con el aire. Por un lado, porque al estar variando el nivel del aceite el aire que penetra tiene humedad que se condensa en las paredes y escurre hacia adentro del transformador, y por otro lado, porque el aceite en contacto con el aire se oxida y pierde también características dieléctricas. Para evitar esto, se utilizan diferentes métodos de protección; uno es por medio de una lámina de neopreno que se mueve simultáneamente con la variación del nivel del aceite y evita contacto aire-aceite, y otro es llenar la parte superior del conservador con nitrógeno seco y sellar el tanque conservador.

Boquillas.- Son los aisladores terminales de las bobinas de alta y baja tensión que se utilizan para atravesar el tanque o la tapa del transformador.

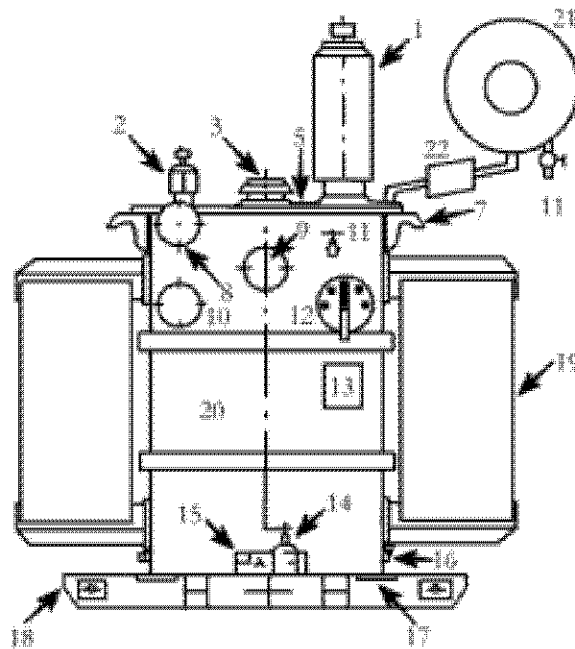
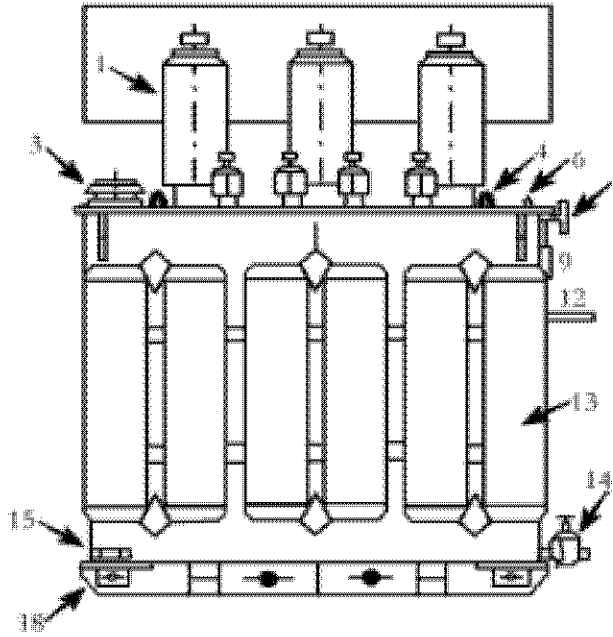
Tablero.- Es un gabinete dentro del cual se encuentran los controles y protecciones de los motores de las bombas de aceite, de los ventiladores, de la calefacción del tablero, del cambiador de derivaciones bajo carga etcétera.

Válvulas.- es un conjunto de dispositivos que se utilizan para el llenado, vaciado, mantenimiento y muestreo del aceite del transformador.

Conectores de tierra.- Son piezas de cobre soldadas al tanque, donde se conecta el transformador a la red de tierra.

Placa de características.- Esta placa se instala en un lugar visible del transformador y en ella se graban los datos más importantes como son: potencia, tensión, por ciento de impedancia, número de serie, diagramas vectorial y de conexiones, número de fases, frecuencia elevación de temperatura, altura de operación sobre el nivel del mar, tipo de enfriamiento, por ciento de variación de tensión en los diferentes pasos del cambiador de derivaciones, peso y año de fabricación.

Transformador de potencia



DESCRIPCIÓN

- | | |
|---|--|
| 1.-Boquillas para alta tensión | 12.-Maneral para operación sin excitación del cambiador de derivaciones, con seguro para candado e indicador de posiciones |
| 2.-Boquillas para baja tensión | 13.-Placa de características |
| 3.-relevador mecánico de sobretensión | 14.-Válvula para drenaje |
| 4.-Orejas con ojo para elevar la tapa | 15.-Válvula para muestreo |
| 5.-Registro | 16.-Placas para conexión a tierra |
| 6.-Cople con tapón para llenado al vacío | 17.-Refuerzos para palanqueo o soportes para gato |
| 7.-Orejas de gancho para izaje del conjunto | 18.-Base deslizable |
| 8.-Manómetro-vacuómetro | 19.-Radiadores fijos o desmontables. Con o sin válvulas |
| 9.-Indicador magnético de nivel sin o con contactos para alarma | 20.-Caja |
| 10.-Indicador de temperatura del aceite con o sin contactos para alarma | 21.-Tanque conservador |
| 11.-Válvula superior para conexión a filtro prensa | 22.-Relevador de gas (Buchholz) |

Red de Tierras

Las instalaciones eléctricas deben estar diseñadas para prevenir el peligro de cualquier contacto accidental de las partes metálicas que rodean a los elementos que se encuentran bajo tensión, los cuales deben estar provistos de los apoyos y aisladores adecuados. Aún con estas medidas de seguridad permanece el peligro de que estas partes normalmente aisladas tengan una diferencia de potencial con respecto al suelo (Tierra) que podría causar algún accidente. Este peligro se puede reducir y eventualmente eliminar estableciendo una conexión a tierra.

Transformadores de instrumentos

Son unos dispositivos electromagnéticos cuya función principal es reducir a escala, las magnitudes de tensión y corriente que se utilizan para la protección y medición de los diferentes circuitos de una subestación, o sistema eléctrico en general.

Los aparatos de medición y protección que se montan sobre los tableros de una subestación no están contruidos para soportar ni grandes tensiones , ni grandes corrientes.

Con el objeto de disminuir el costo y los peligros de las altas tensiones dentro de los tableros de control y protección, se dispone de los aparatos llamados transformadores de corriente o de tensión respectivamente. Normalmente estos transformadores se construyen con sus secundarios, para corriente de 5 amperes o tensiones de 120 volts.

Los transformadores de corriente se conectan en serie con la línea, mientras que los de potencial se conectan en paralelo, entre dos fases o entre fase y neutro.

Transformadores de corriente

Son aparatos en que la corriente secundaria, dentro de las condiciones normales de operación, es prácticamente proporcional a la corriente primaria, aunque ligeramente desfasada. Desarrollan dos tipos de función: transformar la corriente y aislar los instrumentos de protección y medición conectados a los circuitos de alta tensión.

El primario del transformador se conecta en serie con el circuito por controlar y el secundario se conecta en serie con las bobinas de corriente de los aparatos de medición y de protección que requieran ser energizados.

Un transformador de corriente puede tener uno o varios secundarios, embobinados a su vez sobre uno o varios circuitos magnéticos. Si el aparato tiene varios circuitos magnéticos, se comporta como si fueran varios transformadores diferentes. Un circuito se puede utilizar para mediciones que requieren mayor precisión, y los demás se pueden utilizar para protección. Por otro lado, conviene que las protecciones diferenciales y de distancia se conecten a transformadores independientes.

La relación de transformación para el transformador de corriente se establece como:

$$N_2/N_1 = I_1/I_2 = K_n$$

Donde: K_n = relación de transformación

I_1, I_2 = Corriente en primario y secundario respectivamente

N_1, N_2 = numero de vueltas en devanado primario y secundario.

Los transformadores de corriente pueden ser de medición, protección o mixtos.

Transformadores de medición.- Los transformadores cuya función es medir, requieren reproducir fielmente la magnitud y el ángulo de fase de la corriente. Su precisión debe garantizarse desde una pequeña fracción de corriente nominal del orden del 10%, hasta un exceso de corriente del orden del 20%, sobre el valor nominal.

Transformadores de protección.- Los transformadores cuya función es proteger un circuito, requieren conservar su fidelidad hasta un valor de veinte veces la magnitud de la corriente nominal.

En el caso de los relevadores de corriente, sólo importa la relación de transformación pero en otro tipo de relevadores, como pueden ser los de impedancia, se requiere además de la relación de transformación, mantener el error del ángulo de fase dentro de valores predeterminados.

Transformadores mixtos.- En este caso, los transformadores se diseñan para una combinación de los casos anteriores, un circuito con el núcleo de alta precisión para los circuitos de medición y uno o dos circuitos más, con sus núcleos adecuados, para los circuitos de protección.

Transformadores de potencial

Se emplean para mediciones o protección; su nombre se debe a que la cantidad principal por variar es la tensión, o sea que permiten reducir un voltaje de un valor que puede ser muy alto a un valor utilizado por los instrumentos de medición o protección. Las tensiones primarias pueden tener valores relativamente altos como 400 KV.

Si K_n es la relación de transformación

$$K_n = V_1 / V_2$$

Donde: $V_1 =$ Tensión en el primario

$V_2 =$ Tensión en el secundario

El primario se conecta en paralelo con el circuito a controlar y el secundario se conecta en paralelo con las bobinas de tensión de los diferentes aparatos de medición y de protección que se requiere energizar.

Estos transformadores se fabrican para servicio interior o exterior, y al igual que los de corriente, se fabrican con aislamientos de resinas sintéticas para tensiones bajas o medias, mientras que para altas tensiones se utilizan aislamientos de papel, aceite y porcelana.

Banco de capacitores

Ver capítulo XI banco de capacitores.

Apartarrayos

Son unos dispositivos eléctricos formados por una serie de elementos resistivos no lineales y explosores que limitan la amplitud de las sobretensiones originadas por descargas atmosféricas, operación de interruptores o desbalanceo de sistemas.

Un dispositivo de protección debe tener tres características principales:

Comportarse como un aislador mientras la tensión aplicada no exceda de cierto valor predeterminado, convertirse en conductor al alcanzar la tensión ese valor y conducir a tierra la onda de corriente producida por la onda de sobretensión.

Una vez desaparecida la sobretensión y restablecida la tensión normal, el dispositivo de protección debe ser capaz de interrumpir la corriente. Estas características se logran con el aparato llamado Apartarrayos.

Los apartarrayos cumplen con las siguientes funciones:

- 1.- Descargar las sobretensiones cuando su magnitud llega al valor de la tensión disruptiva de diseño.
- 2.- Conducir a tierra las corrientes de descarga producidas por las sobretensiones.
- 3.- Debe desaparecer la corriente de descarga al desaparecer las sobretensiones.
- 4.- No deben operar con sobretensiones temporales
- 5.- La tensión residual debe ser menor que la tensión que resisten los aparatos que protegen.

Las sobretensiones se pueden agrupar en:

- I) *Sobretensiones de impulso por rayo.* Son generadas por las descargas eléctricas en la atmósfera (rayos), tienen una duración del orden de decenas de microsegundos.
- II) *Sobretensiones de impulso por maniobra.* Son originadas por la operación de los interruptores. Producen ondas con frecuencias del orden de 10KHz y se amortiguan rápidamente. Tienen una duración del orden de milisegundos.
- III) *Sobretensiones de baja frecuencia(60Hz).* Se originan durante los rechazos de carga en un sistema, por desequilibrios en una red, o corto circuito de fase a tierra. Tienen una duración de algunos ciclos.

Los apartarrayos deben quedar conectados permanentemente a los circuitos que protegen y entrar en operación en el instante en que la sobretensión alcanza un valor convenido, superior a la tensión máxima del sistema.

Los apartarrayos se pueden considerar divididos en tres grupos:

- 1.- Cuernos de arqueo
- 2.- Apartarrayos autovalvulares
- 3.- Apartarrayos de óxidos metálicos

Interruptores de Potencia Son los elementos cuya función es desconectar los circuitos bajo condiciones de corriente nominal, vacío o corto circuito, es decir, en condiciones normales o anormales. Las normas internacionales recomiendan que como mínimo se deben especificar las siguientes características nominales de un interruptor:

- 1.1.- Tensión Nominal
- 1.2.- Corriente Nominal
- 1.3.- Frecuencia Nominal

1.4.- Capacidad Interruptiva

1.5.- Capacidad de Cierre en Corto Circuito

1.6.- Máxima duración de la Corriente de Corto Circuito

1.7.- Ciclo de Operación Nominal

1.1 Tensión Nominal.- Durante las condiciones normales de un sistema la tensión no es constante, por lo que los fabricantes deben garantizar la correcta operación del interruptor a la tensión máxima de diseño, por lo general es mayor que la tensión nominal de operación. En la siguiente tabla se indican algunos valores de tensiones nominales del sistema y las correspondientes tensiones máximas de diseño.

TENSIÓN NOMINAL <KV>	TENSIÓN MÁXIMA DE DISEÑO <KV>
2.20	2.20
4.16	4.16
13.18	15.00
23.00	24.60
34.50	38.00
69.00	72.50
115.00	123.00
230.00	245.00
400.00	420.00

1.2 Corriente Nominal.- La corriente nominal de un interruptor es el valor eficaz de la corriente expresada en Amperes, para la cual está diseñado y que debe ser capaz de conducir continuamente sin exceder los límites recomendables de elevación de temperatura.

1.3 Frecuencia Nominal.- La frecuencia nominal de un interruptor es la frecuencia a la cual está diseñado para operar y que corresponde a la frecuencia del sistema a la cual se va a conectar, en México es de 60Hz.

1.4 Capacidad Interruptiva Simétrica y Asimétrica.- Las corrientes de corto circuito son asimétricas con relación a un eje de referencia de tal manera que el valor eficaz de la corriente varía con el tiempo. Después del instante de la falla, la corriente de corto circuito decae de un valor alto inicial a un valor sostenido, por lo que el valor real de la corriente interrumpida es menor que el valor inicial.

La corriente Simétrica es el valor eficaz de la componente de corriente alterna en el momento de la separación de los contactos.

La corriente Asimétrica es el valor eficaz del valor total de la corriente que comprende las componentes de Corriente Alterna y Corriente Directa “CD y CA” en el instante de la apertura de contactos.

La capacidad interruptiva de un interruptor se calcula como 3 veces la tensión nominal por la corriente asimétrica o simétrica según sea el caso.

1.5.- Capacidad de Cierre de Corto Circuito.- Este valor caracteriza la capacidad de un interruptor para cerrar sus contactos en condiciones de corto circuito en el sistema.

1.6.- Máxima duración de la Corriente de Corto Circuito.- Es el tiempo máximo que limita a un interruptor sin sufrir daños bajo condiciones de corto circuito.

1.7.- Ciclo de Operación Nominal.- El ciclo de operación de un interruptor consiste de un número de operaciones establecidas con intervalos de tiempo dados.

El interruptor es, junto con el transformador, el dispositivo más importante de una subestación. Su comportamiento determina el nivel de confiabilidad que se puede tener en un sistema eléctrico de potencia.

El interruptor debe ser capaz de interrumpir corrientes eléctricas de intensidades y factores de potencia diferentes, pasando desde las corrientes capacitivas de varios cientos de amperes a las inductivas de varias decenas de kiloamperes (cortocircuito).

El interruptor se puede considerar formado por tres partes principales:

Parte activa

Constituida por las cámaras de extinción que soportan los contactos fijos y el mecanismo de operación que soporta los contactos móviles.

Parte pasiva

Formada por una estructura que soporta uno de tres depósitos de aceite, si el interruptor es de aceite, en los que se aloja la parte activa.

En si, la parte pasiva desarrolla las funciones siguientes:

- a) Protege eléctrica y mecánicamente el interruptor.
- b) Ofrece puntos para levantamiento y transporte del interruptor, así como espacio para la instalación de los accesorios.
- c) Soporta los recipientes de aceite, si los hay, y el gabinete de control.

Accesorios

En esta parte se consideran incluidas las siguientes partes:

- a) Boquillas terminales que a veces incluyen transformadores de corriente.
- b) Válvulas de llenado, descarga y muestreo del fluido.
- c) Conectores a tierra.
- d) Placa de datos.
- e) Gabinete que contiene los dispositivos de control, protección, medición, accesorios como: compresora, resorte, bobinas de cierre o de disparo, calefacción, etc.

El accionamiento de los dispositivos de control pueden ser de tipo neumático, electrohidráulico y de resorte, según el nivel de tensión utilizado en la subestación.

Cuchillas desconectadoras

Son dispositivos de maniobra capaces de interrumpir en forma visibles la continuidad de un circuito, pueden ser maniobrables bajo tensión pero sin corriente. Su empleo es necesario en los sistemas ya que debe existir seguridad en el aislamiento físico de los circuitos antes de realizar cualquier trabajo y para los cuales la presencia de un interruptor no es suficiente para garantizar un aislamiento eléctrico. Las Cuchillas Desconectadoras deben cumplir con los siguientes requisitos.

- Garantizar el aislamiento dieléctrico a tierra
- Conducir en forma continua la corriente nominal sin que exista una elevación de temperatura en las diferentes partes de la cuchilla.
- Soportar por un tiempo especificado los efectos térmicos y dinámicos de las corrientes de corto circuito.

La diferencia entre un juego de cuchillas y un interruptor, considerando que los dos abren o cierran circuitos, es que las cuchillas no pueden abrir un circuito con corriente y el interruptor sí puede abrir cualquier tipo de corriente, desde el valor nominal hasta el valor de cortocircuito. Hay algunos fabricantes de cuchillas que añaden a la cuchilla una pequeña cámara de arqueo de SF₆ que le permiten abrir solamente los valores nominales de la corriente del circuito.

Fusibles

Son dispositivos de protección eléctrica de una red que hacen las veces de un interruptor, siendo más baratos que éstos. Se emplean en aquellas partes de una instalación eléctrica en que los relevadores y los interruptores no se justifican económicamente.

Su función es el de interrumpir los circuitos cuando se produce en ellos una sobre corriente, y soportar la tensión transitoria de recuperación que se produce posteriormente.

Un juego de fusibles de alta tensión, en su parte fundamental, está formado por 3 polos. Cada uno de ellos, a su vez, está formado por una base metálica semejante a las utilizadas en las cuchillas, dos columnas de aisladores que pueden ser de porcelana o de resina sintética y cuya altura fija el nivel básico de impulso a que trabaja el sistema. Sobre los aisladores se localizan dos mordazas, dentro de las cuales entra a presión un cartucho del fusible.

Dentro del cartucho se encuentra el elemento fusible, que normalmente está formado por un alambre o tiras metálicas con una sección reducida, que esta calibrada de acuerdo con su capacidad de corriente. En esta sección se produce una densidad de corriente elevada que, al pasar de un valor determinado y durante un tiempo prefijado, se produce la fusión del elemento y la apertura del circuito de que se trate. Al fundirse el elemento fusible se generan gases a presión dentro del cartucho del fusible que son proyectados hacia el exterior del tubo. El gas a presión esta formado por el aire que se encuentra dentro del cartucho que se expande bruscamente por efecto del calor del arco eléctrico y que, al ser expulsado, produce la extinción del arco al pasar por cero la onda de corriente.

Para los elementos fusibles se utiliza como material un alambre de aleación a base de plomo, para el caso de bajas tensiones y corrientes, y una cinta de aleación a base de cobre de aluminio, para el caso de mayores corrientes.

Reactores

Son bobinas que se utilizan para limitar una corriente de cortocircuito y poder disminuir en esta forma la capacidad interruptiva de un interruptor y por lo tanto su costo; otra función de los reactores es la corrección del factor de potencia en líneas muy largas, cuando circulan corrientes de carga muy bajas, en esta caso los reactores se conectan en derivación.

En el caso de las subestaciones, los reactores se utilizan principalmente en el neutro de los bancos de transformadores, para limitar la corriente de cortocircuito a tierra. En algunas ocasiones se utilizan también en serie con cada una de las tres fases de algún transformador, para limitar la corriente de cortocircuito trifásica.

Los reactores, según su capacidad, pueden ser de tipo seco para potencias reactivas pequeñas, o del tipo sumergido en aceite par potencias elevadas, en cuyo caso tienen núcleo y necesitan estar encerrados en un tanque de lámina; sus terminales salen a través de boquillas de porcelana y necesitan a veces sistemas de eliminación del calor generado por las pérdidas internas del aparato. Estos últimos pueden llegar a semejarse a un transformador tanto por la forma como por su tamaño.

La construcción de los reactores desde el punto de vista de sus materiales es prácticamente igual a la de los transformadores y se ajustan a las normas ANSI-C57.16.

Baterías

Se denomina batería a un conjunto de celdas conectadas en serie. La tensión nominal de la batería viene dada por la suma de las tensiones de cada una de las celdas.

Las baterías según el tipo del electrólito pueden ser ácidas o alcalinas, las baterías con electrólito de ácido sulfúrico diluido en agua con una densidad de 1.21 se les denomina *batería de tipo ácido*. Y las baterías cuyo electrólito es una solución de hidróxido de potasio, con una densidad que oscila entre 1.6 a 1.9 a 25°C, oscilación que no se debe a la carga eléctrica de la celda, se le denomina *batería de tipo alcalino*.

Cargadores de batería

Son los dispositivos eléctricos (generadores de cd) o electrónicos que se utilizan para cargar y mantener en flotación, con carga permanente, la batería de que se trate. El cargador se conecta en paralelo con la batería.

La capacidad de los cargadores va a depender de la eficiencia de la batería, o sea, del tipo de batería que se adquiera. Para una misma demanda impuesta a la batería, se requiere cargador de mayor capacidad, si es alcalina, por tener ésta una eficiencia menor.

Subestación de gas

Bajo este nombre se designa a aquellas subestaciones cuyas partes vivas se encuentran dentro de envolventes metálicos y con un gas a presión. Son subestaciones análogas a las de tipo convencional en lo referente al equipo de alta tensión que utilizan, con la diferencia de que todas las partes y equipos que soportan tensión están contenidos dentro de envolventes metálicos que forman módulos fácilmente enchufables entre sí. Estos módulos se encuentran dentro de una atmósfera de gas seco

y a presión, que en la gran mayoría de los casos es el hexafluoruro de azufre, que tiene la característica de reducir enormemente las distancias de aislamiento, comparativamente con las de aire, y que permite diseñar subestaciones con dimensiones mucho más reducidas. Es una tecnología iniciada en el año de 1965 y que actualmente se encuentra muy desarrollada en Europa y en Japón; en México se aplica desde 1978.

El desarrollo de las subestaciones de gas se ha debido al crecimiento de las grandes ciudades, tanto en lo vertical como en lo horizontal, lo que origina un aumento en la densidad de la carga eléctrica, sobre todo en las zonas céntricas de las mismas. Esto obliga a instalar nuevas subestaciones de distribución en zonas urbanas, donde es difícil disponer de cantidades considerables de terreno, en estos casos es necesario recurrir a las subestaciones con aislamiento de gas SF₆.

CLASIFICACIÓN DE LAS SUBESTACIONES ELÉCTRICAS

Dependiendo de la función que desempeñan se pueden clasificar como sigue:

- I .- Subestaciones en las Plantas Generadoras o Centrales Eléctricas.
- II .- Subestaciones receptoras primarias
- III .- Subestaciones receptoras secundarias

I.- Subestaciones en las Plantas Generadoras o Centrales Eléctricas.- Estas se encuentran adyacentes a las centrales eléctricas o plantas generadoras de electricidad para modificar los parámetros de la potencia suministrada por los generadores para permitir la transmisión en Alta Tensión en las líneas de transmisión.

II.- Subestaciones receptoras primarias.- Estas son alimentadas directamente de las líneas de transmisión y reduce la tensión a valores menores para la alimentación de los sistemas de subtransmisión o las redes de distribución, de manera que dependiendo de la tensión de

transmisión pueden tener en su secundario tensiones del orden de 69, 115KV y eventualmente 34.5, 13.2, 6.9 ó 4.16 KV.

III.- Subestaciones receptoras secundarias.- Estas son por lo general alimentadas de las redes de subtransmisión y suministran la energía eléctrica a las redes de distribución a tensiones comprendidas entre 6.9 y 34.5 KV.

Las subestaciones eléctricas también se pueden clasificar por el tipo de instalación como:

- A.- Subestaciones tipo intemperie
- B.- Subestación de tipo interior
- C.- Subestación tipo blindado

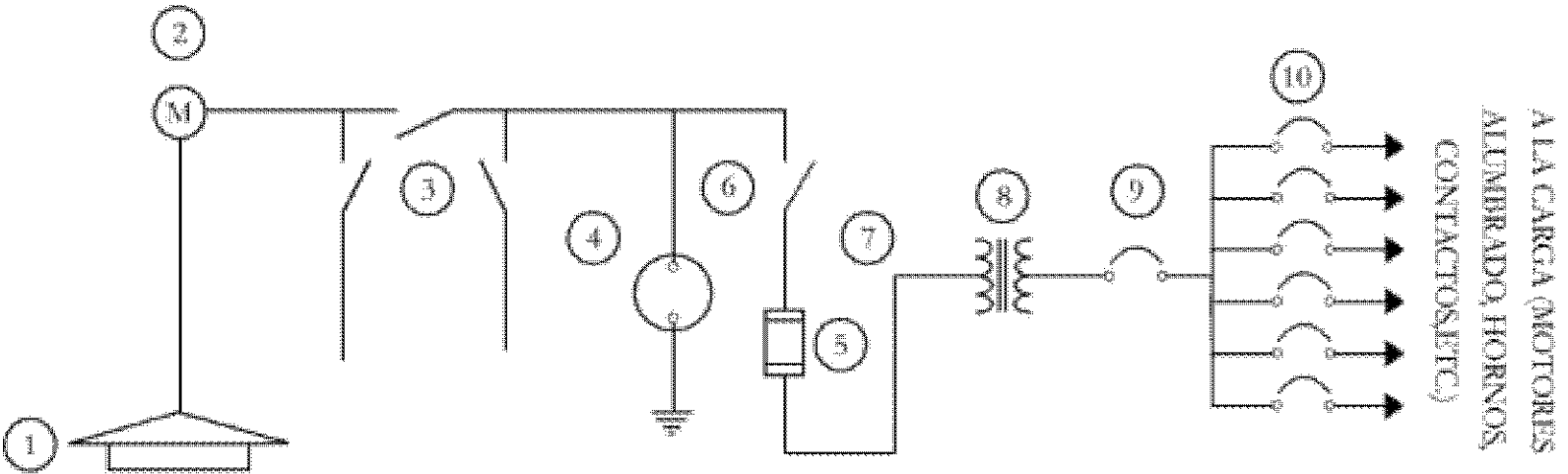
A.- Subestaciones tipo intemperie.- Estas subestaciones se construyen en terrenos expuestos a la intemperie y requieren de un diseño, aparatos y máquinas capaces de soportar el funcionamiento bajo condiciones atmosféricas adversas (lluvia, viento, nieve e inclemencias atmosféricas diversas) por lo general se adoptan en los sistemas de alta tensión y extra alta tensión.

B.- Subestaciones de tipo interior.- En este tipo de subestaciones los aparatos y máquinas que se usan para operar en interiores y generalmente son usados en las industrias incluyendo la variante de las subestaciones del tipo blindado.

C.- Subestaciones tipo blindado.- En estas subestaciones los aparatos y las máquinas se encuentran muy protegidas y el espacio necesario es muy reducido en comparación a la construcción de subestaciones convencionales, por lo general se usan en el interior de fábricas, hospitales, auditorios, edificios y centros comerciales por lo que se usan generalmente en tensiones de distribución y utilización.

En la figura siguiente se indica un diagrama unifilar típico de una subestación industrial, donde se indican cada uno de los componentes.

DIAGRAMA UNIFILAR TÍPICO DE UNA SUBESTACIÓN INDUSTRIAL



- 1 ACOMETIDA C.F.E. EN A.T.
- 2 EQUIPO DE MEDICIÓN EN A.T. (MAS DE 200KW DE DEMANDA CONTRATADA)
- 3 CUCHILLAS DE PRUEBA
- 4 APARTÁRRAYOS
- 5 FUSIBLES DE POTENCIA
- 6 INTERRUPTOR DE OPERACIÓN CON CARGA
- 7 SECCIÓN DE ACOPLAMIENTO
- 8 TRANSFORMADOR
- 9 INTERRUPTOR GENERAL DE B.T.
- 10 INTERRUPTORES DERIVADOS DE B.T.

A LA CARGA (MOTORES
ALUMBRADO, HORNOS,
CONTACTOS, ETC.)

Las subestaciones eléctricas tienen por objeto transformar, la alta tensión que las compañías suministradoras de energía “COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD Y/O COMPAÑÍA DE LUZ Y FUERZA” a tensiones usuales para la industria, las instituciones o el comercio.

Antiguamente las subestaciones eran un dispositivo molesto, bromoso, ocupaban mucho espacio, eran peligrosas y generalmente al usuario le repugnaba. Actualmente se usan las subestaciones unitarias, que son compactas, no presentan peligro, son fáciles de instalar, mover de lugar, ampliar y tienen un valor de recuperación mayor que las del tipo antiguo (Subestaciones abiertas).

El costo anual aproximado de una subestación compacta es del 50 al 75% del valor de una subestación abierta del tipo antiguo. Las subestaciones unitarias se fabrican en secciones o partes, para facilitar su transporte y montaje, pero una vez instalados forman un solo conjunto. Cada sección o parte lleva una función en específico: mide, protege, conecta o desconecta, transforma, etc.

Los aparatos o equipos y sus conexiones se encierran o blindan en gabinetes metálicos de manera que protejan los propios aparatos, la propiedad y a las personas encargadas de su manejo.

LAS DIFERENTES PARTES QUE COMPONEN UNA SUBESTACIÓN COMPACTA SON:

- 1.- Acometida.
- 2.- Verificación de medidores.
- 3.- Interruptores.
- 4.- Desconectores.
- 5.- Fusibles.

6.- Espacios libres.

7.- Transformadores.

1.-Acometida.- Es el lugar en que se hace la conexión en alta tensión a la subestación. En esta sección cuando se compra energía a la CFE o a la Compañía de Luz y Fuerza se hace la medición de consumo.

2.- Verificación de medidores.- Sección de verificaciones; es la sección que sirve para comprobar el buen funcionamiento de los medidores se hace solamente a solicitud del usuario así como la inclusión en la subestación, la sección de verificación es opcional por parte del cliente, siempre que esta acepte por escrito, que en caso de comprobación de los medidores se le interrumpe el servicio unos 20 a 30 minutos. Con la sección de verificación, no es necesaria esta interrupción, y que se cuenta con cuchillas desconectadoras que transfieren la línea normal a un circuito donde se instalan previamente aparatos de medición, sin necesidad de interrumpir el servicio.

Cuando quitamos la celda de verificación que normalmente consta de tres juegos de cuchillas tripolares son para la verificación y la otra cuchilla tripolar es para mantener la continuidad o aislar la continuidad en la subestación eléctrica. Para cumplir con el reglamento de instalaciones eléctricas “NOM-001.” Nunca debe suprimirse esta cuchilla tripolar operación en grupo sin carga, llamada cuchilla de paso.

En una temporada fue fácil suprimirla, pero cuando se deseaba darle mantenimiento al resto de la subestación se tenía el problema de estar solicitando libranzas a las compañías suministradoras; y al suprimirlas estábamos violando el reglamento de instalaciones eléctricas.

3.- Interruptores.- Esta sección tienen por objeto que el usuario pueda interrumpir en un momento dado ya sea manual o automáticamente la totalidad del servicio eléctrico. La interrupción puede ser voluntaria para ampliaciones, reparaciones o en accidentes, o bien puede ser automática por sobrecarga o cortos circuitos que pueden ser dañinos para los transformadores y el resto del equipo.

4.- Desconectores.- Los desconectores son para abrir un circuito con fines de separarlo o modificarlo. No tienen protección de sobrecarga ni corto circuito, ni tienen capacidad de apertura con carga, por eso antes de abrir un desconector hay que quitar la carga. Los desconectores normalmente son más baratos que los interruptores.

5.- Fusibles.- Cuando un circuito se requiere proteger por sobrecarga, se usan fusibles. Por ejemplo: A una subestación con varios transformadores, se le puede colocar un interruptor general y derivado de este, se ponen varios juegos de tres fusibles para proteger cada transformador. Este procedimiento aunque abarata la instalación tiene el inconveniente de que una falla o desconexión voluntaria del interruptor general, paraliza todo el sistema.

6.- Espacios libres.- Estos son gabinetes vacíos o que en algunas ocasiones se dejan instaladas las barras alimentadoras, se usan cuando dos o más transformadores grandes se montan atrás de los gabinetes y hay que ampliar los espacios requeridos. En otras ocasiones son en reserva de algún otro equipo que en el futuro se desea montar.

7.- Transformadores.- Como su nombre lo indica es la sección donde se convierte la energía suministrada en alta tensión para los voltajes nominales 6, 13.2, 20, 23, 34.5 KV., a los cuales se les denomina respectivamente de clase 7.5, 15, 25 y 34.5 KV. En alta tensión a baja tensión, utilizables en los aparatos de consumo 440, 220 y 127 volts.

ESPECIFICACIÓN DE EQUIPO

Se conoce como especificación al conjunto de dimensiones y características técnicas que definen completamente una subestación y a todos los elementos que la componen también deben cumplir con las normas respectivas.

Se debe tener el conocimiento de la línea de productos de los diversos fabricantes, es el camino mas sencillo, seguro y económico para elaborar una especificación realista.

Naturalmente, el conocimiento de cada línea debe precederse de las características intrínsecas de cada equipo así como de las condiciones del ambiente y de su explicación. Por otro lado, el usuario debe utilizar la experiencia acumulada por los fabricantes de

subestaciones; esto se obtiene por medio del contacto sistemático con los ingenieros de aplicación, la participación en comités y entidades de normalización y asociaciones profesionales.

Sistemas de Tierra

Las puestas a tierra se establecen con el objetivo principal de limitar la tensión que con respecto a tierra puedan presentar en un momento dado las masas metálicas, asegurar la actuación de las protecciones y eliminar o disminuir el riesgo que supone una avería en el material utilizado.

Así pues la instalación de puesta a tierra se considera como un circuito de protección paralelo a la instalación eléctrica, con el fin de proteger a las personas y los animales que puedan estar en contacto con masas que pueden ponerse accidentalmente bajo tensión.

Se resalta que el objetivo principal de la puesta a tierra es el de **limitar la tensión** de cualquier elemento respecto de tierra. Se debe recordar que, desde el punto de vista eléctrico, los accidentes se pueden reducir o eliminar disminuyendo la tensión, o aminorando el tiempo de contacto con los materiales en tensión. Con la puesta a tierra disminuimos el primer riesgo, pues evitamos que las masas metálicas se puedan poner en tensión al tenerlas conectadas a tierra, y también parte del segundo si, además de la puesta a tierra, dispone de interruptores diferenciales de alta sensibilidad.

DEFINICIÓN DE PUESTA A TIERRA

La denominación puesta a tierra comprende toda ligazón metálica directa sin fusibles ni protección alguna, de sección suficiente entre determinados elementos o partes de una instalación y un electrodo o grupo de electrodos en el suelo, con objeto de conseguir que en el conjunto de instalaciones, edificios y superficie próxima del terreno, no existan diferencias

de potencial peligrosas y que, al mismo tiempo, permita el paso a tierra de las corrientes de falla o las de descargas de origen atmosférico.

RESISTIVIDAD DEL TERRENO

Analizando el objeto y la definición de la puesta a tierra, se puede observar que los elementos más importantes que garantizan una buena puesta a tierra son las ligazones metálicas directas entre determinadas partes de una instalación, el electrodo en contacto permanente con el terreno y una buena resistividad del terreno.

Para conocer el comportamiento del terreno tendremos que estudiarlo desde el punto de vista eléctrico, como elemento encargado de disipar las corrientes de falla que lleguen a través de los electrodos, es decir, debemos conocer la resistividad.

La resistividad del terreno es la resistencia que presenta al paso de la corriente un cubo de terreno de 1 metro de arista. Se mide en Ωm y se representa con la letra ρ (Figura 15.1)

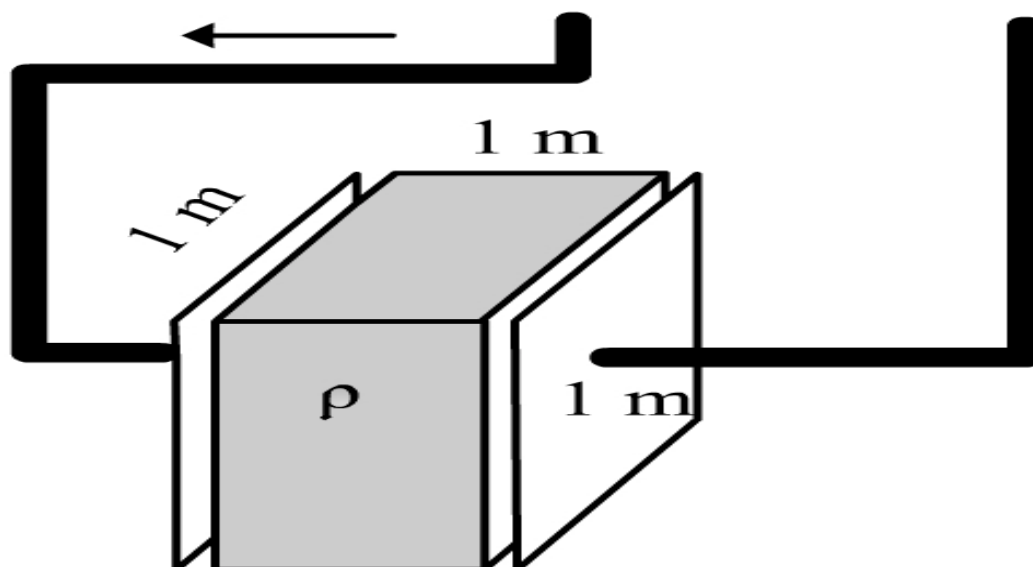


FIGURA 15.1 Resistividad de un cubo de terreno de 1 m de lado.

Donde:

$$\text{Dimensiones de } \rho: R = \rho \frac{l}{S} ; \rho = \frac{R \cdot S}{l} \left(\frac{\Omega \text{m}^2}{\text{m}} \right) = \Omega \text{m}$$

$$\text{Para un cubo de 1 m de lado: } R(\Omega) = \rho \frac{l(\text{m})}{S(\text{m}^2)} = \rho \frac{1(\text{m})}{(1 \cdot 1)\text{m}^2} = \frac{\rho}{1\text{m}}$$

Despejando ρ , $\rho = R(\Omega \cdot \text{m})$

R = Resistencia en (Ω)

ρ = Resistividad en ($\Omega \cdot \text{m}$)

l = Longitud en (m)

S = Sección en (m^2)

La resistividad del terreno depende de su naturaleza, estratigrafía (capas de distinta composición), contenido de humedad, salinidad y temperatura. La resistividad de un terreno se ve afectada por las variaciones estacionales.

Por otro lado, a medida que aumenta el tamaño de las partículas aumenta el valor de la resistividad, por ello la grava tiene mayor resistividad que la arcilla. La resistividad se ve asimismo afectada por el grado de compactación, disminuyendo al aumentar ésta.

Debido a la no uniformidad de sus diferentes capas, cuando queremos determinar la resistividad en un punto del terreno, por medio de un método de medida, lo que determinamos es la resistividad media de las capas comprendidas entre la superficie y una cierta profundidad, que a veces se denomina resistividad aparente ρ_a .

En la resistividad del terreno influyen los siguientes factores:

- Naturaleza del terreno

- Humedad
- Temperatura
- Salinidad
- Estratigrafía
- Variaciones estacionales
- Factores de naturaleza eléctrica
- Compactación

Los terrenos son buenos, regulares o malos conductores en función de su naturaleza. El conocimiento de su naturaleza es el primer paso para la implantación de una adecuada toma de tierra. La tabla 15.1, describe valores de resistividad para terrenos de diferente naturaleza.

TABLA 15.1

Naturaleza del Terreno	Resistividad en $\Omega \cdot m$
Terrenos pantanosos	De algunas unidades a 30
Limo	20 a 100
Humus	10 a 150
Turba húmeda	5 a 100
Arcilla plástica	50
Margas y arcillas compactas	100 a 200
Margas del jurásico	30 a 40
Arena arcillosa	50 a 500
Arena silícea	200 a 3000
Suelo pedregoso cubierto de césped	300 a 500
Suelo pedregoso desnudo	1500 a 3000
Calizas blandas	100 a 300
Calizas compactas	1000 a 5000
Pizarras	500 a 1000
Rocas de mica y cuarzo	50 a 300
Granitos y gres de alteración	800
Granitos y gres muy alterados	1500 a 10000

Para cálculos aproximados de la resistencia de tierra pueden utilizarse los valores medios recogidos en la Tabla 15.2

Tabla 15.2 Valores medios de la resistividad

Naturaleza del Terreno	Valor medio de la Resistividad en $\Omega \cdot m$
Terrenos cultivables, fértiles, terraplenes compactos y húmedos	50
Terraplenes cultivables poco fértiles, terraplenes	500
Suelos pedregosos desnudos, arenas secas permeables	3000

MÉTODOS DE MEDIDA DE LA RESISTIVIDAD DE LOS TERRENOS

Hay que medir la resistencia de puesta a tierra de una instalación, y por lo tanto el valor de la resistividad del terreno, antes de dar el visto bueno de la instalación, pero también hay que comprobarla periódicamente en la época más desfavorable.

Si conocemos el valor de la resistividad del terreno con anterioridad al instalar o decidir el tipo de electrodo que vamos a utilizar, tendremos la ventaja de elegir el sistema que técnico-económicamente pueda ser más rentable.

Existen varios métodos para calcular la resistividad del terreno de los que destacamos los dos siguientes:

- Método de Wenner.
- Sistema simétrico.

En cualquiera de los dos métodos, que describiremos a continuación, el material necesario para hacer las mediciones es el siguiente:

- Instrumento de medida de resistividades de cuatro bornes.
- Cuatro picas para utilizarlas de electrodos

- Cuatro cables aislados para conectar las picas a los bornes del aparato de medida, de una sección mínima de 1.5 mm².

La longitud de los cables es variable dependiendo de la profundidad a la que se quiera medir la resistividad. Como orientación diremos que para calcular la resistividad hasta 45 m de profundidad, harán falta dos rollos de 90 m y otros dos de 30 m.

Los cables deberán ir colocados sobre bobinas montadas en ejes deslizantes para facilitar la extensión y la recogida de los cables. Además, los cuatro cables deberán ser de colores diferentes para facilitar la operación de medida.

El valor que se obtiene al medir la resistividad de un terreno es una resistividad media o resistividad aparente como se ha comentado con anterioridad, pero que es el valor que nosotros necesitamos conocer del terreno, y que dependerá de la resistividad de los diferentes estratos y del espesor de cada uno de ellos.

Las picas auxiliares no es necesario que sean muy largas, pues con introducirlas en el terreno 30 cm es suficiente para obtener unas medidas fiables. Las picas auxiliares normales que vienen con los equipos suelen tener 50 cm de longitud.

Método de Wenner

Este método consiste en calcular la resistividad aparente del terreno colocando los cuatro electrodos, o picas, a distancias iguales, simétricamente separados de un punto central “0” (cero) debajo del cual queremos medir la resistividad del terreno.

El espesor de la capa de terreno de la que estamos midiendo la resistividad es directamente proporcional a la separación entre picas, como se puede apreciar en la figura 15.2, y su valor es:

$$h = \frac{3}{4} a$$

Donde:

h = profundidad para la medida de la resistividad media

a = separación entre electrodos.

Al introducir una intensidad I en el terreno a través de los electrodos de intensidad A y B , aparecerá en los electrodos de tensión C y D una diferencia de potencial V que mediremos con el aparato.

El medidor tiene una resistencia variable en su interior que es la que varía la intensidad I que se introduce en el terreno. El medidor también registra la tensión V que se detecta entre los bornes de tensión.

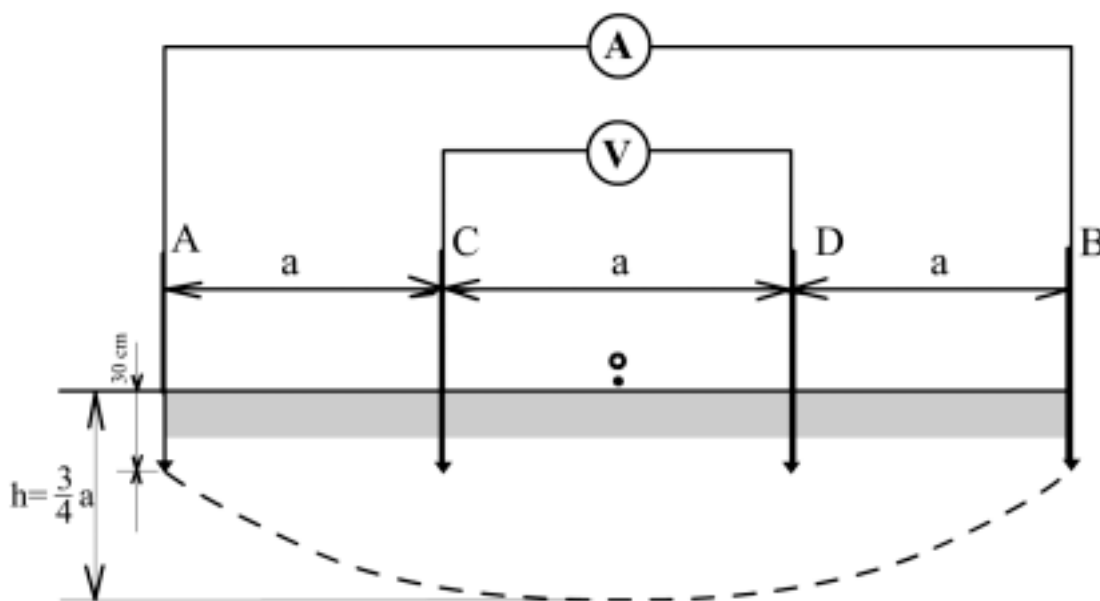


FIGURA 15.2 Método de Wenner. Esquema de montaje

La relación entre la V y la I es el valor de la resistencia variable que se registra en el medidor:

$$R = V/I$$

El valor de la resistividad aparente que calcularemos para un estrato de espesor h será:

$$\rho_a = \frac{2\pi aV}{I}$$

como $R = V/I$

$$\rho_a = 2\pi aR$$

y como

$$h = \frac{3}{4}a$$

$$\rho_a = \frac{8}{3}\pi hR$$

Con este método y este cálculo hemos obtenido el valor de la resistencia media de todas las capas del terreno entre la superficie y una profundidad h .

Tabla 15.3 Variación de resistividades en función de la profundidad

a metros	h metros	R Ω	ρ_a $\Omega \cdot m$
2	1.5	90	1.131
4	3	21.5	540
8	6	10	502
12	9	5.5	415
24	18	3	452
40	30	2	502
49.2	37.5	1.5	463

Sistema Simétrico

Es una variante del método de Wenner que se utiliza cuando las picas auxiliares no pueden clavarse a intervalos regulares.

Se utilizan dos picas de intensidad y dos picas de tensión que se conectan a los cuatro bornes del aparato. Las picas de intensidad serán las exteriores y las de tensión las interiores.

Según se aprecia en la figura 15.3, las cuatro picas auxiliares se colocan simétricas respecto de un punto O que situamos en el centro de la medida. El valor de la resistividad que se obtiene con esta medida será la del estrato de terreno que está debajo del punto O.

La relación entre la distancia de los electrodos de intensidad y la profundidad o del estrato de terreno a la cual se está midiendo la resistividad aparente es:

$$h = L/2$$

Al igual que en el método anterior, se irán separando los electrodos de intensidad, y por lo tanto aumentando la distancia L, y así conoceremos el valor de la resistividad a una profundidad h mayor.

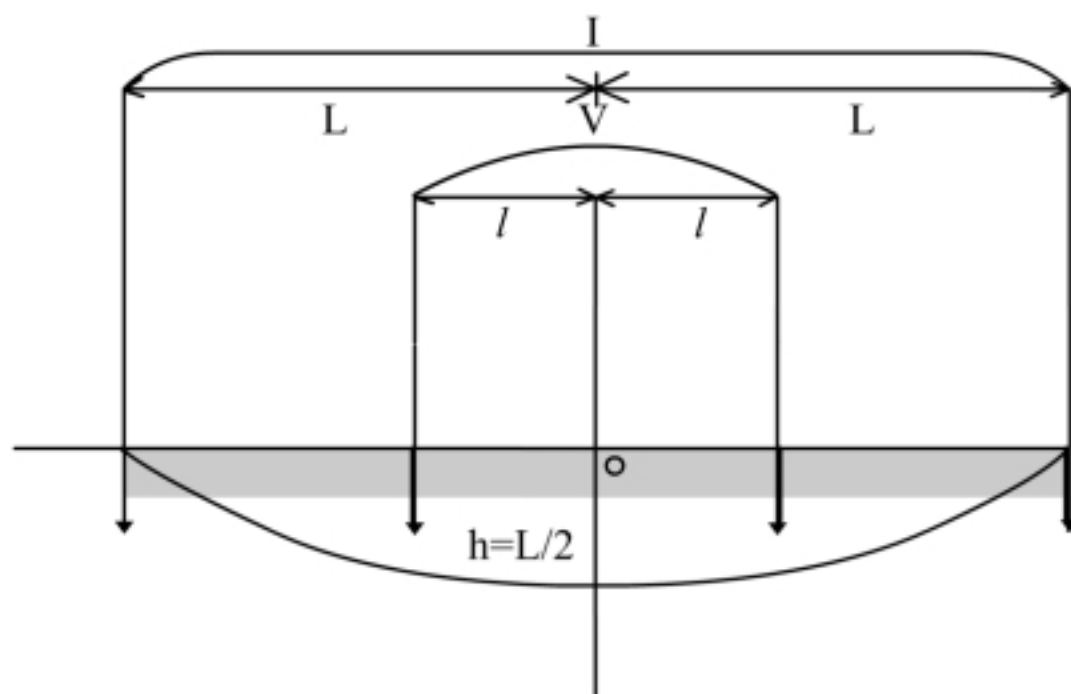


FIGURA 15.3 Esquema de conexión del sistema simétrico

El valor de la resistividad aparente se obtiene por medio de la siguiente fórmula:

$$\rho_a = \frac{\pi(L^2 - l^2)}{2l} R$$

El valor de R se obtiene igual que en el método de Wenner por la lectura en el voltímetro y amperímetro, siendo la relación entre la tensión y la intensidad:

$$R = V/I$$

Si las picas auxiliares no se pueden clavar en el terreno por su dureza o por ser terrenos pedregosos, o suelos artificiales de hormigón o similar, se colocarán las picas tumbadas en el suelo sobre bayetas húmedas y después regadas abundantemente. Los valores medidos de la resistividad que se obtienen son muy similares a los que se obtendrían si se clavaran las picas.

Este sistema es muy utilizado para la medida de la resistencia del electrodo de tierra en edificaciones de las ciudades donde es casi imposible clavar picas en las calles o en las aceras.

ELECTRODOS DE PUESTA A TIERRA

Se define como electrodo de puesta a tierra todo material conductor, por lo general metálico, en perfecto contacto con el terreno, encargado de introducir en él las corrientes de falla o de origen atmosférico canalizadas a través de una instalación de protección.

Como se decía en la definición de puesta a tierra, el objetivo del electrodo es que el potencial de la red de tierra respecto de tierra sea 0 V, o lo más próximo posible.

Para lograr este objetivo hay que conseguir que la unión electrodo-terreno sea la mejor posible, por que solo de ella depende este valor que denominaremos resistencia de puesta a tierra.

Los electrodos más utilizados son picas, varillas, flejes, tubos, cables, placas, pilares, armaduras metálicas, etc.

Está prohibido, y no se pueden utilizar como electrodos, las conducciones de gas, depósitos en general, de Gas LP, gasóleo, agua, etc..circuitos de agua caliente, conducciones de material inflamable, etc.

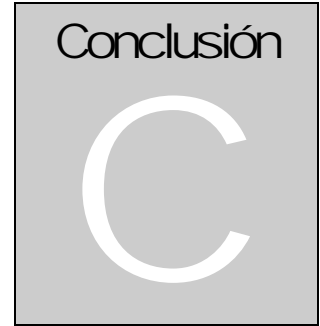
Los electrodos más utilizados y que son fáciles de instalar, calcular y mantener son los electrodos artificiales, que se colocan superficialmente (a 0.60 m ó a 0.80 m de profundidad), y en número de acuerdo con el cálculo previsto.

Los tres tipos de electrodos que se utilizan más comúnmente son:

- Picas
- Placas
- Cables enterrados

Otros electrodos ó sistemas de puesta a tierra son:

- Vigas metálicas
- Cimentaciones de hormigón armado
- Mallas



Conclusión

Este trabajo fue desarrollado con el propósito de apoyar y ayudar al profesorado de ingeniería en áreas importantes como son: Electricidad Básica, Iluminación e Instalaciones Eléctricas.

Proporcionando una herramienta útil , con la cual se pretendió facilitar el estudios de las diferentes asignaturas relacionadas con la electricidad.

Ya que en la presente tesis nos enfocamos a tratar de explicar de manera fácil y práctica una gran cantidad de conceptos, definiciones, términos, reglas, diagramas, experimentos, principios, métodos, cálculos, etc...

Esto por medio de ilustraciones las cuales se presentan en casi todos los subtemas de cada uno de los capítulos, quince en total, de los que esta conformado éste trabajo de investigación bibliográfica.

Ahora bien, en nuestro particular punto de vista el aprendizaje de ciertos temas, se hace más práctico y sencillo, mediante la apreciación gráfica del concepto.

Tomando en cuenta lo anterior quisimos plasmar ésta idea en la conformación de nuestra tesis; con la cual nos sentimos satisfechos.

CONCLUSION

Esperamos haber logrado cumplir los objetivos que nos trazamos al iniciar éste proyecto de investigación bibliográfica, y más aún deseamos haber ayudado de manera aunque sea mínima al desarrollo de nuevos estudiantes de ingeniería.

No obstante, confiados y creyendo que ésta tesis ha logrado responder sus dudas e inquietudes sobre el estudio del área eléctrica, y teniendo en cuenta que el objetivo primordial de éste trabajo es que el estudiante de ingeniería obtenga una mejor apreciación gráfica de los conceptos teóricos relacionados con la electricidad e iluminación.

Esperando haber facilitado así su comprensión para lograr un mejor aprovechamiento de los conocimientos necesarios para el desarrollo profesional de proyectos encaminados a éstas áreas de ingeniería mecánica eléctrica.



Bibliografía

- ◆ Iluminación Interna, Vittorio RE,
Ed. Marcombo, España, 1ª. Edición
- ◆ Manual de Alumbrado, Westinghouse,
Ed. Dossat, México, 3ª. Edición
- ◆ Tesis "Iluminación e Instalaciones Eléctricas"
Ismael Hernández Valerio, 107/97
- ◆ Instalaciones Eléctricas Industriales, Pedro Camarena M.,
Ed. Continental, 6ª. Edición
- ◆ Instalaciones de Puesta a Tierra, Vittorio RE,
Ed. Marcombo, 1ª. Edición
- ◆ Instalaciones Eléctricas "Conceptos Básicos y Diseño", N. Bratu y E.
Campero, Ed. Alfaomega, 2ª. Edición
- ◆ Líneas de Transmisión y Redes de Distribución de Potencia Eléctrica,
Vol. II, Gilberto Enríquez Harper, Ed. Limusa, 1ª. Edición
- ◆ Diseño de Subestaciones Eléctricas, José Raúl Martín,
Ed. Mc.Graw Hill, 1ª. Edición
- ◆ Redes Eléctricas en Régimen Permanente Equilibrado 1ª.Parte, Jacinto
Viqueira Landa, Ed. Alfaomega, 3ª. Edición

BIBLIOGRAFÍA

- ◆ Electricidad y Magnetismo, Gabriel E. Jaramillo Morales y Alfonso A. Alvarado castellanos, Ed. Trillas, 2ª. Edición
- ◆ Electricity "Principles and Applications", Richard J. Fowler, Ed. Mc.Graw Hill, 5a. Edición
- ◆ Power Systems, Donald E. Beaman
- ◆ Física, Robert Resnick y David Halliday Parte II, Ed. C.E.C.S.A.
- ◆ Catálogo de Iluminación Holophane S.A. de C.V. 2000
- ◆ Fundamentos de Instalaciones Eléctricas de Media y Alta Tensión, Enriquez Harper Gilberto, Ed. Limusa, 1ª. Edición
- ◆ Fundamentos de Instalaciones Eléctricas, Joseph H. Foley
- ◆ Boletín informativo "Aspectos Básicos del Factor de Potencia Orientados al Ahorro de Energía Eléctrica", Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica.
- ◆ Principios de iluminación y Niveles de iluminación en México, Holophane.
- ◆ Catálogo condensado 1999, Holophane.