



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMÓN
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



“ MATERIAL DE APOYO DIDÁCTICO A LA ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE DE LA ASIGNATURA DE ELECTROTECNIA CIV-270 ”

*Proyecto de Grado, Por Adscripción, Presentado Para Optar al
Diploma Académico de*

LICENCIADO EN INGENIERÍA CIVIL .

PRESENTADO POR:

ALBERTO ALEX RIVAS FERRUFINO
FRED PABLO LOBATON SEVERICH

TUTOR : Ing. Msc. Alberto Arispe Santander

Cochabamba – Bolivia
Marzo 2007

DEDICACIÓN

Dedico este trabajo:

- A mi mamá Adriana. Ferrufino Vda. De Rivas
- A mi hermano y flia. Jaime y Mirtha.
- A mi hijita Brenda Rivas
- A mi enamorada Ximena Quiñones

Alex

AGRADECIMIENTOS

Gracias principalmente a Dios por darme la vida para poder llegar a esta etapa y poder concluir con un anhelo que son mis estudios, aunque muy consiente de que esto es el final de una carrera pero no del estudio mismo.

Gracias por traer a este mundo a seres tan queridos y amorosos, ya que sin su ayuda esto no se haría realidad.

Gracias Dios Mío
Gracias a mis queridos papas Adriana y Alberto (+) por traerme a este mundo.

Gracias a mi enamorada Ximena por estar a mi lado, ayudarme, entenderme y tener paciencia, aún en los momentos más difíciles .

Gracia a mi hermano Jaime y mi cuñada Mirtha por colaborarme sin ningún interés.

Gracias a mis Docentes por enseñarme y a mis compañeros por compartir conmigo.

Gracias a mi tutor Ing. Alberto Arispe Santander por su tiempo y dedicación.

Gracias a mis tribunales Ing. Walter Cossio,

Ing. Raúl Catari y al Ing. Fernando
Choque
Gracias al Ing. Julio Medina por su
colaboración.
Finalmente gracias a todas las personas
que me ayudaron a llegar a esta etapa
final de mi carrera y al principio de un
nuevo reto.

¡Muchas Gracias!

Alex

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico
a:

Mi hijita Keyleen Sara,
por ser la personita que me
impulsa e inspira a seguir
adelante y ser mejor.

Fred Pablo.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la vida y fortalecerme espiritual y moralmente logrando llegar a esta etapa tan importante de mi vida.

Por haberme dado la gracia de la sabiduría y cumplir el sueño y anhelo de ser profesional.

A mis padres Costa y Paulino por el amor, apoyo y dedicación que me brindan.

A mis suegros José y Lourdes por el apoyo, amistad y cariño incondicional que me ofrecen.

A mi esposa Yhamel que siempre me apoyo, con cariño y dedicación, en los momentos mas difíciles dándome el aliento y la fuerza para seguir adelante.

A mis hermanas Soledad, Melvi y en especial a Blanca que siempre me apoyaron en todo lo que pudieron.

A mis cuñados por ser amigos y brindarme su apoyo en todo momento.

A mis docentes por haberme forjado con dedicación esmero y mucha paciencia.

A la Universidad Mayor de San Simón por acogerme en sus aulas dándome la oportunidad de superación.

A mi tutor Ing. MSc. Alberto Arispe Santander por haber confiado en mí para realizar este trabajo, transmitiéndome toda su experiencia y sabiduría con mucha paciencia y comprensión.

¡Muchas Gracias!

Fred Pablo.

AGRADECIMIENTOS

Gracias principalmente a Dios por darme la vida para poder llegar a esta etapa y poder concluir con un anhelo que son mis estudios, aunque muy consiente de que esto es el final de una carrera pero no del estudio mismo.

Gracias por traer a este mundo a seres tan queridos y amorosos, ya que sin su ayuda esto no se haría realidad.

Gracias Dios Mío
Gracias a mis queridos papas Adriana y Alberto (+) por traerme a este mundo.

Gracias a mi enamorada Ximena por estar a mi lado, ayudarme, entenderme y tener paciencia, aún en los momentos más difíciles .

Gracia a mi hermano Jaime y mi cuñada Mirtha por colaborarme sin ningún interés.

Gracias a mis Docentes por enseñarme y a mis compañeros por compartir conmigo.

Gracias a mi tutor Ing. Alberto Arispe Santander por su tiempo y dedicación.

Gracias a mis tribunales Ing. Walter Cossio,

Ing. Raúl Catari y al Ing. Fernando
Choque
Gracias al Ing. Julio Medina por su
colaboración.
Finalmente gracias a todas las personas
que me ayudaron a llegar a esta etapa
final de mi carrera y al principio de un
nuevo reto.

¡Muchas Gracias!

Alex

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la vida y fortalecerme espiritual y moralmente logrando llegar a esta etapa tan importante de mi vida.

Por haberme dado la gracia de la sabiduría y cumplir el sueño y anhelo de ser profesional.

A mis padres Costa y Paulino por el amor, apoyo y dedicación que me brindan.

A mis suegros José y Lourdes por el apoyo, amistad y cariño incondicional que me ofrecen.

A mi esposa Yhamel que siempre me apoyo, con cariño y dedicación, en los momentos mas difíciles dándome el aliento y la fuerza para seguir adelante.

A mis hermanas Soledad, Melvi y en especial a Blanca que siempre me apoyaron en todo lo que pudieron.

A mis cuñados por ser amigos y brindarme su apoyo en todo momento.

A mis docentes por haberme forjado con dedicación esmero y mucha paciencia.

A la Universidad Mayor de San Simón por acogerme en sus aulas dándome la oportunidad de superación.

A mi tutor Ing. MSc. Alberto Arispe Santander por haber confiado en mí para realizar este trabajo, transmitiéndome toda su experiencia y sabiduría con mucha paciencia y comprensión.

¡Muchas Gracias!

Fred Pablo.

FICHA RESUMEN

El presente trabajo por Adscripción, logró el propósito de elaborar el texto oficial de la Materia Electrotecnia CIV - 270, del Departamento de Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Mayor de San Simón. El contenido del texto se basa en los contenidos mínimos aprobados para la materia y fue definido por el docente titular de la materia.

La carrera de Ingeniería Civil, empeñada en modernizar sus sistemas de enseñanza aprendizaje establece como prioridad la aplicación de nuevas metodologías en los que el estudiante sea el elemento central del proceso, de manera que se puedan mejorar sus actitudes respecto a la solución de problemas reales. Es decir cambiar el enfoque tradicional de enseñanza – aprendizaje a un enfoque problemático. En tal sentido establece como estrategia el Desarrollo de Instrumentos Académicos (Textos, Programas computacionales, Información de Internet, etc.), que serán preparados por estudiantes egresados dentro el programa de Titulación por Adscripción, para ser implementado en la asignatura.

El presente trabajo realizado tiene por objetivo general, mejorar la enseñanza en cuanto al aprendizaje de los estudiantes que estén cursando la materia ya que en seis capítulos ampliamente descritos se podría tener un mejor conocimiento de los temas que en el desarrollo de dicho trabajo se va mencionando.

La descripción de cada capítulo de este trabajo es claro y sencillo de comprender, puesto que la bibliografía que se obtuvo son de libros bastante conocidos y de muy buen antecedente bibliográfico, en algunos casos los datos se sacaron de Internet, es por eso que la bibliografía que se tiene en este trabajo es de una calificada fuente bibliográfica.

El trabajo está complementado por un archivo presentado en PowerPoint para ampliar y desarrollar los conocimientos que el docente de dicha materia enseña a sus alumnos.

Y por ultimo la realización de dicho trabajo tiene un desarrollo general, claro y muy detalladamente explicado con relación a los siguientes temas: Introducción a la tecnología de la electricidad, circuitos de corriente continua, circuitos de corriente alterna, instalaciones eléctricas, maquinas eléctricas y energía eléctrica. Los cuales son claramente explicados en cada capítulo de este trabajo.

INDICE

UNIDAD N° 1

INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA DE LA ELECTRICIDAD

1.1	Introducción.....	1
1.2	Generalidades.....	1
1.3	Introducción a los circuitos eléctricos.....	2
1.3.1	Corriente eléctrica.....	3
1.3.1.1	Tipos de corriente eléctrica.....	5
1.3.2	Diferencia de potencial.....	6
1.3.3	Caída de tensión.....	7
1.3.3.1	Corriente continua.....	8
1.3.3.2	Corriente alterna.....	8
1.3.4	Concepto de polaridad.....	11
1.3.5	Resistencias.....	12
1.3.6	Fuentes.....	12
1.4	Elementos de medición.....	15
1.4.1	Amperímetros.....	15
1.4.2	Voltímetros.....	16
1.5	Concepto de tierra.....	18

UNIDAD N° 2

CIRCUITOS ELÉCTRICOS DE CORRIENTE CONTINUA

2.1	Conceptos básicos.....	19
2.1.1	Unidades, definiciones, leyes experimentales y circuitos simples.....	19
2.1.2	Carga.....	20
2.1.3	Corriente.....	22
2.1.4	Voltaje.....	23
2.1.5	Potencia.....	24
2.1.6	Circuito eléctrico.....	26
2.1.7	Tipos de circuitos y elementos de circuitos.....	26
2.2	Ley de ohm.....	29
2.3	Leyes de kirchoff.....	31
2.3.1	Resistencia equivalente.....	34
2.4	Divisores.....	44
2.4.1	Divisor de corriente.....	44
2.4.2	Divisor de tensión.....	45
2.5	Métodos para el análisis de circuitos.....	45
2.5.1	Análisis de nodos.....	46
2.5.2	Análisis de mallas.....	47
2.6	Teorema de superposición.....	52
2.7	Teorema de Thévenin.....	56
2.8	Teorema de Norton.....	59

UNIDAD N° 3

CIRCUITOS DE CORRIENTE ALTERNA

3.1	Conceptos básicos	73
3.1.1	Corriente alterna (ca).....	73
3.1.1.2	Tipos de corriente alterna (regímenes).....	74
3.1.2	Voltaje pico-pico:(vpp).....	74
3.2	Generación de corriente alterna.....	74
3.3	Corriente alterna sinusoidal.....	75
3.3.1	Representación vectorial.....	75
3.3.2	Resistencia en los circuitos ca.....	76
3.3.3	Valor instantáneo, máximo, medio y eficaz.....	76
3.4	Condensador.....	78
3.4.1	Asociación de condensadores.....	82
3.5	Bobinas.....	85
3.6	Circuitos monofásicos.....	90
3.6.1	Circuitos RL en serie.....	90
3.6.1.1	Resolución del circuito RL mediante trigonometría.....	91
3.6.2	Circuito RC en serie.....	92
3.6.2.1	Resolución del circuito RC mediante trigonometría.....	92
3.6.3	Circuito serie RLC.....	94
3.6.3.1	Circuito paralelo RLC.....	95
3.6.3.2	Circuito con parámetro R.....	97
3.6.4	Potencia eléctrica.....	98
3.6.4.1	Medida de potencia en corriente continua.....	98
3.6.4.2	Medida de potencia en CA monofásica.....	100
3.6.4.3	Corriente alterna de un circuito resistivo puro.....	103
3.6.4.4	Potencia de una reactancia inductiva.....	104
3.6.4.5	Potencia de un circuito capacitivo puro.....	104
3.6.5	Factor potencia.....	105
3.7	Sistemas trifásicos.....	106
3.7.1	Características generales.....	107
3.7.1.1	Tensión de línea y fase.....	112
3.7.1.2	Corriente de línea fase.....	114
3.7.1.2.1	Conexión trifásica en estrella.....	114
3.7.2	Potencia en los sistemas trifásicos.....	116
3.7.3	Factor de potencia en sistemas trifásicos.....	117

UNIDAD N° 4

INSTALACIONES ELECTRICAS

4.1	Introducción.....	118
4.2	Elementos básicos de los circuitos eléctricos.....	118
4.2.1	Conductores.....	118
4.2.2	Conductor.....	118
4.2.3	Resistencia de los metales.....	119

4.2.4	Partes que componen los conductores eléctricos.....	119
4.2.5	Uniones eléctricas o empalmes.....	124
4.2.5.1	Tipos de uniones.....	124
4.2.5.2	Accesorios para uniones.....	125
4.3	La incandescencia.....	126
4.4	Lámparas.....	128
4.4.1	Tipos de lámparas.....	128
4.5	Instalaciones residenciales.....	137
4.5.1	Conceptos básicos.....	137
4.5.1.1	Acometida.....	137
4.5.1.2	Tablero de medición.....	137
4.5.1.3	Circuito principal.....	139
4.5.1.4	Tablero de distribución.....	139
4.5.1.5	Circuitos secundarios.....	139
4.5.1.6	Cargas eléctricas.....	139
4.5.1.7	Intercomunicador.....	139
4.6	Calculo de la instalación residencial.....	139
4.7	Cálculos en instalaciones eléctricas residenciales.....	140
4.7.1	Calculo de la acometida.....	140
4.7.2	Calculo de conductores del alimentador principal.....	140
4.8	Conexión de circuitos.....	140
4.8.1	Conexión de un tomacorriente bipolar.....	140
4.8.2	Conexión de un punto de luz.....	141
4.8.3	Conexión de un punto de luz con dos conmutadores.....	141
4.9	Luminotecnia.....	142
4.9.1	Iluminación de interiores.....	142
4.9.1.1	Calculo de instalaciones para alumbrado de interiores.....	151
4.9.1.1.1	Método de los lúmenes.....	151
4.9.1.1.2	Método del punto por punto.....	157
4.9.2	Iluminación de exteriores.....	166
4.9.2.1	Alumbrado de vías publicas.....	166
4.9.2.1.1	Método de los lúmenes o del factor de utilización.....	179
4.10	Demanda máxima.....	188
4.10.1	Niveles de consumo de instalaciones domiciliarias.....	188
4.10.2	Determinación de la demanda máxima en instalaciones domiciliarias.....	189
4.10.2.1	Potencia instalada de iluminación.....	189
4.10.2.2	Potencia instalada en tomacorrientes.....	190
4.10.2.3	Potencia instalada en fuerzas.....	190
4.10.3	Calculo de la demanda máxima.....	191
4.11	Calculo de la sección del conductor.....	194
4.12	Dispositivos de maniobra y protección.....	195
4.12.1	Nociones básicas, terminología y simbología.....	196
4.13	Terminología.....	196
4.14	Simbología.....	198
4.15	Características de riesgo.....	207
4.15.1	Riesgos probables que se pueden originar.....	207
4.15.2	Sistemas de protección.....	209

4.15.2.1 Aspectos fundamentales.....	209
4.15.3 Protección para la manipulación y transporte de energía.....	211
4.15.4 Protección personal.....	211
4.15.5 Protección laboral.....	211
4.16 Consideraciones para un proyecto de instalación eléctrica.....	212
4.16.1 Plano de cableado.....	212
4.16.2 Plano de ductos.....	212
4.16.3 Plano de instalaciones unifamiliares.....	215

UNIDAD N° 5

MAQUINAS ELECTRICAS

5.1 Generalidades de los transformadores.....	216
5.2 El transformador	216
5.2.1 Transformador ideal	218
5.2.2 Transformador no ideal de núcleo real	219
5.2.3 Potencia en un transformador ideal.....	220
5.2.4 Transformación de la impedancia mediante un transformador.....	221
5.2.5 Transformador monofásico.....	222
5.2.5.1 Transformador real.....	222
5.2.6 Funcionamiento del transformador con carga.....	223
5.2.6 Funcionamiento en paralelo.....	223
5.2.7 Transformador trifásico.....	224
5.2.7.1 Circuitos equivalentes.....	224
5.2.8 Conexiones trifásicas.....	225
5.2.8.1 Conexiones de transformador trifásico.....	225
5.3 Utilización de la energía eléctrica.....	225
5.3.1 Introducción.....	225
5.3.2 Fuerza motriz.....	225
5.3.3 Motores.....	226
5.3.3.1 Motores de corriente alterna.....	226
5.3.3.2 Maquinas de corriente continua.....	239
5.4 Maquinas eléctricas en el campo de la ingeniería civil.....	243
5.4.1 Introducción.....	243
5.4.2 Bombas de agua.....	247
5.4.2.1 Clasificación de las bombas.....	247
5.4.2.2. Tipos de bombas centrífugas.....	248
5.4.2.4 Selección de la bomba.....	249
5.4.2.5 Curva característica de la bomba.....	251
5.4.2.6 Otra alternativa de elección de la bomba.....	253
5.4.2.7 Válvulas de control.....	254
5.4.3 Vibradores para hormigón.....	258
5.4.3.1 Tipos de vibración de hormigón.....	259
5.4.3.2 Conceptos genéricos vibradores internos.....	260
5.4.3.3 Vibradores Externos.....	271
5.4.3.4 La vibradora.....	273
5.4.3.5 Aire ocluido en el hormigón.....	275

5.4.3.6	Objetivo de la vibración del hormigón respecto del aire.....	275
5.4.3.7	Vibración del hormigón: sus efectos.....	275
5.4.3.8	Relación entre vibrado y fluidez.....	276
5.4.3.9	Frecuencias de vibración y tamaño de partículas.....	276
5.4.3.10	Tipos de vibradores.....	277
5.4.4	Mezcladoras de hormigón.....	278
5.4.5	Escaleras mecánicas.....	286
5.4.6	Ascensores.....	289
5.4.7	Montacargas.....	298
5.4.7.1	Cálculo de la potencia del motor para plena carga.....	298
5.4.7.2	Mecanismo de traslación.....	300

UNIDAD N° 6

ENERGIA ELECTRICA

6.1	Introducción.....	302
6.2	Centrales y producción eléctrica.....	302
6.2.1	Sistemas de producción eléctrica.....	302
6.2.2	Características generales de una central hidráulica.....	303
6.2.2.1	Elementos de una Central hidráulica.....	305
6.2.3	Centrales eléctricas térmicas.....	315
6.3	Generadores.....	329
6.3.1	Dinamo.....	329
6.3.2	Generador de corriente alterna.....	331
6.3.3	Subestación eléctrica.....	332
6.4	Transporte y distribución de energía eléctrica.....	332
6.4.1	Introducción.....	332
6.4.2	Canalizaciones eléctricas.....	333

UNIDAD N° 1

INTRODUCCIÓN A LA TEORÍA DE LA ELECTRICIDAD

1.1 INTRODUCCIÓN

1.2. GENERALIDADES

La electricidad es un fenómeno físico originado por cargas eléctricas estáticas o en movimiento y por su interacción. Cuando una carga se encuentra en reposo produce fuerzas sobre otras situadas en su entorno. Si la carga se desplaza produce también fuerzas magnéticas. Hay dos tipos de cargas eléctricas, llamadas positivas y negativas.

La electricidad está presente en algunas partículas subatómicas. La partícula fundamental más ligera que lleva carga eléctrica es el electrón, que transporta una unidad de carga. Los átomos en circunstancias normales contienen electrones, y a menudo los que están más alejados del núcleo se desprenden con mucha facilidad. En algunas sustancias, como los metales, proliferan los electrones libres. De esta manera un cuerpo queda cargado eléctricamente gracias a la reordenación de los electrones. Un átomo normal tiene cantidades iguales de carga eléctrica positiva y negativa, por lo tanto es eléctricamente neutro. La cantidad de carga eléctrica transportada por todos los electrones del átomo, que por convención son negativas, esta equilibrada por la carga positiva localizada en el núcleo. Si un cuerpo contiene un exceso de electrones quedará cargado negativamente. Por lo contrario, con la ausencia de electrones un cuerpo queda cargado positivamente, debido a que hay más cargas eléctricas positivas en el núcleo

La energía eléctrica es la forma de energía que resulta de la existencia de una diferencia de potencial entre dos puntos, lo que permite establecer una corriente eléctrica entre ambos cuando se los pone en contacto por medio de un conductor eléctrico, y obtener trabajo. La energía eléctrica puede transformarse en muchas otras formas de energía, tales como la energía luminosa o luz, la energía mecánica y la energía térmica. La generación de energía eléctrica se lleva a cabo mediante técnicas muy diferentes. Las que suministran las mayores cantidades y potencias de electricidad aprovechan un movimiento rotatorio para generar corriente continua en una dinamo o corriente alterna en un alternador. El movimiento rotatorio resulta a su vez de una fuente de energía mecánica directa, como puede ser la corriente de un salto de agua o la producida por el viento, o de un ciclo termodinámico. La generación de energía eléctrica es una actividad humana básica, ya que está directamente relacionada con los requerimientos actuales del hombre. Todas las formas de utilización de las fuentes de energía, tanto las habituales como las denominadas alternativas o no convencionales, agreden en mayor o menor medida el ambiente, siendo de todos modos la energía eléctrica una de las que causan menor impacto.

Cada vez que se acciona un interruptor, se cierra un circuito eléctrico y se genera el movimiento de electrones a través del cable conductor. Las cargas que se desplazan forman parte de los átomos de la sustancia del cable, que suele ser metálica, ya que los metales al disponer de mayor cantidad de electrones libres que otras sustancias son los mejores

conductores de la electricidad. La mayor parte de la energía eléctrica que se consume en la vida diaria proviene de la red eléctrica a través de las tomas llamadas enchufes, a través de los que llega la energía suministrada por las compañías eléctricas a los distintos aparatos eléctricos (lavadora, radio, televisor, etc.) que se desea utilizar, mediante las correspondientes transformaciones; por ejemplo, cuando la energía eléctrica llega a un aparato eléctrico se puede convertir en energía mecánica, calórico, etc. gracias al **motor eléctrico** y a las distintas piezas mecánicas del aparato.

En la **ingeniería civil** de forma particular la energía eléctrica tiene una participación muy importante, ya que gracias a los adelantos tecnológicos, esta cuenta con un sin número de herramientas, que facilitan y optimizan los trabajos de ingeniería, y que dependen de la energía eléctrica, estos equipos dependiendo de su utilización pueden ser muy variados, tales como: teodolitos, niveles, GPS's, estaciones totales y otros más, que al funcionar con baterías están vinculados con la corriente continua (CD. o CC.). Existen también muchas herramientas que dependen de la corriente alterna (CA) ya que utilizan un motor, para su funcionamiento tales como: mezcladoras, guinches, vibradores, cierras circulares, cintas transportadoras, montacargas, etc. Inversamente la **ingeniería Civil** tiene una participación importante en la **generación** de energía eléctrica, ya que para este proceso es necesario contar con obras civiles tales como la construcción de represas, canales, obras tomas, vertederos de excedencias, etcétera.

1.3. INTRODUCCION A LOS CIRCUITOS ELECTRICOS^{[14][3*]}

Un circuito eléctrico es el recorrido por el cual circulan los electrones, consta básicamente de: un generador (que proporciona energía, por ejemplo una batería), un conductor (medio en el que se transporta la energía, por ejemplo un alambre de cobre), un elemento de maniobra (por ejemplo un interruptor, pulsador, etc.) y un receptor (elemento consumidor de la energía, por ejemplo una bombilla, motor, timbre, etc.) tal como se muestra en la figura 1:

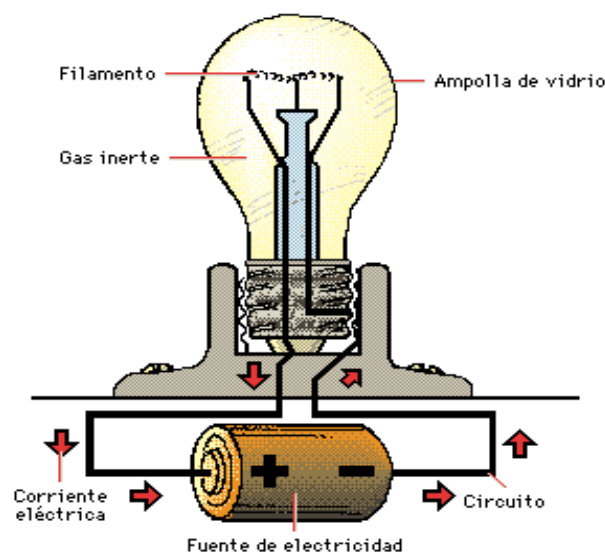


Figura 1.1

1.3.1. CORRIENTE ELÉCTRICA^[10]

El concepto de carga eléctrica constituye el principio fundamental que explica todos los fenómenos eléctricos. Además, la cantidad más básica en un circuito eléctrico es la carga eléctrica. Podemos experimentar este fenómeno cuando tratamos de quitarnos un suéter de lana y este se pega a nuestro cuerpo.

El término corriente eléctrica, o simplemente corriente, se emplea para describir la tasa de flujo de carga que pasa por alguna región de espacio. Por ejemplo, la batería que suministra corriente al filamento de una bombilla cuando el interruptor se conecta. En estas situaciones comunes, el flujo de carga fluye por un conductor, por ejemplo, un alambre de cobre. Es posible también que existan corrientes fuera de un conductor. Por ejemplo, un haz de electrones en el tubo de imagen de una TV constituye una corriente.

La fuerza que impulsa a los electrones a moverse se debe a la diferencia de potencial o tensión que existe entre dos puntos diferentes, si la tensión es muy alta, los electrones pueden pasar de un cuerpo al otro a través del aire, por ejemplo, el rayo. En cambio, si la tensión es baja, los electrones necesitan ciertos materiales, llamados conductores, para pasar de un cuerpo a otro. Los conductores más importantes son los metales. La tierra es un inmenso conductor que, dado que tiene tantos átomos, puede ganar o perder electrones sin electrizarse. Por esto, si un cuerpo electrizado se conecta a tierra, se produce una corriente eléctrica, hasta que el cuerpo se descarga.

- Un cuerpo neutro tiene potencial eléctrico nulo.
- Un cuerpo con carga positiva (déficit de electrones) tiene potencial positivo.
- Un cuerpo con carga negativa (exceso de electrones) tiene potencial negativo.

Siempre que se mueven cargas eléctricas de igual signo se establece una corriente eléctrica. Para definir la corriente de manera más precisa, suponga que las cargas se mueven perpendiculares a una superficie de área A , como en la figura 1.2 (Esta sería por ejemplo la sección transversal de un alambre).

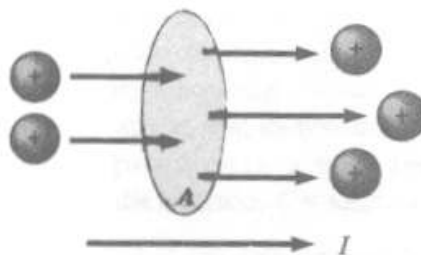


Figura 1.2

La corriente es la tasa a la cual fluye la carga por esta superficie. Si ΔQ es la cantidad de carga que pasa por esta área en un intervalo de tiempo Δt , la corriente promedio, I_{pro} , es igual a la carga que pasa por A por unidad de tiempo como se ve en la figura 1.3.

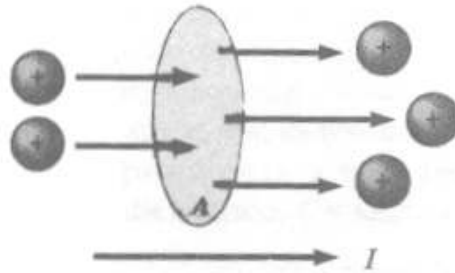


Figura 1.3

La figura muestra cargas en movimiento a través de un área A. La tasa de flujo de carga en el tiempo a través del área se define como la corriente I, la dirección a la cual la carga positiva fluiría si tuviera libertad de hacerlo.

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad (1.1)$$

Si la tasa a la cual fluye la carga varía en el tiempo, la corriente también varía en el tiempo, y definimos a la corriente instantánea I como el límite diferencial de la ecuación:

$$I = \frac{dQ}{dt} \quad (1.2)$$

La unidad de corriente del Sistema Internacional es el ampere (A).

$$1A = \frac{1C}{1s} \quad (1.3)$$

Es decir que 1A (Amperio) de corriente es equivalente a 1C (Coulomb) de carga que pasa por el área de la superficie en 1s (Segundo) así como se muestra en la figura 1.4

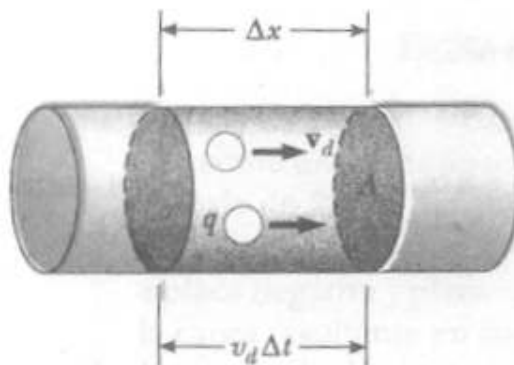


Figura 1.4

En la figura 1.4 se muestra una sección de un conductor uniforme de área de sección transversal A. los portadores de carga se mueven con una velocidad v_d y la

distancia que recorren en un tiempo Δt esta dada por $\Delta x = v_d \Delta t$. El número de portadores de cargas móviles en la sección de longitud Δx está dado por $nA v_d \Delta t$, donde n es el número de portadores de carga móviles por unidad de volumen.

Las cargas que pasan por la superficie en la figura anterior pueden ser positivas negativas o de ambos signos. Es una convención dar a la corriente la misma dirección que la del flujo de carga positiva. En un conductor como el cobre la corriente se debe al movimiento de electrones cargados negativamente. Por lo tanto, cuando hablamos de corriente en un conductor ordinario, como un alambre de cobre, la dirección de la corriente es opuesta a la dirección del flujo de los electrones. Por otra parte, si se considera un haz de protones cargados positivamente en un acelerador, la corriente está en la dirección del movimiento de los protones. En algunos casos gases y electrolitos, por ejemplo la corriente es el resultado del flujo tanto de cargas positivas como negativas.

Es común referirse a una carga en movimiento (ya sea positiva o negativa) como un portador de carga móvil. Por ejemplo, los portadores de carga en un metal son los electrones.

Es útil relacionar la corriente con el movimiento de partículas cargadas. Para ilustrar este punto, considere la corriente en un conductor de área de sección transversal A . El volumen de un elemento del conductor de longitud Δx (región sombreada en la figura 1.4) es $A \Delta x$. Si n representa el número de portadores de carga móvil por unidad de volumen, entonces el número de portadores de carga móvil en el elemento de volumen es $nA \Delta x$. Por lo tanto, la carga ΔQ en este elemento es

$$\Delta Q = \text{Numero de cargas} \times \text{carga por partícula} = (nA \Delta x)q$$

Donde q es la carga en cada partícula. Si los portadores de cargas se mueven con una velocidad v_d la distancia que se mueven en un tiempo Δt es $\Delta x = v_d \Delta t$. En consecuencia, podemos escribir ΔQ en la forma

$$\Delta Q = (nA v_d \Delta t)q \quad (1.4)$$

Si dividimos ambos lados de la ecuación por Δt , vemos que la corriente en el conductor está dada por

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = nq v_d A \quad (1.5)$$

1.3.1.1. TIPOS DE CORRIENTE ELÉCTRICA

En la práctica, los dos tipos de corrientes eléctricas más comunes son: corriente directa (**CD**) o continua y corriente alterna (**CA**). La corriente directa circula siempre en un solo sentido, es decir, del polo negativo al positivo de la fuente de fuerza electromotriz (**FEM**) que la suministra. Esa corriente mantiene siempre fija su polaridad (figura 1.5), como es el caso de las pilas, baterías y dinamos.

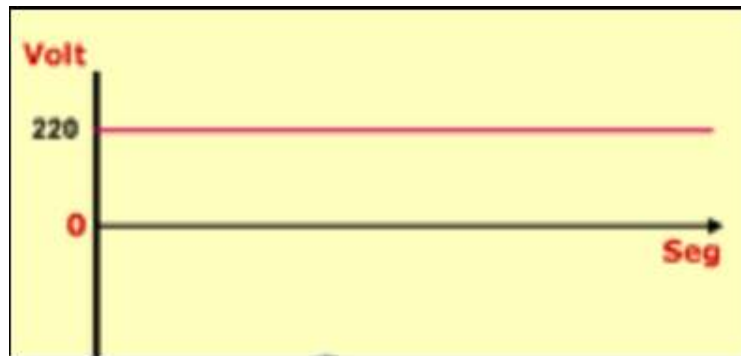


Gráfico de una corriente directa (C.D.) o continua (C.C.).

Figura 1.5

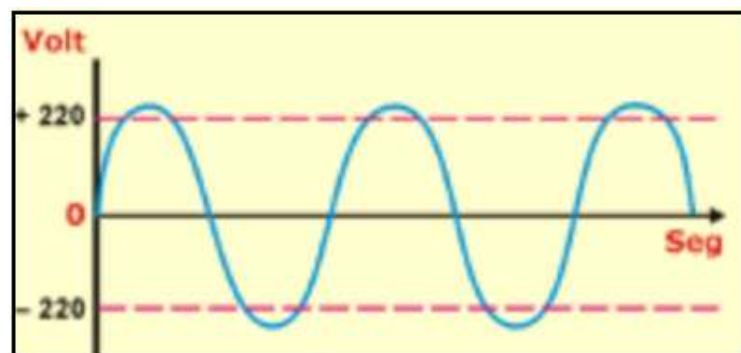


Gráfico de la corriente alterna senoidal (C.A.)

Figura 1.6

La corriente alterna (fig. 1.6) se diferencia de la directa en que cambia su sentido de circulación periódicamente y, por tanto, su polaridad. Esto ocurre tantas veces como frecuencia en hertz (**Hz**) tenga esa corriente. A la corriente directa (**C.D.**) también se le llama "corriente continua" (**C.C.**).

La corriente alterna es el tipo de corriente más empleado en la industria y es también la que consumimos en nuestros hogares. La corriente alterna de uso **doméstico e industrial** cambia su polaridad o sentido de circulación 50 ó 60 veces por segundo, según el país de que se trate. Esto se conoce como frecuencia de la corriente alterna.

En los países de Europa la corriente alterna posee 50 ciclos o hertz (Hz) por segundo de frecuencia, mientras que los en los países de América la frecuencia es de 60 ciclos o hertz

1.3.2 DIFERENCIA DE POTENCIAL^[14]

El potencial eléctrico en un punto es el Trabajo o fuerza electromotriz externa (fem) requerido para mover una carga unitaria (trabajo por unidad de carga) desde el punto mas negativo (potencial bajo) al mas positivo (potencial alto) o hasta el infinito, donde el potencial es 0.

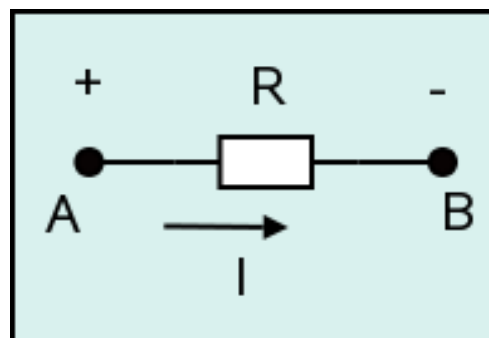
La diferencia de potencial o diferencia de potencia entre dos puntos (1 y 2) de un campo eléctrico es igual al trabajo que realiza dicha unidad de carga positiva para transportarla desde el punto 1 al punto 2 es independiente del camino recorrido por la carga (campo conservativo) y depende exclusivamente del potencial de los puntos 1 y 2, en el campo; se expresa por la fórmula:

$$V_1 - V_2 = E * r \quad (1.6)$$

donde:

V1 - V2 es la diferencia de potencial **E** es la Intensidad de campo en newton/culombio **r** es la distancia en metros entre los puntos 1 y 2 Igual que el potencial, en el Sistema Internacional de Unidades la diferencia de potencial se mide en voltios. Si dos puntos que tienen una diferencia de potencial se unen mediante un conductor, se producirá un flujo de corriente eléctrica.

Parte de la carga que crea el punto de mayor potencial se trasladará a través del conductor al punto de menor potencial y, en ausencia de una fuente externa (generador), esta corriente cesará cuando ambos puntos igualen su potencial eléctrico (Ley de Henry). Este traslado de cargas es lo que se conoce como corriente eléctrica.



Polaridad de una diferencia de potencial.

Figura 1.7

La diferencia de potencial entre dos puntos de un circuito, se le suele denominar también como caída de tensión. Cuando por dichos puntos puede circular una corriente eléctrica, la polaridad de la caída de tensión viene determinada por la dirección convencional de la misma, esto es, del punto de mayor potencial al de menor. Por lo tanto, si por la resistencia R de la figura 1.7 circula una corriente de intensidad I, desde el punto A hacia el B, se producirá una caída de tensión en la misma con la polaridad indicada y se dice que el punto A es más positivo que el B como se muestra en la figura 1.7

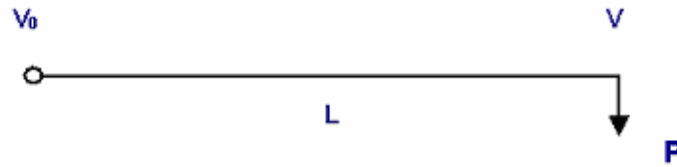
Que dos puntos tengan igual potencial eléctrico no significa que tengan igual carga.

1.3.3. CAIDA DE TENSION ^[12*]

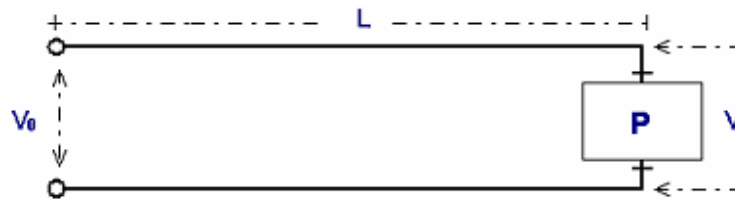
También conocida como bajada de tensión, la caída es una disminución en los niveles de tensión por períodos breves. Éste es el problema energético más común.

1.3.3.1 Corriente continua

Esquema Unifilar:



Esquema Bifilar:



En una línea de c.c. un conductor de sección s y longitud $2*L$, presenta una resistencia R de valor:

$$R = \frac{\rho * L}{S} [\Omega] \quad I = \frac{P}{V} \quad (1.7)$$

Originando una caída de tensión: $\Delta V = 2RI$, si reemplazamos R tendremos:

$$\Delta V = \frac{2 * \rho * L * I}{s} \quad (1.8)$$

Donde:

P = Potencia (V)

V = Tensión final (V)

V₀ = Tensión origen (V)

I = Intensidad (A)

L = Longitud (m)

S = Sección de conductor (mm²)

R = Resistencia de la línea

ρ = Resistividad (Ωmm²/m) (Ω=Volt/A) $\rho(\text{Cu}) = 1/57$, $\rho(\text{Al}) = 1/36$

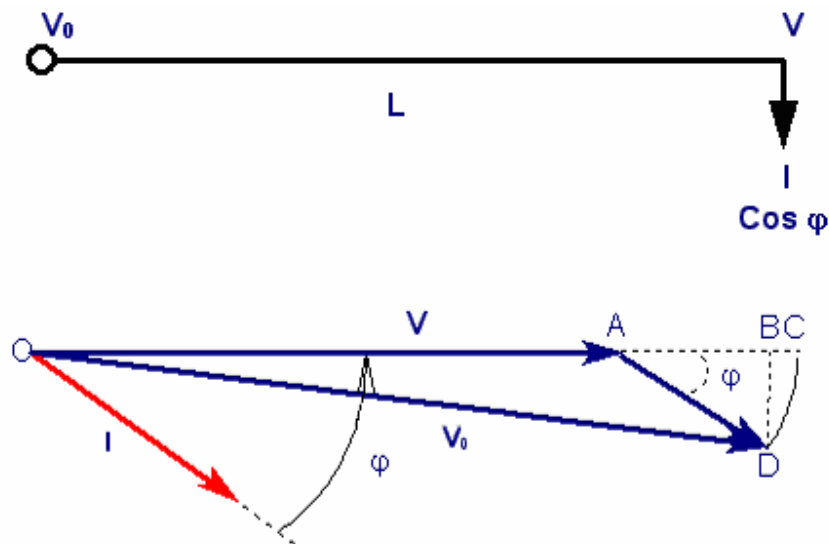
ΔV = Caída de tensión

1.3.3.2 Corriente Alterna

- **Monofásica:**

Para el cálculo de las secciones en baja tensión se considera solo el efecto resistivo, ya que para el análisis en alta tensión son considerados otros efectos como el de inducción y capacitivo, estos efectos, aunque muy importantes en alta tensión y líneas largas, no lo es tanto en baja tensión y líneas de corta longitud.

Para el cálculo de la caída de tensión en c.a. ha de tenerse en cuenta que las magnitudes son vectoriales. De acuerdo con el desarrollo que se hace en la figura, llegamos a la siguiente ecuación de caída de tensión:



OA = Tensión en la carga V

OD = Tensión al inicio V_0

I = Intensidad

ϕ = Angulo entre V e I

AD = Caída de tensión vectorial = $I \cdot R$

Analizando gráficamente:

$$\overline{OD} = \overline{OA} + \overline{AD}$$

$$OD = OC$$

$$OC \approx OB$$

$$OB = OA + AB$$

$$OB = OA + AD \cdot \cos \phi \quad \text{donde:} \quad \cos \phi = 0.9$$

Reemplazando:

$$V_0 = V + I \cdot R \cdot \cos \phi$$

$$\Delta V = V_0 - V$$

De donde:

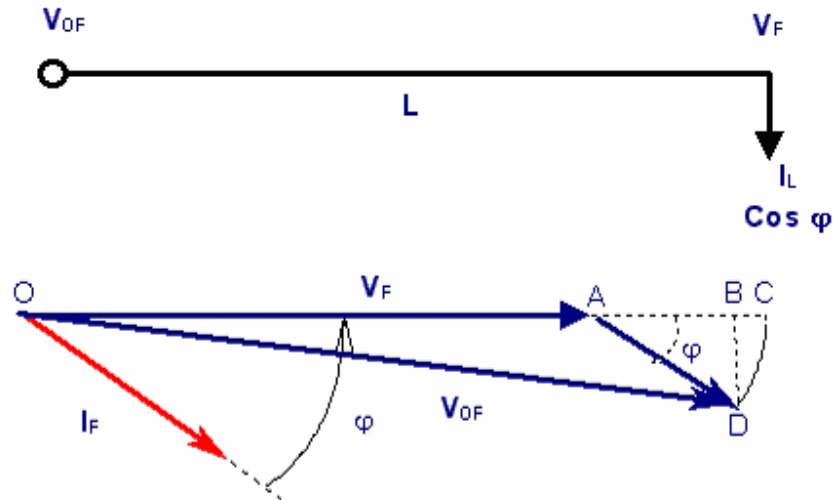
$$\Delta V = I \cdot R \cdot \cos \phi$$

Reemplazando se tendrá:

$$\Delta V = \frac{2 \cdot \rho \cdot L \cdot I \cdot \cos \phi}{s} \quad (1.9)$$

- **Trifásica**

Haciendo las mismas consideraciones, por fase, que en el caso de C.A. monofásica podemos deducir las formulas.



OA = Tensión Final de fase V_F

OD = Tensión de fase V_{OF}

I_L = Intensidad de línea

Φ = Angulo entre V_F e I_F

$$AD = \text{Caída De tensión vectorial} = I_L * R = I_F * \frac{\rho * L}{s}$$

Del análisis grafico:

$$\overline{OD} = \overline{OA} + \overline{AD}$$

$$OD = OC$$

$$OC \approx OB$$

$$OB = OA + AB$$

$$OB = OA + AD + \text{Cos}\phi$$

Reemplazando:

$$V_{OF} = V_F + I_L * R * \text{Cos}\phi$$

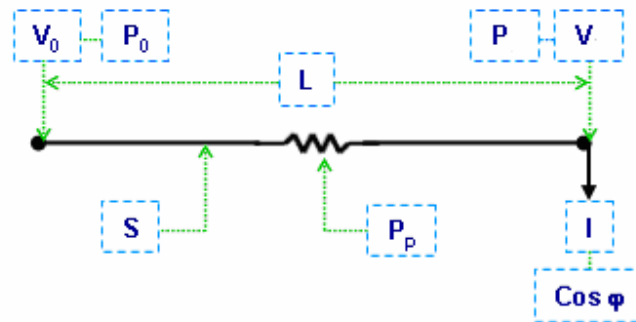
$$\left. \begin{array}{l} \Delta V_F = V_{OF} - V_F \\ \Delta V = V_O - V \end{array} \right\} \Delta V = V_O - V = (V_{OF} - V_F) * \sqrt{3} = \Delta V_F * \sqrt{3}$$

$$\Delta V = \sqrt{3} * I_L * R * \text{Cos}\phi$$

Reemplazando R se tiene:

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} * \rho * L * I_L * \text{Cos}\phi}{S} \quad (1.10)$$

- Resumen de formulas



Variable	Sistema	
	Monofásico	Trifásico
Caída de tensión	$\Delta V = \frac{2 * \rho * L * I * \cos \varphi}{s}$	$\Delta V = \frac{\sqrt{3} * \rho * L * I_L * \cos \varphi}{S}$
Potencia en el origen	$P_0 = P + P_p$	
Pérdida de potencia	$P_p = 2 * I^2 * \frac{\rho * L}{s}$	$P_p = 3 * I^2 * \frac{\rho * L}{s}$
Potencia en la carga	$P = V * I * \cos \varphi$	$P = \sqrt{3} * V * I * \cos \varphi$
Rendimiento	$\eta \% = \frac{P}{P + P_p} * 100$	

(1.11)

(1.12)

(1.13)

1.3.4 CONCEPTO DE POLARIDAD ^[16]

Primeramente definiremos polo como cada uno de los extremos o bornes de un circuito o un generador eléctrico, que sirven para conectar los conductores exteriores.

Polaridad es la cualidad que distingue entre si cada uno de los polos de un imán o de un generador eléctrico

Generalmente, los aparatos de corriente continua no suelen incorporar protecciones frente a un eventual cambio de polaridad, lo que puede acarrear daños irreversibles en el aparato. Para evitarlo, y dado que la causa del problema es la colocación inadecuada de las baterías, es común que los aparatos incorporen un diagrama que muestre cómo deben colocarse. Así mismo, los contactos se distinguen empleándose, convencionalmente, un muelle metálico para el polo negativo y una placa para el polo positivo. En los aparatos con baterías recargables, el transformador - rectificador tiene una salida tal que la conexión con el aparato sólo puede hacerse de una manera, impidiendo así la inversión de la polaridad.

En los casos de instalaciones de gran envergadura, tipo centrales telefónicas y otros equipos de telecomunicación, donde existe una distribución centralizada de corriente continua para toda la sala de equipos, se emplean elementos de conexión y protección adecuados para evitar la conexión errónea de polaridad.

1.3.5 RESISTENCIAS ^[14]

Se denomina **resistencia eléctrica** (figura 1.8.a), R , de una sustancia, a la oposición que encuentra la corriente eléctrica para recorrerla. Su valor se mide en ohmios y se designa con la letra griega omega mayúscula (Ω). La materia presenta 4 estados en relación al flujo de electrones. Estos son: Conductores, Semi-conductores, Resistores y Dieléctricos. Todos ellos se definen por el grado de oposición a la corriente eléctrica (Flujo de Electrones).



Simbología utilizada para denotar las resistencias
Figura 1.8.a



Resistencia eléctrica con código de colores
Figura 1.8.b

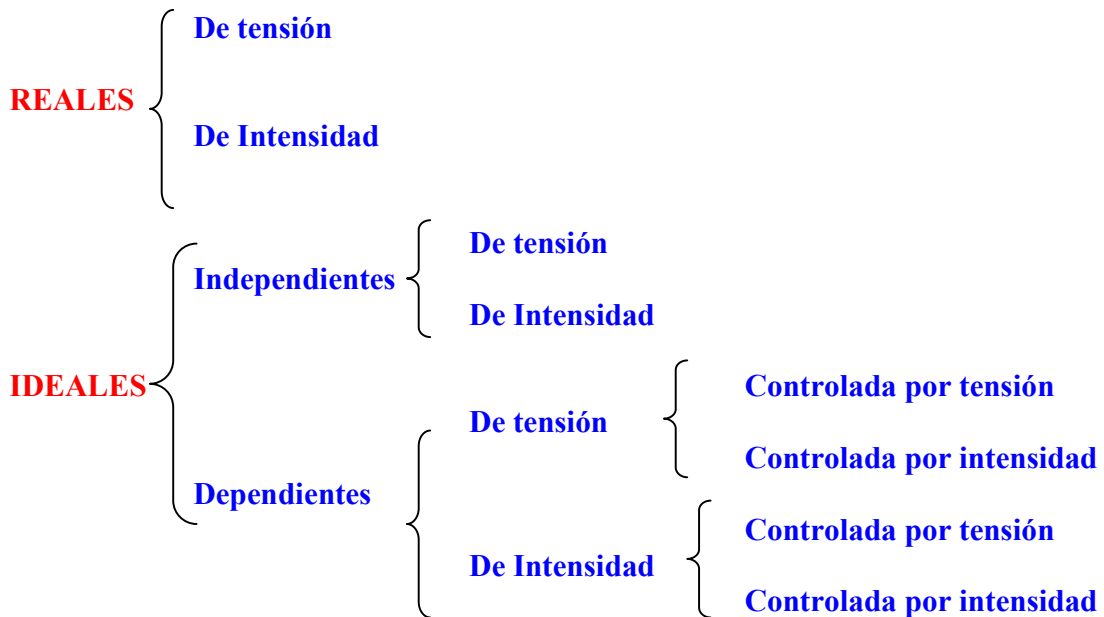
Esta definición es válida para la corriente continua y para la corriente alterna cuando se trate de elementos resistivos puros, esto es, sin componente inductiva ni capacitiva. De existir estos componentes reactivos, la oposición presentada a la circulación de corriente recibe el nombre de impedancia.

Según sea la magnitud de esta oposición, las sustancias se clasifican en conductoras, aislantes y semiconductoras. Existen además ciertos materiales en los que, en determinadas condiciones de temperatura, aparece un fenómeno denominado superconductividad, en el que el valor de la resistencia es prácticamente nula.

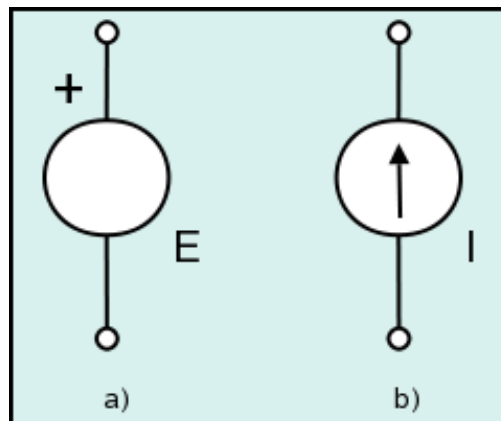
La resistencia eléctrica se mide con el Ohmímetro que es un aparato diseñado para medir la resistencia eléctrica en ohmios. Debido a que la resistencia es la diferencia de potencial que existe en un conductor dividida por la intensidad de la corriente que pasa por el mismo, un ohmímetro tiene que medir dos parámetros, y para ello debe tener su propio generador para producir la corriente eléctrica.

1.3.6 FUENTES

En electricidad se entiende por **fuentes** al elemento activo que es capaz de generar una diferencia de potencial (d.d.p.) entre sus bornes o proporcionar una corriente eléctrica. A continuación se indica una posible clasificación de las fuentes eléctricas:



- Fuentes ideales:



Símbolos de las fuentes ideales de tensión, a), e intensidad, b).

Figura 1.9

Las fuentes ideales son elementos utilizados en la teoría de circuitos para el análisis y la creación de modelos que permitan analizar el comportamiento de componentes electrónicos o circuitos reales. Pueden ser independientes, si sus magnitudes (tensión o corriente) son siempre constantes, o dependientes en el caso de que dependan de otra magnitud (tensión o corriente).

En este caso se tratarán las fuentes independientes. Sus símbolos pueden observarse en la figura 19. El signo + en la fuente de tensión, indica el polo positivo o ánodo siendo el extremo opuesto el cátodo y E el valor de su fuerza electromotriz (fem).

En la fuente de intensidad, la dirección de la flecha indica la dirección de la corriente eléctrica e **I** su valor. A continuación se dan sus definiciones:

Fuente de tensión ideal:

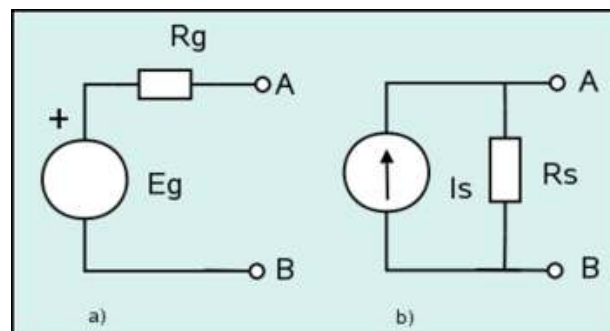
Aquella que genera una d. d. p. entre sus terminales constante e independiente de la carga que alimente. Si la resistencia de carga es infinita se dirá que la fuente está en circuito abierto, y si fuese cero estaríamos en un caso absurdo, ya que según su definición una fuente de tensión ideal no puede estar en cortocircuito.

Fuente de intensidad ideal:

Aquella que proporciona una intensidad constante e independiente de la carga que alimente.

Si la resistencia de carga es cero se dirá que la fuente está en cortocircuito, y si fuese infinita estaríamos en un caso absurdo, ya que según su definición una fuente de intensidad ideal no puede estar en circuito abierto.

- **Fuentes reales:**



Símbolos de las fuentes reales de tensión, a), e intensidad, b).
Figura 1.10

A diferencia de las fuentes ideales, la d. d. p. que producen o la corriente que proporcionan fuentes reales, depende de la carga a la que estén conectadas.

Fuentes de tensión

Una fuente de tensión real puede considerarse como una fuente de tensión ideal, E_g , en serie con una resistencia R_g , a la que se denomina resistencia interna de la fuente (figura 1.10a). En circuito abierto, la tensión entre los bornes A y B (V_{AB}) es igual a E_g ($V_{AB}=E_g$), pero si entre estos bornes se conecta una carga, R_L , la tensión pasa a ser:

$$V_{AB} = E_g * \frac{R_L}{R_L + R_g} \quad (1.14)$$

que como puede observarse depende de la carga conectada. En la práctica las cargas deberán ser mucho mayores que la resistencia interna de la fuente (al menos diez veces) para conseguir que el valor en sus bornes no difiera mucho del valor en circuito abierto.

La potencia se determina multiplicando su f.e.m. por la corriente que proporciona.

Se considera positiva si la corriente sale por el ánodo y negativa en caso contrario.

Ejemplos de fuentes de tensión real

- Batería.
- Pila.
- Fuente de alimentación.
- Célula fotoeléctrica.

1.4 ELEMENTOS DE MEDICION^{3*}

1.4.1 AMPERIMETROS

Instrumento que permite medir la intensidad de corriente eléctrica (figura 1.22), presentando directamente sobre su escala calibrada las unidades empleadas para ello denominadas amperios o bien fracciones de amperios, la medida deseada.

Su utilización es muy amplia ya que con independencia de su propia aplicación directa de medida, también se emplea como base para la construcción de otros instrumentos, como voltímetros, óhmetros, etc.

Su funcionamiento está basado en uno de los principios fundamentales del electromagnetismo que en su forma más simple nos indica que cualquier corriente eléctrica pasa por un hilo conductor produce un campo magnético alrededor del mismo (similar al campo magnético de un imán), cuya fuerza depende de la intensidad de la corriente que circule.

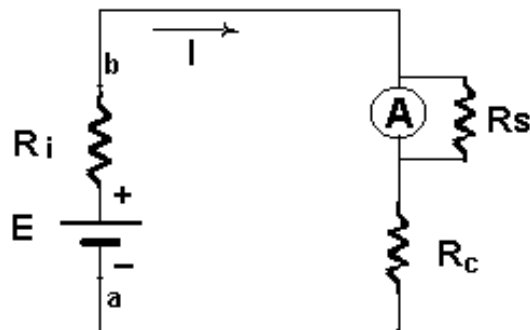


Figura 1.11

Utilización

Para efectuar la medida de la intensidad de la corriente circulante el amperímetro ha de colocarse *en serie* (figura 1.13.a), para que sea atravesado por dicha corriente. Esto nos lleva a que el amperímetro debe poseer una resistencia interna lo más pequeña posible, a fin de que no produzca una caída de tensión apreciable. Para ello, en el caso de instrumentos basados en los efectos electromagnéticos de la corriente eléctrica, estarán dotados de bobinas de hilo grueso y con pocas espiras.

En algunos casos, para permitir la medida de intensidades superiores a las que podrían soportar los devanados y órganos mecánicos del aparato sin destruirse, se les dota de un resistor de muy pequeño valor colocado *en paralelo* con el devanado, de forma que solo pase por este una fracción de la corriente principal. A este resistor adicional se le denomina *shunt*.



Conexión de un voltímetro en un circuito
Figura 1.13.a

La conexión del voltímetro, para su utilización se resume en poner en contacto las terminales del aparato con los polos que derivan de la fuente de energía (una batería, conductores de tensión, etc).

1.4.2 VOLTÍMETRO

Es un instrumento que sirve para medir la diferencia de potencial entre dos puntos de un circuito eléctrico.

Entre los voltímetros existen una gran variedad de estos, por lo que solo mencionaremos de forma general, los tres tipos mas usuales de este aparato.

Voltímetros Electromecánicos.

Estos voltímetros (figura 1.12), en esencia, están constituidos por un galvanómetro cuya escala ha sido graduada en voltios. Existen modelos que separan las componentes continua y alterna de la señal, pudiendo medirlas independientemente.

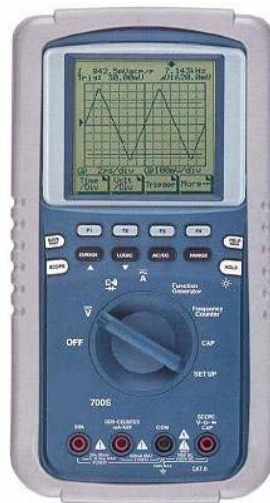


Figura 1.12

Voltímetros Electrónicos

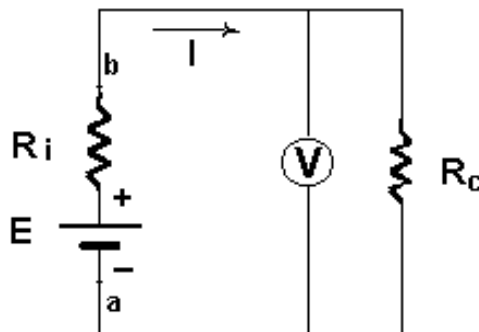
Añaden un amplificador para proporcionar mayor impedancia de entrada (del orden de los 20 megaohmios) y mayor sensibilidad. Algunos modelos ofrecen medida de "verdadero valor eficaz" para corrientes alternas. Voltímetros Vectoriales

Voltímetros Digitales

Dan una indicación numérica de la tensión. Suelen tener prestaciones adicionales como memoria, detección de valor de pico, verdadero valor eficaz , auto rango y otras.

Utilización

Para efectuar la medida de la diferencia de potencial el voltímetro ha de colocarse *en paralelo*, esto significa que las terminales de voltímetro tendrán que estar en contacto con los polo del emisor de energía, tal como se muestra en la figura 1.13b., es decir en derivación sobre los puntos entre los que tratamos de efectuar la medida. Esto nos lleva a que el voltímetro debe poseer una resistencia interna lo más alta posible, a fin de que no produzca un consumo apreciable, lo que daría lugar a una medida errónea de la tensión.



Conexión de un voltímetro en un circuito
Figura 1.13.b

En algunos casos, para permitir la medida de tensiones superiores a las que soportarían los devanados y órganos mecánicos del aparato o los circuitos electrónicos en el caso de los digitales, se les dota de una resistencia de elevado valor colocada *en serie* con el voltímetro, de forma que solo le someta a una fracción de la tensión total.

1.5 CONCEPTO DE TIERRA ^[3]

El término **tierra** (en inglés *earth*), como su nombre indica, se refiere al potencial de la superficie de la Tierra.

El símbolo de la tierra en el diagrama de un circuito se lo presenta en la siguiente figura:

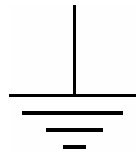


Figura 1.14

Para hacer la conexión de este potencial de tierra a un circuito se usa un electrodo de tierra, que puede ser algo tan simple como una barra metálica anclada al suelo, a veces humedecida para una mejor conducción, así como se puede observar en la figura 1.15



Figura 1.15

Es un concepto vinculado a la seguridad de las personas, porque éstas se hallan a su mismo potencial por estar pisando el suelo. Si cualquier aparato está a ese mismo potencial no habrá diferencia entre el aparato y la persona, por lo que no habrá descarga eléctrica peligrosa.

Por último hay que decir que el potencial de la tierra no siempre se puede considerar constante, especialmente en el caso de caída de rayos. Por ejemplo si ha caído un rayo a una distancia de 1 kilómetro, la diferencia de potencial entre dos puntos separados por 10 metros será de más de 150 V.

UNIDAD N° 2

CIRCUITOS ELÉCTRICOS DE CORRIENTE CONTINUA

2.1 CONCEPTOS BÁSICOS

2.1.1 UNIDADES, DEFINICIONES, LEYES EXPERIMENTALES Y CIRCUITOS SIMPLES

Análisis de Circuitos en Ingeniería.- Es un estudio matemático de alguna interconexión útil de dispositivos eléctricos simples en la cual hay por lo menos una trayectoria cerrada para la corriente.

En la actualidad no se emplea a todos los ingenieros solo para trabajar en los aspectos del diseño técnico de los problemas ingenieriles . Sus esfuerzos ya no se dirigen solo a la creación de mejores computadoras y sistemas de radar, sino que también deben resolver problemas socioeconómicos como la contaminación tanto del agua como del aire, la planeación urbana, la transportación masiva, el descubrimiento de nuevas fuentes de energía y la conservación de los recursos naturales existentes, especialmente el petróleo y el gas natural.

Con el objeto de contribuir a la solución de estos problemas, un ingeniero debe adquirir muchas habilidades, una de las cuales es el conocimiento del análisis de circuitos.

El sistema de unidades que se usara para este documento será el Sistema Internacional de Unidades (abreviado SI en todos los idiomas). El SI tiene seis unidades básicas: metro, kilogramo, segundo, ampere, kelvin y candela.

El SI usa el sistema decimal para relacionar unidades mayores y menores que la unidad patrón y prefijos estándares para identificar varias potencias de diez.

Atto.....($a, 10^{-18}$)	deci.....($d, 10^{-1}$)
Femto.....($f, 10^{-15}$)	deka.....($da, 10^1$)
Pico.....($p, 10^{-12}$)	hecto.....($h, 10^2$)
nano.....($n, 10^{-9}$)	kilo.....($k, 10^3$)
micro.....($\mu, 10^{-6}$)	mega.....($M, 10^6$)
mili.....($m, 10^{-3}$)	giga.....($G, 10^9$)
centi.....($c, 10^{-2}$)	tera.....($T, 10^{12}$)

Los prefijos en el recuadro anterior son los que usan con mas frecuencia los estudiantes de la teoría de circuitos eléctricos. Se puede decir que un milisegundo (ms) es 0.001 segundo, y un kilómetro (Km.) es 1000m. En la actualidad, el kilogramo es nuestra unidad de masa, y podríamos decir que un gramo es un mili kilogramo.

Las combinaciones de varios prefijos, tales como milimicrosegundo, son inaceptables; lo que debe usarse es el termino nano segundo. Algo que también es oficialmente mal visto es el uso del termino micra para 10^{-6} m; el termino correcto es micrómetro (μm). Sin embargo, el ángstrom (\AA) si se puede usar para 10^{-10} m.

Las unidades británicas fundamentales se definen en términos de las unidades SI como sigue:

1 pulgada es exactamente 0,0254 m, 1 libra-masa (lbm) es justo 0,45359237 kg, y el segundo es común a ambos sistemas.

Para finalizar el estudio de las unidades, se mencionaran las tres unidades derivadas usadas para medir fuerza, trabajo o energía, y potencia. El newton (N) es la unidad fundamental de fuerza, y es la fuerza que se requiere para imprimir una aceleración de un metro por segundo cada segundo (1 m/s^2) a una masa de 1 kg. Una fuerza de 1 N equivale a 0,22481 libras de fuerza (lbf), y un hombre promedio de 19 años de edad y 68 kg de masa, ejerce una fuerza de 667 N sobre la báscula.

La unidad fundamental de trabajo o energía es el joule (J), definido como un newton-metro (N-m). La aplicación de una fuerza constante de 1 N a lo largo de una distancia de un metro requiere un gasto de energía de 1 J. La misma cantidad de energía es la que se requiere para levantar un libro, que pesa alrededor de 10 N, a una altura de aproximadamente 10 cm. El joule es equivalente a 0,73756 libra fuerza-pie (lbf-ft). Otras unidades de energía son la caloría (cal), igual a 4,1868 J; la unidad térmica Británica (Btu), que es igual a 1055,1 J y el kilowatt-hora (kWh), igual a $3,6 \times 10^6$ J.

La ultima cantidad derivada que se definirá es la potencia, la rapidez con la que se realiza un trabajo o con la que se gasta energía. La unidad fundamental de potencia es el watt (W), definido como 1 J/s. Un watt equivale a 0,73756 lbf-ft/s. También equivale a 1/745,7 caballos de potencia (hp), unidad que esta cayendo en desuso en ingeniería.

2.1.2 Carga

A continuación se presentaran algunas definiciones preliminares de las cantidades eléctricas básicas. Se comenzara con la carga eléctrica, concepto que se puede introducir visualizando el siguiente experimento sencillo.

Supóngase que se toma un trocito de algún material ligero, como medula, y se suspende de un hilo muy delgado. Si ahora se frota un peine de hule con una prenda de lana

y luego se pone en contacto con la bolita de medula, se observa que la bolita tiende a alejarse del peine; entre la bolita y el peine existe una fuerza de repulsión. Si se deja el peine y ahora se acerca la bolita a la prenda de lana, se observa que entre la bolita y la lana hay una fuerza de atracción.

La explicación que se da de estas fuerzas es que hay fuerzas eléctricas causadas por la presencia de cargas eléctricas en la bolita, la lana y el peine. El experimento muestra claramente que las fuerzas eléctricas pueden ser de atracción o de repulsión.

Para explicar la existencia de fuerzas eléctricas tanto de atracción como de repulsión, se ha planteado la hipótesis de que existen dos tipos de carga, y que cargas iguales se repelen y cargas contrarias se atraen. Estas dos clases de carga reciben los nombres de positiva y negativa, aunque igualmente podrían haberse llamado oro y negro, o vítrea y resinosa (como se les llamaba hace ya mucho tiempo). De manera totalmente arbitraria, Benjamín Franklin llamo carga negativa a la que estaba presente en el peine, y a la que estaba presente en la lana la llamo positiva.

En la actualidad se sabe que toda la materia esta formada por piezas fundamentales llamadas átomos, y que los átomos a su vez están formados por diferentes clases de partículas elementales. Las tres partículas mas importantes son el electrón, el protón y el neutrón. El electrón tiene una carga negativa, el protón tiene una carga igual en magnitud a la del electrón, pero positiva, y el neutrón es neutro, es decir, no tiene carga. Cuando se frota el peine de hule con la lana, el peine adquiere una carga negativa porque algunos de los electrones de la lana se pasan al peine; en esas condiciones, la lana no tiene la cantidad suficiente de electrones para mantener su neutralidad, y se comporta como una carga positiva.

Experimentalmente se ha podido calcular la masa de cada una de las tres partículas mencionadas con anterioridad. $9,10956 \cdot 10^{-31}$ kg para el electrón, y aproximadamente 1840 veces este valor para el protón y el neutrón.

Ahora puede definirse la unidad fundamental de carga, llamada coulomb en honor de Charles Coulomb, quien fue el primer hombre en hacer medidas cuantitativas cuidadosas de la fuerza entre dos cargas. La definición que ya esta universalmente aceptada es la siguiente: dos partículas pequeñas, idénticamente cargadas, cuya separación en el vacío es de un metro y que se repelen una a la otra con una fuerza de $10^{-7} \text{ c}^2 \text{ N}$, tienen cargas idénticas de mas o menos un coulomb (C). El símbolo c representa la velocidad de la luz, $2,997925 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ y, por lo tanto, un coulomb negativo representa la carga conjunta de alrededor de $6,24 \cdot 10^{18}$ electrones.

Para representar la carga se usaran las letras Q o q; la letra Q mayúscula se usara para cargas constantes, es decir, que no cambian con el tiempo, mientras que la q minúscula representara el caso general de una carga que puede variar con el tiempo.

2.1.3 Corriente

El experimento descrito anteriormente pertenece al campo de la electrostática, que se ocupa del comportamiento de las cargas eléctricas en reposo. El único interés que tiene es que es un punto de partida y resulta una forma útil para definir la carga.

Sin embargo, una parte del experimento, el proceso de transferir carga de la lana al peine o del peine a la bolita, se aparta del dominio de la electrostática. Esta idea de la “transferencia de carga” o “carga en movimiento” es de vital importancia en el estudio de los circuitos eléctricos, porque, al mover una carga de un lugar a otro, también se puede transferir energía de un punto a otro.

De igual importancia es la posibilidad de variar la rapidez a la cual se puede transferir la carga con el fin de comunicar o transmitir inteligencia. Este proceso es la base de los sistemas de comunicación tales como la radio, la televisión y la telemetría.

La carga en movimiento representa una corriente, la cual se definirá mas cuidadosamente enseguida. La corriente presente en una trayectoria cualquiera, como un alambre metálico, tiene asociadas a ella tanto una dirección como una magnitud; es una medida de la rapidez con que la carga se esta moviendo al pasar por un punto dado de referencia en una dirección específica.

Una vez que se ha especificado la dirección de referencia, sea $q(t)$ la carga total que ha pasado por el punto de referencia desde un tiempo arbitrario $t = 0$, moviéndose en una dirección definida. La contribución a esta carga total puede ser negativa si una carga negativa se mueve en la dirección de referencia, o bien si una carga positiva se mueve en dirección opuesta.

Una grafica del valor instantáneo de la carga total puede ser similar a la que se muestra en la siguiente figura.

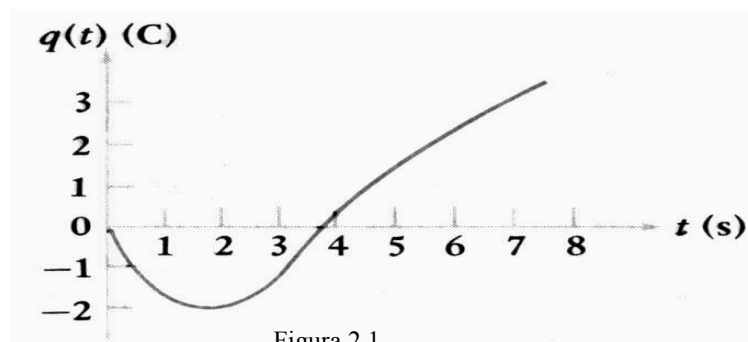


Figura 2.1

Se define la corriente en un punto específico y que fluye en una dirección específica como la rapidez instantánea a la cual la carga neta positiva se mueve a través de ese punto en la dirección específica. La corriente se representa por I o i , entonces,

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (2)$$

La unidad de corriente es el ampere (A) y 1 A corresponde a una carga que se mueve con una rapidez de 1 C/s.

Al hablar de la corriente, es conveniente imaginar que se produce por el movimiento de cargas positivas, aun cuando se sabe que en los conductores metálicos el flujo de corriente es el resultado del movimiento de los electrones. En los gases ionizados, en las soluciones electrolíticas y en algunos materiales semiconductores, son las partículas cargadas positivamente las que constituyen una parte o toda de la corriente. Esto significa que cualquier definición de corriente estará de acuerdo con la naturaleza física de la conducción solo parte del tiempo.

Es esencial darse cuenta de que la flecha de la corriente no indica la dirección “real” del flujo de corriente, sino que simplemente es parte de una convención que permite hablar acerca de “la corriente en el conductor” sin ambigüedad. ¡La flecha es una parte fundamental de la definición de una corriente! Entonces, si se da el valor de una corriente $i(t)$ sin dar la flecha se estará hablando de una cantidad indefinida. Esto quiere decir que las graficas a y b de la figura 2.2 son representativas sin sentido de $i(t)$, mientras que la figura c usa la simbología apropiada y definitiva.

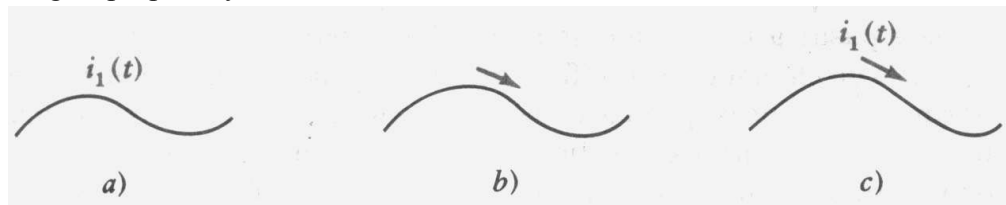


Figura 2.2

2.1.4 Voltaje ^[10]

Supóngase que por la terminal A de la figura entra una corriente directa, pasa a través del elemento y sale por la terminal B. Supóngase también que el paso de esta carga a través del elemento requiere un gasto de energía. Entonces se dirá que entre las dos terminales existe un *voltaje eléctrico* o una *diferencia de potencial*, o que hay un voltaje o diferencia de potencial “entre los extremos” del elemento. Por lo tanto, el voltaje entre un par de terminales es una medida del trabajo requerido para mover una carga positiva de 1 C de una terminal a la otra a través del dispositivo. La unidad del voltaje es el volt (V), que es igual a 1 J/C y se representa por V o v.

Entre un par de terminales eléctricas puede existir una diferencia de potencial o voltaje, fluya o no fluya corriente entre ellas. Por ejemplo, una batería de automóvil tiene un voltaje de 12 V entre sus terminales, aunque no haya nada conectado a ellas.

Según el principio de conservación de la energía, la energía que se gasta al forzar a las cargas a pasar a través del elemento debe aparecer en algún lugar. Después, cuando se hable de elementos específicos de circuitos, se indicara si la energía se almacena de forma que quede disponible como energía eléctrica o si se transforma irreversiblemente en energía calorífica, acústica, o alguna otra forma no eléctrica.

Se debe establecer una convención por la que se pueda distinguir entre energía suministrada a un elemento por algún agente externo y energía suministrada por el elemento mismo a algún dispositivo externo. Se hará esto por medio de la elección del signo del voltaje de la terminal A con respecto a la terminal B. Si a través de la terminal A del elemento entra una corriente positiva, y si una fuente externa tiene que gastar energía para establecer esta corriente, entonces la terminal A es positiva con respecto a la terminal B. Alternativamente podría decirse que la terminal B es negativa con respecto a la terminal A.

La polaridad del voltaje se indica por medio de un par de signos (+), (-). Por ejemplo, en la figuras 2.3 y 2.4

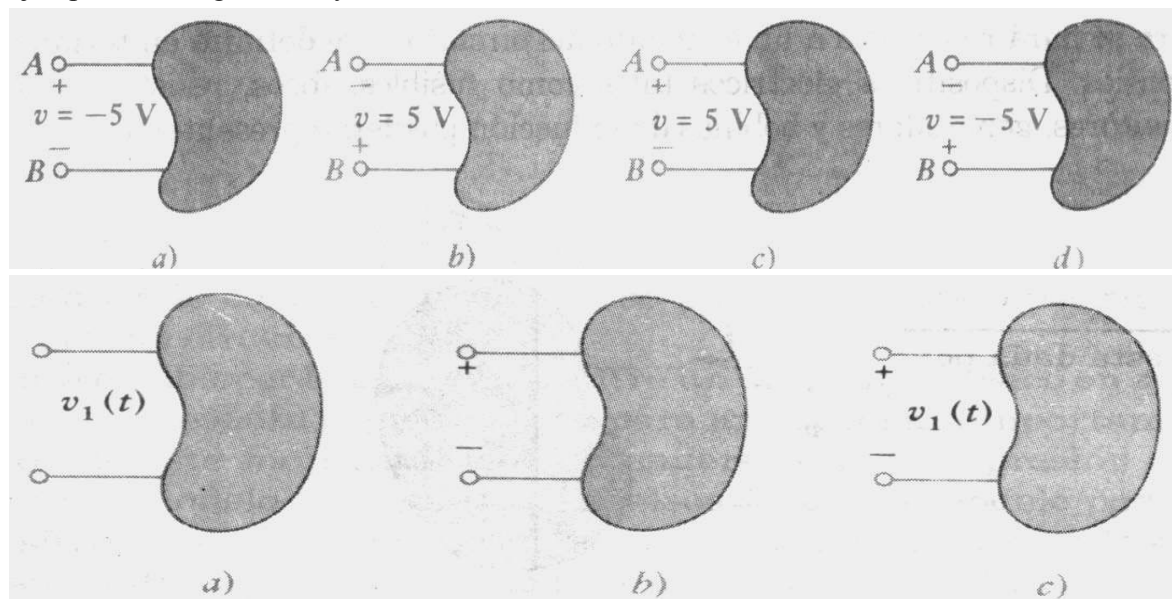


Figura 2.3

2.1.5 Potencia

Ahora es necesario encontrar una expresión para la potencia absorbida por cualquier elemento de un circuito en términos del voltaje entre sus terminales y de la corriente a través de él. Ya se definió el voltaje en términos de un gasto de energía, y la potencia es la rapidez con la cual se gasta la energía. Sin embargo, nada puede decirse acerca de la transferencia de energía en ninguno de los cuatro casos mostrados en la figura anterior, por ejemplo, mientras no se especifique la dirección de la corriente. Supóngase que se coloca una flecha dirigida hacia la derecha a lo largo de las terminales superiores, con el valor “ $+2^a$ ”; entonces, como en los dos casos c y d, la terminal A es 5V positiva con respecto a la terminal B, y como una corriente positiva está entrando por A, se le está suministrando energía al elemento. En los otros dos casos, es el elemento el que está entregando energía a algún dispositivo externo.

La potencia se representara por P o p. Si para transportar un coulomb de carga a través del dispositivo se gasta un joule de energía, entonces la tasa a la que se gasta la energía para transferir un coulomb de carga por segundo por el dispositivo es un watt. Esta

potencia absorbida debe ser proporcional tanto al numero de coulombs transferidos por segundo, o corriente, como a la energía requerida para transportar un coulomb a través del elemento, o voltaje. Así,

$$P = V \cdot i \quad (3)$$

Al colocar las flechas superiores en cada terminal de la figura 2.3 , dirigidas hacia la derecha y con valor de “2 A”, los elementos en c y d absorben 10 W, y los de a y b absorben -10 W (o bien generan 10 W).

Las convenciones para corriente, voltaje y potencia se resumen en la figura 2.4. Aquí se muestra que si una terminal del elemento es v volts positiva con respecto a la otra, y si una corriente i entra al elemento por la primera terminal, entonces el elemento esta absorbiendo una potencia $p = v \cdot i$; también es correcto decir que se le esta entregando una potencia $p = v \cdot i$. Cuando la flecha de corriente entra al elemento por la terminal positiva, se satisface la convención pasiva de los signos (fig 2.5). Esta convención debe estudiarse, comprenderse y memorizarse cuidadosamente.

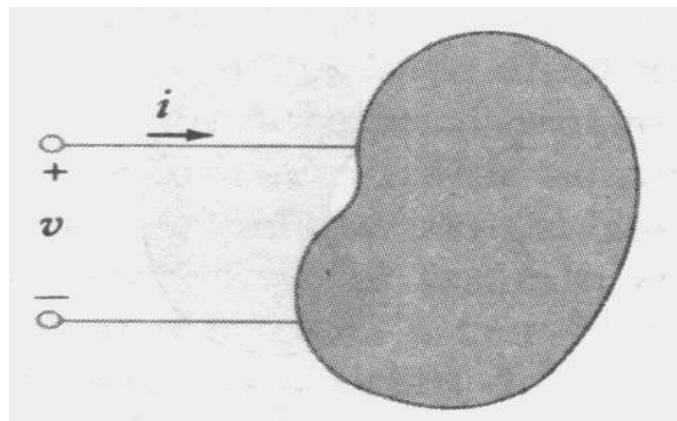


Figura 2.4

Los ejemplos de la siguiente figura amplían la ilustración de estas convenciones.

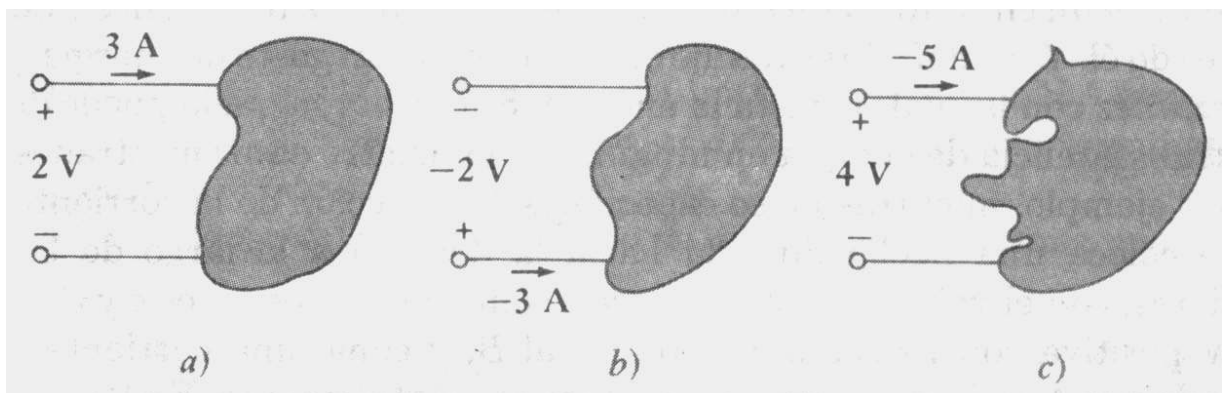


Figura 2.5

2.1.6 Circuito Eléctrico ^[10]

Es un conjunto de elementos conductores que forman un camino cerrado (malla) por el que circula una corriente eléctrica o se supone que circula.

2.1.7 Tipos de circuitos y elementos de circuitos

Al usar los conceptos de corriente y voltaje, se puede ser más específico cuando se define un elemento del circuito.

Es importante establecer la diferencia entre un dispositivo físico en sí y el modelo matemático que lo representa y que se usará para analizar su comportamiento en un circuito. A partir de este momento debe entenderse que la expresión elemento de circuito se refiere al modelo matemático. La elección de un modelo particular para cualquier dispositivo real debe basarse en datos experimentales, o en la experiencia; en general se supondrá que esta elección ya ha sido hecha. Primero es necesario aprender los métodos para analizar circuitos ideales.

La diferencia entre un elemento general de un circuito y un elemento simple de un circuito, es que un elemento general del circuito puede componerse de más de un elemento simple de un circuito, pero un elemento simple de circuito ya no puede ser subdividido en otros elementos simples. Por brevedad, se establece que el término elemento de un circuito en general se refiere a un elemento simple de un circuito.

Todos los elementos simples de circuitos que se consideran pueden clasificarse de acuerdo con la forma en que se relaciona la corriente que circula a través de ellos, con el voltaje existente entre sus terminales. Por ejemplo, si el voltaje entre las terminales del elemento es directamente proporcional a la corriente que pasa a través de él, o sea $v = ki$, este elemento se denomina resistor. Otros tipos de elementos simples de circuitos tienen en sus terminales voltajes proporcionales a la derivada de la corriente con respecto al tiempo, o a la integral de la corriente con respecto al tiempo.

También hay elementos en los cuales el voltaje es completamente independiente de la corriente, o la corriente es completamente independiente del voltaje; estas son las llamadas fuentes independientes. Mas aun, habrá que definir tipos especiales de fuentes, en las cuales el voltaje o la corriente dependen del voltaje o la corriente presentes en otra parte del circuito; estas se llaman fuentes dependientes o fuentes controladas.

Por definición, un elemento simple de un circuito es el modelo matemático de un dispositivo eléctrico de dos terminales, y se puede caracterizar completamente por su relación voltaje-corriente pero no puede subdividirse en otros dispositivos de dos terminales.

El primer elemento que se necesita es una fuente independiente de voltaje. Se

caracteriza porque el voltaje entre sus terminales es completamente independiente de la corriente que pasa a través de ellas. Así, se tiene una fuente independiente de voltaje y se dice que el voltaje entre sus terminales es $50 \text{ t}^2 \text{ V}$, puede tenerse la seguridad de que en $t = 2\text{s}$, por lo tanto el voltaje será 200V , sin importar la corriente que haya fluido, este fluyendo o vaya a fluir. La figura 2.6 muestra como se representa una fuente independiente de voltaje. El subíndice s identifica simplemente al voltaje como una “fuente” de voltaje (la s es la primera letra de “source”, “fuente” en ingles).

Algo que vale la pena repetir es que la presencia del signo mas en el extremo superior del símbolo para la fuente independiente de voltaje de la figura 2.6 no necesariamente significa que la terminal superior siempre es positiva respecto a la inferior. Mas bien significa que la terminal superior es v_s volts positiva respecto a la inferior. Si en algún instante v_s toma un valor negativo, entonces la terminal superior es en realidad negativa respecto a la inferior, en ese instante.

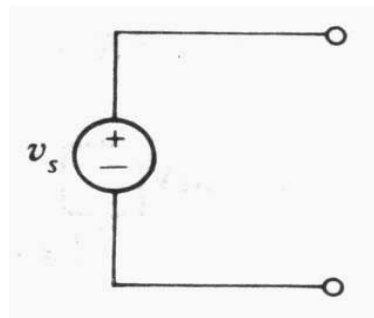


Figura 2.6

Si una flecha de corriente “ i ”, que apunta hacia la izquierda, se coloca junto al conductor superior de esta fuente, entonces la corriente i esta entrando por la terminal con signo positivo, se satisface la convención pasiva de los signos y la fuente absorbe una potencia $p = v_s i$. En general, se espera que una fuente entregue potencia a una red y no que la absorba. En consecuencia, podría dirigirse la flecha hacia la derecha para que $v_s i$ represente la potencia entregada por la fuente. Puede usarse cualquier dirección.

La fuente independiente de voltaje es una fuente ideal y no representa con exactitud ningún dispositivo físico real, ya que teóricamente la fuente ideal podría entregar una cantidad infinita de energía. Cada coulomb que pasa a través de ella recibe una energía de v_s joules, y el numero de coulombs por segundo es ilimitado. Sin embargo, esta fuente ideal de voltaje proporciona una aproximación aceptable de varias fuentes practicas de voltaje. Una batería de automóvil, por ejemplo, tiene una terminal de voltaje de 12 V que permanece esencialmente constante mientras la corriente que pasa no exceda de unos cuantos amperes. Esta pequeña corriente puede fluir en cualquier dirección; si es positiva y esta saliendo de la terminal positiva, la batería esta suministrando potencia a las luces, por ejemplo, y se esta descargando. Pero si la corriente es positiva y esta entrando a la terminal positiva, entonces la batería se esta cargando o esta absorbiendo energía del generador, o posiblemente de un cargador de baterías. Un contacto eléctrico domestico también se aproxima a una fuente independiente de voltaje, que proporciona el voltaje $v_s =$

$115\sqrt{2}\cos 2\pi 60t$ V; la representación es valida para corrientes menores que 20 A, aproximadamente.

Una fuente independiente de voltaje que tiene un voltaje constante entre sus terminales, se le llama comúnmente una fuente independiente de voltaje y se representa por cualquiera de los símbolos mostrados en la figura 2.7. Nótese en la gráfica 2.7b, donde se sugiere una estructura física de placas para la batería, que la terminal positiva esta colocada junto a la placa mas larga; entonces, la notación de signos (+) (-) es redundante, pero de todas maneras se incluyen.

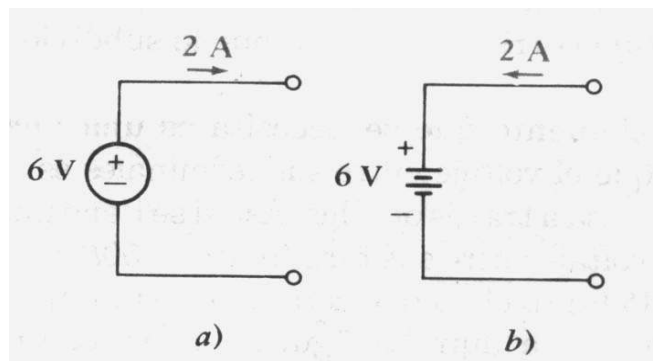


Figura 2.7

Otra fuente ideal necesaria es la fuente independiente de corriente. La corriente que circula a través de ella es completamente independiente del voltaje entre sus terminales. La figura 2.8 muestra el símbolo usado para una fuente independiente de corriente. Si i_s es constante, la fuente recibe el nombre de fuente independiente de corriente cd.

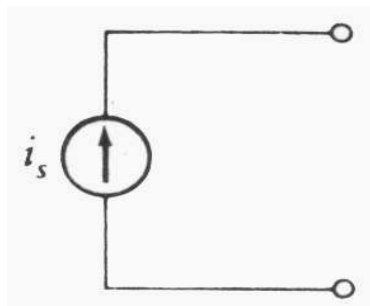


Figura 2.8

Al igual que la fuente independiente de voltaje, la fuente independiente de corriente es, a lo mas, una aproximación aceptable de un elemento fisico. En teoría, puede entregar una potencia infinita, debido a que produce la misma corriente finita para cualquier voltaje entre sus terminales, no importa que tan grande pueda ser este voltaje. A pesar de todo, es una buena aproximación para muchas fuentes practicas, sobre todo en circuitos electrónicos. Asimismo, la fuente independiente de cd representa de manera fiel el haz de protones de un ciclotrón que opera a una corriente constante de haz de aproximadamente $1\mu\text{A}$, y seguirá entregando $1\mu\text{A}$ a casi cualquier dispositivo colocado entre sus “terminales” (el haz y la tierra).

Las dos clases de fuentes ideales descritas hasta aquí se llaman fuentes independientes, porque lo que pasa en el resto del circuito no afecta los valores asignados a dichas fuentes. Esto no ocurre con otra clase de fuente ideal, la fuente controlada o dependiente, en la que el valor está determinado por un voltaje o corriente presente en algún otro lugar del sistema eléctrico en consideración. Para distinguir entre fuentes dependientes e independientes, se usarán los símbolos en forma de rombo.

2.2 LEY DE OHM ^[10]

Ahora se representará otro elemento ideal, el resistor lineal. Se trata del elemento pasivo más simple y se comenzará considerando el trabajo de Georg Simon Ohm, un oscuro físico alemán que en 1827 publicó un artículo titulado “Die galvanische Kette mathematisch bearbeitet” (“El circuito galvanico investigado matemáticamente”). En dicho artículo están contenidos los resultados de uno de los primeros esfuerzos realizados para medir corrientes y voltajes, y para describirlos y relacionarlos matemáticamente. Uno de los resultados fue el enunciado de la relación fundamental que ahora se conoce como ley de Ohm, aun cuando se ha demostrado que esta ley fue descubierta 46 años antes en Inglaterra por Henry Cavendish. Sin embargo, nadie, incluyendo a Ohm, sabía del trabajo hecho por Cavendish, porque esto se descubrió y publicó hasta mucho tiempo después que ambos murieran.

La ley de Ohm establece que el voltaje entre los extremos de muchos tipos de materiales conductores es directamente proporcional a la corriente que fluye a través del material, es decir,

$$V = Ri \quad (4)$$

Donde la constante de proporcionalidad R recibe el nombre de resistencia. La unidad de resistencia es el ohm, el cual es igual a 1 V/A y generalmente se simboliza por una omega mayúscula, Ω .

Cuando se hace una gráfica v contra i de esta ecuación, se obtiene una línea recta que pasa por el origen. La ecuación es lineal, y se considerará la definición de resistencia lineal. De aquí que, si el cociente del voltaje y la corriente asociados con cualquier elemento simple de corriente es constante, entonces el elemento es un resistor lineal y el valor de su resistencia es igual a la razón voltaje sobre corriente.

Normalmente se considera que la resistencia es una cantidad positiva, aunque se pueden simular resistencias negativas por medio de circuitos especiales.

Los resistores no lineales no necesariamente deben considerarse como elementos no deseables, ya que, aunque es cierto que su presencia complica el análisis, el funcionamiento del dispositivo puede depender de la no linealidad o mejorar notablemente por ella. Estos elementos son los diodos Zener, los diodos túnel y los fusibles.

La figura 2.9 muestra el símbolo que mas se usa para un resistor. De acuerdo con las convenciones de voltaje, corriente y potencia adoptadas anteriormente,

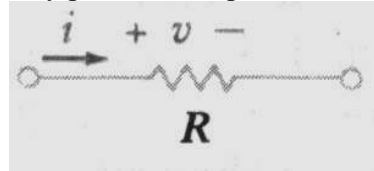


Figura 2.9

el producto de v e i representa la potencia absorbida por el resistor; es decir, v e i se seleccionan para satisfacer la convención pasiva de los signos. La potencia absorbida aparece físicamente como calor y siempre es positiva; un resistor (positivo) es un elemento pasivo que no puede entregar potencia ni almacenar energía. Otras expresiones para la potencia absorbida son

$$p = v i = i^2 R = \frac{v^2}{R} \quad (5)$$

La razón de la corriente al voltaje es también una constante,

$$\frac{i}{v} = \frac{1}{R} = G \quad (6)$$

donde G recibe el nombre de conductancia. En el SI la unidad de conductancia es el siemens (S), igual a 1 A/V. Una unidad no oficial mas antigua de conductancia es el mho, que se representa por una omega mayúscula invertida, Ω . Para representar resistencias y conductancias se usa el mismo símbolo. La potencia absorbida es de nuevo necesariamente positiva y se puede expresar en términos de la conductancia por

$$p = v.i = v^2 G = \frac{i^2}{G} \quad (7)$$

Así, una resistencia de 2Ω tiene una conductancia de $\frac{1}{2}S$, y si una corriente de 5 A esta fluyendo a través de ella, se tiene un voltaje de 10 V entre sus terminales y se esta absorbiendo una potencia de 50 W.

La resistencia se puede usar como base para definir dos términos de uso común: el cortocircuito y el circuito abierto. Definimos un cortocircuito como una resistencia de cero ohms; entonces, como $v = Ri$, el voltaje en un cortocircuito debe ser cero, aun cuando la corriente puede tener cualquier valor. De forma parecida, se define el circuito abierto como una resistencia infinita. De esto sigue que la corriente debe ser cero, independientemente del valor del voltaje entre las terminales del circuito abierto.

2.3 LEYES DE KIRCHOFF ^[10]

Ahora se pueden considerar las relaciones de corriente y voltaje en redes simples que resultan de la interconexión de dos o mas elementos simples de un circuito. Los elementos se conectan entre si por medio de conductores eléctricos, o alambres, los cuales tienen resistencia cero, o son conductores perfectos. Como la apariencia de la red es la de cierto numero de elementos simples y un conjunto de alambres que los conectan, recibe el nombre de red de elementos de parámetros concentrados. Un problema de mayor dificultad para el análisis surge cuando uno se encuentra ante una red de elementos de parámetros distribuidos, la cual contiene esencialmente un numero infinito de elementos tan pequeños como se quiera. La consideración de este ultimo tipo de redes esta piadosamente relegado a cursos posteriores.

Se llama nodo al punto en el cual dos o mas elementos tienen una conexión común. La figura 2.10 a muestra un circuito que contiene tres nodos. A veces las redes se dibujan para hacer creer a algún estudiante despistado que hay mas nodos que los que realmente se tienen. Esto ocurre cuando un nodo, como el nodo 1 en la figura 2.10 a, se muestra como dos uniones distintas conectadas por un conductor (de resistencia cero), como en la figura 2.10b. Sin embargo, todo lo que se hizo fue convertir el punto común en una línea común de resistencia cero. Entonces, necesariamente deben considerarse como parte del nodo todos los alambres perfectamente conductores, o las porciones de ellos conectadas a un nodo. Nótese también que cada elemento tiene un nodo en cada una de sus terminales.

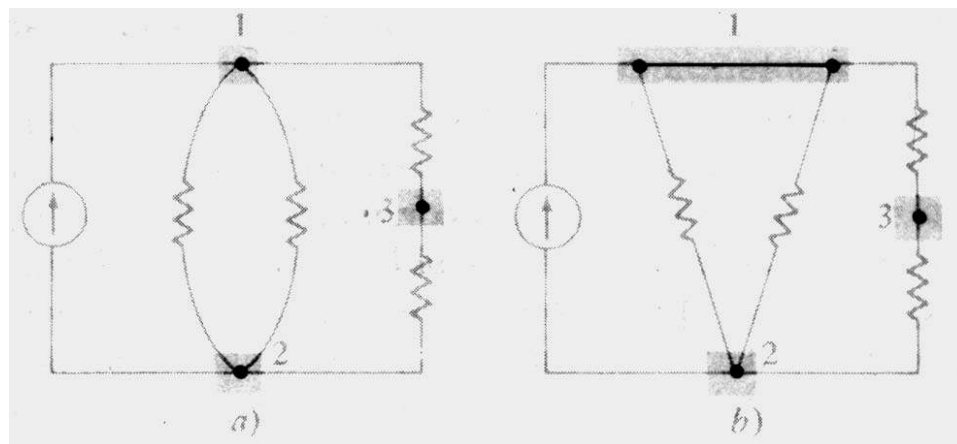


Figura 2.10

Supóngase que el proceso empieza en uno de los nodos de una red y se mueve a través de un elemento simple al otro nodo terminal, luego, a partir de ese nodo continua a través de un elemento diferente al nodo siguiente, y sigue de esta forma hasta recorrer tantos elementos como se desee. Si no pasa a través de ningún nodo mas de una vez, entonces se dice que el conjunto de nodos y elementos a través de los cuales pasa constituye una trayectoria. Si comienza y termina en el mismo nodo, entonces por definición, la trayectoria se llama trayectoria cerrada o lazo.

Otro termino cuyo uso es conveniente es el de rama. Una rama se define como una

trayectoria simple en una red, compuesta por un elemento simple y por los nodos situados en cada uno de sus extremos. Por lo tanto, una trayectoria es una colección específica de ramas. El circuito que se muestra en las figuras 2.10 a y 2.10b contienen cinco ramas.

Ahora se puede presentar la primera de las dos leyes que deben su nombre a Gustav Robert Kirchhoff, profesor universitario alemán nacido por la época en que Ohm realizaba su trabajo experimental. Esta ley axiomática recibe el nombre de ley de corrientes de Kirchhoff (o LCK, para abreviar), y establece que:

“La suma algebraica de las corrientes que entran a cualquier nodo es cero”.

No se demuestra esta ley aquí. Sin embargo, representa simplemente el enunciado matemático del hecho de que la carga no puede acumularse en ningún nodo. Es decir, si hubiera una corriente neta hacia un nodo, entonces la razón a la que los coulombs se estarían acumulando en el nodo no sería cero; pero un nodo no es un elemento de circuito, y no puede almacenar, destruir o generar carga. Entonces, la suma de las corrientes debe ser cero.

En la figura 2.11. La suma algebraica de las cuatro corrientes que entran al nodo debe ser cero:

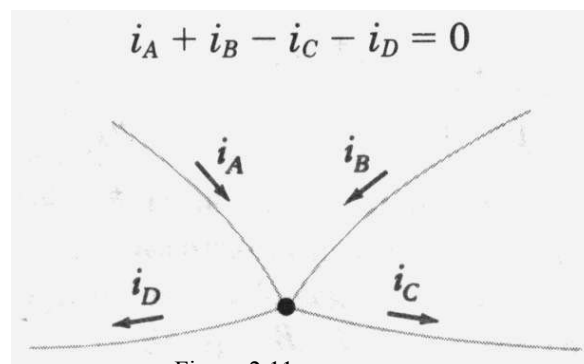


Figura 2.11

Es evidente que la ley se puede aplicar al igual a la suma algebraica de las corrientes que salen de cualquier nodo:

$$i_A - i_B + i_C + i_D = 0$$

También se puede igualar la suma de las corrientes que tienen flechas apuntando hacia el nodo, a la suma de las corrientes dirigidas hacia fuera del nodo:

$$\sum_{n=1}^N i_n = 0 \quad (8)$$

y esto no es mas que una abreviatura de

$$i_1 + i_2 + i_3 + \dots + i_N = 0 \quad (9)$$

Ya sea que se use la ecuación (8) o la (9), se entiende que las N flechas de corrientes apuntan todas hacia el nodo en cuestión, o bien todas se alejan de el.

A veces es útil interpretar la ley de corrientes de Kirchhoff en términos de una analogía hidráulica. El agua, al igual que la carga, no puede acumularse en un punto, así que si se identifica la unión de varios tubos como un nodo, es evidente que el numero de galones de agua que entran al nodo cada segundo debe ser igual al numero de galones que salen del nodo cada segundo.

Ahora se vera la ley de voltajes de Kirchhoff (LVK) que establece:

Nota: La suma algebraica de los voltajes alrededor de cualquier trayectoria cerrada en un circuito es cero.

La corriente es una variable que esta relacionada con la carga que fluye a través de un elemento, mientras que el voltaje es una medida de la diferencia de energía potencial entre las terminales del elemento. En la teoría de circuitos, esta cantidad tiene un solo valor. Por lo tanto, la energía requerida para mover una unidad de carga del punto A al punto B en un circuito debe tener un valor que sea independiente de la trayectoria escogida para ir de A a B.

En la figura 2.12, si se transporta una carga de 1C de A a B a través del elemento 1, los signos de referencia de la polaridad para v_1 muestran que se realiza un trabajo de v_1 joules. Pero si se elige ir de A a B pasando por C, entonces se gasta una energía de

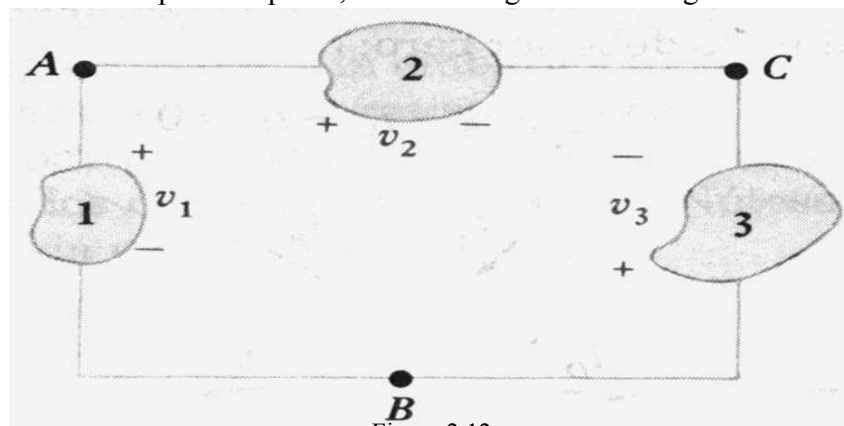


Figura 2.12

$v_2 - v_3$ joules. Pero el trabajo realizado es independiente de la trayectoria, y estos valores deben ser iguales. Cualquier ruta lleva al mismo valor del voltaje. Así,

$$V_1 = V_2 - V_3 \quad (10)$$

Entonces, si se recorre una trayectoria cerrada, la suma algebraica de los voltajes de los elementos individuales que la componen debe ser cero, y se puede escribir así:

$$\sum_{n=1}^N v_n = 0 \quad \text{o} \quad v_1 + v_2 + v_3 + \dots + v_N = 0 \quad (11)$$

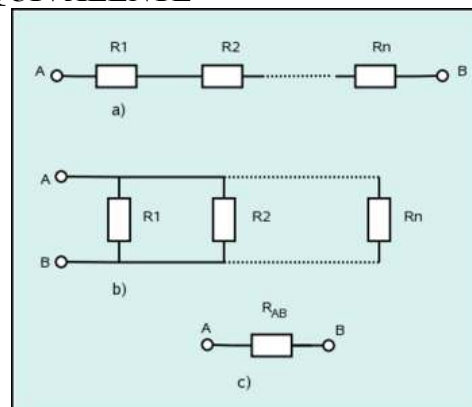
La ley de voltajes de Kirchhoff es una consecuencia de la conservación de la energía y la propiedad conservativa del circuito eléctrico. Esta ley también se puede interpretar como una analogía gravitacional. Si se mueve una masa a lo largo de una trayectoria cerrada en un campo gravitacional conservativo, el trabajo total realizado sobre la masa es cero.

Se puede aplicar la LVK a un circuito en varias formas diferentes. Un método que es útil para evitar los errores al escribir las ecuaciones consiste en recorrer mentalmente la trayectoria cerrada en el sentido de las manecillas del reloj y escribir directamente el voltaje de cada elemento con terminal (+), y escribir el negativo de cada voltaje cuya terminal (-) se encuentre primero. Aplicando esto al lazo único de la figura 2.12, se tiene

$$-v_1 + v_2 - v_3 = 0$$

lo cual ciertamente está de acuerdo con el resultado anterior de la ecuación (10).

2.3.1 RESISTENCIA EQUIVALENTE ^[11*]



Asociaciones generales de resistencias: a) Serie y b) Paralelo. c) Resistencia equivalente
Figura 2.13

Se denomina resistencia equivalente, R_{AB} , de una asociación respecto de dos puntos A y B, a aquella que conectada la misma diferencia de potencial, U_{AB} , demanda la misma intensidad, I (ver figura 2.13). Esto significa que ante las mismas condiciones, la asociación y su resistencia equivalente disipan la misma potencia.

a) Asociación serie

Dos o más resistencias se encuentran conectadas en serie cuando al aplicar al conjunto una diferencia de potencial, todas ellas son recorridas por la misma corriente.

Para determinar la resistencia equivalente de una asociación serie imaginaremos que ambas, figuras 2.13a) y 2.13c), están conectadas a la misma diferencia de potencial, U_{AB} . Si aplicamos la segunda ley de Kirchhoff a la asociación en serie tendremos:

$$U_{AB} = U_1 + U_2 + \dots + U_n \quad (12)$$

Aplicando la ley de ohm:

$$U_{AB} = I.R_1 + I.R_2 + \dots + I.R_n = I(R_1 + R_2 + \dots + R_n) \quad (13)$$

En la resistencia equivalente:

$$U_{AB} = I.R_{AB}$$

Finalmente, igualando ambas ecuaciones:

$$I.R_{AB} = I(R_1 + R_2 + \dots + R_n)$$

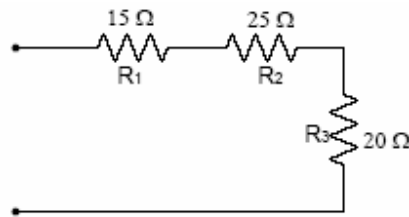
Y eliminando la intensidad:

$$R_{AB} = R_1 + R_2 + \dots + R_n = \sum_{K=1}^n R_K \quad (14)$$

Por lo tanto la resistencia equivalente a n resistencias montadas en serie es igual a la suma de dichas resistencias.

Ejemplo;

Hallar la resistencia total del circuito entre los extremos A y B.

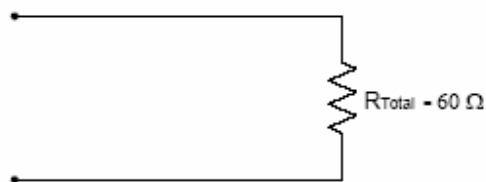


Solución:

$$R_{Total} = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R_{Total} = 15[\Omega] + 25[\Omega] + 20[\Omega]$$

$$R_{Total} = 60[\Omega]$$



b) Asociación paralelo

Dos o más resistencias se encuentran en paralelo cuando tienen dos terminales comunes de modo que al aplicar al conjunto una diferencia de potencial, U_{AB} , todas las resistencias tienen la misma caída de tensión, U_{AB} .

Para determinar la resistencia equivalente de una asociación en paralelo imaginaremos que ambas, figuras 2.13b) y 2.13c), están conectadas a la misma diferencia de potencial mencionada, U_{AB} , lo que originará una misma demanda de intensidad, I . Esta intensidad se repartirá en la asociación por cada una de sus resistencias de acuerdo con la primera ley de Kirchhoff:

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$

Aplicando la ley de ohm:

$$I = \frac{U_{AB}}{R_1} + \frac{U_{AB}}{R_2} + \dots + \frac{U_{AB}}{R_n} = U_{AB} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \right) \quad (15)$$

En la resistencia equivalente se cumple:

$$I = \frac{U_{AB}}{R_{AB}}$$

Igualando ambas ecuaciones y eliminando la tensión U_{AB} :

$$\frac{1}{R_{AB}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

De donde:

$$R_{AB} = \frac{1}{\sum_{K=1}^n \frac{1}{R_K}} \quad (16)$$

Por lo que la resistencia equivalente de una asociación en paralelo es igual a la inversa de la suma de las inversas de cada una de las resistencias.

Existen dos casos particulares que suelen darse en una asociación en paralelo:

1. Dos resistencias: En este caso se puede comprobar que la resistencia equivalente es igual al producto dividido por la suma de sus valores, esto es:

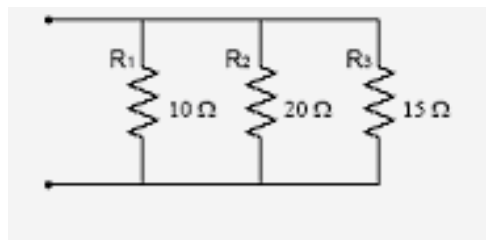
$$R_{AB} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (17)$$

2. k resistencias iguales: Su equivalente resulta ser:

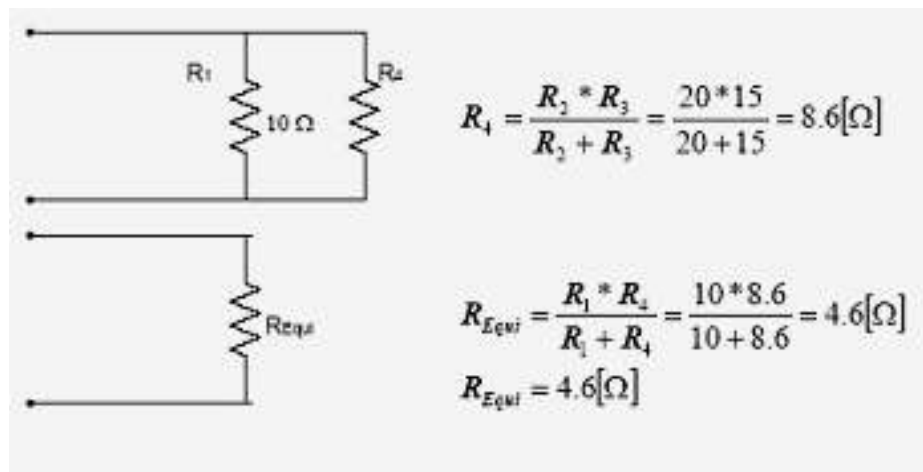
$$R_t = \frac{R}{k} \quad (18)$$

Ejemplo

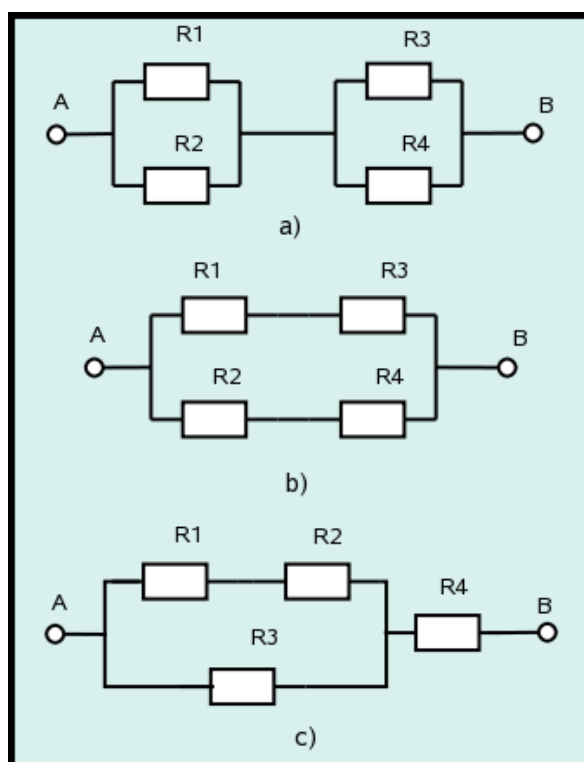
Del siguiente circuito hallar la resistencia equivalente entre los extremos A y B.



Solucion:



c) Asociación mixta ^[11*]



Asociaciones mixtas de cuatro resistencias: a) Serie de paralelos, b) Paralelo de series y c) Ejemplo de una de las otras posibles conexiones.

Figura 2.14

En una asociación mixta podemos encontrarnos conjuntos de resistencias en serie

con conjuntos de resistencias en paralelo. En la figura 2.14 pueden observarse tres ejemplos de asociaciones mixtas con cuatro resistencias.

A veces una asociación mixta es necesaria ponerla en modo texto. Para ello se utilizan los símbolos "+" y "/" para designar las asociaciones serie y paralelo respectivamente. Así con $(R1 + R2)$ se indica que R1 y R2 están en serie mientras que con $(R1//R2)$ que están en paralelo. De acuerdo con ello, las asociaciones de la figura 2.14 se pondrían del siguiente modo:

a) $(R1//R2)+(R3//R4)$

b) $(R1+R2)/(R3+R4)$

c) $((R1+R2)//R3)+R4$

Para determinar la resistencia equivalente de una asociación mixta se van simplificando las resistencias que están en serie y las que están en paralelo de modo que el conjunto vaya resultando cada vez más sencillo, hasta terminar con un conjunto en serie o en paralelo. Como ejemplo se determinarán la resistencias equivalentes de cada una de las asociaciones de la figura 2.14 :

a)

$$R1//R2 = R_{1//2}$$

$$R3//R4 = R_{3//4}$$

$$R_{AB} = R_{1//2} + R_{3//4}$$

b)

$$R1+R2 = R_{1+2}$$

$$R3+R4 = R_{3+4}$$

$$R_{AB} = (R_{1+2} \cdot R_{3+4}) / (R_{1+2} + R_{3+4})$$

c)

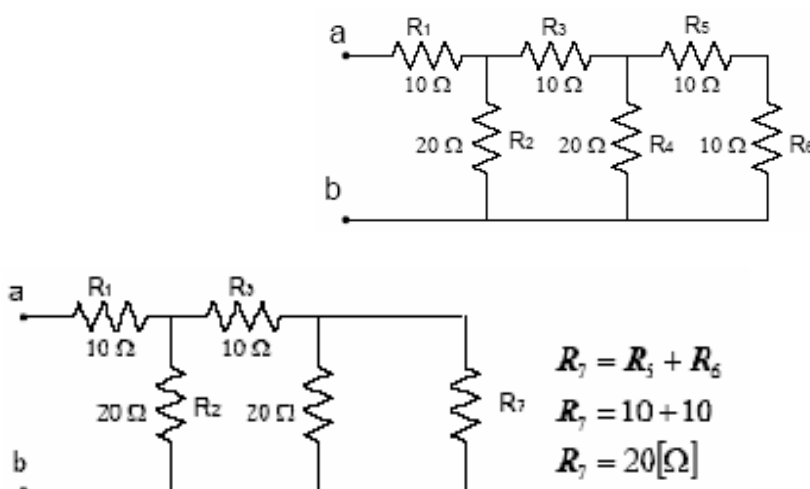
$$R1+R2 = R_{1+2}$$

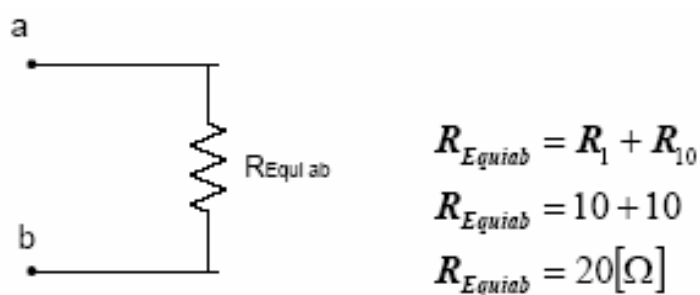
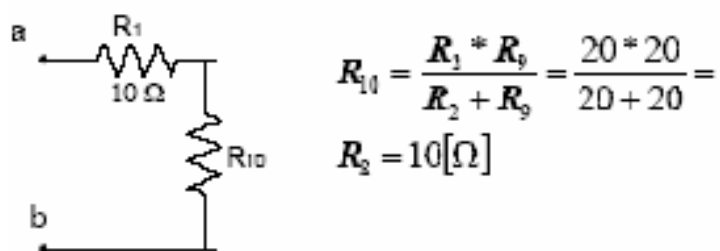
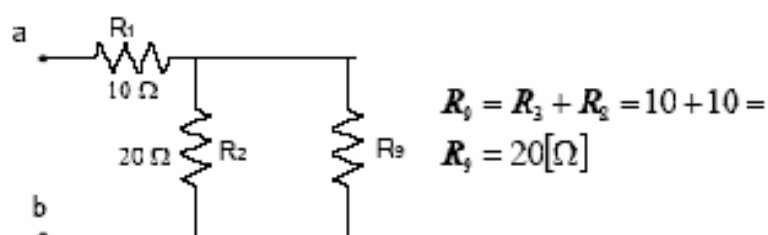
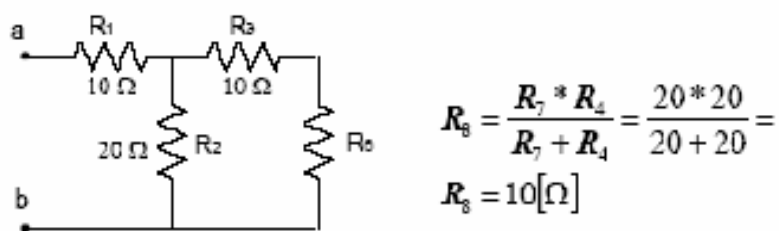
$$R_{1+2} // R3 = R_{1+2//3}$$

$$R_{AB} = R_{1+2//3} + R4$$

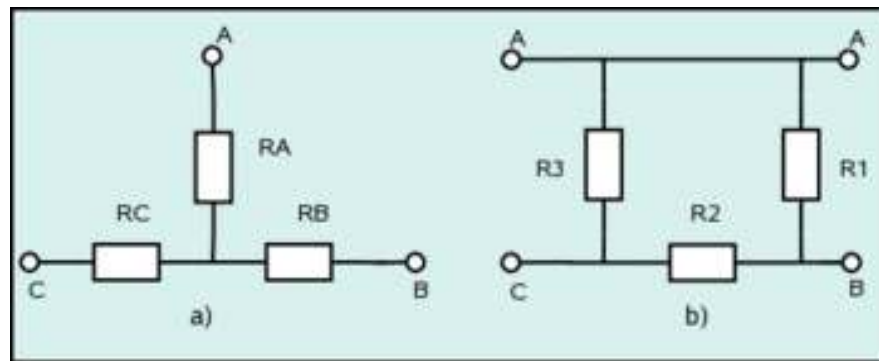
Ejemplo:

Encuentre la resistencia equivalente del siguiente circuito R_{ab} .





d) Asociaciones estrella y triángulo ^[11*]



Asociaciones: a) En estrella y b) En triángulo.

Figura 2.15

En la figura a) y b) pueden observarse respectivamente las asociaciones estrella y triángulo.

Este tipo de asociaciones son comunes en las cargas trifásicas.

Las ecuaciones de equivalencia entre ambas asociaciones vienen dadas por el teorema de Kenelly, de donde se deduce que los valores de la estrella en función de los del triángulo (transformación triángulo a estrella) son:

$$RA = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \quad (19)$$

$$RB = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2 + R_3} \quad (20)$$

$$RC = \frac{R_2 R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \quad (21)$$

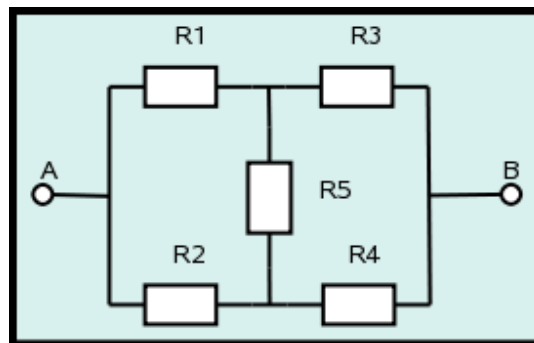
Y los del triángulo en función de la estrella (transformación estrella a triángulo):

$$R_1 = RA + RB + \frac{RARB}{RC} \quad (22)$$

$$R_2 = RB + RC + \frac{RBRC}{RA} \quad (23)$$

$$R_3 = RA + RC + \frac{RARC}{RB} \quad (24)$$

e) Asociación puente



Asociación puente.

Figura 2.16

Si en una asociación paralelo de series se conecta una resistencia que una las ramas en paralelo, se obtiene una asociación puente como la mostrada en la figura 2.16

La determinación de la resistencia equivalente de este tipo de asociación tiene sólo interés pedagógico. Para ello se sustituye una de las configuraciones en estrella de la asociación, la R1-R3-R5 o la R2-R4-R5 por su equivalente en triángulo, transformándose el conjunto en una asociación mixta de cálculo sencillo. Otro método consiste en aplicar una fem (E) a la asociación y obtener su resistencia equivalente como relación de dicha fem y la corriente total demandada (E/I).

El interés de este tipo de asociación está cuando por la resistencia central no circula corriente, pues permite calcular los valores de una de las resistencias (R_1 , R_2 , R_3 o R_4) en función de las otras tres. En ello se basan los puentes de Wheatstone y de hilo para la medida de resistencias con precisión.

Ejemplo

Como ejemplo del uso de la LVK, se trabajara con el circuito de la figura 2.17. Hay ocho elementos de circuito, y entre las terminales de cada uno se muestran sus respectivos pares de signos mas-menos. Supóngase que se quiere calcular v_{R_2} , el voltaje entre las terminales de R_2 .

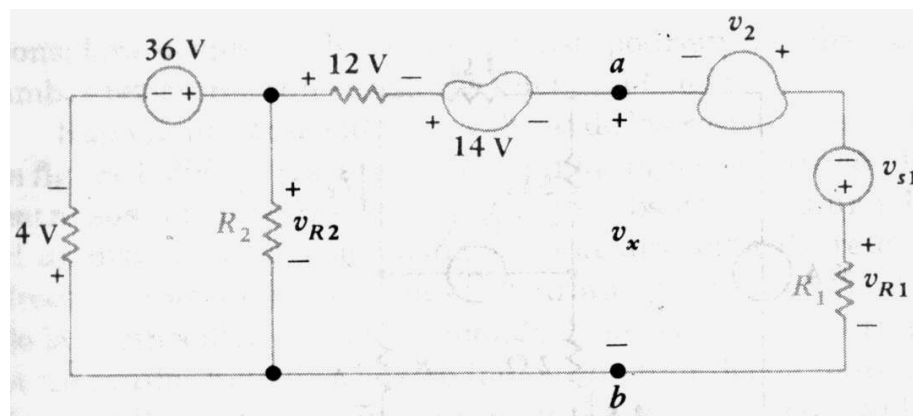


Figura 2.17

Solución: Esto puede lograrse escribiendo una ecuación de LVK alrededor del lazo

izquierdo:

$$4 - 36 + v_{R2} = 0$$

resultando que

$$v_{R2} = 32 \text{ V}$$

Por ultimo, supóngase que se desea calcular el valor de v_x . Esto podría pensarse como la suma (algebraica) de los voltajes que pasan por los tres elementos de la derecha, o podría considerarse como el voltaje medido por un voltímetro ideal conectado entre los puntos a y b. Se aplica LVK comenzando en la esquina inferior izquierda, se sube y se avanza por toda la parte superior hasta a, pasando por v_x hasta b, y por el alambre conductor hasta el punto inicial:

$$4 - 36 + 12 + 14 + v_x = 0$$

de manera que

$$v_x = 6 \text{ V}$$

Conociendo v_{R2} también se pudo haber tomado el camino corto a través de R_2 ,

$$- 32 + 12 + 14 + v_x = 0$$

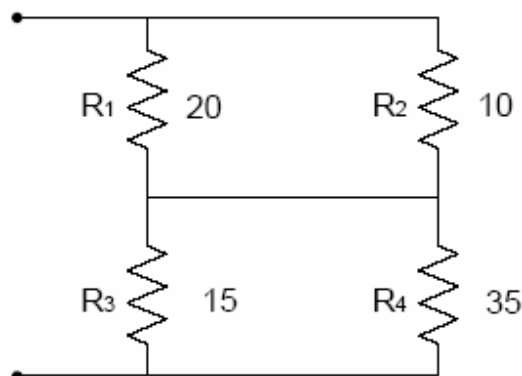
o

$$v_x = 6 \text{ V}$$

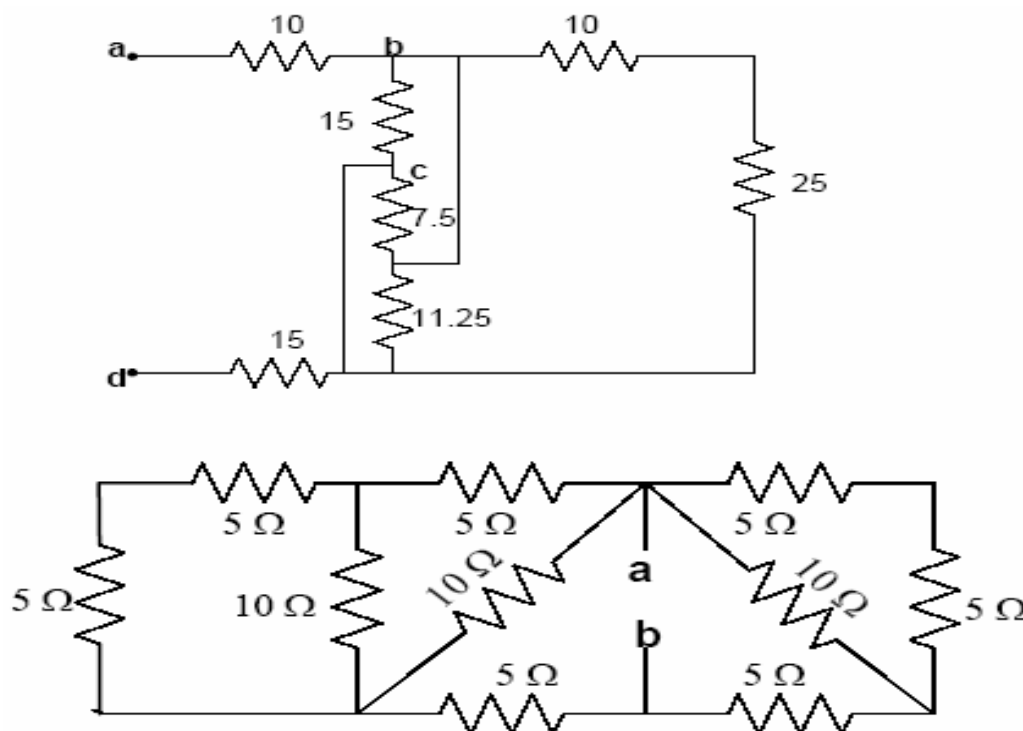
una vez mas.

PROPUESTOS

Hallar la resistencia equivalente entre los extremos A y B y sus unidades están en ohmios [Ω].



Encuentre las resistencias equivalentes $[R_{ab}]$ de los circuitos mostrados y cada uno de sus valores están en ohmios $[\Omega]$



2.4 DIVISORES ^[14]

2.4.1 DIVISOR DE CORRIENTE

$$I_1 = I \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (25)$$

$$I_2 = I \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$I = I_1 + I_2$$

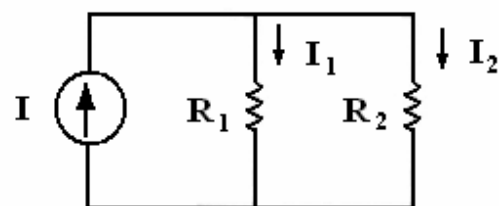
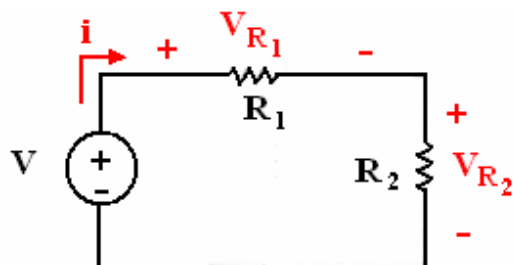


Figura 2.18

$$I_1 + I_2 = I \frac{R_2}{R_1 + R_2} + I \frac{R_1}{R_1 + R_2} = I \quad (26)$$



2.4.2 DIVISOR DE Tensión

$$V = V_{R1} + V_{R2}$$

$$V_{R1} = V \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad (27)$$

$$V_{R2} = V \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (28)$$

Figura 2.19

$$V_{R1} + V_{R2} = V \frac{R_1}{R_1 + R_2} + V \frac{R_2}{R_1 + R_2} = V \quad (29)$$

2.5 MÉTODOS PARA EL ANÁLISIS DE CIRCUITOS ^[10]

Para este capítulo el estudiante ya debe estar familiarizado con las leyes de Ohm y de Kirchhoff y con su aplicación en el análisis de circuitos resistivos sencillos en serie y en paralelo. Los resultados se obtienen más fácilmente cuando se debe reducir resistores o fuentes en serie o en paralelo, y cuando se conoce bien la aplicación de los principios de la división de voltaje y de corriente. La mayor parte de los circuitos son múltiples, y su importancia práctica es cuestionable; su utilidad reside en que ayudan a entender como aplicar las leyes fundamentales. Ahora conviene comenzar a analizar circuitos más complicados.

Estos circuitos más elaborados pueden representar circuitos de control, sistemas de comunicación, motores y generadores, redes de distribución de potencia o sistemas electrónicos que contienen circuitos integrados disponibles en el mercado. También puede tratarse de un circuito eléctrico que modele un sistema no eléctrico.

Es evidente que uno de los objetivos fundamentales de este capítulo será el aprender métodos para simplificar el análisis de circuitos más complicados. Entre estos se verá el método de superposición y el análisis de lazos, mallas y nodos. También se intentará desarrollar la habilidad para escoger el método más adecuado para llevar a cabo el análisis.

Con frecuencia, solo interesa conocer el comportamiento detallado de una porción aislada de un circuito complicado; entonces será muy conveniente disponer de un método para sustituir el resto del circuito, por uno equivalente muy simplificado. Muchas veces el circuito equivalente consta de un solo resistor en serie o en paralelo con una fuente ideal; los teoremas de Thevenin y de Norton permiten hacer este reemplazo.

2.5.1 Análisis de nodos

En el análisis de un circuito simple que contiene solo dos nodos se ve que el paso principal del análisis consiste en obtener una sola ecuación en términos de una sola incógnita, el voltaje entre el par de nodos. Ahora se dejara que aumente el numero de nodos, por lo cual es necesario obtener una incógnita adicional y también una ecuación adicional por cada nodo que se le agregue al circuito. Así, un circuito con tres nodos debe tener dos voltajes desconocidos y dos ecuaciones; un circuito con diez nodos tendrá nueve voltajes desconocidos y nueve ecuaciones, y en general, si un circuito tiene N nodos, debe haber $(N - 1)$ voltajes desconocidos y $(N - 1)$ ecuaciones.

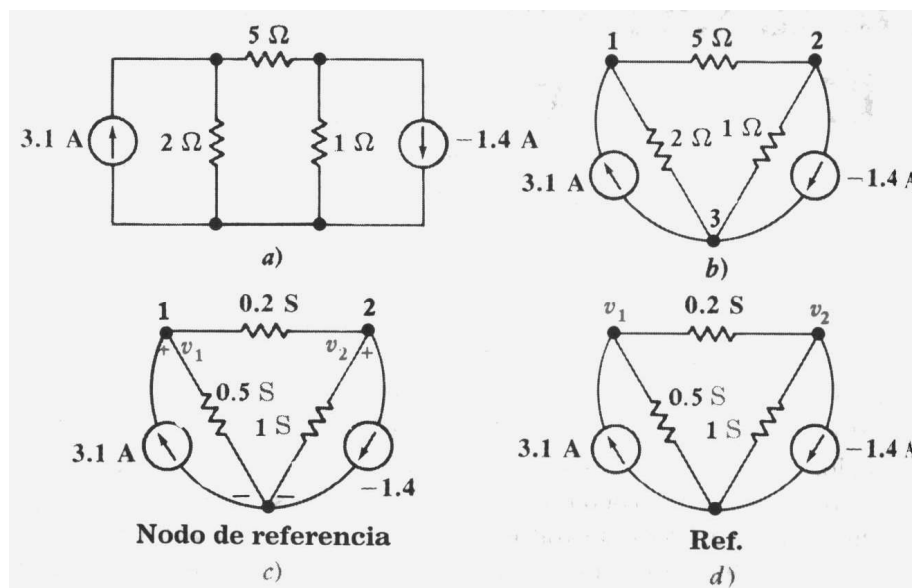


Figura 2.20

Ejemplo

Se desea obtener valores de los voltajes desconocidos en los distintos elementos sencillos de la figura 2.20 a.

Solución:

Puede recalcarse la localización de los tres nodos redibujando el circuito, como se ve en la figura 2.20 b, donde cada nodo se identifica con un número. Ahora podría quererse asignar un voltaje a cada nodo, pero debe recordarse que, en una red, los voltajes se definen como existentes entre dos nodos. Entonces, se elige un nodo como el nodo de referencia. De esto se observa de nuevo que solo habrá $(N - 1)$ voltajes definidos en un circuito de N nodos.

Se elige el nodo 3 como nodo de referencia. Pudo haberse seleccionado cualquiera de los otros nodos, pero las ecuaciones que se obtienen se simplifican un poco si se

identifica como nodo de referencia el que esta conectado con el mayor numero de ramas. Si hay un nodo de tierra, es conveniente que sea ese el que se seleccione como nodo de referencia. Casi siempre el nodo de tierra se dibuja como una línea común a lo largo de la parte inferior del diagrama del circuito.

El voltaje del nodo 1 respecto al nodo de referencia 3 se define como v_1 y v_2 se define como el voltaje del nodo 2 respecto al nodo de referencia. Estos dos voltajes son suficientes, y el voltaje entre cualquier otro par de nodos se puede expresar en términos de v_1 y v_2 . Por ejemplo, el voltaje del nodo 1 con respecto al nodo 2 es $(v_1 - v_2)$. En la figura 2.20c se muestran los voltajes v_1 y v_2 y sus signos de referencia. En esta figura, los valores de las resistencias se han sustituido por valores de conductancias.

El diagrama del circuito se simplifica finalmente en la figura 2.20d al eliminar todos los símbolos de referencia de los voltajes. Se marca el nodo de referencia y se entiende que el voltaje colocado en cada uno de los nodos restantes es el voltaje de ese nodo con respecto al nodo de referencia. Esta es la única situación en la que se deben usar símbolos de voltaje sin el par de signos (+);(-).

Ahora conviene aplicar la ley de corrientes de Kirchoff a los nodos 1 y 2. Esto se hace igualando la corriente total que sale del nodo a través de todas las conductancias, con la corriente total de las fuentes que entran al nodo. Así,

$$\begin{aligned} 0,5 v_1 + 0,2 (v_1 - v_2) &= 3,1 & (30) \\ \text{o} & \\ 0,7 v_1 - 0,2 v_2 &= 3,1 \end{aligned}$$

En el nodo 2 se obtiene

$$\begin{aligned} 1 v_2 + 0,2 (v_2 - v_1) &= 1,4 \\ \text{o} & \\ - 0,2 v_1 + 1,2 v_2 &= 1,4 & (31) \end{aligned}$$

Las ecuaciones (30) y (31) son las dos ecuaciones con dos incógnitas que se necesitan, y se pueden resolver fácilmente. Los resultados son:

$$v_1 = 5 \text{ V} \qquad v_2 = 2 \text{ V}$$

Además, el voltaje del nodo 1 con respecto al nodo 2 es $(v_1 - v_2)$, o 3 V, y cualquier corriente o potencia en el circuito se puede calcular en un solo paso.

2.5.2 Análisis de mallas

La técnica del análisis de nodos descrita en la sección anterior es completamente general y siempre se puede aplicar a cualquier red eléctrica. Sin embargo, este no es el único método del cual se puede decir eso. En particular, existe un método generalizado de análisis de nodos y una técnica conocida como análisis de lazos.

Ahora se analizará un método conocido como análisis de mallas. Aun cuando esta técnica no es aplicable a todas las redes eléctricas, sí se puede aplicar a la mayoría de las que se van a estudiar aquí, y quizá se use más de lo que se debiera; a veces otros métodos son más sencillos. El análisis de mallas se puede usar solo en aquellas redes que son planas, término que se definirá enseguida.

Si es posible dibujar el diagrama de un circuito en una superficie plana de tal forma que ninguna rama quede por debajo o por arriba de ninguna otra, se dice que ese es un circuito plano. Según esto, la figura 2.21a muestra una red plana, la figura 2.21b muestra una red que no es plana, y la figura 2.21c también muestra una red plana, aunque esta dibujada de manera que a primera vista parezca no plana.

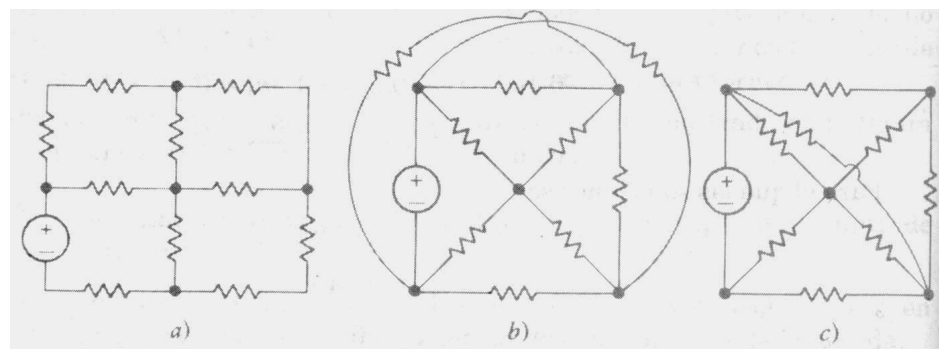


Figura 2.21

Antes de definir una malla, considérese el conjunto de ramas trazadas con líneas gruesas en la figura 2.22. El primer conjunto de ramas no es una trayectoria, porque hay cuatro ramas conectadas al nodo central y, por supuesto, tampoco es un lazo. El segundo conjunto de ramas no es una trayectoria, ya que solo es posible recorrerlo si se pasa por el nodo central dos veces. Las cuatro trayectorias restantes son lazos. El circuito contiene 11 ramas.

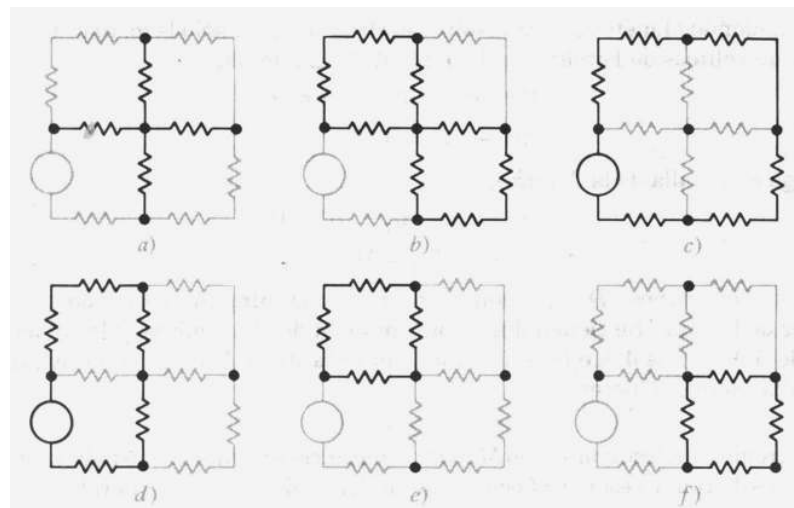
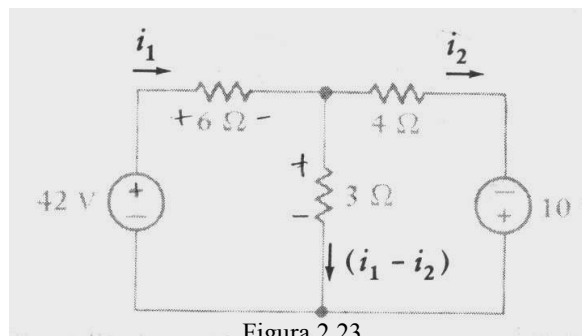


Figura 2.22

Una malla es una propiedad de un circuito plano y no existe en un circuito no plano. Se define una malla como un lazo que no contiene ningún otro lazo dentro de él. Entonces, los lazos indicados en las figuras 2.22c y d no son mallas, mientras que las de e y f si lo son. Una vez que un circuito se ha dibujado claramente en forma plana, con frecuencia tiene el aspecto de un vitral con muchas ventanas; el área de cada marco puede considerarse una malla.

Ejemplo

Determine los valores de las dos corrientes i_1 e i_2 en el circuito de la figura 2.23



Solución:

Tal como se hizo con el circuito de un solo lazo, se comenzará asignando una corriente a través de una de las ramas. Sea i_1 la corriente que fluye hacia la derecha a través del resistor de 6Ω .

Lo que se pretende es aplicar la ley de voltajes de Kirchhoff alrededor de cada una de las dos mallas, y las dos ecuaciones resultantes serán suficientes para calcular las dos corrientes desconocidas. Por esto, se selecciona una segunda corriente i_2 que fluye hacia la derecha en el resistor de 4Ω . También se puede llamar i_3 a la corriente que fluye hacia abajo a través de la rama central, pero es evidente, de la LCK, que i_3 se puede expresar en términos de las dos corrientes supuestas antes, como $(i_1 - i_2)$.

En la figura se muestran las corrientes asignadas.

Siguiendo el método para resolver el circuito de un solo lazo, ahora se aplica la ley de voltajes de Kirchhoff a la malla de la izquierda,

$$-42 + 6i_1 + 3(i_1 - i_2) = 0$$

o

$$9i_1 - 3i_2 = 42 \quad (32)$$

y luego a la malla de la derecha,

$$-3(i_1 - i_2) + 4i_2 - 10 = 0$$

o

$$-3i_1 + 7i_2 = 10 \quad (33)$$

Las ecuaciones (32) y (33) son independientes; ninguna se puede obtener a partir de la otra. Se tienen dos ecuaciones con dos incógnitas, y la solución es: i_1 vale 6 A, i_2 vale 4 A e $(i_1 - i_2)$ vale, por lo tanto 2 A.

Ahora considérese el circuito de tres mallas, cinco nodos y siete ramas que se muestra en la figura . Este es un problema ligeramente mas complicado puesto que se agrega una malla.

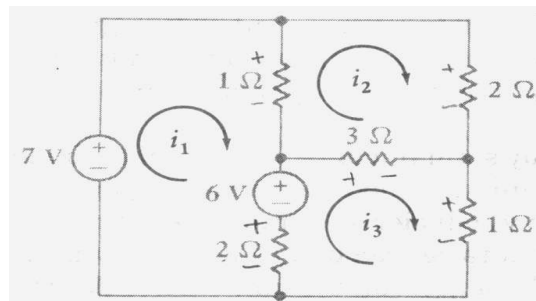


Figura 2.24

Ejemplo

Utilice el análisis de mallas para determinar las tres corrientes de mallas desconocidas en el circuito de la figura 2.24.

Solución: Las tres corrientes de malla requeridas se asignan como se indica en la figura y luego se aplica metódicamente la LKV alrededor de cada malla:

$$-7 + 1(i_1 - i_2) + 6 + 2(i_1 - i_3) = 0$$

$$1(i_2 - i_1) + 2i_2 + 3(i_2 - i_3) = 0$$

$$2(i_3 - i_1) - 6 + 3(i_3 - i_2) + 1i_3 = 0$$

Simplificando

$$3i_1 - i_2 - 2i_3 = 1$$

$$-i_1 + 6i_2 - 3i_3 = 0$$

$$-2i_1 - 3i_2 + 6i_3 = 6$$

y la regla de Cramer llevará a la formulación de i_3 :

Para mejor comprensión recordemos la Regla de Cramer:

La **regla de Cramer** ^[11*] es un teorema en álgebra lineal, que da la solución de un sistema lineal de ecuaciones en términos de determinantes.

Si $A\vec{x} = \vec{b}$ es un sistema de ecuaciones. (A es la matriz de coeficientes del sistema, \vec{x} es el vector columna de las incógnitas y \vec{b} es el vector columna los términos independientes).

Entonces la solución al sistema se presenta así:

$$x_j = \frac{\det(A_j)}{\det(A)}$$

donde A_j es la matriz resultante de remplazar la j-ésima columna de A por el vector columna b.

Para nuestro ejemplo la matriz $A = R$ corresponde a los siguientes valores:

$$R = \begin{bmatrix} 3 & -1 & -2 \\ -1 & 6 & -3 \\ -2 & -3 & 6 \end{bmatrix}$$

El vector columna de las incógnitas \vec{x} es:

$$x = \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{bmatrix}$$

Y el vector columna de los términos independientes \vec{b} es:

$$b = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 6 \end{bmatrix}$$

Volviendo al cálculo tendremos para i_3 :

$$i_3 = \frac{\begin{vmatrix} 3 & -1 & 1 \\ -1 & 6 & 0 \\ -2 & -3 & 6 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 3 & -1 & -2 \\ -1 & 6 & -3 \\ -2 & -3 & 6 \end{vmatrix}} = \frac{117}{39} = 3A$$

Las otras corrientes de malla son $i_1 = 3 A$ e $i_2 = 2 A$.

De nuevo se observa que el determinante del denominador es simétrico respecto a la diagonal principal, que sobre dicha diagonal los elementos son positivos, y fuera de ella son negativos o cero. Esto ocurre en circuitos que contienen solo fuentes independientes de voltaje cuando las corrientes de malla se toman en sentido de las manecillas del reloj, donde los elementos que aparecen en el primer renglón del determinante son los coeficientes en orden de i_1, i_2, \dots, i_M de la ecuación que resulta al aplicar la LVK alrededor de la primera malla, el segundo renglón corresponde a la segunda malla, y así sucesivamente. Este arreglo simétrico que aparece en el denominador es el determinante de la matriz de resistencias de la red.

$$R = \begin{bmatrix} 3 & -1 & -2 \\ -1 & 6 & -3 \\ -2 & -3 & 6 \end{bmatrix}$$

¿Cómo debe modificarse este procedimiento directo cuando una fuente de corriente esta presente en la red? Según el análisis de nodos, se puede pensar que hay dos métodos posibles. Por un lado, se asigna un voltaje desconocido a la fuente de corriente, se aplica la LVK a cada malla, y luego se relaciona la corriente de la fuente con las corrientes asignadas de mallas. Este es generalmente el enfoque mas difícil.

2.6 TEOREMA DE SUPERPOSICIÓN ^[7]

Todos los circuitos que se han visto hasta ahora son circuitos lineales. Ahora se deberá ser mas específico al definir un circuito lineal. Habiendo hecho esto, se podrá considerar la consecuencia mas importante de la linealidad: el principio de superposición. Este principio es fundamental y aparecerá en repetidas ocasiones a lo largo del estudio del análisis de los circuitos lineales. De hecho, el no poder aplicar la superposición a los circuitos no lineales es lo que los hace tan difíciles de analizar.

Por su definición este teorema se aplica a circuitos que tienen dos o mas generadores con varia mallas. Es la base para considerar solamente las tensiones e intensidades de la señal en circuitos electrónicos para mallas simples. Su enunciado dice así: dado un circuito bilateral con elementos lineales únicamente y con mas de un

generador, la corriente o tensión en cualquier rama o elemento es igual a la suma algebraica de los efectos producidos por cada generador considerado individualmente, cuando el resto de generadores se reemplazan por sus resistencias internas.

Ello es posible debido a que la intensidad entre dos cualesquiera puntos del circuito se debe a la acción simultánea de las distintas fem distribuidas por el circuito.

Para aplicar el teorema de superposición a un circuito con un número m de fuentes de fem hay que resolver otros tantos m circuitos sencillos que contengan cada vez una sola fem cortocircuitando las restantes.

El método es muy sencillo, pero con varias fuentes y ramas puede resultar un proceso engorroso si no nos disciplinamos a sistematizarlo con rigor y claridad. Exige conocer bien las transformaciones serie-paralelo, estrella-triángulo y los repartos de corrientes.

La consecuencia más importante de la linealidad es la superposición.

Ejemplo

Resolver el siguiente circuito mediante el teorema de superposición:

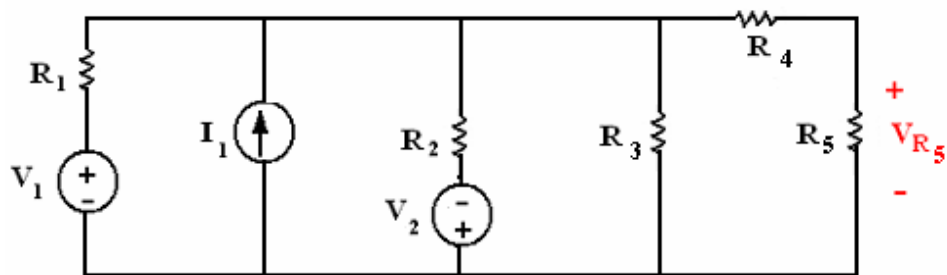
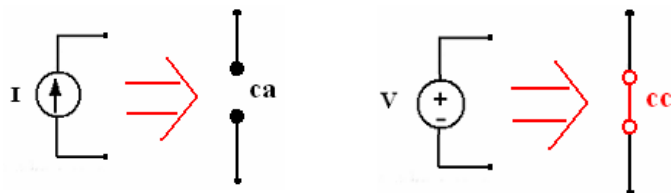


Figura 2.25

Paso N°1.-

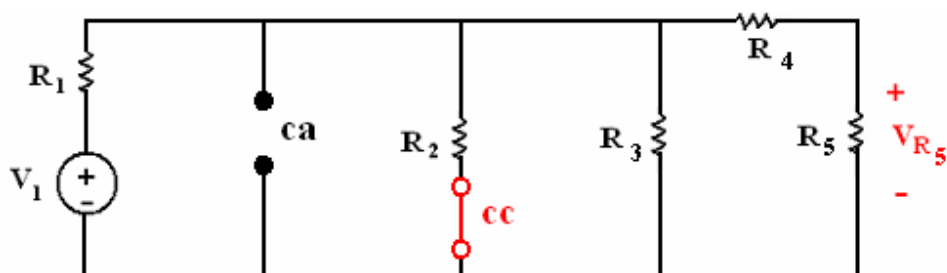
- Determinar el aporte de la fuente V_1

Según la teoría las fuentes no activas se consideran con valor cero y serán reemplazadas por sus resistencias internas como se muestra en la siguiente figura:

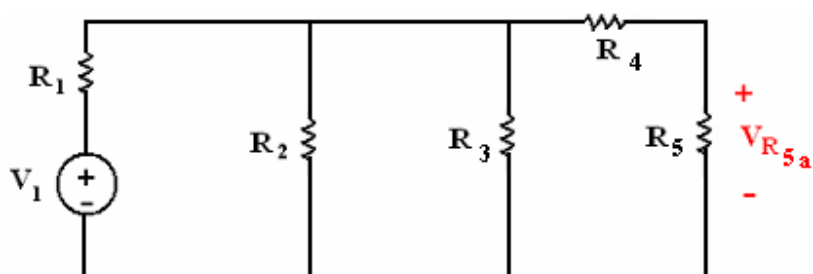


Donde: **ca** = circuito abierto
cc = corto circuito

entonces :



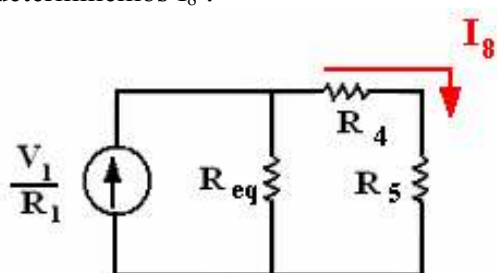
Como ca no es conductor de corriente y cc es un puente, entonces :



como $R_1 // R_2 // R_3$:

$$R_{eq} = 20 / 9 \, \Omega$$

Aplicando ley de Ohmm determinemos I_8 :



Aplicando divisor de corriente :

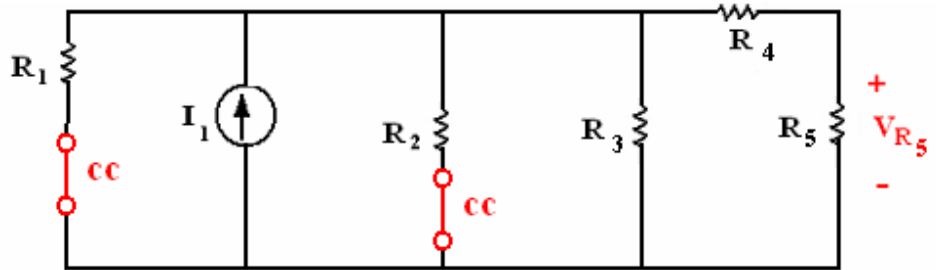
$$I_1 = I \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad \text{tenemos} \quad I_{8a} = 6A * \frac{\frac{20}{9}}{\frac{20}{9} + 10} = \frac{12}{11} [A]$$

Finalmente el aporte sera :

$$V_{R5a} = I_8 * 8 = \frac{96}{11} [V]$$

- Determinar el aporte de la fuente I_1

Entonces el equivalente sera :



Siguiendo una analogía del procedimiento anterior tenemos:

$$I_{8b} = 36A * \frac{\frac{20}{9}}{\frac{20}{9} + 10} = \frac{72}{11} [A]$$

$$V_{R5a} = I_{8b} * 8 = \frac{576}{11} [V]$$

- Determinar el aporte de la fuente V_2

Análogamente se tendrá:

$$I_{8c} = 12A * \frac{\frac{20}{9}}{\frac{20}{9} + 10} = \frac{24}{11} [A]$$

$$V_{R5c} = I_{8c} * 8 = -\frac{192}{11} [V]$$

Paso N°2.-

- Siguiendo el teorema de la superposición se tendrá :

$$V_{R5} = V_{R5a} + V_{R5b} + V_{R5c} = \frac{96}{11} + \frac{576}{11} + \frac{192}{11} = 43.63 [V]$$

El teorema de superposición se enuncia generalmente como :

En cualquier red resistiva lineal que contenga varias fuentes, el voltaje entre terminales o la corriente a través de cualquier resistor o fuente se puede calcular sumando algebraicamente todos los voltajes o corrientes individuales causados por las fuentes independientes separadas, actuando individualmente, es decir, con todas las demás fuentes independientes de voltaje sustituidas por cortocircuitos, y con todas las demás fuentes independientes de corriente sustituidas por circuitos abiertos.

Así que, si hay N fuentes independientes, se efectúan N experimentos. Cada fuente independiente se activa en un solo experimento, y en cada experimento solo hay activa una fuente independiente.

Una fuente independiente de voltaje inactiva es equivalente a un cortocircuito, y una fuente independiente de corriente inactiva es equivalente a un circuito abierto. Obsérvese que las fuentes dependientes en general se activan en todos los experimentos.

Sin embargo, el circuito que se uso como ejemplo indica que puede enunciarse un teorema aun mas general; un grupo de fuentes independientes puede presentarlas activas o inactivas, en forma colectiva, como se quiera.

Supóngase, por ejemplo, que hay tres fuentes independientes. El teorema afirma que se puede encontrar una respuesta dada si se considera cada una de las tres fuentes actuando sola, y luego a este resultado sumarle la respuesta debida a la tercera fuente que actúa sola. Esto equivale a tratar colectivamente a varias fuentes como una especie de superfuente.

Tampoco hay razón para que una fuente solo pueda tomar su valor dado o un valor de cero en los diversos experimentos; lo único que se necesita es que la suma de todos sus valores sea igual a su valor original. Sin embargo, por lo general el circuito mas simple se obtiene cuando una fuente esta completamente inactiva.

2.7 TEOREMA DE THEVENIN ^[6]

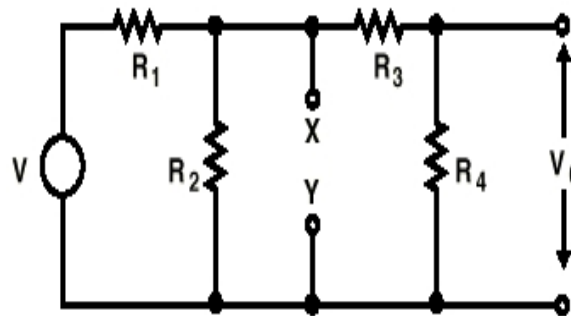
Cualquier circuito, por complejo que sea, visto desde dos terminales concretos, es equivalente a un generador ideal de tensión en serie con una resistencia, tales que:

La fuerza electromotriz del generador es igual a la diferencia de potencial que se mide en circuito abierto en dichos terminales

La resistencia es la que se "ve" hacia el circuito desde los terminales en cuestión, cortocircuitando los generadores de tensión y dejando en circuito abierto los de corriente

Para aplicar el teorema de Thévenin, por ejemplo, en el caso de la Figura 2.27 , elegimos los puntos X e Y y, suponemos que desconectamos todo lo que tenemos a la derecha de dichos puntos, (es decir, estamos suponiendo que las resistencias R3 y R4, las

hemos desconectado físicamente del circuito original) y miramos atrás, hacia la izquierda.



Circuito original

Figura 2.27

En esta nueva situación calculamos la tensión entre estos dos puntos (X,Y) que llamaremos la tensión equivalente Thévenin que coincide con la tensión en Bornes de la resistencia R2 y cuyo valor es :

$$V_{th} = V \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (34)$$

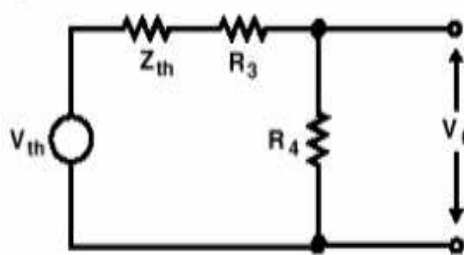
El siguiente paso es, estando nosotros situados en los puntos indicados (X,Y) mirar hacia la izquierda otra vez y calcular la resistencia que vemos, pero teniendo en cuenta que debemos suponer que los generadores de tensión son unos cortocircuitos y los generados de corriente son circuitos abiertos, en el caso de nuestro circuito original, sólo hay un generador de tensión que, para el cálculo que debemos hacer lo supondremos en cortocircuito y ¿ que es lo que vemos ?

Pues si miráis la figura 2.27 , lo que vemos es que, las resistencias R1 y R2 están en paralelo.

Por lo que la resistencia equivalente Thévenin, también llamada impedancia equivalente, Z_{th} . vale:

$$Z_{th} = Z_{x-y} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = R_1 // R_2 \quad (35)$$

El circuito estudiado a la izquierda de los puntos X, Y se reemplaza ahora por el

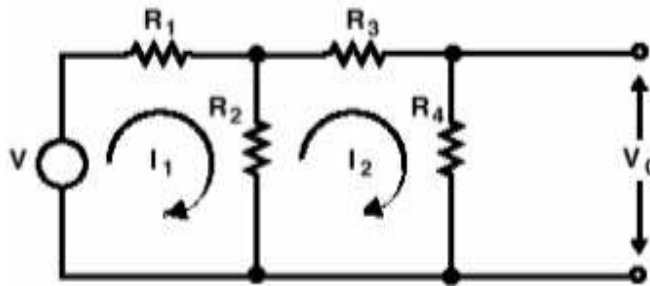


circuito equivalente que hemos calculado y nos queda el circuito de la figura 2.28, donde ahora es mucho más fácil realizar los cálculos para obtener el valor V_o

Figura 2.28
circuito equivalente Thévenin

$$V_o = V_{th} \frac{R_4}{Z_{th} + R_3 + R_4} = V \frac{R_2}{R_1 + R_2} \frac{R_4}{\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + R_3 + R_4} \quad (36)$$

La otra forma de calcular V_o es, la de la teoría de mallas, que calculamos en la siguiente figura y donde observamos que los resultados son los mismos. Pero las ecuaciones resultantes son bastante más laboriosas.



$$I_1 R_2 = I_1 (R_2 + R_3 + R_4)$$

$$V = I(R_1 + R_2) - I_2 R_2$$

$$I_1 = \frac{R_2 + R_3 + R_4}{R_2} I_2$$

$$I_2 = \frac{V}{\frac{R_2 + R_3 + R_4}{R_2} (R_1 + R_2) - R_2}$$

$$V_o = I_2 R_4 = \frac{V}{\frac{R_2 + R_3 + R_4}{R_2} (R_1 + R_2) - R_2} R_4$$

Nota: análisis del mismo circuito de la figura anterior pero aplicando las ecuaciones por mallas

Así pues, hemos observado que, aplicando el Teorema de Thévenin para el análisis

de circuitos, seremos capaces de simplificar nuestros cálculos, lo que nos será siempre muy útil, sobre todo, en otros circuitos más complejos.

2.8 TEOREMA DE NORTON ^[6]

Al igual que el teorema de Norton es una técnica para la simplificación de circuitos que se enfocan en el comportamiento de terminales, por lo que se convierten en una ayuda invaluable en el análisis de circuitos.

Cualquier circuito, por complejo que sea, visto desde dos terminales concretos, es equivalente a un generador ideal de corriente en paralelo con una resistencia, tales que:

La corriente del generador es la que se mide en el cortocircuito entre los terminales en cuestión.

La resistencia es la que se "ve" **hacia** el circuito desde dichos terminales, cortocircuitando los generadores de tensión y dejando en circuito abierto los de corriente.
(Coincide con la resistencia equivalente Thévenin)

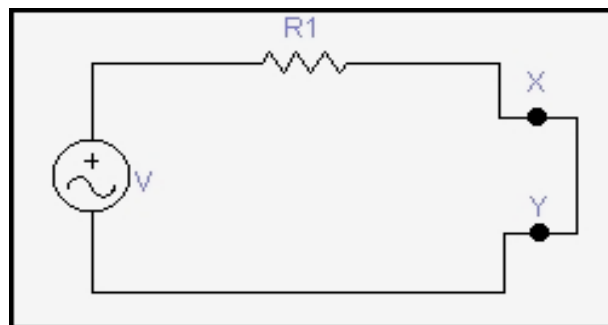


Figura 2.29

Circuito equivalente Norton

Aplicando el Teorema de Norton al circuito de la figura 2.28 de Thévenin , nos quedará el siguiente circuito:

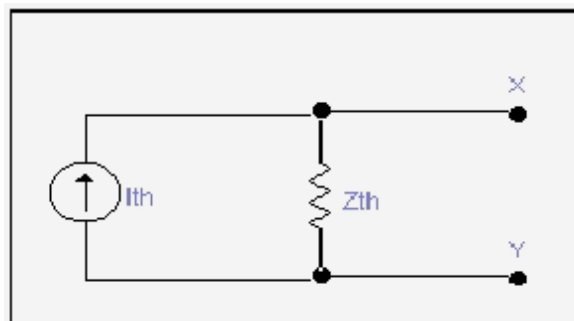


Figura 2.30

Donde hemos cortocircuitado los puntos X Y de la figura 2.28 de Thévenin . La corriente que circula por entre estos dos puntos la llamaremos I_{th} y lógicamente es igual a la tensión V del generador de tensión dividido por la resistencia R_1 (Ley de OHM) $I_{th} = V / R_1$ la resistencia Thévenin es la misma que la calculada anteriormente, que era el paralelo de R_1 y R_2

$$Z_{th} = R_1 // R_2 = R_1 \times R_2 / (R_1 + R_2) \quad (37)$$

Equivalencia entre Thevenin y Norton Sea cual sea el equivalente obtenido es muy fácil pasar al otro equivalente sin más que aplicar el teorema correspondiente, así por ejemplo, supongamos que hemos calculado el equivalente Thévenin de un circuito y hemos obtenido el circuito de la izquierda de la figura 2.31 :

Aplicando el teorema de Norton a la figura de la izquierda, cortocircuitaremos la salida y calcularemos la corriente que pasa entre ellos que será la corriente : $I_{th} = 10 / 20 = 0,5 \text{ A}$. y la resistencia Norton es 20 W . por lo que nos quedará el circuito equivalente Norton de la derecha

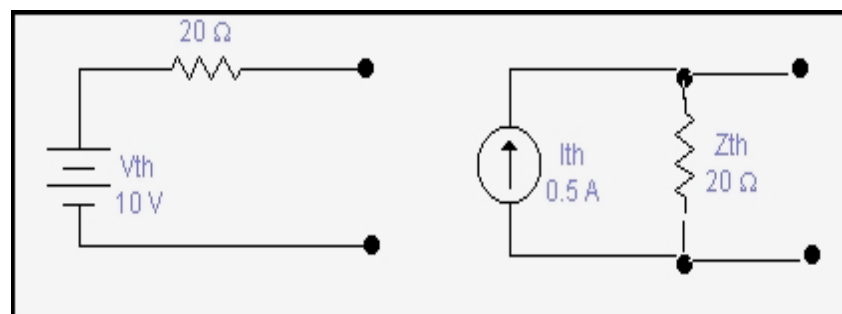


Figura 2.31

Conclusión

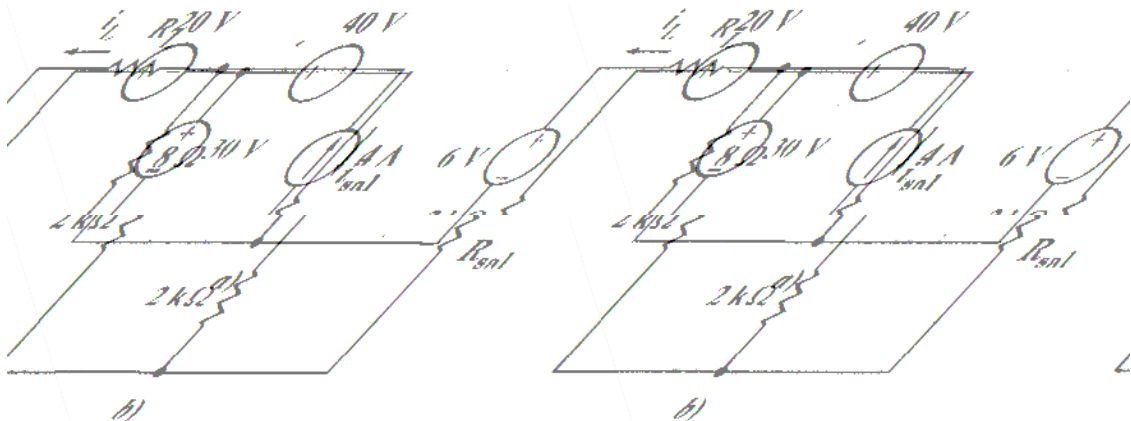
El teoría de thevenin nos dice que en un circuito que tenga una o mas fuentes de voltaje o de corriente puede reemplazarse por una fuente única de voltaje en serie con la resistencia o por una fuente de corriente en paralelo con una resistencia pero en nuestro caso fue en vez de resistencias fueron impedancias por que demostraos los dos teoremas, en corriente alterna o en frecuencia.

Es importante el uso de los fasores ya que estos nos permiten visualizar la magnitud y desfase que cada uno de los elementos produce a la señal original proveniente de la fuente, ya que trabajamos con una fuente de alimentación AC cada elemento reacciona de forma diferente a la excitación senoidal de la fuente, teniendo así los valores de las corrientes y los voltajes a través de todo el circuito en función de los ángulos de desfase.

Ejercicio propuesto 1

- a) Si $R_L = 2\ \Omega$ en la figura a, encuentre i_L y la potencia suministrada por la fuente de 4 A.
b) Transforme la fuente práctica de corriente ($8\ \Omega$, 4 A) en una fuente práctica de voltaje, determine i_L y la potencia suministrada por la nueva fuente de voltaje ideal.
c) ¿Cuál es el valor de R_L que absorberá la máxima potencia y cuál es el valor de esa potencia?

Resp: 2.6 A, 44.8 W; 2.6 A, 83.2 W; $8\ \Omega$, 21.1 W



Ejercicio propuesto 2.

Transforme las dos fuentes prácticas a la izquierda de la figura b en fuentes prácticas de corriente; combine los resistores y fuentes ideales de corriente, luego transforme las fuentes prácticas de corriente resultantes en una fuente práctica de voltaje y combine las tres fuentes ideales de voltaje, a) Si $R_{salida} = 3\ k\Omega$, encuentre la potencia entregada a R_{salida} . b) ¿Cuál es la máxima potencia que puede entregar para cualquier valor de R_{salida} ? c) ¿Cuáles son los dos valores distintos de R_{salida} que absorberán exactamente 20 mW?

Resp: 230 mW; 306 mW; $59.2\ k\Omega$ y $16.88\ \Omega$

Ahora que se conoce el principio de superposición, pueden desarrollarse dos teoremas más que simplificarán bastante el análisis de muchos circuitos lineales. El primero de estos teoremas debe su nombre a M. L. Thévenin, ingeniero francés que trabajaba en telegrafía, y que fue el primero en publicar un enunciado del teorema en 1883; el segundo puede considerarse como un corolario del primero y se da el crédito a E. L. Norton, científico que trabajó en los laboratorios de la Bell Telephone.

Supóngase que se necesita hacer sólo un análisis parcial de un circuito; probablemente sólo es necesario calcular la corriente, el voltaje y la potencia que el resto del circuito entrega a un resistor específico, el circuito puede constar de un gran número de fuentes y resistores; o quizás se desea calcular la respuesta para diferentes valores de la resistencia de carga. El teorema de Thévenin dice que es posible sustituir todo, excepto el resistor de carga, por un circuito equivalente con sólo una fuente independiente de voltaje en serie con un resistor; la respuesta medida en el resistor de carga no resultará afectada. Usando el teorema de Norton, se obtiene un circuito equivalente con una fuente independiente de corriente en paralelo con un resistor.

De esto se deduce que uno de los usos principales de los teoremas de Thévenin y Norton es la sustitución de una gran parte de una red, a menudo una parte complicada y de poco interés, por un equivalente muy simple. El circuito nuevo y más sencillo permite llevar a cabo cálculos rápidos del voltaje, la corriente o la potencia que el circuito original es capaz de entregar a la carga; también ayuda a elegir el mejor valor para esta resistencia de carga. En un amplificador de potencia de transistores, por ejemplo, los equivalentes de Thévenin o Norton permiten calcularla potencia máxima que se puede tomar del amplificador y el tipo de carga que se requiere para llevar a cabo una transferencia máxima de potencia, o para obtener la máxima amplificación práctica de voltaje o de corriente.

Ejemplo 3

Como un ejemplo introductorio, considere el circuito mostrado en la figura 2.32. Se quieren determinar los circuitos equivalentes de Thévenin y Norton para aquella parte del circuito que está a la izquierda de R_L .

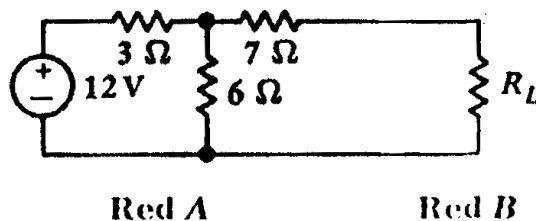


Figura 2.32

En la figura 2.32 se tiene un circuito resistivo sencillo se divide en la red A, de poco interés, y en la red B, un resistor de carga con el que los autores están fascinados.

Solución: Las regiones sombreadas separan al circuito en las redes A y B; se supondrá que interés se centra en la red B, que sólo contiene al resistor de carga R_L . La red A se puede simplificar por medio de transformaciones sucesivas de la fuente. Primero se trata la fuente de 12 V y el resistor de 3Ω como una fuente práctica de voltaje, y se sustituye por una fuente práctica de corriente de 4 A en paralelo con un resistor de 3Ω . Las resistencias en paralelo se combinan ahora para dar 2Ω , y la fuente práctica de corriente que resulta se transforma de nuevo en una fuente práctica de voltaje. Desde el punto de vista del resistor de carga R_L , este circuito (el equivalente de Thévenin) es equivalente al circuito original; desde el punto de vista del que analiza el circuito parece mucho más sencillo y ahora se puede calcular fácilmente la potencia entregada a la carga. Esta es:

$$P_L = \left[\frac{8}{9 + R_L} \right]^2 R_L \quad (38)$$

Aún más, del circuito equivalente se observa que el voltaje máximo que se puede tener entre las terminales de R_L es 8 V cuando $R_L = \infty$; una rápida transformación de la red A a una fuente práctica de corriente (el equivalente de Norton) indica que la corriente máxima que puede circular por la carga es 4 A para $R_L = 0$; y el teorema de máxima transferencia de potencia muestra que se entrega a R_L una potencia máxima de 16 W cuando R_L

$= 9 \Omega$. Ninguno de estos resultados se ve sólo a partir del circuito original.

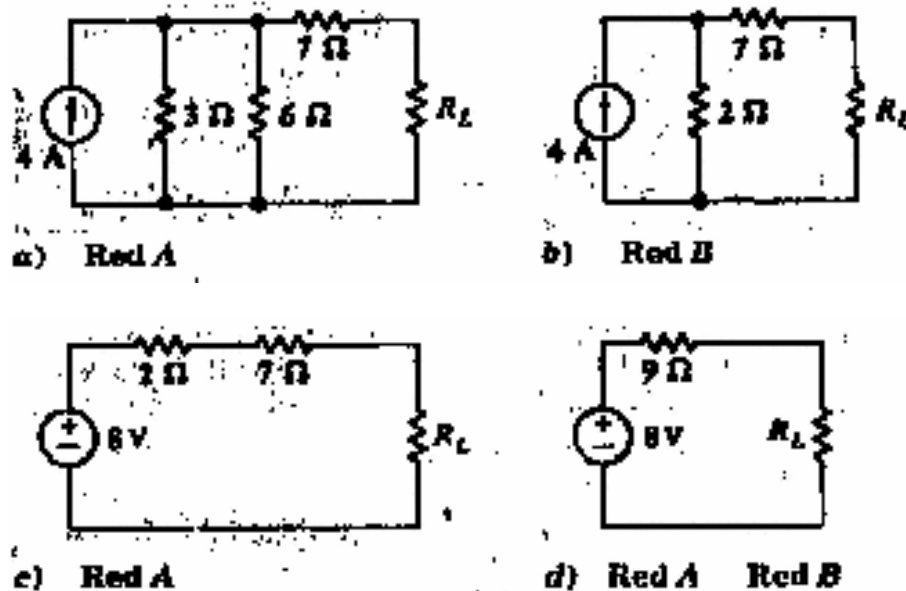


Figura 2.33

Las transformaciones de fuentes y las combinaciones de resistencias usadas al simplificar la red A se muestran en orden. El resultado, mostrado en d, es el equivalente de Thévenin.

Si la red A es más complicada, el número de transformaciones de fuentes y de combinaciones de resistencias necesarias para obtener a los equivalentes de Thévenin o de Norton puede, con facilidad, volverse prohibitivo; además, cuando se tienen fuentes dependientes presentes, el método de transformación de fuentes generalmente no es aplicable. Los teoremas de Thévenin y Norton permiten encontrar el circuito equivalente mucho más rápida y fácilmente, aun en circuitos más complicados.

Ahora se enuncia formalmente el teorema de Thévenin:

Dado cualquier circuito lineal, se re arregla en la forma de dos redes A y B conectadas por dos conductores perfectos. Si cualquiera de las redes contiene una fuente dependiente, su variable de control debe quedar en esa misma red. Se define un voltaje v_{oc} como el voltaje de circuito abierto que aparecería entre las terminales de A si se desconectara B, de tal forma que no fluya corriente de A.

Entonces todas las corrientes y voltajes en B permanecen inalteradas si A se mata (todas las fuentes independientes de voltaje y de corriente se sustituyen por cortocircuitos y circuitos abiertos, respectivamente) y se conecta una fuente independiente de voltaje u_{oc} , con la polaridad adecuada, en serie con la red A muerta (inactiva).

Los términos matar y muerta son un poco sangrientos, pero son descriptivos y concisos, además de que se usarán en un sentido amigable. Lo que es más, es posible que la red A sólo esté durmiendo, ya que puede contener fuentes dependientes que revivan siempre que sus corrientes o voltajes de control sean diferentes de cero.

Se verá si se puede aplicar el teorema de Thévenin al circuito que se muestra en la figura 2.33. Ya se ha encontrado el equivalente de Thévenin del circuito de la izquierda de R_L en el ejemplo, pero ahora se verá si hay una forma más fácil de obtener el mismo resultado.

Ejemplo 4

Utilice el teorema de Thévenin en la figura 2.33 para determinar el circuito equivalente de Thévenin para la parte del circuito que está a la izquierda de R_L .

Solución:

Si se desconecta R_L , la división de voltaje permite determinar que u_{oc} es 8 V. Si se mata la red A, esto es, se reemplaza la fuente de 12 V por un cortocircuito, se ve en la red A muerta un resistor de 7Ω conectado en serie con el arreglo en paralelo de 6Ω y 3Ω . Entonces la red A muerta se puede representar simplemente por un resistor de 9Ω . Esto concuerda con el resultado anterior.

El circuito equivalente así obtenido es completamente independiente de la red B, ya que primero se eliminó la red B y se midió el voltaje de circuito abierto producido por la red A, operación que definitivamente no depende de ninguna forma de la red B, y luego la red inactiva A se conectó en serie con una fuente de voltaje v_{oc} . La red B se menciona en el teorema sólo para indicar que se puede obtener un equivalente de A, sin importar cuál sea, el arreglo de elementos que está conectado a A; la red B representa a esta red general.

Hay varios puntos del teorema que merecen resaltarse. Primero, la única restricción que debe haber sobre A o B, además del requisito de que todo el circuito original formado por A y B sea lineal, es que todas las fuentes dependientes que estén en A tengan sus variables de control en A, y lo mismo para B. Sobre la complejidad de A o B no hay restricciones; cualquiera de ellas puede contener cualquier arreglo de fuentes independientes de voltaje o de corriente, fuentes dependientes lineales de voltaje o de corriente, resistores o cualquier otro elemento de circuito que sea lineal. La naturaleza general del teorema (y su demostración) permitirán aplicarlo a redes que contengan inductores y capacitores, los cuales son elementos pasivos lineales, y que se definirán en el capítulo siguiente. Por el momento, sin embargo, los resistores son los únicos elementos pasivos que se han definido, y la aplicación del teorema de Thévenin a redes resistivas es un caso especial particularmente sencillo. La red muerta A se puede representar por un solo resistor equivalente R_{th} .

Si A es una red activa resistiva, es obvio que la red inactiva A se puede sustituir por

una sola resistencia equivalente, a la que también se" llamará resistencia, de Thévenin, ya que de nuevo es la resistencia "vista" desde las terminales de la red A inactiva.

El teorema de Norton tiene un gran parecido con el teorema de Thévenin, otra consecuencia de la dualidad. De hecho, ambos enunciados se usarán como un ejemplo de lenguaje dual cuando se discuta el principio de dualidad en el capítulo siguiente.

El teorema de Norton se puede enunciar como sigue:

Dado cualquier circuito lineal, se rearrégla en la forma de dos redes A y B conectadas por dos conductos perfectos. Si cualquiera de las redes contiene una fuente dependiente, su variable de control debe quedar en esa misma red. Se define una corriente i_{sc} , como la corriente de cortocircuito que aparecería en las terminales de A, si B se pusiese en cortocircuito de tal forma que A no proporcione voltaje. Entonces todas las corrientes y voltajes en B permanecerán inalterados si se mata A (todas las fuentes independientes de voltaje y de corriente se sustituyen por cortocircuitos y circuitos abiertos, respectivamente) y se conecta una fuente independiente de corriente i_{sc} con la polaridad adecuada, en paralelo con la red A muerta (inactiva).

El equivalente de Norton de una red resistiva activa es la fuente de corriente Norton i_{sc} , en paralelo con la resistencia de Thévenin R_{th} .

Existe una relación importante entre los equivalentes de Thévenin y Norton de una red resistiva activa. Esta relación se puede obtener al aplicar una transformación de fuentes en cualquiera de las redes equivalentes. Por ejemplo, si se transforma el equivalente de Norton, se obtiene una fuente de voltaje $R_{th} i_{sc}$, en serie con la resistencia R_{th} ; esta red está en la forma equivalente de Thévenin, y por lo tanto

$$V_{OC} = R_{th} i_{sc} \quad (39)$$

En circuitos resistivos que contienen fuentes dependientes y fuentes independientes, se encontrará que a menudo es más conveniente calcular el equivalente de Thévenin o bien el de Norton, obteniendo el voltaje de circuito abierto y la corriente de cortocircuito, y luego calculando el valor de R_{th} como el cociente de esas dos cantidades.

Por esto es recomendable acostumbrarse a calcular tanto voltajes de circuito abierto como corrientes de cortocircuito, aun en los problemas sencillos que se verán a continuación. Si los equivalentes de Thévenin y Norton se calculan por separado, la ecuación (39) puede ser una forma útil de comprobar resultados.

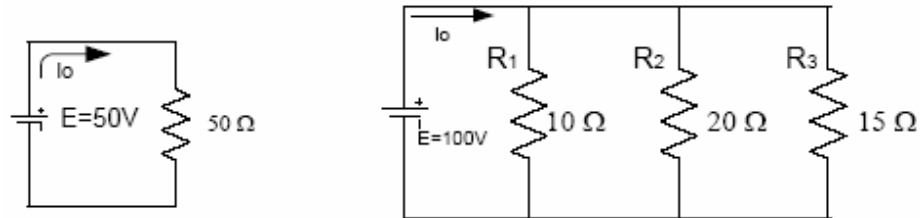
Considérense cuatro ejemplos de cómo determinar un circuito equivalente de Thévenin o de Norton.

Problemas resueltos.

1. En cada circuito de la figura se desconoce el valor de la corriente.

a) Calcule los valores de la corriente.

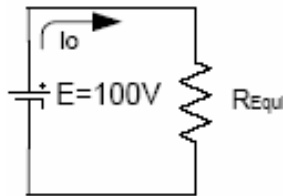
b) Determine la potencia que disipa cada resistor.



a) La corriente I_o en el resistor de 50Ω de la figura 1 va en la dirección del voltaje a través del resistor .

$$I_o = \frac{50V}{50\Omega} = 1[A]$$

en la figura, para hallar la corriente primeramente se calcula la resistencia equivalente.



$$\frac{1}{R_{Equi}} = \frac{1}{10} + \frac{1}{20} + \frac{1}{20}$$

$$\frac{1}{R_{Equi}} = 5[\Omega]$$

$$I_o = \frac{100V}{5\Omega} = 20[A]$$

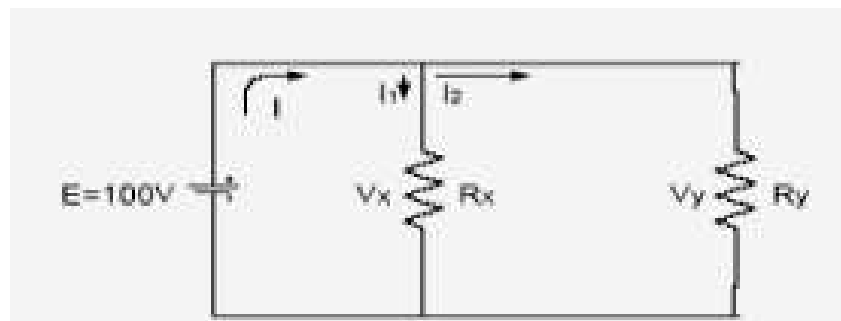
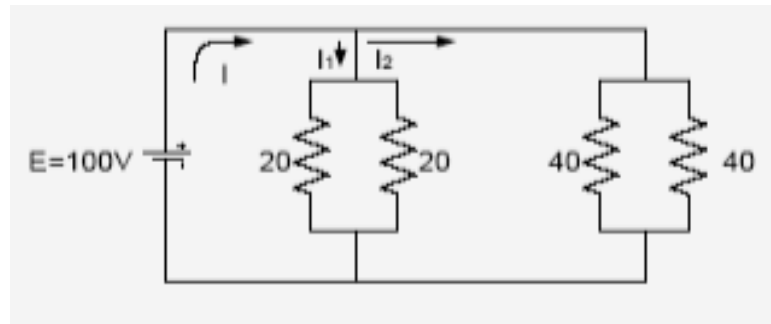
b) La potencia que disipa cada uno de las resistencias es:

$$P_{50\Omega} = \frac{V^2}{R} = \frac{(50)^2}{50} = 50W$$

$$P_{10\Omega} = \frac{V^2}{R} = \frac{(100)^2}{10} = 1000W$$

$$P_{20\Omega} = \frac{V^2}{R} = \frac{(100)^2}{20} = 500W$$

2. Hallar los valores de I , I_1 e I_2 del siguiente circuito:



$$R_x = \frac{20 * 20}{40} = 10[\Omega]$$

$$R_y = \frac{40 * 40}{80} = 20[\Omega]$$



$$R_{Equi} = \frac{R_x * R_y}{R_x + R_y} = \frac{10 * 20}{30}$$

$$R_{Equi} = 6.67[\Omega]$$

$$I = \frac{V}{R} \quad \text{por la ley de ohm.}$$

$$I = \frac{100}{6.67} = 15[A]$$

$$I = 15[A]$$

$$E = V_x = V_y \text{ por estar en paralelo.}$$

$$I_1 = \frac{V_x}{R} = \frac{100}{10} = 10[A]$$

$$I_2 = \frac{V_y}{R} = \frac{100}{20} = 5[A]$$

$$I = I_1 + I_2$$

$$I = \frac{100}{6.67} = 15[A]$$

$$I = 15[A]$$

$$E = V_x = V_y \text{ por estar en paralelo.}$$

$$I_1 = \frac{V_x}{R} = \frac{100}{10} = 10[A]$$

$$I_2 = \frac{V_y}{R} = \frac{100}{20} = 5[A]$$

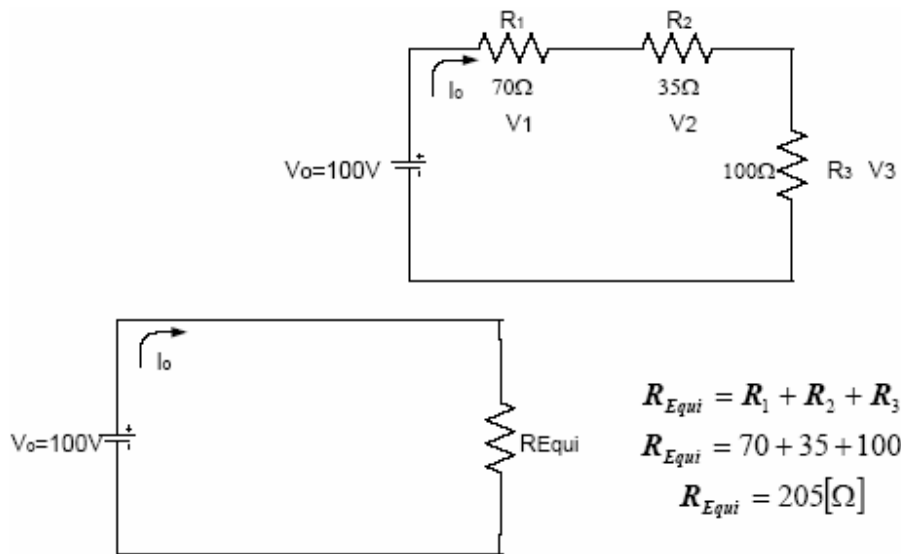
$$I = I_1 + I_2$$

$$15 = 10 + 5$$

$$15 = 15$$

se demuestra que $I = I_1 + I_2$.

3. Use las leyes de Kirchhoff para encontrar I_0 , V_1 , V_2 , V_3 y las potencias disipadas por cada resistencia.



Utilizando la ley de ohm.

$$V = R * I$$

$$I_o = \frac{V_o}{R} = \frac{100}{205} = 0.49[A]$$

$$I_o = 0.488[A]$$

Por encontrarse las 3 resistencias en serie la corriente que circula a través de ellas es la misma que entra a la fuente de 100V.

$$I_o = I_1 = I_2 = I_3$$

$$V_1 = R * I_1 = 70 * 0.488$$

$$V_1 = 34.2[V]$$

$$V_2 = R * I_2 = 35 * 0.488$$

$$V_2 = 17[V]$$

$$V_3 = R * I_3 = 100 * 0.488$$

$$V_3 = 48.8[V]$$

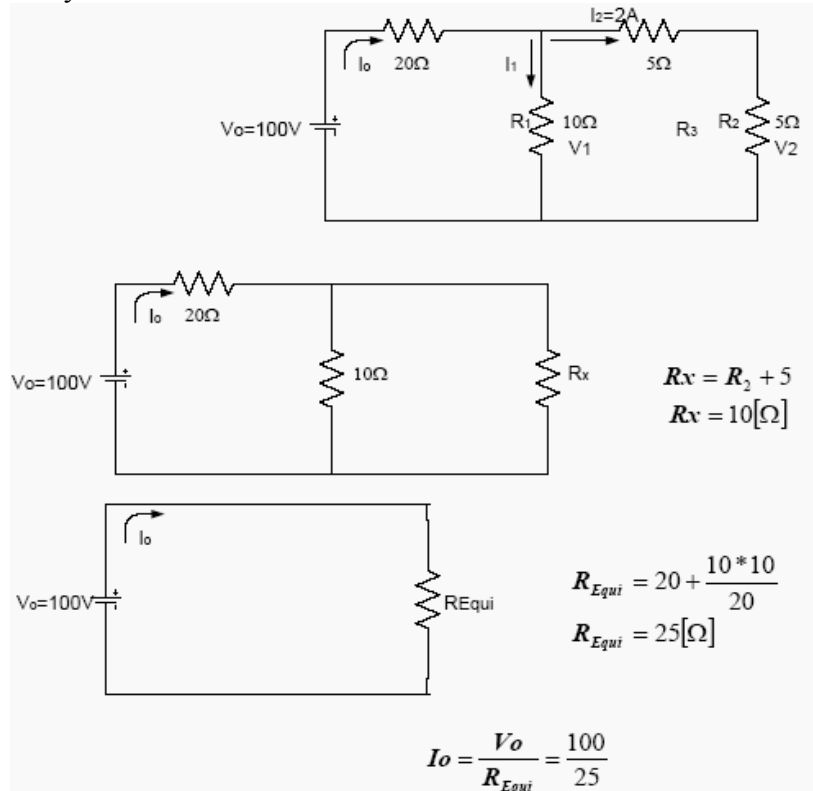
y las potencias disipadas por cada resistencia es:

$P_{R1} = V_1 * I_o$	$P_{R2} = V_2 * I_2$	$P_{R3} = V_3 * I_3$
$P_{R1} = 34.2 * 0.488$	$P_{R2} = 17 * 0.488$	$P_{R3} = 48.8 * 0.488$
$P_{R1} = 16.7[W]$	$P_{R2} = 8.3[W]$	$P_{R3} = 23.8[W]$

La potencia disipada es igual a la potencia entregada por la fuente de alimentación.

4. se tiene el siguiente circuito, calcular:

- el voltaje que circula por la resistencia de 20Ω
- la corriente que circula por el resistor de 10Ω
- los voltajes V_1 y V_2 .



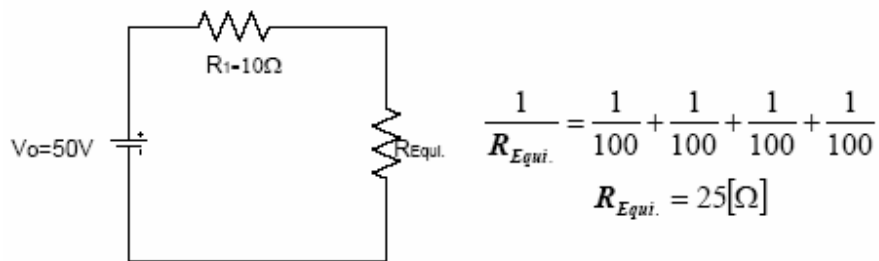
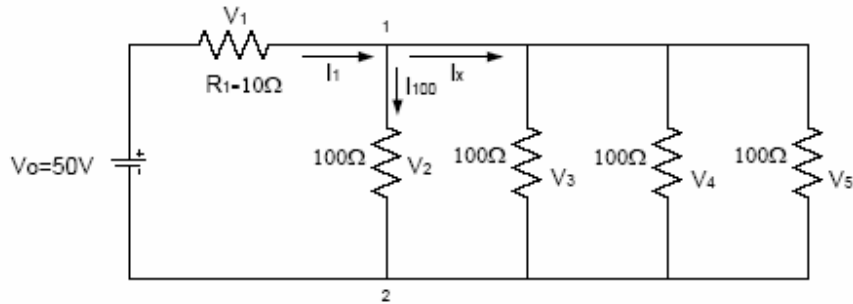
La corriente circula por la resistencia de 20Ω es I_0 .

$$\begin{aligned}
 V_{20\Omega} &= R \cdot I_0 = 20 \cdot 4 \\
 V_{20\Omega} &= 80[V] \\
 \text{Sabemos que:} \\
 I_0 &= I_1 + I_2 \\
 I_1 &= I_0 - I_2 = 4 - 2 \\
 I_1 &= 2[A] \\
 I_1 &= I_{R1} = 2[A] \\
 V_{R1} &= R \cdot I_{R1} = 10 \cdot 2 = 20[V] \Rightarrow V_1 = 20[V] \\
 V_{R2} &= R \cdot I_{R2} = 5 \cdot 2 = 10[V] \Rightarrow V_2 = 10[V]
 \end{aligned}$$

5. Se tiene el siguiente circuito, calcular:

- El voltaje que circula por R_1 , Utilizando divisor de tensión.
- El voltaje que circula a través de las resistencias en paralelo

c) Verificar si cumple la ley de corrientes de Kirchhoff que dice que la entrada de corriente a un nodo es igual a la suma de todas las corrientes en los nodos (1).



$$E_{R1} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} * E_o = \frac{10}{10 + 25} * 50 = 14.3[V]$$

$$E_{R1} = 14.3[V]$$

$$E_{REqui} = \frac{R_{Equi}}{R_{Equi} + R_1} * E_o = \frac{25}{35} * 50 = 35.7[V]$$

$$E_{REqui} = 35.7[V]$$

$$\therefore E_{REqui} = E_{R2} = E_{R3} = E_{R4} = E_{R5}$$

$$I_1 = \frac{E_{R1}}{R} = \frac{14.3}{10} = 1.43[A]$$

$$I_{100} = \frac{E_{R2}}{R} = \frac{35.7}{100} = 0.357[A]$$

$$I_x = I_1 - I_{100\Omega}$$

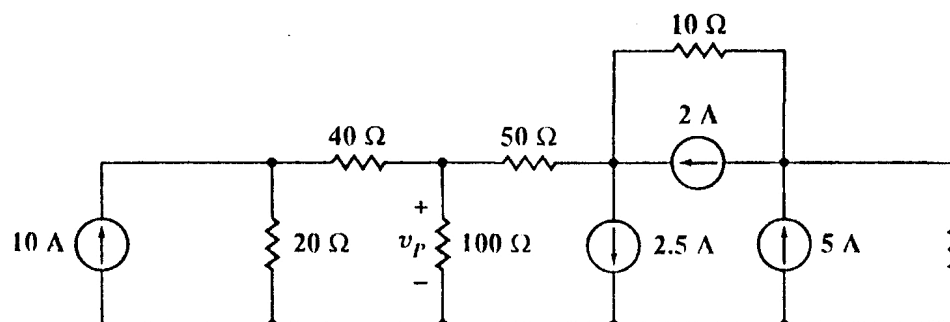
$$I_x = 1.43 - 0.357$$

$$I_x = 1.073[A]$$

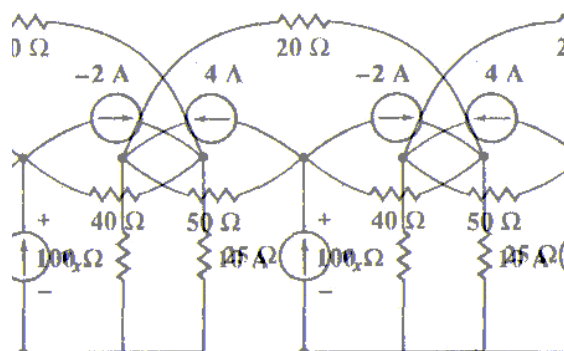
$$I_1 = I_{100\Omega} + I_x$$

PROPUESTOS:

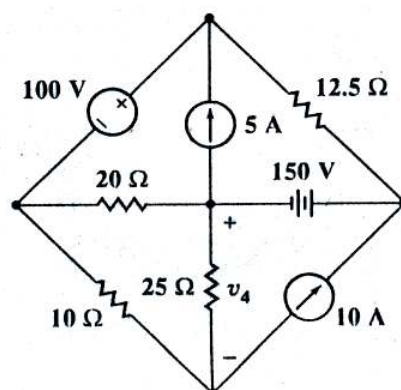
1 Utilice análisis de nodos para encontrar v_p en el siguiente circuito.



2 Utilice análisis de nodos para encontrar v_x en el circuito de la figura siguiente.
Para el problema 4.



3. Utilice al análisis de nodos para encontrar V_4 en el circuito de la figura siguiente.



UNIDAD N° 3

CIRCUITOS DE CORRIENTE ALTERNA

3.1 CONCEPTOS BÁSICOS

3.1.1 CORRIENTE ALTERNA (CA) ^[9]

Corriente eléctrica que cambia su amplitud en forma periódica en el tiempo. La corriente alterna (como su nombre lo indica) tiene una corriente que circula durante un tiempo en un sentido y después en sentido opuesto, volviéndose a repetir el mismo proceso en forma constante.

Este tipo de corriente es la que nos llega a nuestras casas para uso cotidiano.

El siguiente gráfico representa el comportamiento de la corriente alterna.

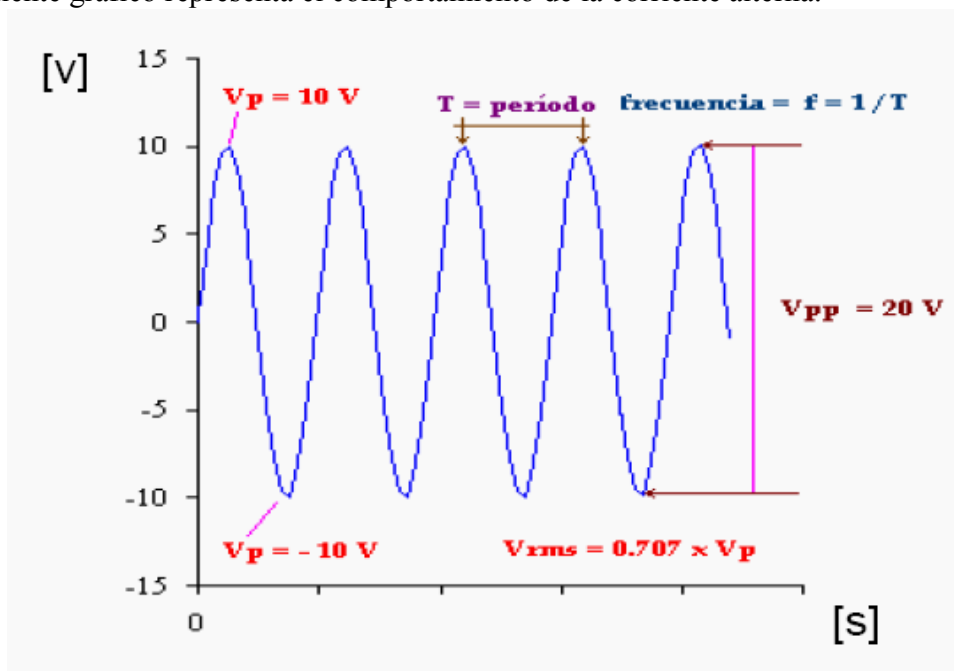


Figura 3.1

En este caso lo que se ha graficado es el voltaje (que es también alterno) y tenemos que la magnitud de éste varía primero hacia arriba y luego hacia abajo (de la misma forma en que se comporta la corriente) y nos da una forma de onda llamada: onda senoidal.

Este voltaje varía continuamente, y para saber que voltaje tenemos en un momento específico, utilizamos la fórmula; $V = V_p \times \text{Sen}(\alpha)$ donde V_p (V pico) (*ver gráfico 3.1*) es el valor máximo que obtiene la onda y α es una distancia angular y se mide en grados

Aclarando un poco esta última parte y analizando el gráfico anterior, se ve que la onda senoidal es **periódica** (se repite la misma forma de onda continuamente).

Si tomamos un período de ésta (**un ciclo completo**), se dice que tiene una distancia angular de 360°

Bueno, pues con ayuda de la fórmula que ya dimos, e incluyendo α (distancia angular para la cual queremos saber el voltaje) obtenemos el voltaje instantáneo de nuestro interés. Para cada distancia angular diferente el valor del voltaje es diferente, siendo en algunos casos positivo y en otros negativo (cuando se invierte su polaridad.).

3.1.1.2 TIPOS DE CORRIENTE ALTERNA (REGÍMENES) ^[10]

a) Régimen estático.-

Esta referido a cargas eléctricas en reposo cuyo estudio corresponde a la electrostática.

b) Régimen permanente o estacionario.-

Flujo de cargas constantes a lo largo del tiempo o campo electrocinético en el cual la corriente eléctrica que recorre el conductor que consideramos es constante en magnitud y dirección.

c) Régimen periódico.-

Flujo de cargas variables periódicamente en el cual la corriente eléctrica que recorre el conductor que consideramos toda una serie de valores que se repiten periódicamente.

d) Régimen transitorio.-

Flujo de cargas variables sin seguir una ley periódica en el que la corriente tiende a extinguirse por cesar la causa que lo produce.

3.1.2 VOLTAJE PICO-PICO:(VPP) ^[10]

Analizando la existencia de un voltaje máximo y un voltaje mínimo. La diferencia entre estos dos voltajes es el llamado voltaje pico-pico (**Vpp**) y es igual al doble del Voltaje Pico (**Vp**)

3.2 GENERACIÓN DE CORRIENTE ALTERNA ^[10]

Consideremos un alternador elemental constituido por una bobina que gira a una velocidad angular sobre un eje X'X.

De la definición para los términos de onda y de corriente alterna, deducimos que la onda senoidal es aquella expresión gráfica que representa a la función seno, $y = \sin x$.

Por física sabemos que la función seno es como resultado de producir un movimiento vibratorio armónico debido a las vibraciones de una lamina, a las oscilaciones de un péndulo o a las elongaciones de un muelle. En matemáticas decimos que una senoide se genera por la proyección sobre cualquier eje fijo de un vector giratorio, OA, tal y como se indica en la representación vectorial en la que el punto A recorre la circunferencia de radio r con un movimiento circular uniforme de velocidad angular ω . Como la velocidad angular es el Angulo descrito en la unidad de tiempo, podemos decir: si en un segundo describe ω radianes, en t segundos describirá α radianes.

De donde:

$$A = \omega * t [\text{rad}] \quad (3.1)$$

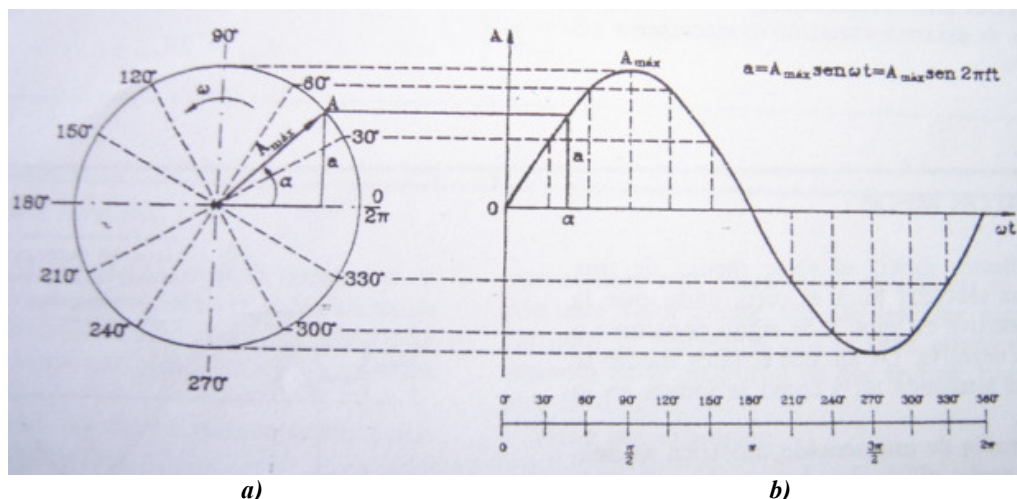
A la velocidad angular ω , la llamamos también velocidad eléctrica o pulsación, y tiene por expresión:

$$\omega = 2\pi f [\text{rad}] \quad (3.2)$$

A los ángulos de la función senoidal los llamamos ángulos eléctricos para distinguirlos de los reales o geométricos descritos por la espira o por el rotor de una maquina eléctrica. La expresión matemática y grafica de ese vector giratorio, OA, es la base para la aplicación del calculo vectorial simbólico mediante el cual se resuelven los problemas de electrotecnia en corriente alterna.

3.3 Corriente alterna sinusoidal ^[10]

3.3.1 Representación vectorial

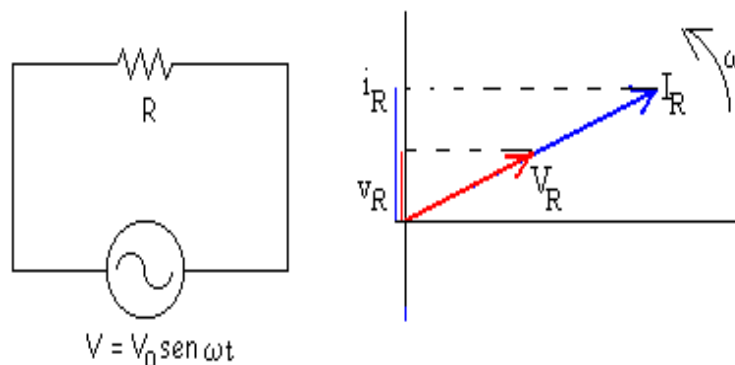


Generación y representación de una onda senoidal: a) diagrama vectorial. b) diagrama cartesiano
Figura 3.2

3.3.2 RESISTENCIA EN LOS CIRCUITOS CA ^[22]

La relación que existe en todo instante entre la fem alterna senoidal y la intensidad que produce es una constante que como sabemos llamamos resistencia.

$$R = \frac{U_R}{i_R} = \frac{U_{\max} * \text{sen}(wt + \theta)}{I_{\max} * \text{sen}(wt + \theta)} = \frac{U_{\max}}{I_{\max}} \quad (3.3)$$



Una resistencia conectada a un generador de corriente alterna

Figura 3.3

En electrotecnia, para hallar el valor de la resistencia óhmica no se suele emplear la ecuación anterior y sí se opera con valores eficaces, mediante la formula ya conocida de la ley de Ohm.

$$R = \frac{E}{I} = \frac{U}{I} \quad (3.4)$$

En un circuito resistivo puro la intensidad es solo limitada por la resistencia óhmica y la frecuencia no influye para retardar o adelantar la intensidad, pues ya hemos visto que están en fase la onda de tensión aplicada y la de la intensidad que lo produce.

3.3.3 VALOR INSTANTÁNEO, MÁXIMO, MEDIO Y EFICAZ ^[10]

El valor instantáneo es el que toma la ordenada en un instante determinado. Puntos 1,2,3,4,...,n de la figura 3.4. Se escribe con la letra minúscula del símbolo de la magnitud eléctrica que represente la senoide, por ejemplo, e, u, i, etc.

Para calcular el valor instantáneo de una onda, por ejemplo, de fem, basta con sustituir en su expresión matemática el valor de α por su equivalente en grados o radianes y operar.

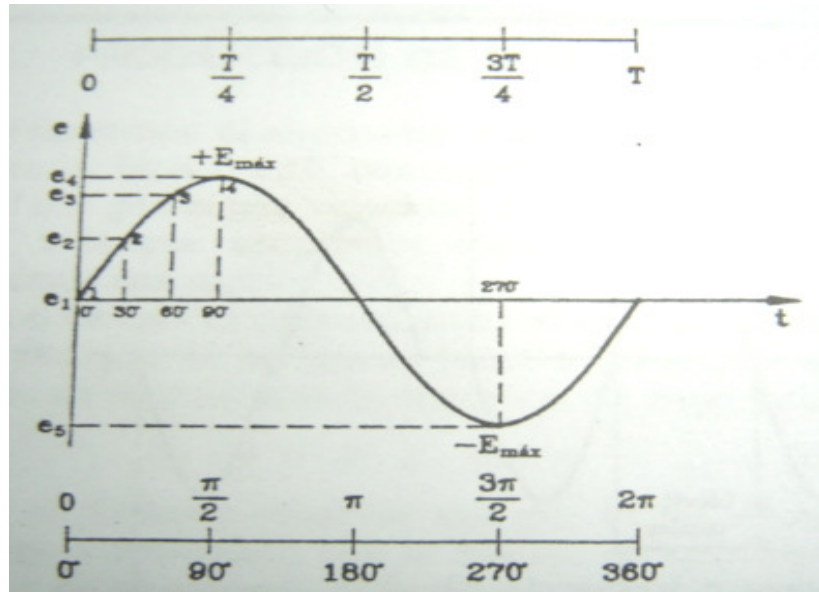


Figura 3.4

Llamamos el **valor máximo** de pico o de cresta de una magnitud variable con el tiempo, al valor que toma la ordenada máxima de dicha magnitud en el intervalo de tiempo considerado. En el caso de lo senoidal el intervalo de tiempo considerado es un periodo como se muestra en la figura 3.5

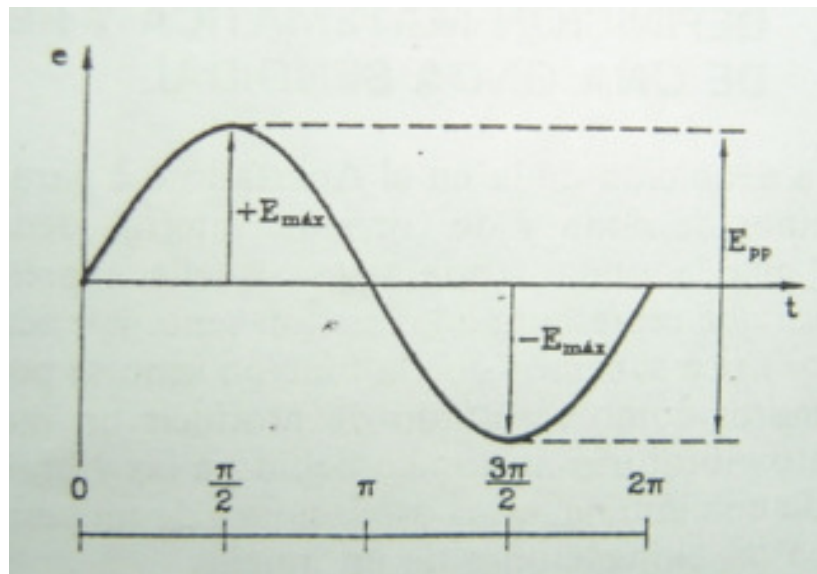


Figura 3.5

El **valor medio** de una onda alterna senoidal pura es cero, dado que la semionda positiva es igual y de signo contrario a la semionda negativa. De ahí que el valor medio se refiera a una semionda tal y como se indica en la figura 3.

El valor medio de una senoide simétrica se define como la media algebraica de los valores instantáneos durante un semiperiodo.

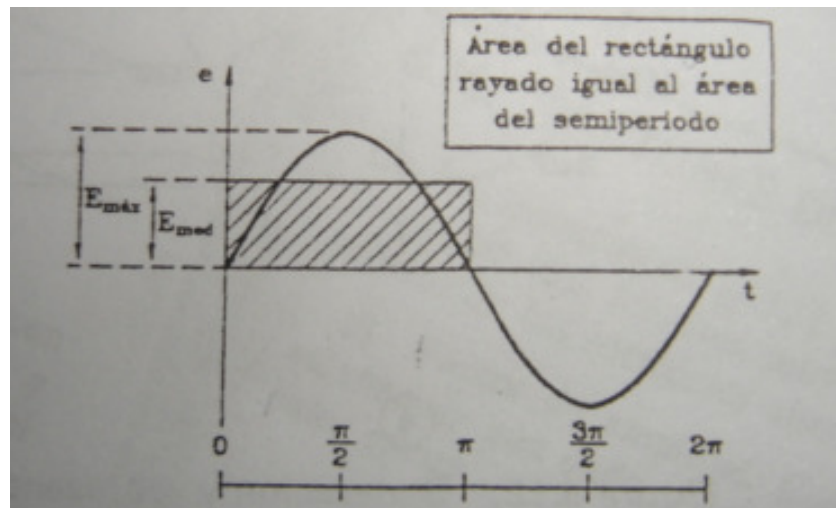


Figura 3.6

El **valor eficaz** es un valor característico de la intensidad de la corriente eléctrica y se define como aquel valor que llevado a corriente continua nos produce los mismos efectos caloríficos.

En la literatura inglesa se conoce como rms (valor medio cuadrático).

En general, el valor eficaz de una magnitud variable en función del tiempo se define como la raíz cuadrada de la media de los cuadrados de los valores instantáneos alcanzados durante un periodo o ciclo completo.

3.4 CONDENSADOR ^[11*]

En electricidad y electrónica, un **condensador**, a veces denominado incorrectamente con el anglicismo *capacitor*, es un dispositivo formado por dos conductores o armaduras, generalmente en forma de placas o láminas separados por un material dieléctrico, que, sometidos a una diferencia de potencial (d.d.p.) adquieren una determinada carga eléctrica.

A esta propiedad de almacenamiento de carga se le denomina capacidad o capacitancia. En el Sistema internacional de unidades se mide en Faradios (F), siendo 1 faradio la capacidad de un condensador en el que, sometidas sus armaduras a una d.d.p. de 1 voltio, éstas adquieren una carga eléctrica de 1 culombio.

La capacidad de 1 faradio es mucho más grande que la de la mayoría de los condensadores, por lo que en la práctica se suele indicar la capacidad en micro- $\mu\text{F} = 10^{-6}$, nano- $\text{F} = 10^{-9}$ o pico- $\text{F} = 10^{-12}$ -faradios. Los condensadores obtenidos a partir de supercondensadores (EDLC) son la excepción. Están hechos de carbón activado para

conseguir una gran área relativa y tienen una separación molecular entre las "placas". Así se consiguen capacidades del orden de cientos o miles de faradios. Uno de estos condensadores se incorpora en el reloj Kinetic de Seiko, con una capacidad de 1/3 de Faradio, haciendo innecesaria la pila. También se está utilizando en los prototipos de automóviles eléctricos.

El valor de la capacidad viene definido por la fórmula siguiente:

$$C = \frac{Q}{V} \quad (3.5)$$

donde:

C: Capacitancia

Q: Carga eléctrica

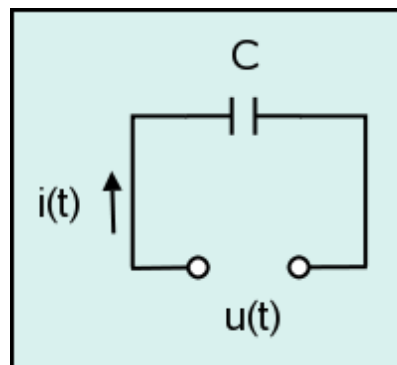
V: Diferencia de potencial

En cuanto al aspecto constructivo, tanto la forma de las placas o armaduras como la naturaleza del material dieléctrico es sumamente variable. Existen condensadores formados por placas, usualmente de aluminio, separadas por aire, materiales cerámicos, mica, poliéster, papel o por una capa de óxido de aluminio obtenido por medio de la electrolisis.

Energía almacenada:

El condensador almacena energía eléctrica en forma de campo eléctrico cuando aumenta la diferencia de potencial en sus terminales, devolviéndola cuando ésta disminuye.

Comportamientos ideal y real:



Circuito con condensador
Figura 3.7

El condensador ideal de la figura 3.7 puede definirse a partir de la siguiente ecuación diferencial:

$$i(t) = C \frac{du(t)}{dt} \quad (3.6)$$

donde:

C es la capacidad

$u(t)$ es la función diferencia de potencial aplicada a sus bornes

$i(t)$ la intensidad resultante que circula.

Comportamiento en corriente continua:

Un condensador real en CC se comporta prácticamente como uno ideal, esto es, como un circuito abierto. Esto es así en régimen permanente ya que en régimen transitorio, esto es, al conectar o desconectar un circuito con condensador, suceden fenómenos eléctricos transitorios que inciden en la d.d.p. en sus bornes (ver circuitos serie RL y RC).

Comportamiento en corriente alterna:

En CA, un condensador ideal ofrece una resistencia al paso de la corriente que recibe el nombre de reactancia capacitiva, X_C , cuyo valor viene dado por la inversa del producto de la pulsación ω por la capacidad, C :

$$\omega = 2\pi f \quad X_C = \frac{1}{\omega C} \quad (3.7)$$

Si la pulsación está en radianes por segundo (rad/s) y la capacidad en faradios (F) la reactancia resultará en ohmios.

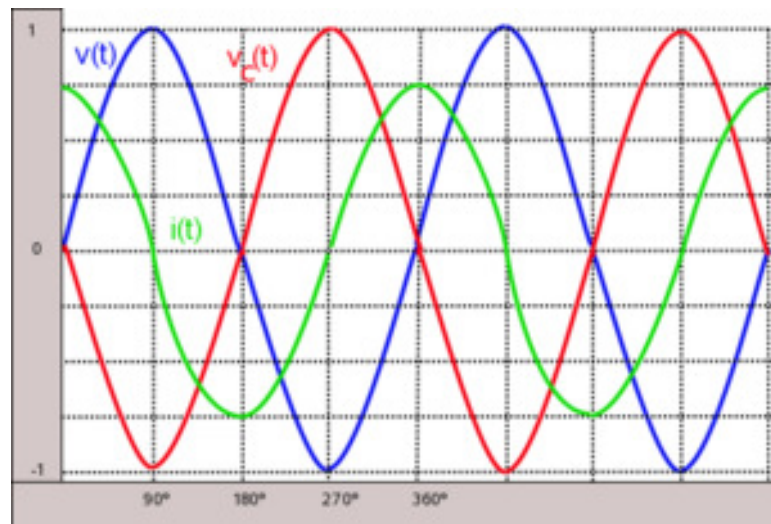


Diagrama cartesiano de las tensiones y corriente en un condensador. [10.*]

Figura 3.8

Al conectar una CA senoidal $v(t)$ a un condensador circulará una corriente $i(t)$, también senoidal, que lo cargará, originando en sus bornes una caída de tensión, $-v_c(t)$, cuyo valor absoluto puede demostrarse que es igual al de $v(t)$. Al decir que por el condensador "circula" una corriente, se debe puntualizar que, en realidad, dicha corriente

nunca atraviesa su dieléctrico. Lo que sucede es que el condensador se carga y descarga al ritmo de la frecuencia de $v(t)$, por lo que la corriente circula externamente entre sus armaduras.

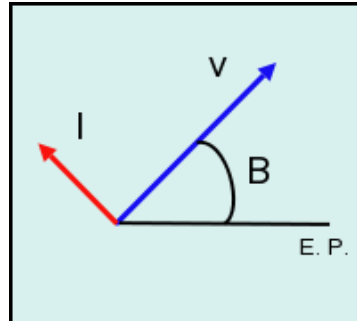


Diagrama fasorial
Figura 3.9

El fenómeno físico del comportamiento del condensador en CA podemos observarlo en la figura 3.9. Entre los 0° y los 90° $i(t)$ va disminuyendo desde su valor máximo positivo a medida que aumenta su tensión de carga $v_c(t)$, llegando a ser nula cuando alcanza el valor máximo negativo a los 90° , puesto que la suma de tensiones es cero ($v_c(t) + v(t) = 0$) en ese momento. Entre los 90° y los 180° $v(t)$ disminuye, y el condensador comienza a descargarse, disminuyendo por lo tanto $v_c(t)$. En los 180° el condensador está completamente descargado, alcanzando $i(t)$ su valor máximo negativo. De los 180° a los 360° el razonamiento es similar al anterior.

De todo lo anterior se deduce que la corriente queda adelantada 90° respecto de la tensión aplicada. Consideremos por lo tanto, un condensador C, como el de la figura 3.9, al que se aplica una tensión alterna de valor:

$$u(t) = V_0 * \text{sen}(wt + \beta) \quad (3.8)$$

De acuerdo con la ley de Ohm circulará una corriente alterna, adelantada 90° ($\pi / 2$) respecto a la tensión aplicada, de valor:

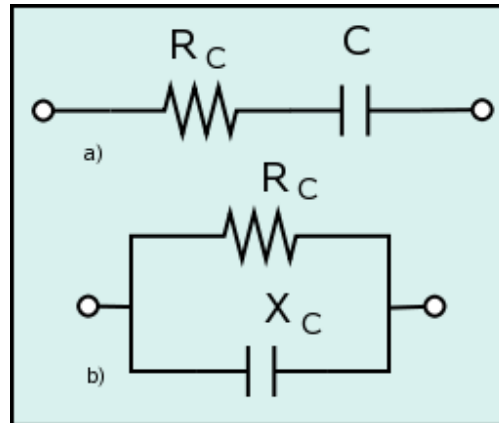
$$i(t) = \frac{u(t)}{R} = I_0 * \text{sen}(wt + \beta + \frac{\pi}{2}) \quad (3.9)$$

donde:

$$I_0 = \frac{V_0}{X_C} \quad (3.10)$$

Si se representa el valor eficaz de la corriente obtenida en forma polar:

$$\underline{I} = I \angle \beta + 90^\circ \quad (3.11)$$



Circuitos equivalentes de un condensador en CA.

Figura 3.10

Y operando matemáticamente:

$$\rho = \frac{V}{X_C} \left| \frac{\beta + 90^\circ}{\beta - 90^\circ} \right| = \frac{V|\beta|}{X_C| - 90^\circ|} \quad (3.12)$$

Por lo tanto, en los circuitos de CA, un condensador ideal se puede asimilar a una magnitud compleja sin parte real y parte imaginaria negativa:

$$\tilde{X}_L = 0 - X_{C,j} = X_C \angle -90^\circ \quad (3.13)$$

3.4.1 ASOCIACION DE CONDENSADORES

Al igual que las resistencias, los condensadores pueden asociarse en serie, paralelo, serie o de forma mixta.

- **Elementos en serie:**

Este tipo de asociación, tiene su forma elemental según se observa la figura 3.11



Asociación serie general.

Figura 3.11

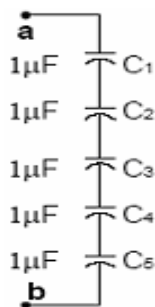
En estos casos, la capacidad equivalente resulta ser:

$$\frac{1}{C_{AB}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_{21}} + \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4} + \dots + \frac{1}{C_n} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{C_k} \quad (3.14)$$

Para poder entender mejor este tipo de asociación presentamos un ejemplo de la siguiente manera:

Ejemplo:

En el siguiente gráfico se encuentran 5 condensadores conectados en serie, hallar el valor equivalente de los 5 condensadores.



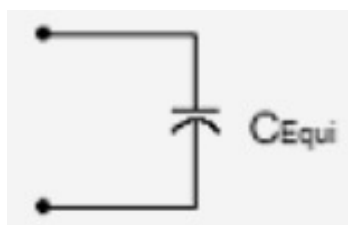
Solución:

$$\frac{1}{C_{equiv}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4} + \frac{1}{C_5}$$

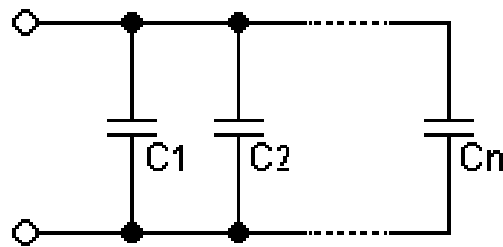
$$\frac{1}{C_{equiv}} = \frac{1}{1 * 10^{-6}} + \frac{1}{1 * 10^{-6}} + \frac{1}{1 * 10^{-6}} + \frac{1}{1 * 10^{-6}} + \frac{1}{1 * 10^{-6}}$$

$$\frac{1}{C_{equiv}} = 0.2 \mu F$$

Entonces la figura equivalente del circuito será la que se muestra en la figura:



- Elementos en paralelo:



Asociación paralelo general.

Figura 3.12

Para la asociación en paralelo se tendrá la siguiente ecuación:

$$C_{AB} = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + + C_n = \sum_{k=1}^n C_k \quad (3.15)$$

Para la asociación mixta se procederá de forma análoga que con las resistencias.

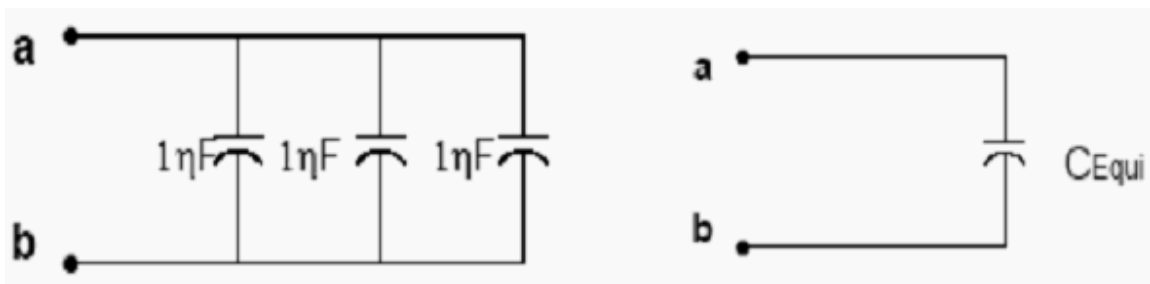
Aplicaciones típicas

Los condensadores suelen usarse para:

- Baterías, por su cualidad de almacenar energía
- Memorias, por la misma cualidad
- Filtros
- Adaptación de impedancias, haciéndoles resonar a una frecuencia dada con otros componentes
- De modular AM, junto con un diodo

Ejemplo:

En el gráfico que se muestra a continuación se desea reemplazar los 3 condensadores que se encuentran en paralelo por una sola, ¿qué valor tendrá ese capacitor?.



La solución será:

$$\begin{aligned}C_{Equiv} &= C_1 + C_2 + C_3 \\C_{Equiv} &= 1\eta F + 1\eta F + 1\eta F \\C_{Equiv} &= 3\eta F \\C_{Equiv} &= 0.003\mu F\end{aligned}$$

3.5 BOBINAS

Un **inductor** o **bobina** es un componente pasivo de un circuito eléctrico que, debido al fenómeno de la autoinducción, almacena energía en forma de campo magnético.

Un inductor está constituido usualmente por una bobina de material conductor, típicamente cable de cobre. Existen inductores con núcleo de aire o con núcleo de un material ferroso no magnético, para incrementar su inductancia.

Los inductores pueden también estar contruidos en circuitos integrados, usando el mismo proceso utilizado para realizar microprocesadores. En estos casos se usa, comúnmente, el aluminio como material conductor. Sin embargo, es raro que se construyan inductores dentro de los circuitos integrados; es mucho más práctico usar un circuito llamado "girador" que, mediante un amplificador operacional, hace que un condensador se comporte como si fuese un inductor.

También pueden fabricarse pequeños inductores, que se usan para frecuencias muy altas, con un conductor pasando a través de un cilindro de ferrita o granulado.

La bobina almacena energía eléctrica en forma de campo magnético cuando aumenta la intensidad de corriente, devolviéndola cuando ésta disminuye. Matemáticamente se puede demostrar que la energía, \mathcal{E} , almacenada por una bobina con inductancia L , que es recorrida por una corriente de intensidad I , viene dada por:

$$\mathcal{E} = \frac{1}{2}LI^2 \quad (3.16)$$

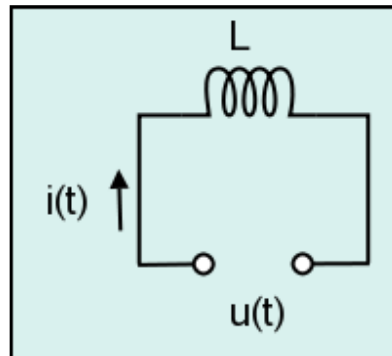
Fuerza electromotriz autoinducida

Una variación de la intensidad de corriente ($i(t) = \Delta I / \Delta t$) dará como resultado una variación del campo magnético y, por lo mismo, un cambio en el flujo que está atravesando el circuito. De acuerdo con la Ley de Faraday, un cambio del flujo, origina una fuerza electromotriz autoinducida. Esta fuerza electromotriz, de acuerdo con la Ley de Lenz, se opondrá a la causa que lo origina, esto es, la variación de la corriente eléctrica, por ello suele recibir el nombre de fuerza contra electromotriz. y viene dado por la ecuación 3.17

$$E = -\frac{d\phi}{dt} = -L\frac{di}{dt} \quad (3.17)$$

donde: el signo menos indica que se opone a la causa que lo origina.

Comportamientos ideal y real



Circuito con inductancia.
Figura 3.13

La bobina ideal puede definirse a partir de la siguiente ecuación:

$$u(t) = L \frac{di}{dt} \quad (3.18)$$

donde:

L es la inductancia,

u(t) es la función diferencia de potencial aplicada a sus bornes

i(t) la intensidad resultante que circula.

Comportamiento en corriente continua:

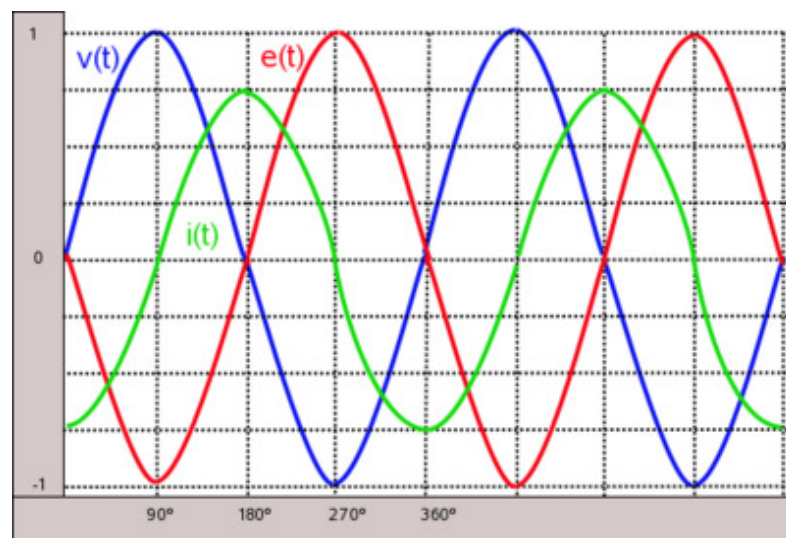


Diagrama cartesiano de las tensiones y corriente en una bobina.^{10.}*

Figura 3.12

Una bobina ideal en CC se comporta como un cortocircuito (conductor ideal) mientras que la real se comporta como una resistencia cuyo valor R_L será el de su devanado. Esto es así en régimen permanente ya que en régimen transitorio, esto es, al conectar o desconectar un circuito con bobina, suceden fenómenos electromagnéticos que inciden sobre la corriente (ver circuitos serie RL y RC).

Comportamiento en corriente alterna

En CA, una bobina ideal ofrece una resistencia al paso de la corriente que recibe el nombre de **reactancia inductiva**, X_L , cuyo valor viene dado por el producto de la pulsación ω ($\omega = 2\pi f$) por la inductancia, L :

$$\omega = 2\pi f ; X_L = \omega L \quad (3.19)$$

Si la pulsación está en radianes por segundo (rad/s) y la inductancia en henrios (H) la reactancia resultará en ohmios.

Al conectar una CA senoidal $v(t)$ a una bobina aparecerá una corriente $i(t)$, también senoidal, esto es, variable, por lo que, como se comentó más arriba, aparecerá una fuerza contraelectromotriz, $-e(t)$, cuyo valor absoluto puede demostrarse que es igual al de $v(t)$. Por tanto, cuando la corriente $i(t)$ aumenta, $e(t)$ disminuye para dificultar dicho aumento; análogamente, cuando $i(t)$ disminuye, $e(t)$ aumenta para oponerse a dicha disminución. Esto puede apreciarse en el diagrama de la figura 3.12. Entre 0° y 90° la curva $i(t)$ es negativa, disminuyendo desde su valor máximo negativo hasta cero, observándose que $e(t)$ va aumentando hasta alcanzar su máximo negativo.

Entre 90° y 180° , la corriente aumenta desde cero hasta su valor máximo positivo, mientras $e(t)$ disminuye hasta ser cero. Desde 180° hasta los 360° el razonamiento es similar al anterior.

Dado que la tensión aplicada, $v(t)$ es igual a $-e(t)$, o lo que es lo mismo, está desfasada 180° respecto de $e(t)$, resulta que la corriente $i(t)$ queda retrasada 90° respecto de la tensión aplicada. Consideremos por lo tanto, una bobina L , como la de la figura 3.13, a la que se aplica una tensión alterna de valor:

$$u(t) = V_0 * \text{sen}(\omega t + \beta) \quad (3.20)$$

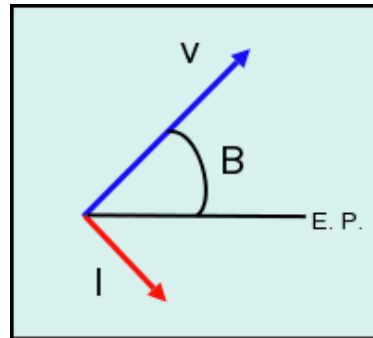


Diagrama fasorial.
Figura 3.13

De acuerdo con la ley de Ohm circulará una corriente alterna, retrasada 90° ($\pi / 2$) respecto a la tensión aplicada, de valor:

$$i(t) = \frac{u(t)}{R} = I_0 * \text{sen}\left(\omega t + \beta - \frac{\pi}{2}\right) \quad (3.21)$$

donde :

$$I_0 = \frac{V_0}{X_L} .$$

Si se representa el valor eficaz de la corriente obtenida en forma polar:

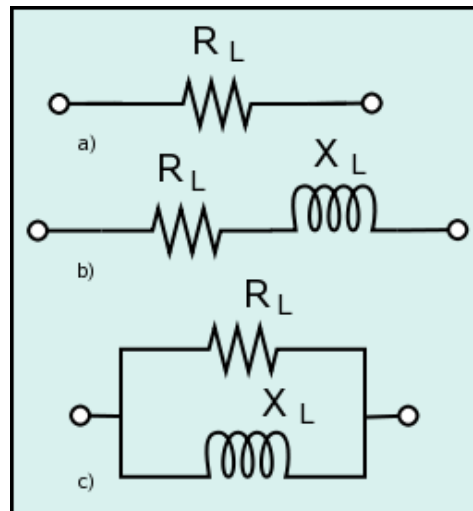
$$\underline{\overset{p}{I}} = I \left| \beta - 90^\circ \right. \quad (3.22)$$

Y operando matemáticamente:

$$\underline{\overset{p}{I}} = \frac{V}{X_L} \left| \beta - 90^\circ \right. = \frac{V}{X_L} \left| \underline{\beta} \right. \left| \underline{90^\circ} \right. \quad (3.23)$$

Por lo tanto, en los circuitos de CA, una bobina ideal se puede asimilar a una magnitud compleja sin parte real y parte imaginaria positiva:

$$\underline{\overset{p}{X}}_L = 0 + X_{Lj} = X_L \left| \underline{90^\circ} \right. \quad (3.24)$$



Circuitos equivalentes de una bobina real en CC, a), y en CA, b) y c).

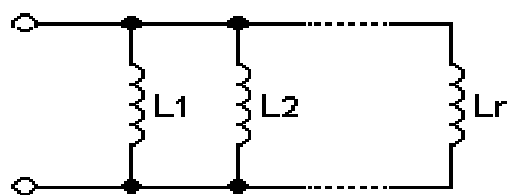
Figura 3.14

En la bobina real, habrá que tener en cuenta la resistencia de su bobinado, R_L , pudiendo ser su circuito equivalente o modelo, el que aparece en el gráfico b) o c) de la figura 3.14 dependiendo del tipo de bobina o frecuencia de funcionamiento, aunque para análisis más precisos pueden utilizarse modelos más complejos que los anteriores.

Asociaciones comunes



Asociación serie general.



Asociación paralelo general.

Al igual que las resistencias, las bobinas pueden asociarse en serie, paralelo o de forma mixta. En estos casos, y siempre que no exista acoplamiento magnético, la inductancia equivalente para la asociación serie vendrá dada por:

$$L_{AB} = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + \dots + C_n = \sum_{k=1}^n L_k \quad (3.25)$$

y para la paralelo:

$$L_{AB} = \frac{1}{\sum_{k=1}^n \frac{1}{L_K}} \quad (3.26)$$

Para la asociación mixta se procederá de forma análoga que con las resistencias. Si se requiere una mayor comprensión del comportamiento reactivo de un inductor, es conveniente entonces analizar detalladamente la "Ley de Lenz" y comprobar de esta forma como se origina una reactancia de tipo inductiva, la cual nace debido a una oposición que le presenta el inductor o bobina a la variación de flujo magnético. En otras palabras, si en un inductor de núcleo metálico, el cual mediante líneas de fuerza magnética, mueve dicho núcleo en un sentido y mediante un método mecánico, intento mover este núcleo en igual dirección pero sentido opuesto; entonces estará modificando las líneas de campo por lo tanto modificare indirectamente la circulación de la corriente ya que el sentido de circulación de esta ultima depende del sentido de circulación de las líneas de campo.

En conclusión, estaremos generando en forma artificial un fenómeno de reactancia inductiva.

3.6 CIRCUITOS MONOFÁSICOS ^[22]

3.6.1 CIRCUITOS RL EN SERIE

Un circuito inductivo es aquel que tiene una impedancia de la forma $Z = R + jX_L$ ohmios (Ω).

La intensidad esta limitada por la impedancia Z , en función de los valores que tomen R y X_L . Si al circuito RL de la figura 3.15 aplicamos la segunda ley de kirchhoff o de las tensiones, para el convenio de signos la ecuación resulta.

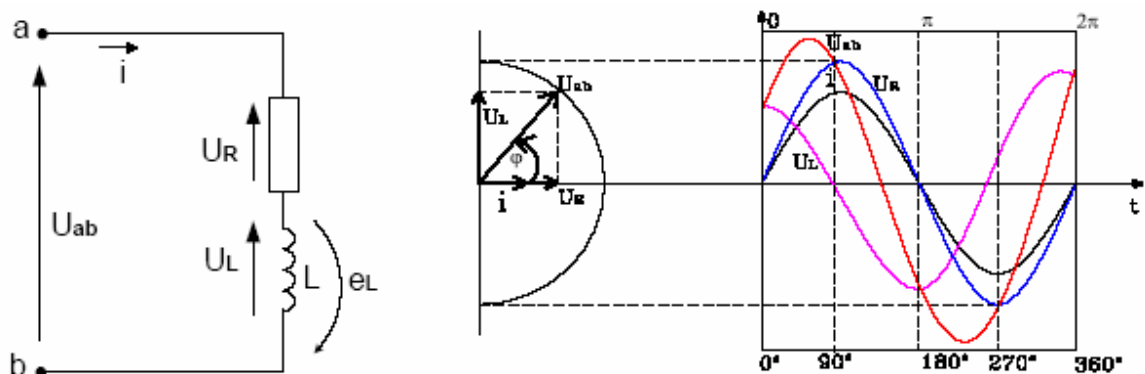


Figura 3.15

3.6.1.1 RESOLUCION DEL CIRCUITO RL MEDIANTE TRIGONOMETRÍA ^[7]

En este caso trabajamos con los segmentos de los lados de los triángulos rectángulos de impedancias y potencias indicadas en la figura 3.16 a los que les aplicamos la ley de ohm mediante la formula.

$$I = \frac{U}{Z} \quad \text{Intensidad que absorbe el circuito} \quad (3.27)$$

$$I_R = \frac{U_R}{R} \quad \text{Componente activa de la intensidad} \quad (3.28)$$

$$I_L = \frac{U_L}{X_L} \quad \text{Componente reactiva de la intensidad} \quad (3.29)$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} \quad \text{Impedancia} \quad (3.30)$$

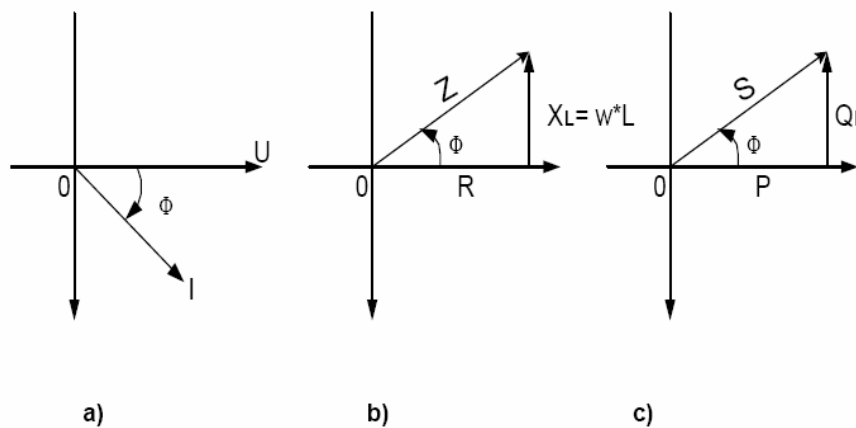


Figura 3.16

En la figura 3.16 se pueden observar tres diagramas vectoriales de un circuito RL :
a) de tensión e intensidad b) triangulo de impedancia, c) triangulo de potencia

$$X_L = W * L = 2\pi * f * L \quad \text{Reactancia inductiva} \quad (3.31)$$

$$X_L = Z * \text{sen}\phi \quad (3.32)$$

$$\cos\phi = \frac{R}{Z} = \frac{P}{S} \quad \text{Factor de Potencia} \quad (3.33)$$

$$S = U * I = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad \text{Potencia aparente} \quad (3.34)$$

$$P = U * I * \cos\phi = R * I^2 \quad \text{Potencia activa} \quad (3.35)$$

$$Q = U * I * \text{sen} \phi = X_L * I^2 \quad \text{Potencia reactiva} \quad (3.36)$$

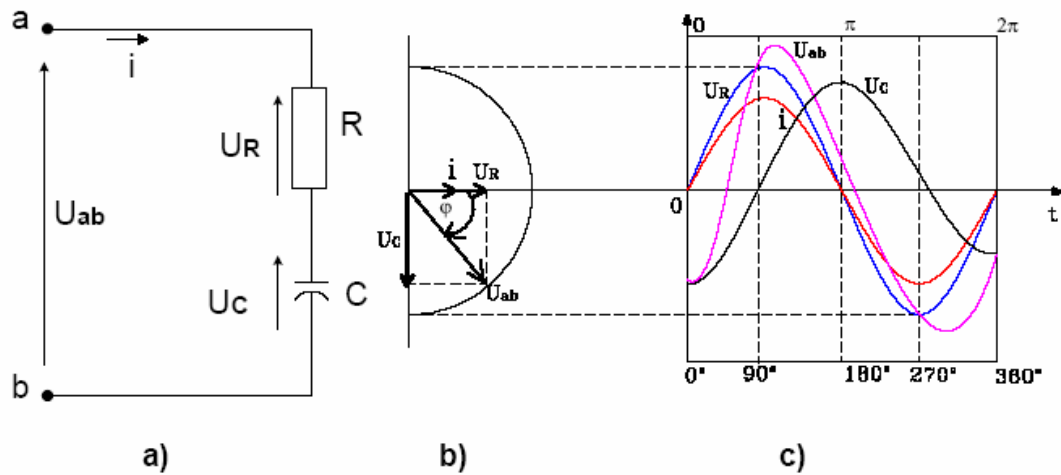
3.6.2 CIRCUITO RC EN SERIE. ^[7]

Un circuito capacitivo es aquel que tiene una impedancia de la forma

$$Z = R + jX_c \quad (3.37)$$

La intensidad esta limitada por la impedancia Z en función de los valores que tomen R y X_C .

Si en el circuito RC de la figura 3.17 aplicamos la segunda ley de kirchhoff o de las tensiones para el convenio de signos establecidos la ecuación que resulta es.



Circuito capacitivo a) Esquemas

b) Diagrama Vectorial

c) Representación Cartesiana

Figura 3.17

$$U_{ab} - U_c - i * R = 0 \quad (3.38)$$

$$U_{ab} = U_c + i * R = U_c + U_R \quad (3.39)$$

3.6.2.1 RESOLUCIÓN DEL CIRCUITO RC MEDIANTE TRIGONOMETRÍA.

En este caso trabajamos con los segmentos de los lados de los triángulos rectángulos de impedancias y potencias indicadas en la figura 3.18, a los que les aplicamos la ley de ohm mediante la formula.

$$I = \frac{U}{Z} \quad \text{Intensidad que absorbe el circuito} \quad (3.40)$$

$$I_R = \frac{U_R}{R} \quad \text{Componente activa de la intensidad} \quad (3.41)$$

$$I_C = \frac{U_C}{X_C} \quad \text{Componente reactiva de la intensidad} \quad (3.42)$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} \quad \text{Impedancia} \quad (3.43)$$

$$R = Z * \cos \phi \quad \text{Resistencia} \quad (3.44)$$

$$X_C = \frac{1}{W * C} = \frac{1}{2 * \pi * f * C} \quad \text{Reactancia capacitiva} \quad (3.45)$$

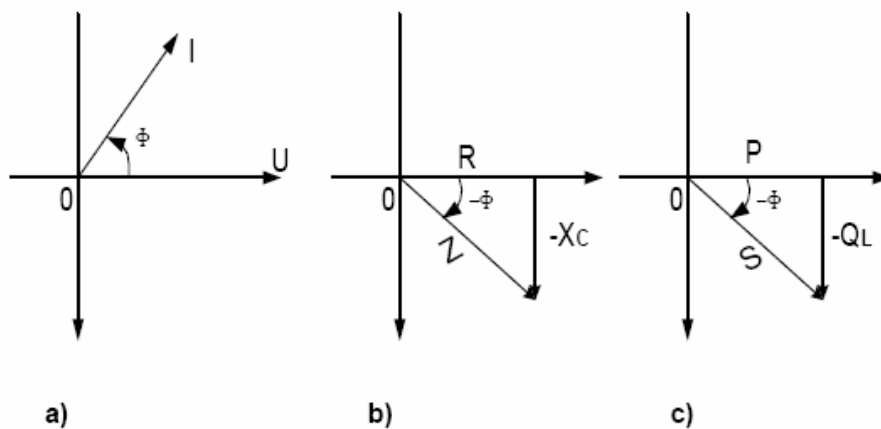
$$X_C = Z * \sin(-\phi) \quad (3.22.1)$$

$$\phi = \arctg\left(\frac{-1}{W * C * R}\right); \cos(-\phi) \quad \text{Factor de potencia} \quad (3.46)$$

$$S = U * I = \sqrt{P^2 + Q_C^2} \quad \text{Potencia aparente} \quad (3.47)$$

$$P = U * I * \cos \phi = R * I^2 \quad \text{Potencia activa} \quad (3.48)$$

$$Q = U * I * \sin(-\phi) = -X_C * I^2 \quad \text{Potencia reactiva} \quad (3.49)$$



Diagramas vectoriales de un circuito RL: a) De tensión e intensidad.
B) triangulo de impedancia.
C) triangulo de potencia

Figura 3.18

3.6.3 CIRCUITO SERIE RLC. ^[7]

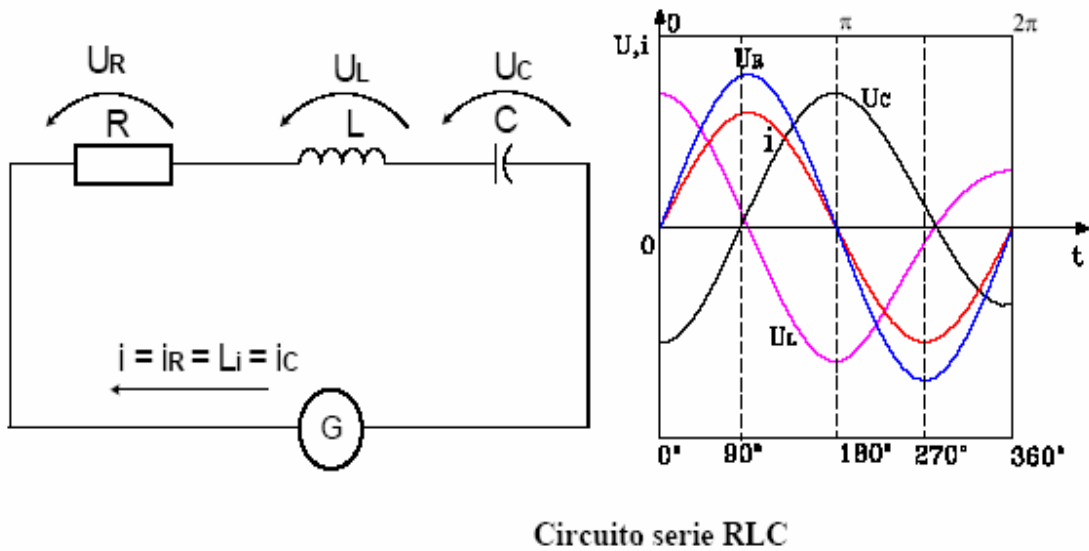


Figura 3.19

$$X_C = \frac{1}{W * C} = \frac{1}{2 * \pi * f * C} \quad \text{Reactancia capacitiva} \quad (3.50)$$

$$X_L = W * L = 2 * \pi * f * L \quad \text{Reactancia inductiva} \quad (3.51)$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_C - X_L)^2} \quad \text{Impedancia cuando } X_C \supset X_L \quad (3.52)$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad \text{Impedancia cuando } X_L \supset X_C \quad (3.53)$$

$$i = \frac{U_{ab}}{Z} \quad (3.54)$$

$$U_c = i * X_c \quad (3.55)$$

$$U_L = i * X_L \quad (3.56)$$

$$U_R = i * X_R \quad (3.57)$$

Los tres casos posibles en la conexión en serie de R, L, C. se muestran en la figura 3.20

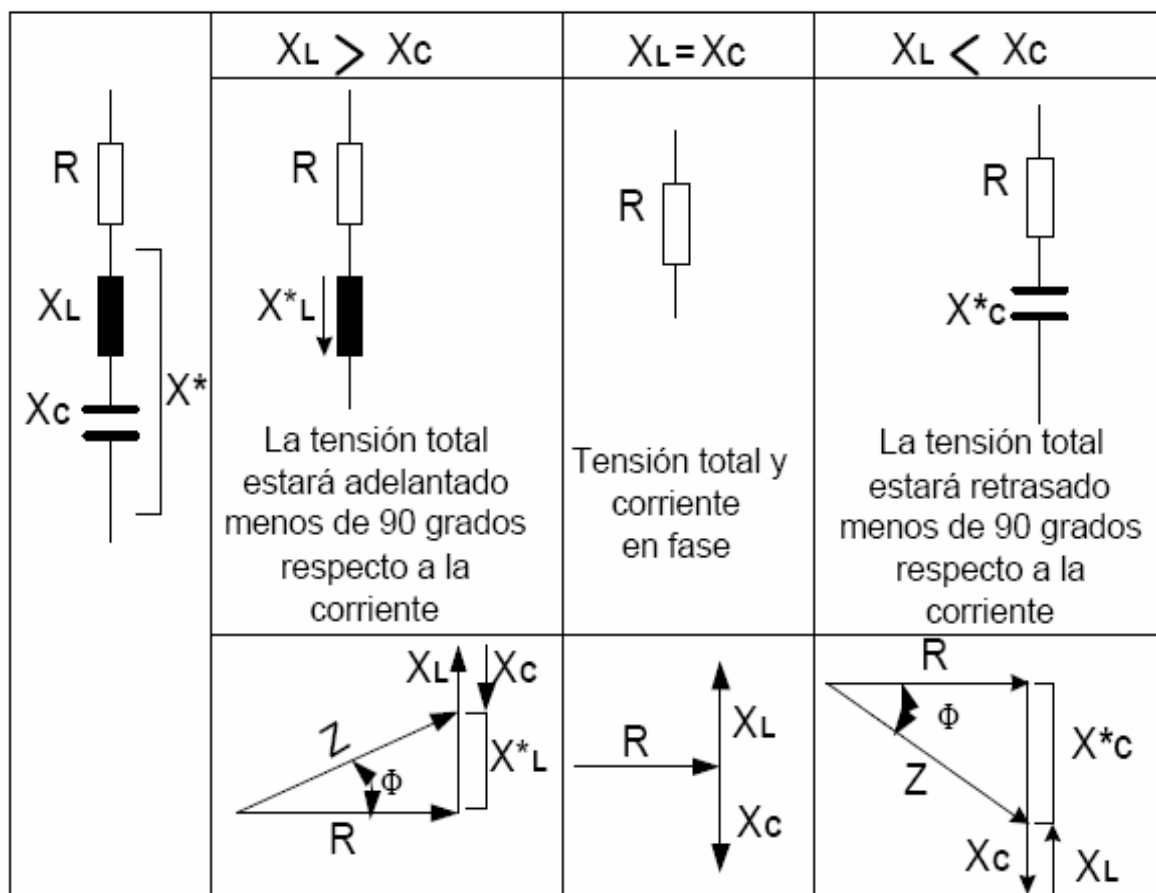


Figura 3.20

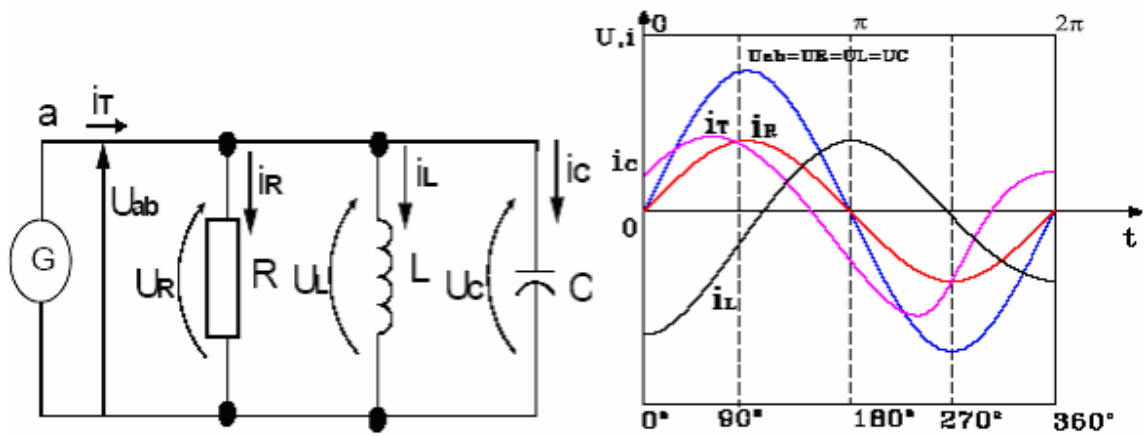
3.6.3.1 CIRCUITO PARALELO RLC. ^[7]

En la conexión de X_L , X_C y R también podemos distinguir los tres casos siguientes

$$X_L > X_C$$

$$X_L = X_C$$

$$X_L < X_C$$



Circuito paralelo RLC

Figura 3.21

$$X_C = \frac{1}{W * C} = \frac{1}{2 * \pi * f * C} \quad \text{reactancia capacitiva} \quad (3.58)$$

$$X_L = W * L = 2 * \pi * f * L \quad \text{reactancia inductiva} \quad (3.59)$$

$$\frac{1}{Z} = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C} \right)^2} \quad (3.60)$$

impedancia cuando $X_L < X_C$

$$\frac{1}{Z} = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{X_C} - \frac{1}{X_L} \right)^2} \quad (3.61)$$

impedancia cuando $X_L > X_C$

$$i = \frac{U_{ab}}{Z} \quad (3.62)$$

$$I_C = \frac{1}{X_C} \quad (3.63)$$

$$I_L = \frac{1}{X_L} \quad (3.64)$$

$$I_R = \frac{U}{R} \quad (3.65)$$

$$\text{tg} \phi = \frac{I_C - I_L}{I_R} \quad (3.66)$$

Los tres casos posibles en la conexión en serie de R, L, C. se pueden observar en la figura 3.22

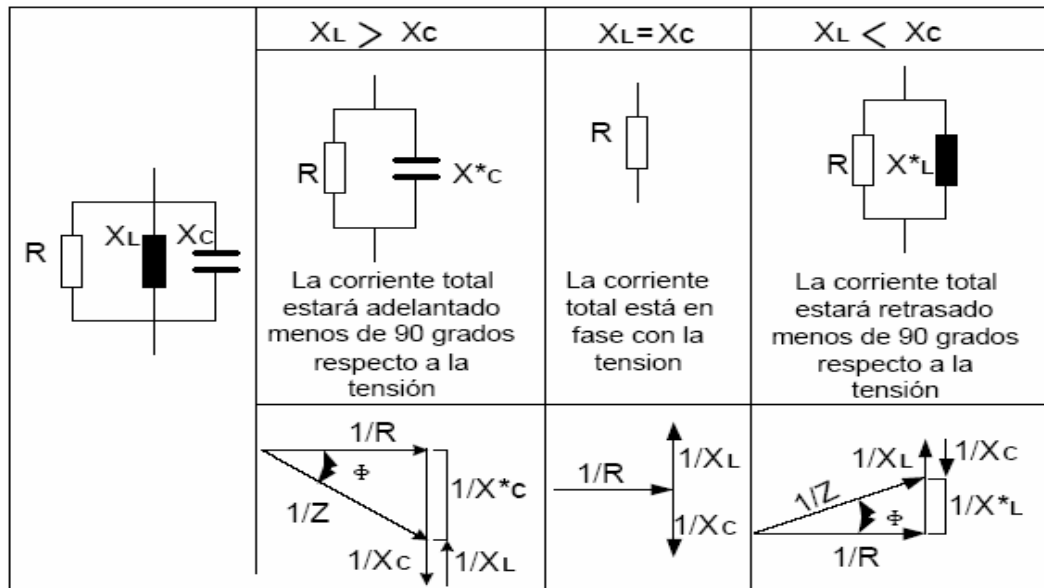
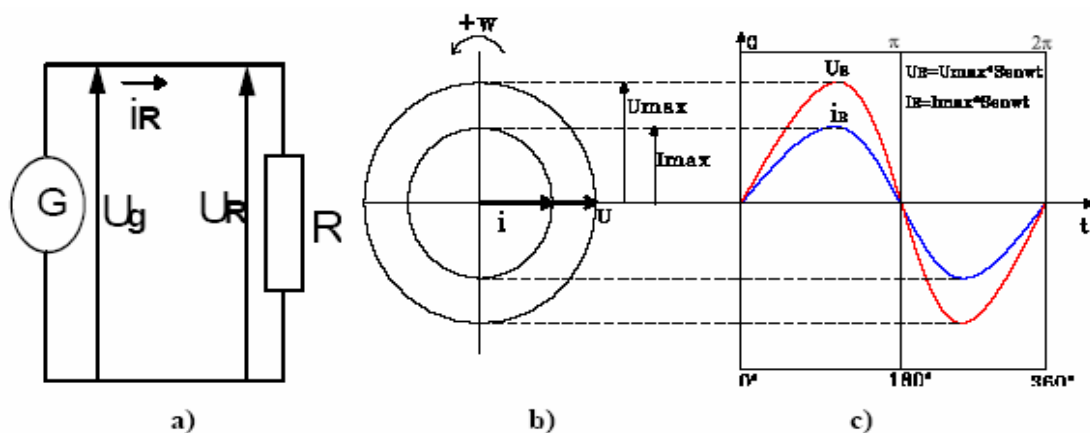


Figura 3.22

3.6.3.2 CIRCUITO CON PARÁMETRO R. ^[7]



circuito resistivo puro: a) Esquema y convenio de signos positivos

b) Diagrama vectorial. C) Diagrama cartesiano de los valores instantáneos.

Figura 3.23

Si a la R del circuito de la figura 3.23 se le aplica una tensión alterna senoidal de la forma: $U_g = U_{Max} * \text{sen}(wt)$, en cada instante nos produce una corriente alterna senoidal que va en fase con dicha tensión que la produce. Por tanto, a esa intensidad óhmica instantánea le corresponde la siguiente expresión matemática:

$$I_R = I_{mak} * \text{Sen}(\omega t) \quad (3.67)$$

Como vemos las dos ondas del diagrama de la figura 3.23 están en fase, son de la misma frecuencia y representan los valores instantáneos de las magnitudes de tensión, UR y de intensidad iR . Si se dividen (UR / iR), se obtienen los valores de la resistencia óhmica, y si se multiplica ($UR * iR$), se obtiene el valor de la potencia instantánea en corriente alterna.

3.6.4 POTENCIA ELÉCTRICA ^[7]

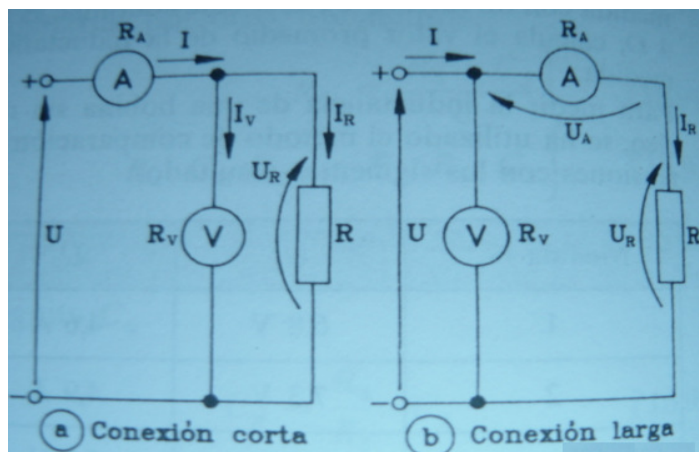
3.6.4.1 MEDIDA DE POTENCIA EN CORRIENTE CONTINUA

La potencia en corriente continua se puede expresar como el producto de la tensión U por la intensidad I

$$P = U * I \quad (3.68)$$

Por tanto, si pretendemos medir la potencia en un circuito de corriente continua, bastara con medir la tensión y la intensidad en el mismo, y efectuar a continuación su producto. Este es un método indirecto de medida; se puede emplear un método directo como la utilización de un vatímetro electrodinámico, aunque esto solo se hace cuando la potencia que se quiere medir tiene muchas fluctuaciones. Vamos a estudiar el método indirecto, puesto que el directo se limita a realizar las conexiones correctas del vatímetro, como se vera en el estudio de la medida de potencia en corriente alterna monofásica.

Las dos posibles conexiones que se pueden realizar en el método indirecto son las indicadas en la figura 3.24, denominadas también conexión corta y conexión larga. La diferencia entre los dos circuitos estriba simplemente en la conexión del voltímetro antes o después del amperímetro. Esta diferencia solo se debe tener en cuenta cuando se trata de medir potencias pequeñas, puesto que, en ese caso, el consumo de los aparatos de medida influirá en los resultados de la medición introduciendo un error.



Medida de potencia en cc.

Figura 3.24

Cuando se utiliza la **conexión corta** como el esquema del circuito de la figura 3.24, las indicaciones de los aparatos de medida son:

- Amperímetro: I
- Voltímetro: U_R .

La indicación del voltímetro coincide con la tensión aplicada al receptor, en cambio la indicación del amperímetro incluye, junto con la intensidad I_R absorbida por el receptor, la intensidad I_V absorbida por el voltímetro, es decir

$$I = I_R + I_V \quad (3.69)$$

Por tanto, la potencia medida será

$$P = U_R * I = U_R * (I_R + I_V) \quad (3.70)$$

Como $I_V = U_R / R_V$, y también $I_R = U_R / R$, la expresión anterior se puede poner como

$$P = U_R * \left(\frac{U_R}{R} + \frac{U_R}{R_V} \right) = \frac{U_R^2}{R} + \frac{U_R^2}{R_V} = P_R + P_V \quad (3.71)$$

siendo P_R la potencia del receptor de resistencia R y P_V la potencia absorbida por el voltímetro de resistencia interna R_V . Es decir, el error cometido se debe a la resistencia interna, R_V , del voltímetro y, por tanto, como la potencia consumida en el mismo es inversamente proporcional a su resistencia, el error disminuirá si se utilizan voltímetros de alta resistencia interna.

Cuando se utiliza la **conexión larga** como el esquema del circuito de la figura 3.24 b, las indicaciones de los aparatos de medida son:

- Amperímetro: I_R
- Voltímetro: U .

La indicación del amperímetro coincide con la intensidad absorbida por el receptor, sin embargo, la indicación del voltímetro incluye, junto con la tensión U_R , en el receptor, la caída de tensión U_A que se produce en la resistencia interna del amperímetro R_A , es decir

$$U = U_A + U_R \quad (3.72)$$

Por tanto, la potencia medida será

$$P = U * I_R = (U_A + U_R) * I_R \quad (3.73)$$

Como la tensión $U_A = I_R * R_A$ y la tensión $U_R = I_R * R$, la expresión anterior se puede poner como

$$P = (I_R * R_A + I_R * R) * I_R = I_R^2 * R_A + I_R^2 * R = P_A + P_R \quad (3.74)$$

Siendo P_R la potencia del receptor de resistencia R y P_A la potencia disipada en la resistencia interna R_A del amperímetro.

Por tanto, el error cometido se debe a la resistencia interna del amperímetro. Como la potencia consumida en el mismo es directamente proporcional a su resistencia interna, el error disminuirá si se emplean amperímetros de baja resistencia.

Cuando se miden potencias pequeñas se pueden plantear dos casos: el primero cuando se mide la potencia consumida por un receptor, y el segundo cuando se mide la potencia suministrada por un generador.

$$1^\circ \text{ caso) } P_R = P - P_A$$

$$2^\circ \text{ caso) } P_G = P - P_V$$

En la realización de medidas industriales, y dado que el consumo de los aparatos de medida es muy pequeño comparado con las potencias que se miden, estos errores se pueden despreciar. No obstante, se pueden minimizar si se tiene la precaución de utilizar el esquema de la figura 3.24 a cuando se mide la potencia de un circuito con tensión pequeña e intensidad grande e inversamente en la Figura 3.24 b..

3.6.4.2 MEDIDA DE POTENCIA EN ca MONOFASICA ^[7]

En corriente alterna, el valor de **potencia activa** viene condicionado por el desfase que normalmente hay entre la intensidad y la tensión. Por este motivo, el método de medir la potencia con un voltímetro y un amperímetro, como en corriente continua, no es valido nada mas que para aquellos casos en los que la tensión e intensidad están en fase. En los demás casos tenemos que determinar las tres potencias.

Potencia activa

$$P = U * I * \cos \varphi \quad (3.75)$$

Potencia reactiva

$$Q = U * I * \sin \varphi \quad (3.76)$$

Potencia aparente

$$S = U * I \quad (3.77)$$

Dependiendo de las necesidades, será necesario medir la potencia activa, la potencia reactiva o las tres potencias. Para la medida de **potencia activa** se utiliza el método directo utilizando un vatímetro, para la **potencia aparente** bastara con medir la tensión y la intensidad, mientras que la **potencia reactiva** se puede medir directamente con un varmetro o indirectamente midiendo la potencia activa aparente y efectuando operaciones.

Medida de potencia activa con vatímetro ^[7]

Los vatímetros mas empleados utilizan el sistema de medida electrodinámico con y sin núcleo, que, dispone de dos bobinas de medida, una fija y otra móvil. La bobina fija se conecta en serie con el receptor R, de manera que la corriente I que circula por el circuito pasa a través de ella; esta bobina es la bobina de intensidad. La bobina móvil se conecta en paralelo con el receptor y es recorrida por una corriente proporcional a la tensión U aplicada; esta bobina es la tensión.

Se puede demostrar que la desviación α de la bobina móvil (bobina de tensión) y, por tanto, de la aguja indicadora, es proporcional a la potencia activa P del receptor, es decir

$$\alpha = K * U * I * \cos \varphi = K * P \quad (3.78)$$

donde K es una constante que depende de las características constructivas del vatímetro. Por tanto, el vatímetro mide directamente la potencia activa de un circuito de corriente alterna monofásico.

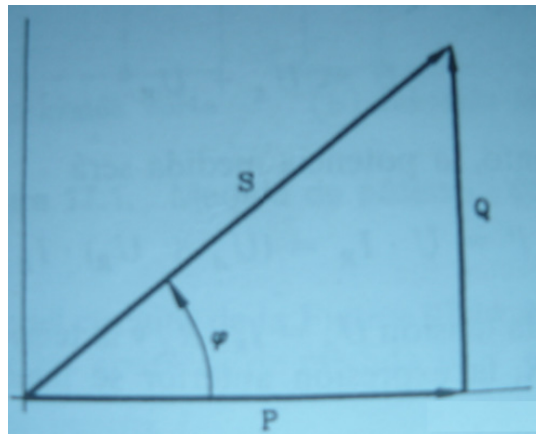


Diagrama de potencias elementales en ca. ^[7]
Figura 3.25

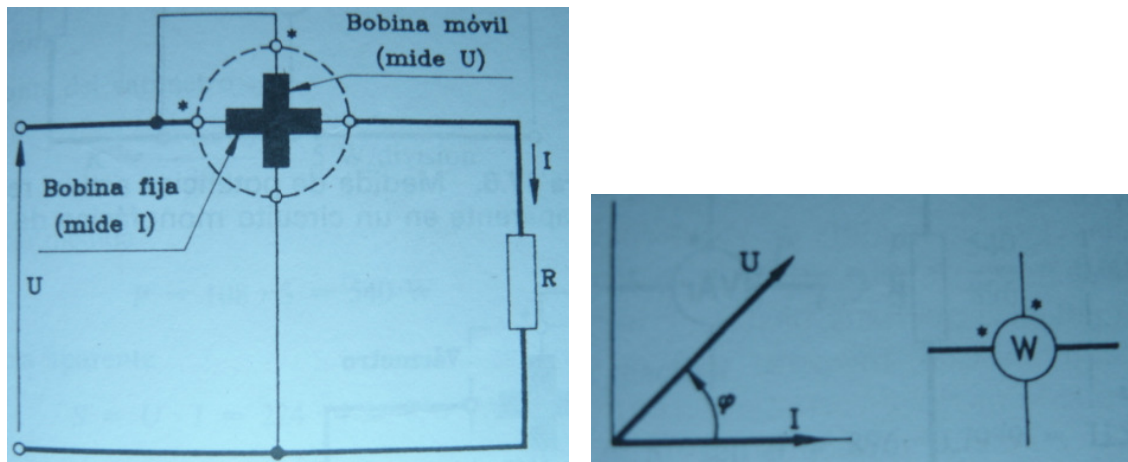
Medida de potencia reactiva con vármetro

Un vármetro (también conocido como varímetro) es un aparato que indica directamente la potencia reactiva, es decir, que mide

$$Q = U * I * \sin \varphi \quad (3.79)$$

Luego en un vármetro, la desviación α de la aguja tiene que ser proporcional a

$$\alpha = K * U * I * \sin \varphi \quad (3.80)$$



Esquema de un vatímetro y diagrama de tensión e intensidad. Símbolo del vatímetro
Figura 3.26

El $\text{Sen } \varphi$ se puede expresar también como el $\text{Cos } (90^\circ - \varphi)$. Luego si tomamos un vatímetro y desfasamos 90° la intensidad que pasa por la bobina de tensión, que es proporcional a la intensidad I_V que pasa por la misma, tendremos

$$\alpha = K * U * I * \text{Sen } \varphi \quad (3.81)$$

Expresión que coincide con la de la potencia reactiva. Por tanto, bastara con conseguir que en un vatímetro la intensidad que pasa por la bobina de tensión esté desfasada 90° con respecto a la tensión del circuito, para obtener un vármetro.

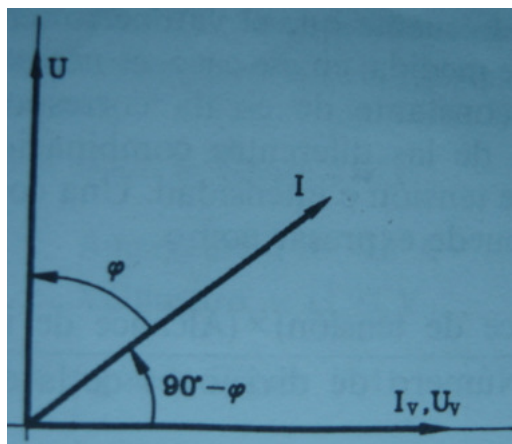


Diagrama vectorial de un vármetro
Figura 3.27

El desfase de 90° se puede conseguir conectando un circuito inductivo o capacitivo, de la manera indicada en la figura anterior. Mediante el ajuste del valor de la resistencia R_s , durante la contrastación del vármetro, se consigue que la intensidad I_V , a través de la bobina de tensión, esté desfasada 90° con respecto a la tensión aplicada al circuito.

3.6.4.3 POTENCIA EN CORRIENTE ALTERNA DE UN CIRCUITO RESISTIVO PURO. ^[7]

$$P = U_R * I_R \quad \textbf{Potencia} \quad (3.82)$$

$$U_R = U_{Max} * \text{sen } \omega t = U_{Max} * \text{sen} \alpha \quad (3.83)$$

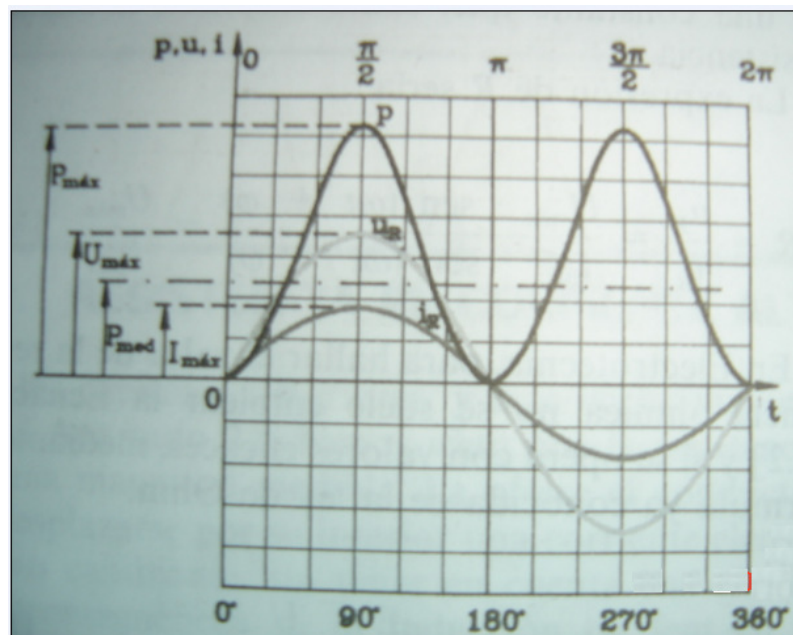
$$I_R = I_{Max} * \text{sen } \omega t = I_{Max} * \text{sen} \alpha \quad (3.84)$$

$$P = U_{Max} * \text{sen } \alpha * I_{Max} * \text{sen } \alpha \quad (3.85)$$

$$P = U_{Max} * I_{Max} * \text{sen}^2 \alpha \quad (3.86)$$

$$P = \frac{U_{Max} * I_{Max}}{2} \quad \textbf{Potencia media} \quad (3.87)$$

La potencia activa instantánea y los valores medios y máximos de la misma se observan en la representación cartesiana de la figura siguiente



Potencia es máxima en el instante en que lo son la tensión y la intensidad.

Figura 3.28

Por otro lado el valor de la potencia media es la mitad que el de la potencia máxima.

Este valor medio de la potencia activa se corresponde con el valor eficaz (P) de la potencia en valores eficaces, que por definición de la ley de Ohm, se expresa mediante la ecuación

$$P = E * I = U * I \text{ (vatios)} \quad (3.88)$$

Por ultimo se observa en la figura 3.28 que la onda de la potencia tiene doble frecuencia que las de tensión e intensidad

3.6.4.4 POTENCIA DE UNA REACTANCIA INDUCTIVA ^[6]

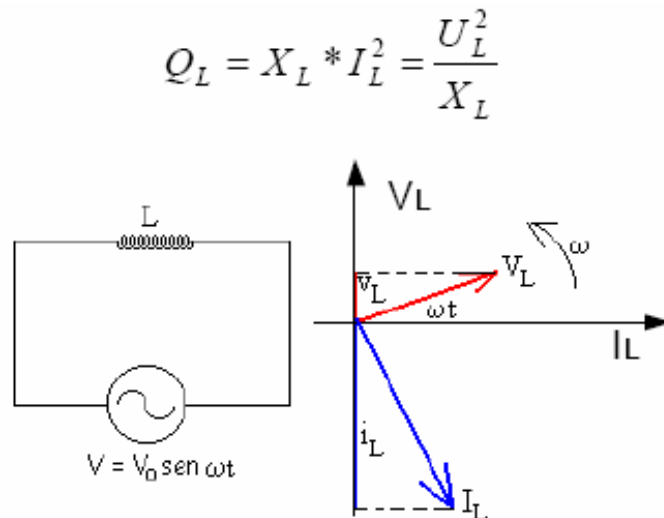


Figura 3.29

La **intensidad i_L** de la bobina **está retrasada 90°** respecto de la diferencia de potencial entre sus extremos UL . La relación entre sus amplitudes es

$$I_L = \frac{V_L}{W * L} \quad (3.89)$$

La onda de la potencia inductiva es de doble frecuencia que la tensión e intensidad que la produce, y tiene un valor medio resultante igual a cero. La potencia inductiva es como un bombeo en el que la energía que absorbe de la red en un semiperiodo lo devuelve a la misma en el siguiente.

El valor eficaz lo designamos por Q_L expresado en función de la reactancia inductiva.

3.6.4.5 POTENCIA DE UN CIRCUITO CAPACITIVO PURO. ^[7]

Operando con valores eficaces

$$I_c = \frac{U_c}{X_c} \quad (3.90)$$

$$Q_c = U_c * I_c = \frac{U_c^2}{X_c} \quad (3.91)$$

3.6.5 FACTOR POTENCIA ¹⁷¹

En un circuito de corriente alterna, un condensador ideal hace que la intensidad de la corriente que circula por él este adelantada 90° respecto de la tensión aplicada en sus bornes. Por este motivo, y al igual que en una inductancia ideal, un condensador ideal no absorbe potencia activa.

En un condensador real, se producen pérdidas debidas, fundamentalmente, a la corriente de fuga a través del dieléctrico del condensador.

La utilidad de las aplicaciones de la electricidad, es gracias a que los receptores transforman la energía eléctrica que absorben en otro tipo de energía, como es la motriz, la luminosa o la calorífica.

La mayoría de los receptores eléctricos son predominantemente inductivos y, por tanto, trabajan con cargas en las que la intensidad esta retrasada un ángulo ϕ con respecto a la tensión aplicada.

En consecuencia, la potencia aparente en $V * A$ que absorben de la red tiene una componente activa y otra componente reactiva de carácter inductivo.

La potencia activa, P, en vatios, es entregada o absorbida por la carga y representa la medida del trabajo útil por unidad de tiempo que puede realizar la carga.

Mientras que la potencia inductiva, Q, en voltamperios reactivos, representa un bombeo de energía necesario para el propio funcionamiento del receptor, que no nos da ninguna energía útil y sí repercute en aumentar la potencia aparente que tenemos que transportar a través de la línea.

Por tanto, desde el punto de vista de la economía en el transporte, para una misma potencia útil o activa P, nos interesa que el factor de potencia sea lo mas próximo a la unidad. Esto se consigue anulando total o parcialmente los efectos sobre la red de la potencia inductiva mediante la instalación de condensadores en paralelo con la carga o receptor.

Ejemplo:

Se desea calcular la potencia de la batería de condensadores necesaria para compensar el factor de potencia de una instalación que consume una potencia activa $P = 500 \text{ kW}$ desde un $\cos\Phi_{\text{Inicial}} = 0,75$ hasta un $\cos\Phi_{\text{Final}} = 0,95$

Consultando la Tabla siguiente obtenemos un coeficiente $c = 0.553$, por lo que la potencia de la batería será:

$$Q = P \cdot C = 500 \times 0.553 = 277 \text{ kVAr}$$

Antes de la compensación		Potencia del condensador en kVAr a instalar por kW de carga para elevar el factor de potencia ($\cos\phi$) o la $\text{tg}\phi$:									
$\text{tg}\phi$	$\cos\phi$	$\text{tg}\phi$	0.59	0.48	0.45	0.42	0.39	0.36	0.32	0.29	0.25
		$\cos\phi$	0.86	0.9	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97
1.52	0.55		0.925	1.034	1.063	1.092	1.123	1.156	1.190	1.227	1.268
1.48	0.56		0.886	0.995	1.024	1.053	1.084	1.116	1.151	1.188	1.229
1.44	0.57		0.848	0.957	0.986	1.015	1.046	1.079	1.113	1.150	1.191
1.40	0.58		0.811	0.920	0.949	0.979	1.009	1.042	1.076	1.113	1.154
1.37	0.59		0.775	0.884	0.913	0.942	0.973	1.006	1.040	1.077	1.118
1.33	0.6		0.740	0.849	0.878	0.907	0.938	0.970	1.005	1.042	1.083
1.30	0.61		0.706	0.815	0.843	0.873	0.904	0.936	0.970	1.007	1.048
1.27	0.62		0.672	0.781	0.810	0.839	0.870	0.903	0.937	0.974	1.015
1.23	0.63		0.639	0.748	0.777	0.807	0.837	0.870	0.904	0.941	0.982
1.20	0.64		0.607	0.716	0.745	0.775	0.805	0.838	0.872	0.909	0.950
1.17	0.65		0.576	0.685	0.714	0.743	0.774	0.806	0.840	0.877	0.919
1.14	0.66		0.545	0.654	0.683	0.712	0.743	0.775	0.810	0.847	0.888
1.11	0.67		0.515	0.624	0.652	0.682	0.713	0.745	0.779	0.816	0.857
1.08	0.68		0.485	0.594	0.623	0.652	0.683	0.715	0.750	0.787	0.828
1.05	0.69		0.456	0.565	0.593	0.623	0.654	0.686	0.720	0.757	0.798
1.02	0.7		0.427	0.536	0.565	0.594	0.625	0.657	0.692	0.729	0.770
0.99	0.71		0.398	0.508	0.536	0.566	0.597	0.629	0.663	0.700	0.741
0.96	0.72		0.370	0.480	0.508	0.538	0.569	0.601	0.635	0.672	0.713
0.94	0.73		0.343	0.452	0.481	0.510	0.541	0.573	0.608	0.645	0.686
0.91	0.74		0.316	0.425	0.453	0.483	0.514	0.546	0.580	0.617	0.658
0.88	0.75		0.289	0.398	0.426	0.456	0.487	0.519	0.553	0.590	0.631
0.86	0.76		0.262	0.371	0.400	0.429	0.460	0.492	0.526	0.563	0.605
0.83	0.77		0.235	0.344	0.373	0.403	0.433	0.466	0.500	0.537	0.578
0.80	0.78		0.209	0.318	0.347	0.376	0.407	0.439	0.474	0.511	0.552
0.78	0.79		0.183	0.292	0.320	0.350	0.381	0.413	0.447	0.484	0.525
0.75	0.8		0.157	0.266	0.294	0.324	0.355	0.387	0.421	0.458	0.499
0.72	0.81		0.131	0.240	0.268	0.298	0.329	0.361	0.395	0.432	0.473
0.70	0.82		0.105	0.214	0.242	0.272	0.303	0.335	0.369	0.406	0.447
0.67	0.83		0.079	0.188	0.216	0.246	0.277	0.309	0.343	0.380	0.421
0.65	0.84		0.053	0.162	0.190	0.220	0.251	0.283	0.317	0.354	0.395
0.62	0.85		0.026	0.135	0.164	0.194	0.225	0.257	0.291	0.328	0.369
0.59	0.86			0.109	0.138	0.167	0.198	0.230	0.265	0.302	0.343
0.57	0.87			0.082	0.111	0.141	0.172	0.204	0.238	0.275	0.316
0.54	0.88			0.055	0.084	0.114	0.145	0.177	0.211	0.248	0.289
0.51	0.89			0.028	0.057	0.086	0.117	0.149	0.184	0.221	0.262
0.48	0.9				0.029	0.058	0.089	0.121	0.156	0.193	0.234

Tabla 3.1

3.7 SISTEMAS TRIFÁSICOS ^[9]

Una red de alimentación con solo dos conductores resulta insuficiente en muchos casos debido al gran consumo de energía que precisan un gran número de instalaciones y aparatos.

Por ello, para la obtención y distribución de la energía eléctrica se suele utilizar el sistema de corrientes alternas trifásica, llamado también simplemente sistema trifásico.

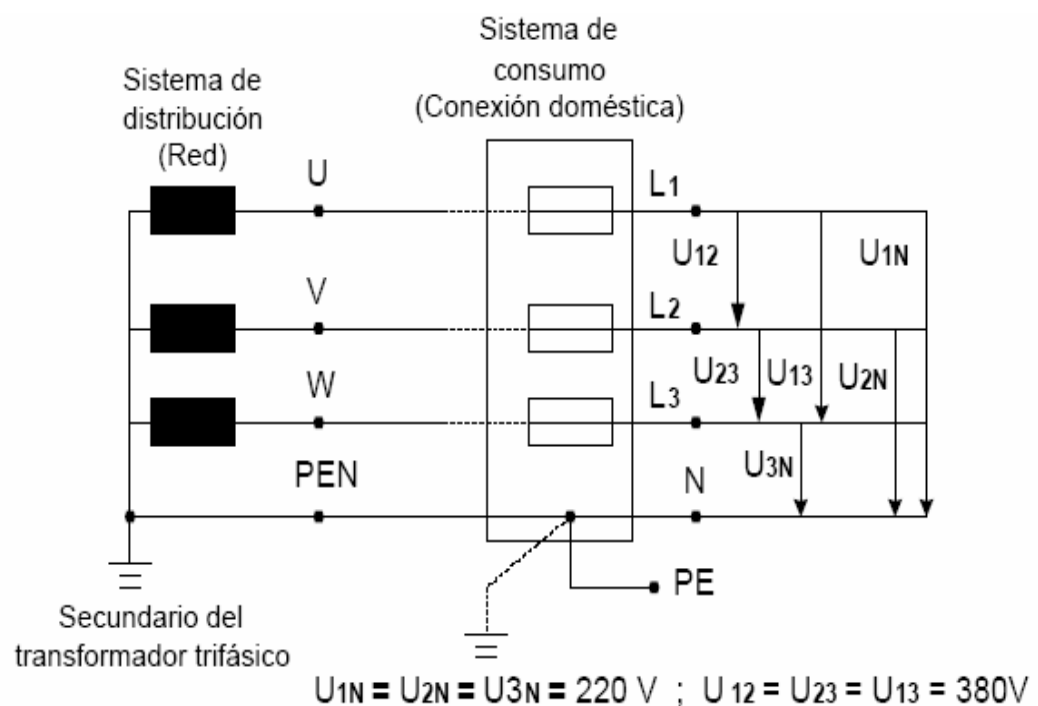
De este modo se dispone de dos tensiones diferentes, por ejemplo 220 V y 380 V.

3.7.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

GENERACIÓN DE TENSIONES DESFASADAS.

Antes de entrar en detalle sobre la generación de tensiones desfasadas debemos concretar una serie de importantes conceptos.

Partamos de la conexión doméstica de corriente trifásica de la figura siguiente, que se compone de tres fases y un neutro, conectados al punto central (punto neutro) de la instalación generadora y simultáneamente a tierra.



Conexión doméstica trifásica en la que se indican las diferentes tensiones

Figura 3.30

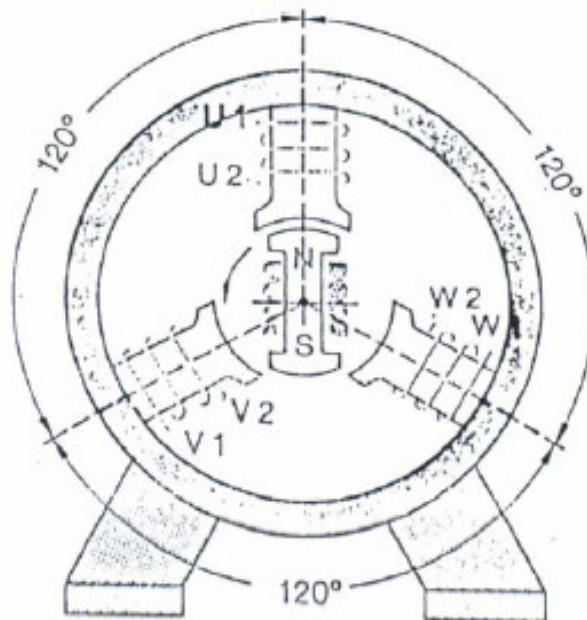
Entre todos estos conductores disponemos de seis tensiones, que en nuestro caso tendrán valores de 220 V y 380 V.

Los subíndices de los símbolos de las tensiones nos indican los puntos de conexión; U_{23} por ejemplo, indica que se trata de la tensión entre el conductor de línea L_2 y L_3 .

Si seguimos la red de alimentación en dirección al generador pasaremos por el transformador trifásico hasta llegar al generador de la central eléctrica, del cual vamos a ocuparnos a continuación.

A continuación en la figura nos muestra un generador trifásico muy simplificado. Un campo magnético giratorio atraviesa tres devanados, desplazados 120° unos de otros.

Por tanto, en los tres bobinados se inducirán tensiones del mismo valor (a igual número de espiras).

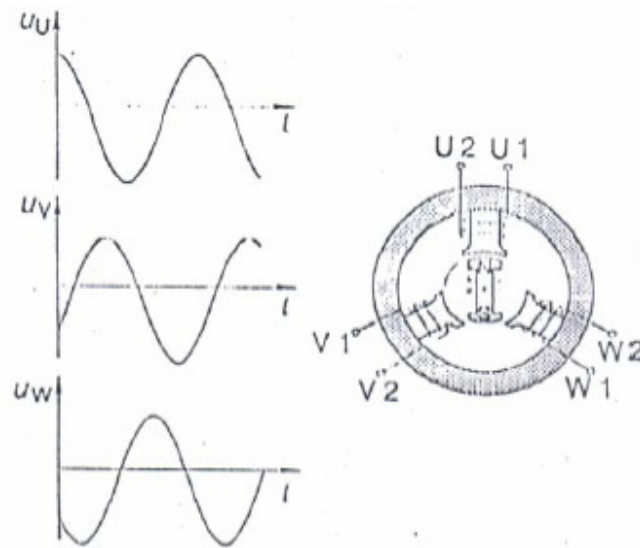


Modelo simplificado de un generador trifásico

Figura 3.31

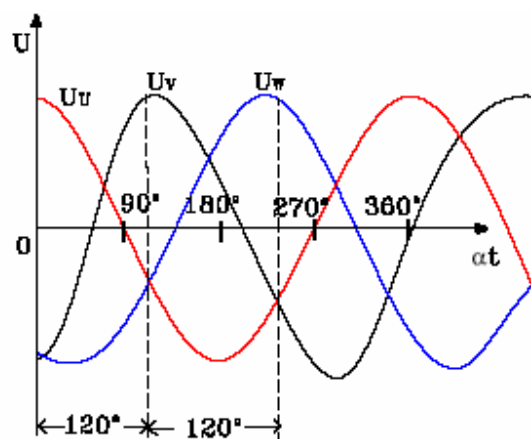
Como el campo magnético atraviesa las bobinas con su valor máximo a intervalos de 120° , se obtendrán tres tensiones que presentarán una diferencia de fase de 120 grados entre cada dos de ellas.

En la figura 3.32 muestra que la tensión del bobinado con las terminales U_1 y U_2 es máxima, mientras en las otras dos bobinas existen tensiones menores, pues la variación del flujo en ellas es también mas reducida que en la primera.



Curvas de tensión en los terminales De un generador trifásico

Figura 3.32



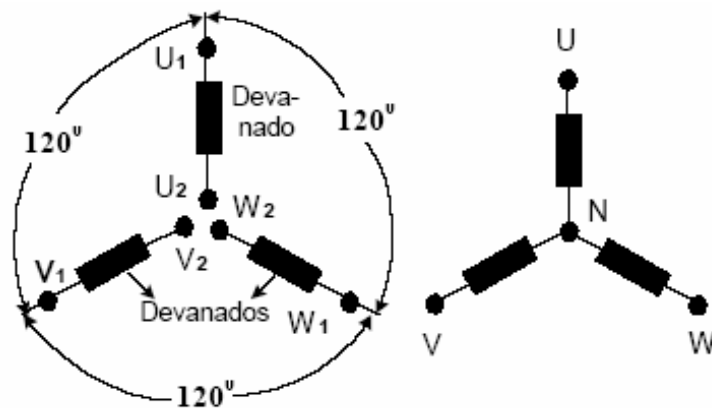
Desfases entre las diferentes tensiones De un sistema trifásico

Figura 3.33

Podemos trazar las curvas de las tres tensiones distintas de la figura anterior en una sola grafica común que se muestra en la figura 3.33 presente en la que queda de manifiesto que entre las diferentes tensiones existe una diferencia de fase de 120° .

El desplazamiento de 120° en el espacio, debido a la disposición de las bobinas en el generador, se ha transformado en un desfase de 120° en el tiempo.

La figura 3.34 nos muestra el esquema de conexión del generador, en el que puede reconocerse la disposición de las bobinas en el espacio.



Disposición de los devanados y esquemas de conexión en un generador trifásico

Figura 3.34

De entrada podríamos suponer que para llevar las tensiones inducidas en los tres devanados al consumidor sería seis conductores. Sin embargo, si unimos los terminales U_2 , V_2 y W_2 en el generador podemos ahorrar dos conductores y diremos que las tensiones están concatenadas.

Este circuito se denomina conexión en estrella debido a la forma de su esquema de conexión.

El punto central de la estrella será el punto neutro, al que puede conectarse el conductor neutro o simplemente el neutro. Los demás terminales, o sea los puntos exteriores de la estrella, se conectarán a otros tantos conductores activos, también llamados fases.

Un sistema de tensiones trifásicas se compone de tres tensiones alternas sinusoidales desfasadas 120° unas de otras y concatenadas.

La norma DIN 40108 contiene información sobre las características de los diferentes conductores y puntos de un sistema trifásico. La tabla (a) es un extracto de dicha norma. El orden o numeración de las letras indican la sucesión de las fases.

Los símbolos de las tensiones se caracterizan en general con dos subíndices, cuyo orden representa el sentido de la referencia de la tensión correspondiente. Puede suprimirse uno de los subíndices cuando las tensiones están orientadas mediante vectores de referencia o cuando no puede haber lugar a confusiones. La tabla (b) indica algunos ejemplos.

Los símbolos de las corrientes También se escribirán con uno o dos subíndices, que Coincidirán con los símbolos de las fases (ver tabla (a)). cuando se emplean dos subíndices éstos indican el sentido de referencia de la corriente. En las tensiones pueden utilizarse también I_R , I_S , I_T o también I_{RS} , I_{ST} , I_{TR} .

Tabla (a). Caracterización de los conductores y puntos de un sistema trifásico

Parte	Terminales o Conductores activos (fases)	Punto neutro, conductor neutro	Tierra de Referencia	Conductor de Protección Puesto a Tierra	Neutro Puesto a Tierra
Red	Preferentemente L1 L2 L3	N	E	PE	PEN
	También están permitidos, cuando no puede haber confusiones 1 2 3				
	También están permitidos R S T				
	En General: U V W				
Circuitos de consumo					

Tabla 3.2

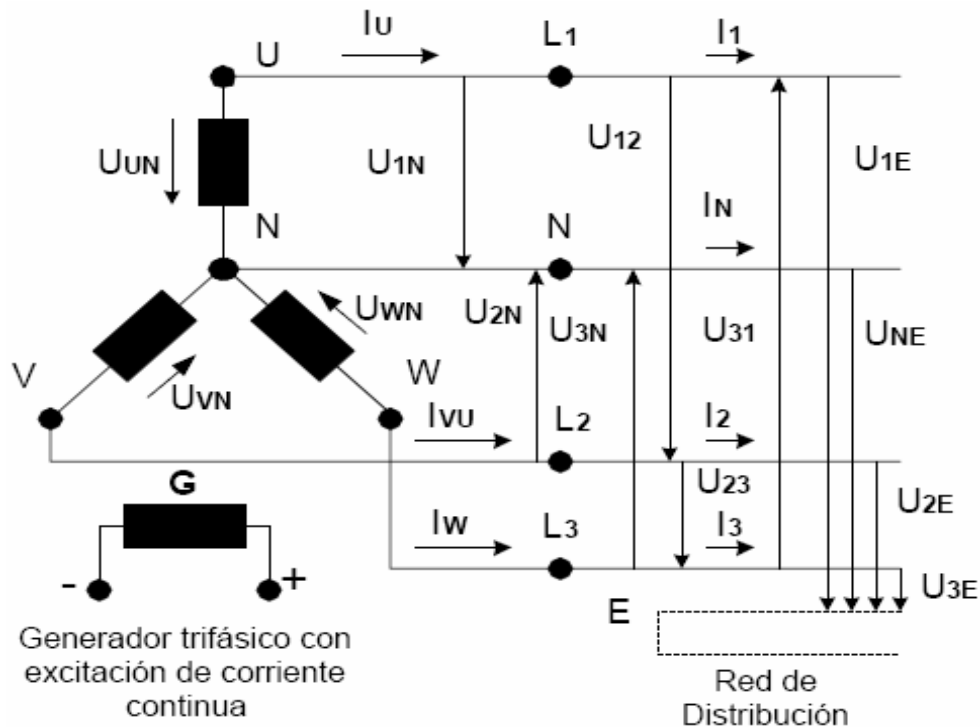
Tabla (b) Caracterización de las tensiones en los sistemas trifásicos

Tipo de tensión	Sistemas de corrientes	Símbolos de las tensiones
Tensión entre fase y fase o tensión de línea	Sistema trifásico	U12, U23, U31
	generadores Motores y Transformadores Trifásicos	Uuv, Uvw, Uwu
Sistema entre fase y neutro o tensión de fase	Sistema trifásico en estrella	U1N, U2N, U3N
	generadores Motores y Transformadores	UuN, UvN, UwN
Tensión entre fase y tierra	Trifásicos Sistemas trifásicos	U1E, U2E, U3E

Tabla 3.3

3.7.1.1 TENSION DE LINEA Y FASE

La figura 3.35 siguiente muestra una de las posibles denominaciones de los diferentes puntos del sistema, los conductores, las tensiones y las corrientes.



Una de las posibles denominaciones de los puntos del Sistema, las tensiones y las corrientes en un sistema trifásico

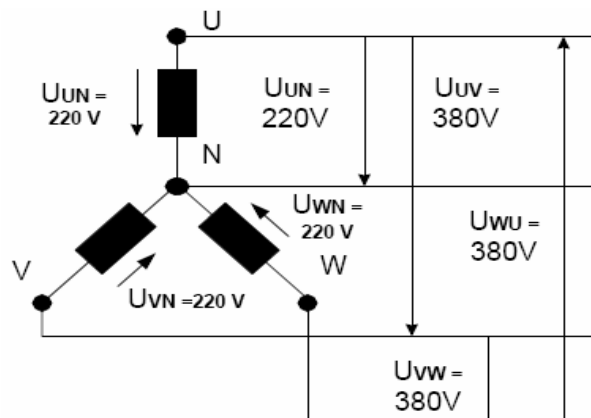
Figura 3.35

Cada una de las tensiones de línea (tensiones entre fase y fase) es la suma (geométrica) de dos tensiones de fase (tensiones en los devanados). Su valor (380 V) es mayor que la este ultimo.

Podemos obtener el factor de aumento dividiendo la tensión de línea por la tensión de fase. En nuestro caso tenemos.

$$\frac{U_{UV}}{U_{UN}} = \frac{380V}{220V} = 1.73 \quad (3.92)$$

En la figura siguiente pueden verse las tensiones de un sistema trifásico con sus correspondientes sentidos. También puede trazarse el diagrama vectorial de las tensiones.



Tensiones en un generador trifásico
Figura 3.36

Con las graficas y los diagramas vectoriales podemos explicar el hecho de que las tensiones de línea sea mayor. Como en cada caso tenemos las tensiones de dos bobinados generadores conectados en serie, la tensión de la línea será la diferencia de tensiones entre los puntos terminales de la estrella. La diferencia de tensión están indicados en la figura 3.37 mediante rayas negras verticales o trazos.

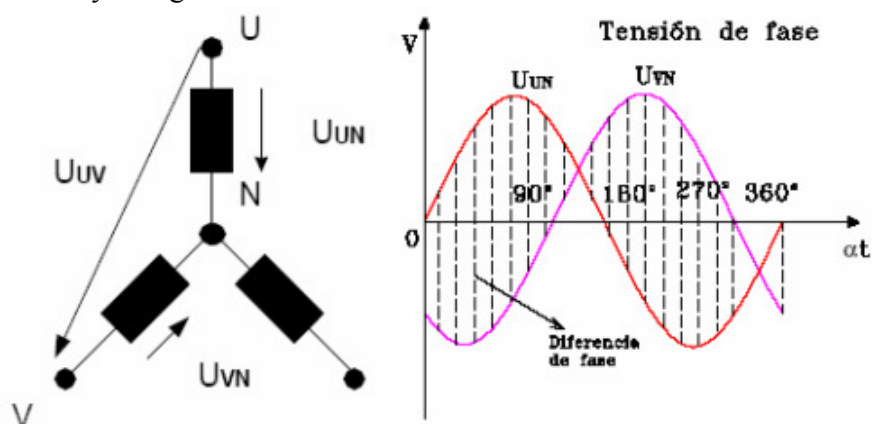
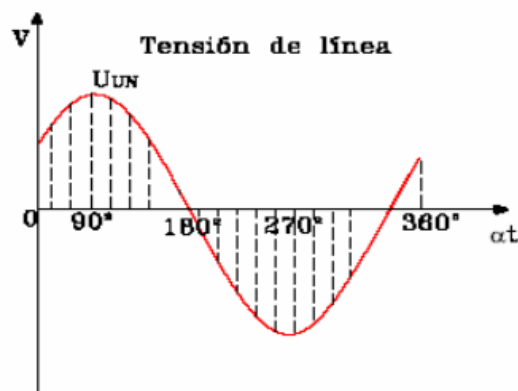


Figura 3.37



Obtención de la tensión de línea a partir de las tensiones de los devanado (tensión de fase)
Figura 3.38

Si partimos de ellas trazamos una nueva curva obtendremos la grafica de la figura 3.38, que corresponderá a la tensión resultante entre los terminales, o sea, la tensión de línea.

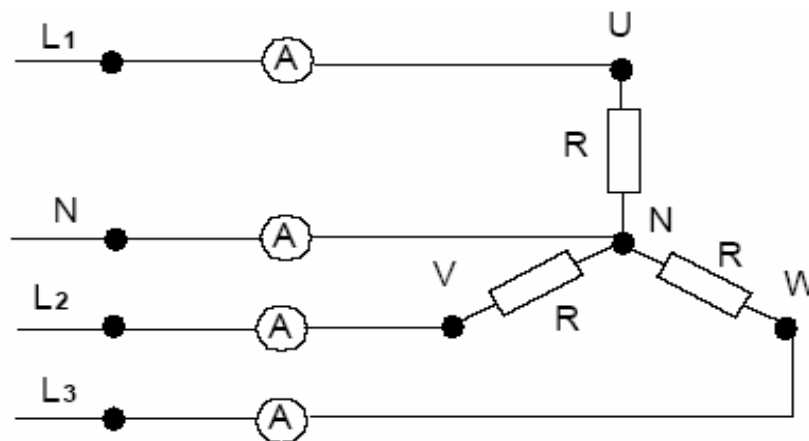
La curva puede construirse más fácilmente invirtiendo el signo de la tensión U_{WN} , o sea, desfasándole 180° . La tensión resultante será entonces la suma de las tensiones instantáneas.

El valor exacto se puede deducir del diagrama vectorial. Para ello se divide el triángulo de tensiones en dos triángulos rectángulos iguales y, empleando las funciones trigonométricas correspondientes, se calcula el valor de la tensión de línea.

3.7.1.2 CORRIENTE DE LINEA FASE

3.7.1.2.1 CONEXIÓN TRIFÁSICA EN ESTRELLA.

Después de habernos ocupado de la obtención de tensiones trifásicas, de los conceptos fundamentales y de las diferentes posibilidades de caracterización vamos a tratar los circuitos de consumo de redes de alimentación trifásica. Empezaremos con la conexión en estrella en la que estudiaremos las relaciones existentes entre corrientes, tensiones y potencias.



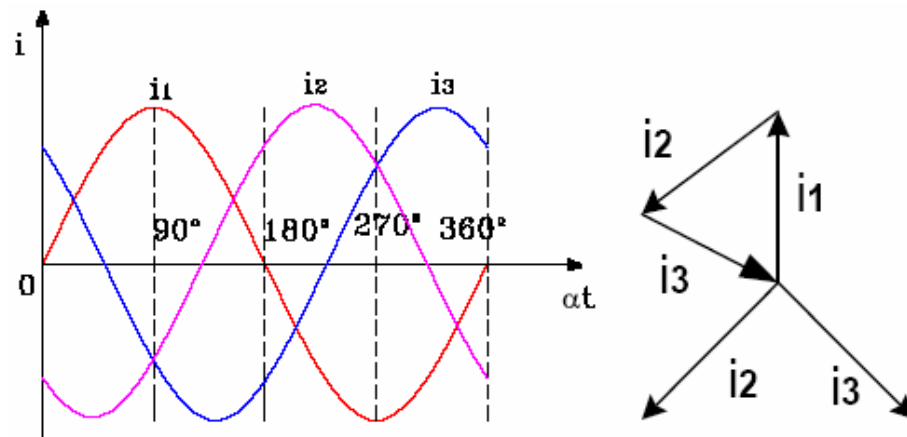
Medidas de intensidad en una conexión en estrella

Figura 3.39

En la figura anterior puede verse una carga compuesta de resistencias óhmicas (por ejemplo una calefacción eléctrica), conectada en estrella. En cada uno de los conductores se encuentra conectado un amperímetro con los que podríamos medir al conectar tal carga simétrica (todas las resistencias son de igual valor) las siguientes intensidades.

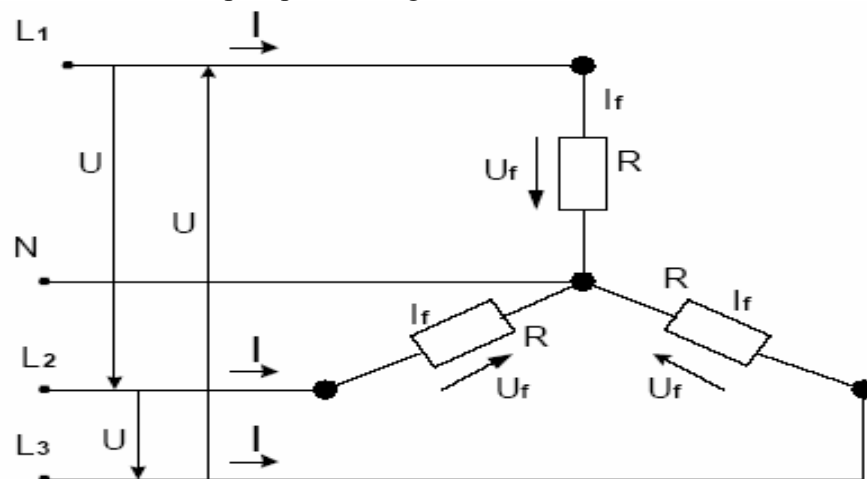
$$I_1 = I_2 = I_3 \quad ; \quad I_N = 0 \quad (3.93)$$

El resultado es sorprendente. El conductor común a todos los devanados no conduce corriente alguna, por tanto, podría prescindirse de él. Cuando la carga sea simétrica no circulará corriente por el neutro N.



Gráfica y diagrama vectorial de las intensidades de línea
En una conexión en estrella con carga simétrica
Figura 3.40

Estudiamos el porque de este resultado. Para ello nos ayudaremos de la figura 3.40 anterior, en la que podemos ver las curvas de las intensidades que circulan por los conductores activos, también llamadas intensidades de línea. Estas tres corrientes confluyen en el neutro, por el que circulará pues la suma de las tres. Sin embargo, con el diagrama vectorial podemos demostrar que la suma de las tres intensidades es nula en todo instante. Por tanto, las tres corrientes se compensan mutuamente al llegar al neutro, con lo que podemos prescindir de este siempre que las cargas sean simétricas.



Magnitudes de línea y de fase en la conexión estrella

Figura 3.41

$$U = \sqrt{3} * U_f \quad (3.94)$$

$$I = I_f \quad (3.95)$$

En la figura 3.41 hemos representado las tensiones y corrientes en la carga.

Podemos ver que las corrientes de línea I_1, I_2, I_3 son las mismas que las de los devanados del generador, o sea, las corrientes de fase I_f .

Intensidad de línea

$$I = I_f \quad (3.96)$$

Las tensiones en los devanados (tensión de fase) son menor que las tensiones de línea, pues estas se dividen entre dos devanados, en anterior oportunidad dijimos que el factor de concatenación es igual a 3, que también es valido para las tensiones en la carga.

En la conexión en estrella la tensión de línea es 3 veces mayor a la tensión de fase.

Tensión de línea

$$U = \sqrt{3} * U_f \quad (3.97)$$

3.7.2 POTENCIA EN LOS SISTEMAS TRIFÁSICOS ^[7]

Podemos ahora calcular la potencia con la ayuda de las relaciones ya obtenidas para tensiones e intensidades. La potencia aparente se calcula mediante la expresión $S = U * I$.

Como tenemos en total tres cargas, la potencia total habrá de ser tres veces mayor que la calculada para una de ellas.

$$S = U_f * I_f \quad \text{Potencia aparente de una carga} \quad (3.98)$$

$$S = 3 * U_f * I_f \quad \text{Potencia aparente total} \quad (3.99)$$

Si sustituimos los valores de fase por los valores de línea, obtendremos.

$$\text{Potencia aparente total: } S = \sqrt{3} * U * I \quad (3.100)$$

$$\text{Potencia Activa total: } P = \sqrt{3} * U * I * \cos \phi \quad (3.101)$$

$$\text{Potencia Reactiva total: } Q = \sqrt{3} * U * I * \sin \phi \quad (3.102)$$

3.7.3 FACTOR DE POTENCIA EN SISTEMAS TRIFÁSICOS ^[7]

Se consideran requerimientos de energía reactiva, para los siguientes tipos de usuarios:

a) Talleres de mecánica, carpintería, soldadura, mantenimiento mecánico o automotriz con más de **30 kW** de demanda máxima prevista.

b) Edificios, galerías y complejos comerciales con transformador propio.

c) Instalaciones industriales en general.

Para toda instalación se debe considerar necesariamente el efecto del lapso de potencia, investigándolo o calculándolo, a fin de prever un factor de potencia según las siguientes exigencias:

- Los valores medios mensuales del factor de potencia deberán ser como mínimo 0.9.

- Para la determinación del factor de potencia medio de cada mes, se deberá instalar un medidor de energía reactiva, además del medidor de energía activa.

- En instalaciones de tipo industrial independientemente de la potencia instalada, se exigirá la corrección del factor de potencia, cuando sea necesario.

Queda por cuenta del Proyectista la determinación del lugar de instalación, ubicación en el sistema eléctrico, número de unidades, tensión nominal forma de operación, maniobra y protección de los equipos de compensación de potencia reactiva.

UNIDAD N° 4

INSTALACIONES ELECTRICAS

4.1 INTRODUCCION

Comenzaremos este capítulo dando a conocer aquellos conceptos que nos serán de gran utilidad para entender lo que son las instalaciones eléctricas, y los componentes de la misma, tales como: lámparas, pantallas, circuitos, conductores, etc.

4.2 ELEMENTOS BASICOS DE LOS CIRCUITOS ELECTRICOS

4.2.1 CONDUCTORES

4.2.2 CONDUCTOR

Es el alambre o cable que transporta la energía eléctrica, fabricado en base a metales de alta conductividad, por su bajo costo y buena conductividad, los más comunes son el aluminio y cobre.

El **alambre** es un conductor que se fabrica como un solo hilo de metal.

El **cable** es el conductor que esta compuesto de varios hilos.

Desde el inicio de su recorrido en las centrales generadoras hasta llegar a los centros de consumo, la energía eléctrica es conducida a través de líneas de transmisión y redes de distribución formadas por conductores eléctricos de alta tensión, media tensión y baja tensión

Se dice que un cuerpo es **conductor eléctrico** cuando puesto en contacto con un cuerpo cargado de electricidad transmite ésta a todos los puntos de su superficie. Generalmente es un elemento metálico capaz de conducir la electricidad cuando es sometido a una diferencia de potencial eléctrico. Para que ello sea efectuado eficientemente, se requiere que posea una baja resistencia para evitar pérdidas desmedidas por Efecto Joule y caída de tensión.

Para el transporte de la energía eléctrica el metal empleado universalmente es el cobre en forma de cables de uno o varios hilos. Alternativamente se emplea el aluminio, metal que si bien tiene una conductividad eléctrica del orden del 60% de la del cobre es, sin embargo, un material mucho más ligero, lo que favorece su empleo en líneas de transmisión de energía eléctrica.

Todo conductor eléctrico afecta el paso de una corriente eléctrica en mayor o menor grado determinado por su resistencia, el cual esta afectado por los siguientes factores: El metal del que esta formado, grosor y longitud.

4.2.3 RESISTENCIA DE LOS METALES

La plata es el metal que conduce con más facilidad la electricidad, pero dado su costo tan elevado, no es común usarla como conductor en los circuitos eléctricos. El cobre es el conductor más usado por su bajo costo, aparte de ser un buen conductor de la electricidad. Es también usado el aluminio. Pero este presenta el inconveniente que no se puede soldar por los medios comunes, por lo mismo es muy limitado su uso en casas, por el peso que ostenta este material se lo utiliza solamente en líneas de transmisión de alto voltaje.

El tipo de cobre que se utiliza en la fabricación de conductores es el cobre electrolítico de alta pureza, 99,99%.

Conductor	Resistividad relativa
Plata pura	,925
Cobre recocido	1,000
Cobre endurecido	1,022
Aluminio puro(97.5%)	1,672
Zinc puro	3,608
Latón	4,515
Bronce con fósforo	5,319
Alambre de hierro	6,173
Níquel	7,726
Alambre de acero	8,621
Plata alemana	13,326
Hierro colado	71,400

Resistencia de los conductores eléctricos
Tabla 1.1

Esta tabla permitirá calcular la resistencia de cualquier alambre, para lo cual se deberá multiplicar la resistencia de un alambre de cobre del mismo grueso y largo por el número que se indica en la tabla.

Para esto deberán utilizar la tabla de calibre de alambres. Por ejemplo, si queremos saber la resistencia de un alambre de latón No. 8 que la resistividad relativa indica 4,515, ahora veamos la tabla sobre los calibres de alambre la resistencia en ohmios del No. 8 de un alambre de cobre, basados en 1000 pies de largo, en la cual nos indica que es de, 6400, luego multiplicamos 4,515 por ,6400 = 2.8896 ohmios. Esta sería la resistencia equivalente a un alambre de latón del mismo largo y calibre.

4.2.4 PARTES QUE COMPONEN LOS CONDUCTORES ELÉCTRICOS

Estas son tres muy diferenciadas:

- . El alma o elemento conductor.
- . El aislamiento.
- . Las cubiertas protectoras.

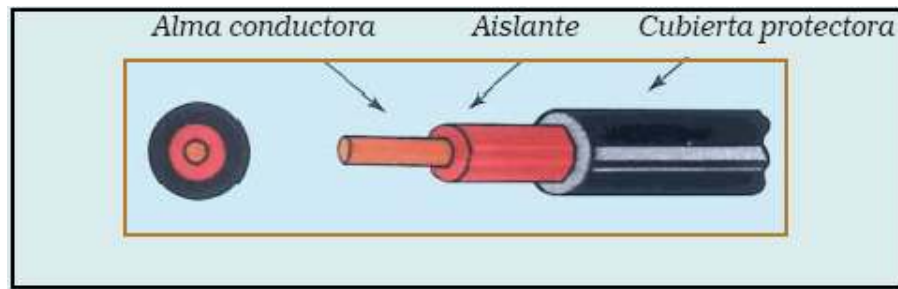


Figura 4.1

a) El alma o elemento conductor Se fabrica en distintos metales, pero el mas común es el cobre y su objetivo es servir de camino a la energía eléctrica desde las centrales generadoras a los centros de distribución (subestaciones, redes y empalmes), para alimentar a los diferentes centros de consumo (industriales, grupos habitacionales, etc.).

De la forma cómo esté constituida esta alma depende la clasificación de los conductores eléctricos. Así tenemos:

Según su constitución

Alambre: Conductor eléctrico cuya alma conductora está formada por un solo elemento o hilo conductor. Se emplea en líneas aéreas, como conductor desnudo o aislado, en instalaciones eléctricas a la intemperie, en ductos o directamente sobre aisladores.

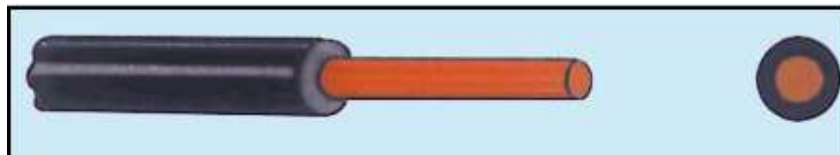


Figura 4.2

Cable: Conductor eléctrico cuya alma conductora está formada por una serie de hilos conductores o alambres de baja sección, lo que le otorga una gran flexibilidad.

Según el número de conductores:

Monoconductor: Conductor eléctrico con una sola alma conductora, con aislamiento y con o sin cubierta protectora, como se muestra en la figura 4.4

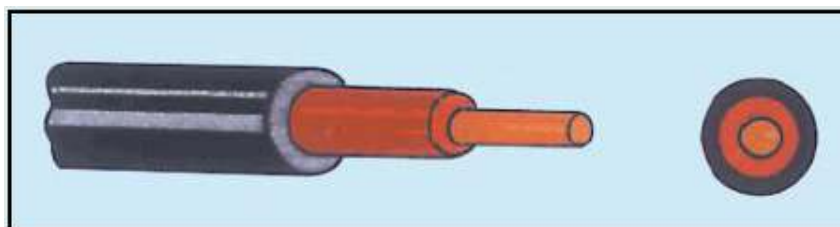


Figura 4.4

Multiconductor: Conductor de dos o más almas conductoras aisladas entre sí, envueltas cada una por su respectiva capa de aislamiento y con una o más cubiertas protectoras comunes.

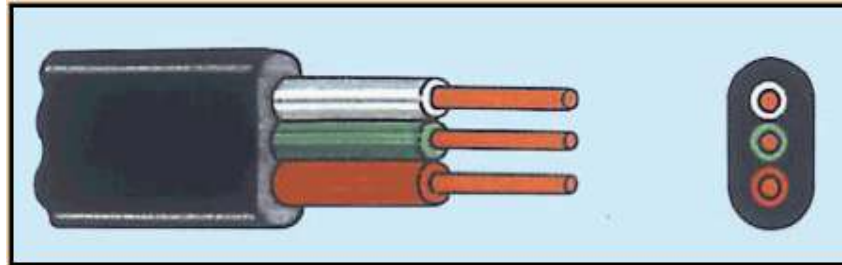


Figura 4.4

b) El aislamiento tiene por objeto el aislamiento en un conductor para evitar que la energía eléctrica que circula por él, entre en contacto con las personas o con objetos, ya sean éstos ductos, artefactos u otros elementos que forman parte de una instalación. Del mismo modo, el aislamiento debe evitar que conductores de distinto voltaje puedan hacer contacto entre sí.

Los materiales aislantes usados desde sus inicios han sido sustancias poliméricas, que en química se definen como un material o cuerpo químico formado por la unión de muchas moléculas idénticas, para formar una nueva molécula más gruesa. Antiguamente los aislantes fueron de origen natural, gutapercha y papel. Luego la tecnología los cambió por aislantes artificiales actuales de uso común en la fabricación de conductores eléctricos.

Los diferentes tipos de aislamiento de los conductores están dados por su comportamiento técnico y mecánico, considerando el medio ambiente y las condiciones de canalización a que se verán sometidos los conductores que ellos protegen, resistencia a los agentes químicos, a los rayos solares, a la humedad, a altas temperaturas, llamas, etc. Entre los materiales usados para el aislamiento de conductores podemos mencionar el PVC o cloruro de polivinilo, el polietileno o PE, el caucho, la goma, el neoprén y el nylon.

Aproximada relación de sección de conductores entre mm² y galga AWG (de EE.UU.)

mm ²	Tamaño alambre AWG
0.5	20
0.75	18
1.0	-
1.5	16
2.5	14
4	12
6	10
10	8
16	6
25	4
35	2

**CALIBRES, DIÁMETROS, PESO Y RESISTENCIA
DE
ALAMBRES DE COBRE SIN FORRO**

Calibres		Diámetro		Área		Peso	Resistencia
No. A.W.G.	No. Métrico	Milésimas de pulgada	Milímetros	Mils. Circulares	Milímetros cuadrados	Kilogramos por 1000 pies	Ohmios por 1000
0000		460	11,68	211.600	107,2	353	,04333
000		409,6	10,40	167.000	85,03	156	,06236
	100	393,7	10,00	155.000	76,54	637	
00		364,8	9,266	133.100	67,43	532	,07933
	90	354,3	9,000	125.500	63,62	566	
0		324,3	8,251	105.500	53,40	475	,1001
	80	315	8,000	99.200	50,27	447	
1		289,3	7,348	83.630	42,41	377	,1232
	70	275,6	7,000	75.850	38,40	342	
2		257,6	6,554	66.370	33,63	299	,1532
	60	236,2	6,000	55.000	28,27	251	
3		223,4	5,827	52.630	26,67	237	,2007
4		204,3	5,183	41.740	21,15	186	,2531
	50	196,8	5,000	38.750	19,63	174	
5		181,3	4,621	33.100	16,77	149	,3132
	45	177,2	4,500	31.330	15,30	141	
6		162	4,115	26.250	13,30	118	,4025
	40	157,5	4,000	24.610	12,57	112	
7		144,3	3,665	20.620	10,55	93,7	,5075
	35	137,8	3,500	18.990	9,621	85,5	
8		128,5	3,264	16.510	8,366	74,4	,6400
	30	118,1	3,000	13.950	7,069	62,8	
9		114,4	2,906	13.090	6,634	58,9	,6070
10		101,3	2,588	10.380	5,261	46,8	1,018
	25	98,42	2,500	9.687	4,909	43,6	
11		90,74	2,305	8.234	4,172	37,1	1,263
12		80,81	2,053	6.530	3,309	29,4	1,616
	20	78,74	2,000	6.200	3,142	27,9	
13		71,96	1,828	5.178	2,624	23,3	2,040
	18	70,87	1,800	5.022	2,545	22,6	
14		64,08	1,628	4.107	2,061	18,5	2,573
	16	62,99	1,600	3.968	2,011	17,8	
15		57,07	1,450	3.257	1,650	14,7	3,244
	14	55,12	1,400	3.038	1,539	13,7	
16		50,82	1,291	2.583	1,309	11,6	4,091
17		45,26	1,150	2.046	1,038	9,23	5,158
18		40,3	1,024	1.624	,8231	7,32	6,505
	10	39,37	1,000	1.550	,7854	6,98	
19		35,89	,916	1.268	,6527	5,80	8,202
20		31,96	,818	1.022	,5176	4,60	10,34
	8	31,5	,8000	992	,5027	4,47	
21		28,46	,7229	810,1	,4105	3,65	13,04
	7	27,56	,7000	759,5	,3848	3,42	

Calibres		Diámetro		Area		Peso	Resistencia
No. A.W.G	No. Métrico	Milésimas de	Milímetros	Mils. Circulares	Milímetros cuadrados	Kilogramos por	Ohmios por 1000
22		25,35	,6438	642,4	,0255	2,03	16,45
	6	23,62	,6000	550,0	,2020	2,52	
23		22,57	,5733	509,5	,2502	2,30	20,74
24		20,1	,5106	404,0	,2047	1,02	26,15
	5	19,68	,5000	367,5	,1963	1,75	
25		19,8	,4547	320,4	,1624	1,44	32,97
	4.5	17,42	,4500	313,3	,1590	1,42	
26		15,94	,4043	254,1	,1200	1,14	41,50
	4	15,75	,4000	240,0	,1257	1,12	
27		14,2	,3606	201,5	,1021	,900	52,43
	3.5	13,78	,3500	189,3	,09621	,855	
28		12,64	,3211	159,0	,08090	,720	66,11
	3	11,81	,3000	139,5	,07069	,620	
29		11,26	,2859	126,7	,06422	,571	63,37
30		10,3	,2546	100,5	,05093	,453	105,1
	2.5	9,5	,2413	90,25	,04573	,407	
31		8,926	,2268	79,70	,04039	,359	132,6
32		7,95	,2019	63,21	,03203	,285	167,2
	2	7,674	,2000	62,00	,03142	,280	
33	1.8	7,087	,1800	50,22	,02545	,227	210,8
34		6,305	,1601	39,75	,02014	,179	265,8
	1.6	6,299	,1600	39,66	,02011	,178	
	1.5	5,906	,1500	34,87	,01767	,157	
35		5,615	,1426	31,51	,01597	,142	335,2
	1.4	5,512	,1400	30,36	,01539	,136	
36		5,	,1270	25,00	,01267	,113	422,6
	1.2	4,724	,1200	22,32	,01131	,101	
37		4,453	,1131	19,63	,01005	,0893	532,9
38		3,965	,1007	15,72	,007967	,0708	672,0
	1	3,937	,1000	15,50	,007854	,0698	
39		3,531	,08969	12,47	,006316	,0562	647,4
40		3,145	,07987	9,666	,005010	,0445	1069
41		2,8	,07113	7,642	,003979	,0354	1347
42		2,494	,06394	6,219	,003151	,0280	1699
43		2,221	,05641	4,932	,002499	,0222	2142
44		1,978	,05023	3,911	,001982	,0176	2702
	0.5	1,969	,05000	3,875	,001963	,0175	
45		1,761	,04473	3,102	,001572	,0140	
46		1,568	,03984	2,460	,001246	,0111	
47		1,397	,03547	1,951	,0009664	,0088	
48		1,243	,03159	1,547	,0007636	,0070	
49		1,107	,02813	1,227	,0006216	,0055	
50		,9863	,02505	,9726	,0004929	,0044	

www.electronica2000.250x.com

4.2.5 UNIONES ELECTRICAS O EMPALMES ^[10*]

El empalme es la unión entre dos conductores realizada para garantizar la continuidad del fluido eléctrico.

Realizar un empalme seguro significa recurrir a dispositivos capaces de evitar recalentamientos y contactos entre conductores.

Para empalmar dos conductores es importante utilizar los dispositivos adecuados. Éstos son aquellos que aprietan entre sí los hilos o cables por medio de un tornillo o los que alojan en un cuerpo metálico los extremos desnudos de los conductores sujetos por atornillado o soldadura.

4.2.5.1 TIPOS DE UNIONES

Unión cola de rata

Cuando los conductores no van a recibir demasiada tensión y por lo mismo las uniones no van a resistir ninguna fuerza, por ejemplo, para unir los alambres dentro de las cajas para tubo o conducto, es aquí donde se usa este tipo de unión, no es conveniente cuando va a soportar peso, ya que el mismo podría separarse.

Cuando se hace esta unión se debe de quitar unos 8 cm. de aislamiento y cruzarlos y luego torciéndolos como se indica en la figura 4.5.

Unión de tres alambres

Este tipo de unión no deberá soportar tensión.

Unión para lámpara

Este tipo de unión se ilustra en la figura 4.5. Esta conexión se usa en accesorios que se instalaran permanentemente, los alambres utilizados generalmente son del No. 14 en la línea y No. 16 ó 18 en los accesorios, ver figura 4.5.

Unión de toma

Este amarre generalmente se usa para unir un conductor a otro que lleve corriente, también se le llama unión de derivación

Unión de toma doble

Este tipo de unión también la puedes ver en figura 4.5 .

Unión enrollada A esta unión también se le llama "unión británica", se utiliza para unir alambres del calibre 8 o más gruesos.

Amarres de enrollado múltiple:

Este se utiliza para cables.

Toda vez que se han efectuado las uniones, se procede a aislarlas con cinta adhesiva

de tal forma que no queden partes del alambre expuestas, y de esta forma evitar que estos tengan contacto provocando un corto circuito

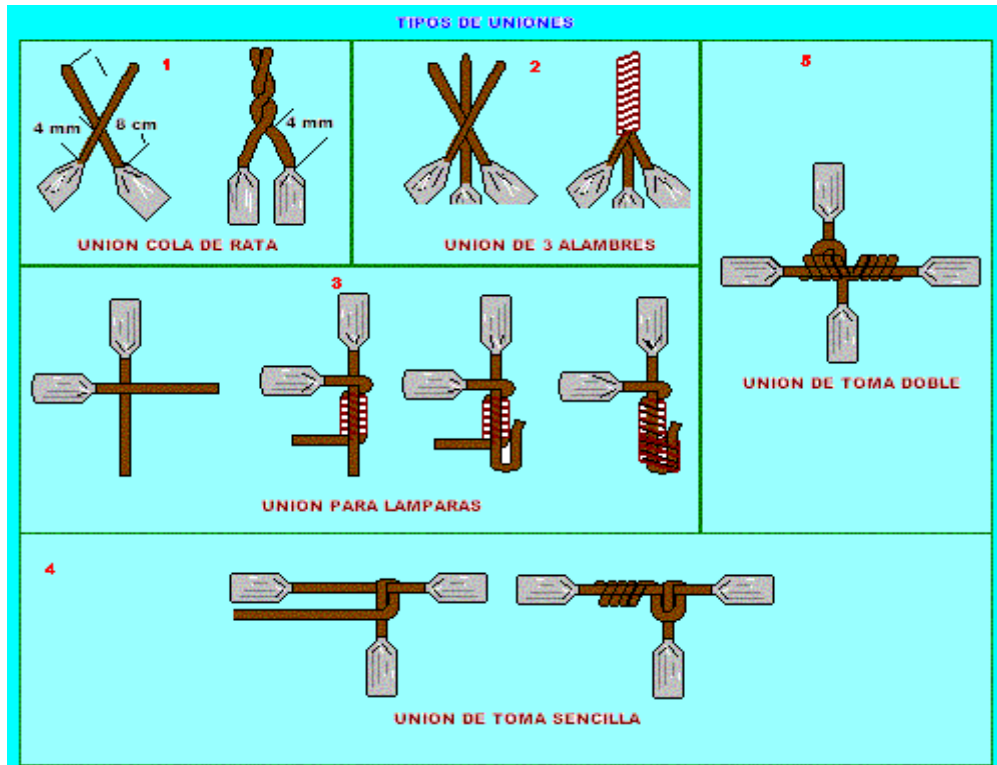


Figura 4.5

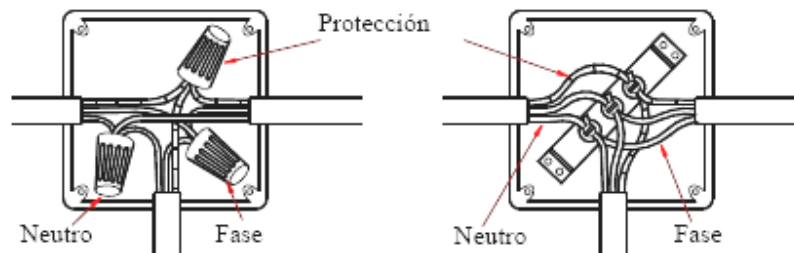
4.2.5.2 ACCESORIOS PARA UNIONES

Todos los empalmes de conductores deben realizarse dentro de una caja de empalmes. Se trata de una caja de material aislante, en cuyo interior, y por medio de las reglamentarias regletas, dedales, etc., (figura 4.6) se realizan las conexiones de los conductores del circuito principal con los que servirán para instalar una derivación.

A la caja de empalmes llegan los tubos por cuyo interior circulan los conductores. Suelen ser redondas, cuadradas o rectangulares, y llevan unos agujeros ciegos, que pueden abrirse a diferentes diámetros, en los que se insertan los tubos conductores.

No debe olvidarse que el tradicional empalme que se realizaba retorciendo y entrelazando los hilos de ambos conductores para luego recubrir la conexión con cinta aislante o esparadrapo está terminantemente prohibido en el reglamento para baja tensión.

Únicamente puede ser un recurso provisional para casos de emergencia. Si se viera obligado a hacer un empalme de estas características, es recomendable que no lo realice a la misma altura en ambos conductores; desplace levemente uno respecto al otro.



Unión de tubos mediante caja de registro con el consecuente empalme y aislamiento de los conductores

Figura 4.6

4.3 LA INCANDESCENCIA

Las lámparas incandescentes fueron la primera forma de generar luz a partir de la energía eléctrica. Desde que fueran inventadas, la tecnología ha cambiado mucho produciéndose sustanciosos avances en la cantidad de luz producida, el consumo y la duración de las lámparas. Su principio de funcionamiento es simple, se pasa una corriente eléctrica por un filamento hasta que este alcanza una temperatura tan alta que emite radiaciones visibles por el ojo humano.

Todos los cuerpos calientes emiten energía en forma de radiación electromagnética. Mientras más alta sea su temperatura mayor será la energía emitida y la porción del espectro electromagnético ocupado por las radiaciones emitidas. Si el cuerpo pasa la temperatura de incandescencia una buena parte de estas radiaciones caerán en la zona visible del espectro y obtendremos luz.

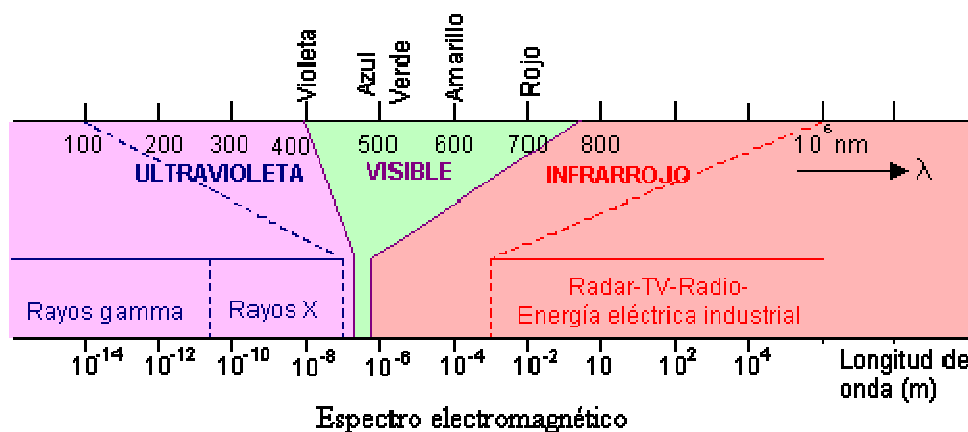


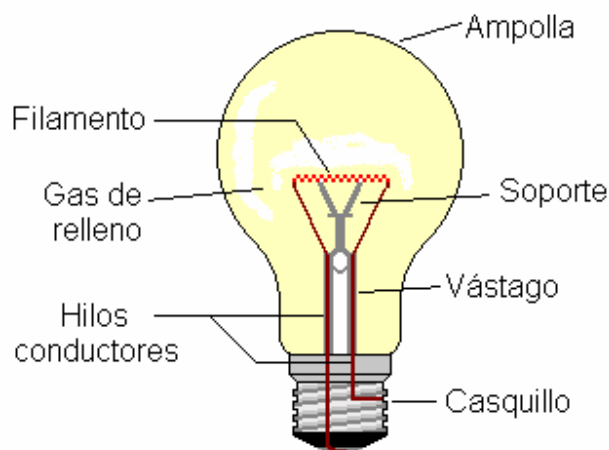
Figura 4.6

La incandescencia se puede obtener de dos maneras. La primera es por combustión de alguna sustancia, ya sea sólida como una antorcha de madera, líquida como en una lámpara de aceite o gaseosa como en las lámparas de gas. La segunda es pasando una corriente eléctrica a través de un hilo conductor muy delgado como ocurre en las bombillas corrientes. Tanto de una forma como de otra, obtenemos luz y calor (ya sea calentando las moléculas de aire o por radiaciones infrarrojas).

En general los rendimientos de este tipo de lámparas son bajos debido a que la mayor parte de la energía consumida se convierte en calor. La duración de una lámpara viene determinada básicamente por la temperatura de trabajo del filamento. Mientras más alta sea esta, mayor será el flujo luminoso pero también la velocidad de evaporación del material que forma el filamento.

- La **vida individual** es el tiempo transcurrido en horas hasta que una lámpara se estropea, trabajando en unas condiciones determinadas.
 - La **vida promedio** es el tiempo transcurrido hasta que se produce el fallo de la mitad de las lámparas de un lote representativo de una instalación, trabajando en unas condiciones determinadas.
 - La **vida útil** es el tiempo estimado en horas tras el cual es preferible sustituir un conjunto de lámparas de una instalación a mantenerlas. Esto se hace por motivos económicos y para evitar una disminución excesiva en los niveles de iluminación en la instalación debido a la depreciación que sufre el flujo luminoso con el tiempo. Este valor sirve para establecer los periodos de reposición de las lámparas de una instalación.
 - La **vida media** es el tiempo medio que resulta tras el análisis y ensayo de un lote de lámparas trabajando en unas condiciones determinadas.
- La duración de las lámparas incandescentes está normalizada; siendo de unas 1000 horas para las normales, para las halógenas es de 2000 horas para aplicaciones generales y de 4000 horas para las especiales.

Las lámparas incandescentes están formadas por un hilo de wolframio que se calienta por efecto Joule alcanzando temperaturas tan elevadas que empieza a emitir luz visible. Para evitar que el filamento se queme en contacto con el aire, se rodea con una ampolla de vidrio a la que se le ha hecho el vacío o se ha rellenado con un gas. El conjunto se completa con unos elementos con funciones de soporte y conducción de la corriente eléctrica y un casquillo normalizado que sirve para conectar la lámpara a la luminaria.



Partes de una bombilla

Figura 4.7

4.4 LAMPARAS ^{[30] [21]}

Para iluminar espacios carentes de luz es necesaria la presencia de fuentes de luz artificiales, las lámparas, y aparatos que sirvan de soporte y distribuyan adecuadamente la luz, las luminarias. De esta forma es posible vencer las limitaciones que la naturaleza impone a las actividades humanas.

4.4.1 TIPOS DE LÁMPARAS

Existen dos tipos de lámparas incandescentes: las que contienen un gas halógeno en su interior y las que no lo contienen:

a.- Lámparas no halógenas

Entre las lámparas incandescentes no halógenas podemos distinguir las que se han rellenado con un gas inerte de aquellas en que se ha hecho el vacío en su interior. La presencia del gas supone un notable incremento de la eficacia luminosa de la lámpara dificultando la evaporación del material del filamento y permitiendo el aumento de la temperatura de trabajo del filamento. Las lámparas incandescentes tienen una duración normalizada de 1000 horas, una potencia entre 25 y 2000 W y unas eficacias entre 7.5 y 11 lm/W para las lámparas de vacío y entre 10 y 20 para las rellenas de gas inerte. En la actualidad predomina el uso de las lámparas con gas, reduciéndose el uso de las de vacío a aplicaciones ocasionales en alumbrado general con potencias de hasta 40 W.

	Lámparas con gas	Lámparas de vacío
Temperatura del filamento	2500 °C	2100 °C
Eficacia luminosa de la lámpara	10-20 lm/W	7.5-11 lm/W
Duración	1000 horas	1000 horas
Pérdidas de calor	Convección y radiación	Radiación

Tabla 4.2

b.- Lámparas halógenas de alta y baja tensión

En las lámparas incandescentes normales, con el paso del tiempo, se produce una disminución significativa del flujo luminoso. Esto se debe, en parte, al ennegrecimiento de la ampolla por culpa de la evaporación de partículas de wolframio del filamento y su posterior condensación sobre la ampolla.

Agregando una pequeña cantidad de un compuesto gaseoso con halógenos (cloro, bromo o yodo), normalmente se usa el CH_2Br_2 , al gas de relleno se consigue establecer un ciclo de regeneración del halógeno que evita el ennegrecimiento. Cuando el tungsteno (W) se evapora se une al bromo formando el bromuro de wolframio (WBr_2). Como las paredes

de la ampolla están muy calientes (más de 260 °C) no se deposita sobre estas y permanece en estado gaseoso. Cuando el bromuro de wolframio entra en contacto con el filamento, que está muy caliente, se descompone en W que se deposita sobre el filamento y Br que pasa al gas de relleno. Y así, el ciclo vuelve a empezar.

El funcionamiento de este tipo de lámparas requiere de temperaturas muy altas para que pueda realizarse el ciclo del halógeno. Tienen una eficacia luminosa de 22 lm/W con una amplia gama de potencias de trabajo (150 a 2000W)

c.- Lámparas de descarga

Las lámparas de descarga constituyen una forma alternativa de producir luz de una manera más eficiente y económica que las lámparas incandescentes. La luz emitida se consigue por excitación de un gas sometido a descargas eléctricas entre dos electrodos. Según el gas contenido en la lámpara y la presión a la que esté sometido tendremos diferentes tipos de lámparas, cada una de ellas con sus propias características luminosas.

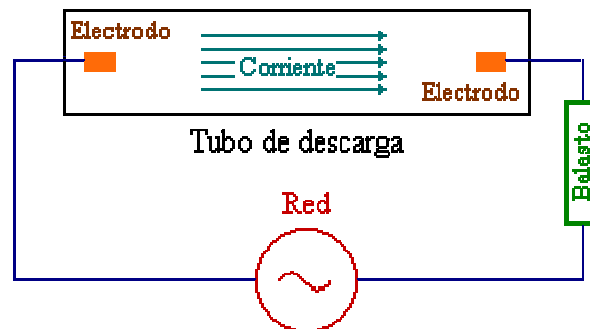


Figura 4.8

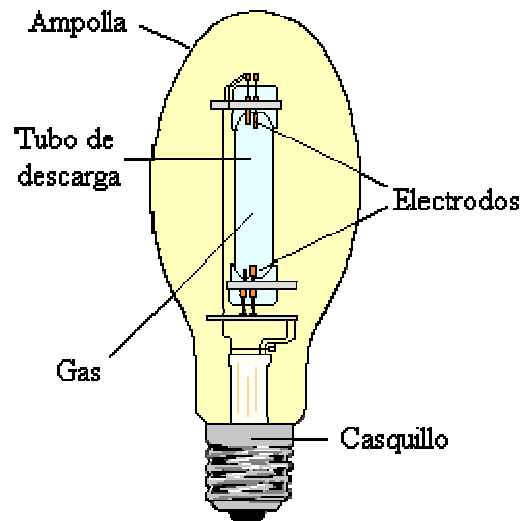
En el interior del tubo, se producen descargas eléctricas como consecuencia de la diferencia de potencial entre los electrodos.

Tipo de lámpara	Vida promedio (h)
Fluorescente estándar	12500
Luz de mezcla	9000
Mercurio a alta presión	25000
Halogenuros metálicos	11000
Sodio a baja presión	23000
Sodio a alta presión	23000

Tabla 4.3

Partes de una lámpara de descarga

Las formas de las lámparas de descarga varían según la clase de lámpara con que tratemos. De todas maneras, todas tienen una serie de elementos en común como el tubo de descarga, los electrodos, la ampolla exterior o el casquillo.



Principales partes de una lámpara de descarga

Figura 4.9

Clases de lámparas de descarga

Las lámparas de descarga se pueden clasificar según el gas utilizado (vapor de mercurio o sodio) o la presión a la que este se encuentre (alta o baja presión). Las propiedades varían mucho de unas a otras y esto las hace adecuadas para unos usos u otros.

1) LÁMPARAS DE VAPOR DE MERCURIO:

- **Baja presión:**
Lámparas fluorescentes
- **Alta presión:**
Lámparas de vapor de mercurio a alta presión
Lámparas de luz de mezcla
Lámparas con halogenuros metálicos

2) LÁMPARAS DE VAPOR DE SODIO:

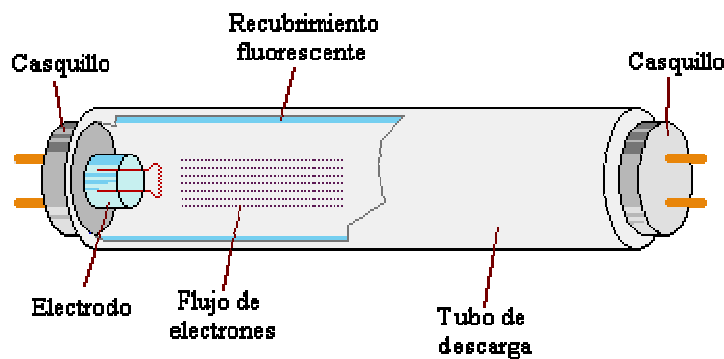
- Lámparas de vapor de sodio a baja presión
- Lámparas de vapor de sodio a alta presión
- **lámparas de vapor de mercurio a baja presión:**

Lámparas fluorescentes

Las lámparas fluorescentes son lámparas de vapor de mercurio a baja presión (0.8 Pa). En estas condiciones, se genera una radiación ultravioleta. Para que estas radiaciones sean útiles, se recubren las paredes interiores del tubo con polvos fluorescentes que convierten los rayos ultravioletas en radiaciones visibles. De la composición de estas sustancias dependerán la cantidad y calidad de la luz, y las cualidades cromáticas de la

lámpara. En la actualidad se usan dos tipos de polvos; los que producen un espectro continuo y los trifósforos que emiten un espectro de tres bandas con los colores primarios.

De la combinación estos tres colores se obtiene una luz blanca que ofrece un buen rendimiento de color sin penalizar la eficiencia como ocurre en el caso del espectro continuo.



Lámpara fluorescente
Figura 4.10

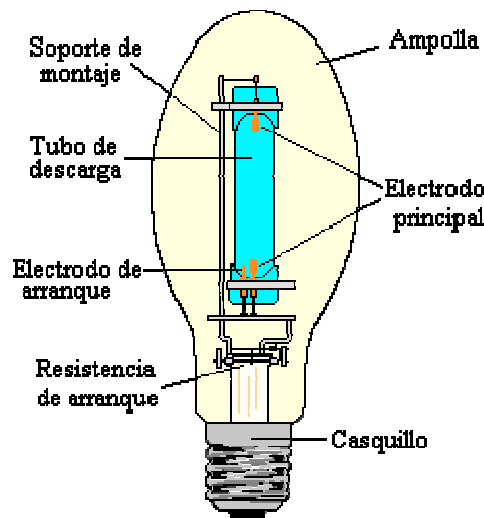
La duración de estas lámparas se sitúa entre 5000 y 7000 horas. Su vida termina cuando el desgaste sufrido por la sustancia emisora que recubre los electrodos, hecho que se incrementa con el número de encendidos, impide el encendido al necesitarse una tensión de ruptura superior a la suministrada por la red..

- **Lámparas de vapor de mercurio a alta presión**

A medida que aumentamos la presión del vapor de mercurio en el interior del tubo de descarga, la radiación ultravioleta característica de la lámpara a baja presión pierde importancia respecto a las emisiones en la zona visible (violeta de 404.7 nm, azul 435.8 nm, verde 546.1 nm y amarillo 579 nm).

La vida útil, teniendo en cuenta la depreciación se establece en unas 8000 horas. La eficacia oscila entre 40 y 60 lm/W y aumenta con la potencia, aunque para una misma potencia es posible incrementar la eficacia añadiendo un recubrimiento de polvos fosforescentes que conviertan la luz ultravioleta en visible.

Los modelo más habituales de estas lámparas tienen una tensión de encendido de 150 y 180 V que permite conectarlas a la red de 220 V sin necesidad de elementos auxiliares. Para encenderlas se recurre a un electrodo auxiliar próximo a uno de los electrodos principales que ioniza el gas inerte contenido en el tubo y facilita el inicio de la descarga entre los electrodos principales. A continuación se inicia un periodo transitorio de unos cuatro minutos, caracterizado porque la luz pasa de un tono violeta a blanco azulado, en el que se produce la vaporización del mercurio y un incremento progresivo de la presión del vapor y el flujo luminoso hasta alcanzar los valores normales. Si en estos momentos se apagara la lámpara no sería posible su reencendido hasta que se enfriara, puesto que la alta presión del mercurio haría necesaria una tensión de ruptura muy alta.



Lámpara de mercurio a alta presión

Figura 4.11

- **Lámparas de luz de mezcla**

Las lámparas de luz de mezcla son una combinación de una lámpara de mercurio a alta presión con una lámpara incandescente y, habitualmente, un recubrimiento fosforescente

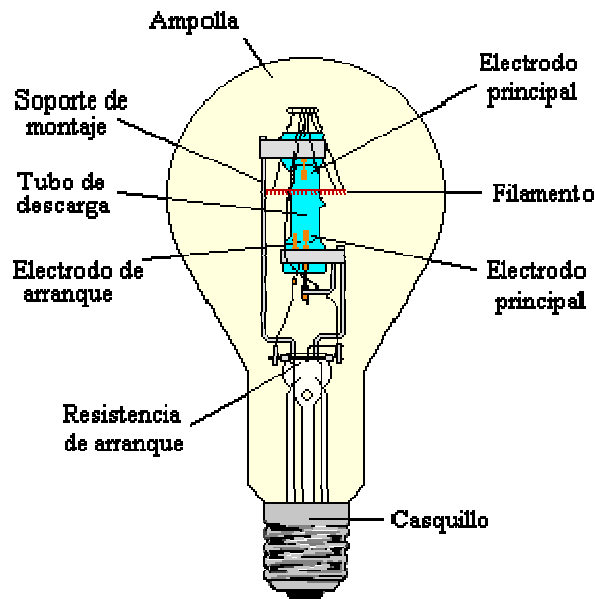
Espectro de emisión de una lámpara de luz de mezcla: Su eficacia se sitúa entre 20 y 60 lm/W y es el resultado de la combinación de la eficacia de una lámpara incandescente con la de una lámpara de descarga. Estas lámparas ofrecen una buena reproducción del color

La duración viene limitada por el tiempo de vida del filamento que es la principal causa de fallo.

Respecto a la depreciación del flujo hay que considerar dos causas. Por un lado tenemos el ennegrecimiento de la ampolla por culpa del wolframio evaporado y por otro la pérdida de eficacia de los polvos fosforescentes. En general, la vida media se sitúa en torno a las 6000 horas.

Una particularidad de estas lámparas es que no necesitan balasto ya que el propio filamento actúa como estabilizador de la corriente.

Esto las hace adecuadas para sustituir las lámparas incandescentes sin necesidad de modificar las instalaciones.



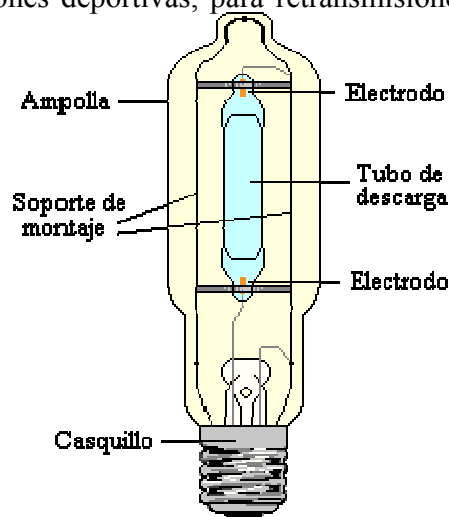
Lámpara de luz de mezcla

Figura 4.12

Lámparas con halogenuros metálicos

Si añadimos en el tubo de descarga yoduros metálicos (sodio, talio, indio...) se consigue mejorar considerablemente la capacidad de reproducir el color de la lámpara de vapor de mercurio.

La eficiencia de estas lámparas ronda entre los 60 y 96 lm/W y su vida media es de unas 10000 horas. Tienen un periodo de encendido de unos diez minutos, que es el tiempo necesario hasta que se estabiliza la descarga. Para su funcionamiento es necesario un dispositivo especial de encendido, puesto que las tensiones de arranque son muy elevadas (1500-5000 V). Las excelentes prestaciones cromáticas la hacen adecuada entre otras para la iluminación de instalaciones deportivas, para retransmisiones de TV, estudios de cine, proyectores, etc.



Lámpara con halogenuros metálicos

Figura 4.13

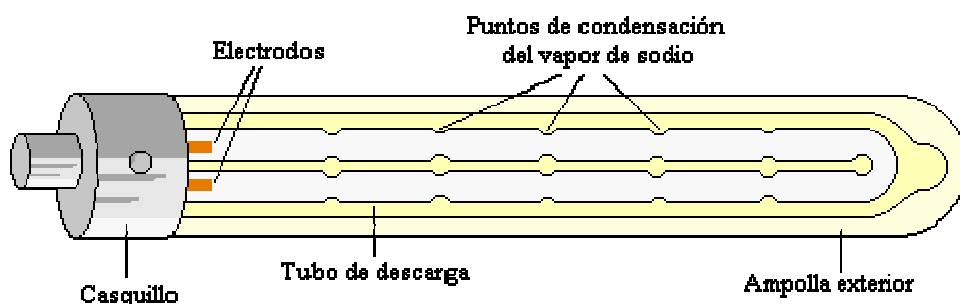
LÁMPARAS DE VAPOR DE SODIO

- Lámparas de vapor de sodio a baja presión

La descarga eléctrica en un tubo con vapor de sodio a baja presión produce una radiación monocromática característica formada por dos rayas en el espectro (589 nm y 589.6 nm) muy próximas entre sí.

La radiación emitida, de color amarillo, está muy próxima al máximo de sensibilidad del ojo humano (555 nm). Por ello, la eficacia de estas lámparas es muy elevada (entre 160 y 180 lm/W). Otras ventajas que ofrece es que permite una gran comodidad y agudeza visual, además de una buena percepción de contrastes. Por contra, su monocromatismo hace que la reproducción de colores y el rendimiento en color sean muy malos haciendo imposible distinguir los colores de los objetos.

La vida media de estas lámparas es muy elevada, de unas 15000 horas y la depreciación de flujo luminoso que sufren a lo largo de su vida es muy baja por lo que su vida útil es de entre 6000 y 8000 horas. Esto junto a su alta eficiencia y las ventajas visuales que ofrece la hacen muy adecuada para usos de alumbrado público, aunque también se utiliza con finalidades decorativas.



Lámpara de vapor de sodio a baja presión

Figura 4.14

En estas lámparas el tubo de descarga tiene forma de U para disminuir las pérdidas por calor y reducir el tamaño de la lámpara. Está elaborado de materiales muy resistentes pues el sodio es muy corrosivo y se le practican unas pequeñas hendiduras para facilitar la concentración del sodio y que se vaporice a la temperatura menor posible.

El tubo está encerrado en una ampolla en la que se ha practicado el vacío con objeto de aumentar el aislamiento térmico. De esta manera se ayuda a mantener la elevada temperatura de funcionamiento necesaria en la pared del tubo (270 °C).

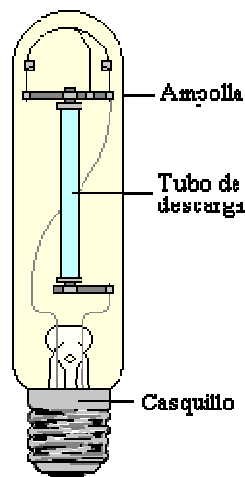
El tiempo de arranque de una lámpara de este tipo es de unos diez minutos. Es el tiempo necesario desde que se inicia la descarga en el tubo en una mezcla de gases inertes (neón y argón) hasta que se vaporiza todo el sodio y comienza a emitir luz. Físicamente esto se corresponde a pasar de una luz roja (propia del neón) a la amarilla característica del sodio. Se procede así para reducir la tensión de encendido.

- **Lámparas de vapor de sodio a alta presión**

Las lámparas de vapor de sodio a alta presión tienen una distribución espectral que abarca casi todo el espectro visible proporcionando una luz blanca dorada mucho más agradable que la proporcionada por las lámparas de baja presión.

Las consecuencias de esto es que tienen un rendimiento en color y capacidad para reproducir los colores mucho mejores que la de las lámparas a baja presión. No obstante, esto se consigue a base de sacrificar eficacia; aunque su valor que ronda los 130 lm/W sigue siendo un valor alto comparado con los de otros tipos de lámparas.

La vida media de este tipo de lámparas ronda las 20000 horas y su vida útil entre 8000 y 12000 horas. Entre las causas que limitan la duración de la lámpara, además de mencionar la depreciación del flujo tenemos que hablar del fallo por fugas en el tubo de descarga y del incremento progresivo de la tensión de encendido necesaria hasta niveles que impiden su correcto funcionamiento.



Lámpara de vapor de sodio a alta presión
Figura 4.15

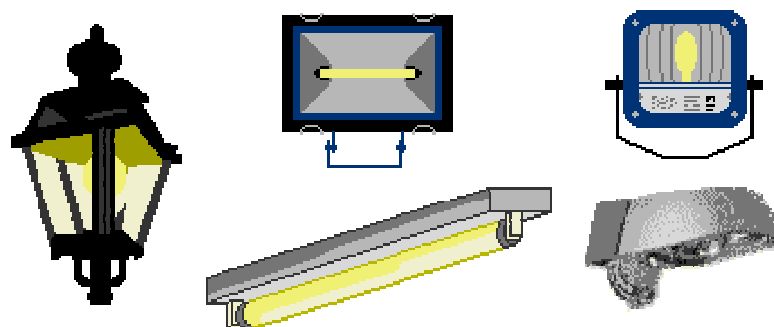
Este tipo de lámparas tienen muchos usos posibles tanto en iluminación de interiores como de exteriores. Algunos ejemplos son en iluminación de naves industriales, alumbrado público o iluminación decorativa.

Luminarias

Las luminarias son aparatos que sirven de soporte y conexión a la red eléctrica a las lámparas. Como esto no basta para que cumplan eficientemente su función, es necesario que cumplan una serie de características ópticas, mecánicas y eléctricas entre otras.

A nivel de óptica, la luminaria es responsable del control y la distribución de la luz emitida por la lámpara. Es importante, pues, que en el diseño de su sistema óptico se cuide la forma y distribución de la luz, el rendimiento del conjunto lámpara-luminaria y el deslumbramiento que pueda provocar en los usuarios.

Otros requisitos que debe cumplir las luminarias es que sean de fácil instalación y mantenimiento. Para ello, los materiales empleados en su construcción han de ser los adecuados para resistir el ambiente en que deba trabajar la luminaria y mantener la temperatura de la lámpara dentro de los límites de funcionamiento. Todo esto sin perder de vista aspectos no menos importantes como la economía o la estética.



Ejemplos de luminarias

Figura 4.16

CLASIFICACIÓN

Las luminarias pueden clasificarse de muchas maneras aunque lo más común es utilizar criterios ópticos, mecánicos o eléctricos.

Clasificación según las características ópticas de la lámpara

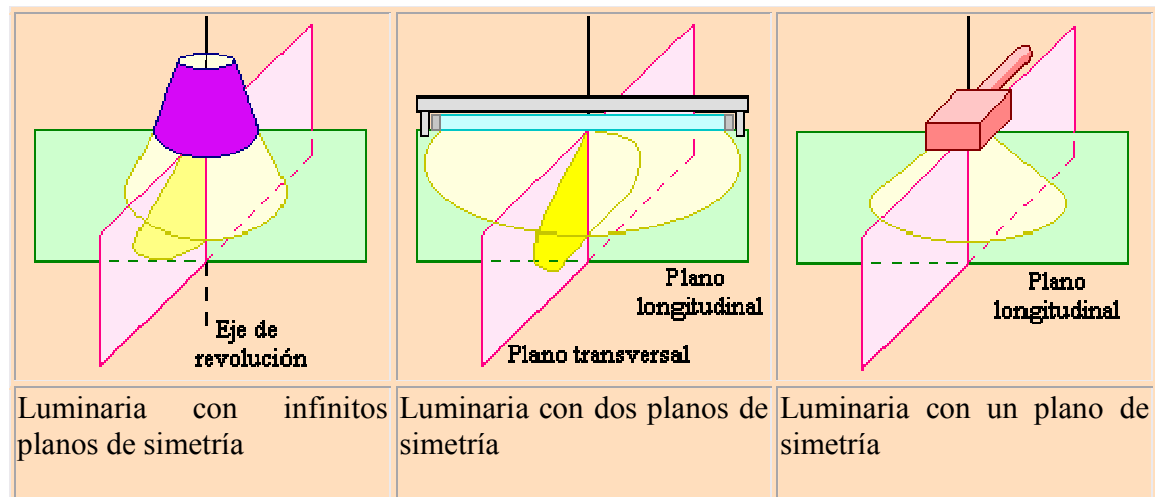
Una primera manera de clasificar las luminarias es según el porcentaje del flujo luminoso emitido por encima y por debajo del plano horizontal que atraviesa la lámpara. Es decir, dependiendo de la cantidad de luz que ilumine hacia el techo o al suelo. Según esta clasificación se distinguen seis clases

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

Figura 4.17

Clasificación según la distribución de la luz

Otra clasificación posible es atendiendo al número de planos de simetría que tenga el sólido fotométrico. Así, podemos tener luminarias con simetría de revolución que tienen infinitos planos de simetría y por tanto nos basta con uno de ellos para conocer lo que pasa en el resto de planos (por ejemplo un proyector o una lámpara tipo globo), con dos planos de simetría (transversal y longitudinal) como los fluorescentes y con un plano de simetría (el longitudinal) como ocurre en las luminarias de alumbrado viario.



NOTA: Para las luminarias destinadas al alumbrado público se utilizan otras clasificaciones.

Figura 4.18

4.5 INSTALACIONES RESIDENCIALES

Para este propósito desarrollaremos algunos conceptos básicos que serán de amplia utilización.

4.5.1 CONCEPTOS BÁSICOS

4.5.1.1 ACOMETIDA

Es la conexión física entre el poste de la red de distribución pública y el medidor de la instalación eléctrica. Las acometidas pueden ser de tipo aéreo o subterráneo, y tienen dos elementos principales: los **conductores** y la **canalización**.

Los conductores se conectan entre los cables de la red pública y las barras del equipo de medida, o directamente al medidor de energía.

La canalización normalmente es una barra metálica con cierta curvatura en la parte superior (llamada bastón de acometida), y que además tiene aisladores (normalmente de cerámica) que sirven para sostener y aislar los conductores de acometida.

En las acometidas aéreas, a veces es necesario colocar un poste intermediario, entre el poste de la red pública y el equipo de medida, para poder cumplir las normas establecidas por la empresa distribuidora.

4.5.1.2 TABLERO DE MEDICIÓN ^[2]

Es el equipo que se precisa para medir el consumo de la instalación eléctrica, básicamente se refiere a los aparatos de medición de consumo eléctrico (medidores domiciliarios).

El tablero en forma general consta de tres elementos:

- a) la caja metálica
- b) El medidor de energía
- c) El interruptor termo magnético de protección general.

A veces, cuando se instalan dos medidores o más es necesario instalar una caja con las barras de distribución.

La caja metálica será de plancha metálica de 1 mm de espesor o 1/40" que también es aceptable, estas condiciones están definidas por el **"Reglamento de instalaciones eléctricas de baja tensión"**.

El medidor de energía debe ser elegido, considerando la demanda máxima, la potencia de contrato y la clase de carga existente en la instalación (trifásica o monofásica).

El interruptor termo magnético del tablero de medición, es el elemento de protección general para toda la instalación. Se dice que este aparato es termo magnético, porque tiene dos formas de responder a las fallas eléctricas. Cuando ocurre un cortocircuito su elemento magnético actúa y desconecta instantáneamente la instalación; y cuando existe una sobrecarga su elemento térmico es el que actúa, y desconecta la instalación. El interruptor termo magnético será elegido, considerando la potencia de contrato o demanda máxima, la tensión de servicio, la capacidad de corte y sensibilidad a las fallas.

El reglamento indica que los interruptores de 3 a 13 amperios y tensión de 240 voltios, su capacidad de corte debe ser de 6 KA (6000 Amperios), para corrientes nominales superiores a 13 A la capacidad de corte debe ser de 20000 amperios.

En el sistema de distribución de Cochabamba, se considera aceptable interruptores termo magnéticos de 10 KA y en el sistema de distribución de 380, es permisible termo magnéticos de 20 KA. La sensibilidad del termo magnético, es su velocidad de respuesta, cuando existe un corto circuito o sobrecarga.

Un tiempo de 20 milisegundos (0.020 seg.) indica una buena sensibilidad; es decir, la respuesta en caso de falla es casi instantánea.

4.5.1.3 CIRCUITO PRINCIPAL ^[2]

Es el circuito que conecta el tablero de medición con el tablero de distribución. En general, los conductores de este circuito deben tener el mismo calibre del conductor de acometida y tener la misma cantidad de conductores.

4.5.1.4 TABLERO DE DISTRIBUCIÓN ^[2]

Es donde se instalan los interruptores termo magnéticos de protección para los circuitos secundarios.

Normalmente tienen un compartimiento para barras y uno para los interruptores de protección.

4.5.1.5 CIRCUITOS SECUNDARIOS ^[2]

Son los circuitos que están conectados a las cargas eléctricas. Un circuito secundario tiene una línea principal y derivaciones a las cargas eléctricas. El calibre del conductor de la línea principal debe ser mayor o igual al calibre de las derivaciones, los circuitos secundarios más comunes en una instalación eléctrica residencial son: el circuito de iluminación, el circuito de tomacorrientes, el circuito de ducha eléctrica, el circuito de calefón eléctrico, el circuito para la cocina eléctrica, etc.

4.5.1.6 CARGAS ELÉCTRICAS.

Son todos los elementos eléctricos de una instalación que consumen energía, cuando se los energiza con la tensión de servicio. Ejemplos: un televisor, un foco incandescente, un calentador de agua eléctrico, una cocina eléctrica, una licuadora, un refrigerador, etc

4.5.1.7 INTERCOMUNICADOR

Es una instalación complementaria que facilita la comunicación de las personas mediante una línea de intercomunicación.

La finalidad principal es el de permitir la conversación entre una persona que llama, y que esta ubicada en la puerta de ingreso de la vivienda, y otra persona que se halla en el interior de la residencia. A veces el intercomunicador se puede combinar con el comando eléctrico de la chapa de la puerta, y poder abrir la puerta de ingreso en forma indirecta, mediante un comando electro magnético para abrir la cerradura.

4.6 CALCULO DE LA INSTALACIÓN RESIDENCIAL

En toda instalación eléctrica, el problema principal que se debe resolver es el de hacer funcionar una o varias cargas eléctricas en forma adecuada. Para este cometido, se debe conectar la carga a una fuente de energía, mediante la instalación de un circuito.

Un circuito eléctrico consta esencialmente de tres partes como se muestra en la figura 4.19

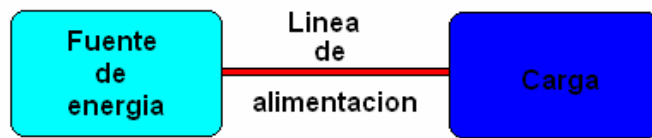


Figura 4.19

- La **fuentes de energía**, es la que suministra la tensión eléctrica del circuito a un determinado voltaje.
- La **línea de alimentación** es el enlace entre la carga y la fuente de energía.
- La **carga** es el elemento del circuito que consume o gasta la energía eléctrica entregada por la fuente.

4.7 CÁLCULOS EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS RESIDENCIALES ^[2]

Para un proyecto de instalación eléctrica domiciliaria se deben de tener en cuenta muchos factores, de los cuales describimos los más importantes.

4.7.1 CALCULO DE LA ACOMETIDA

Para realizar el cálculo del conductor de acometida se tomaran en cuenta los siguientes factores:

- a) La potencia total instalada en la vivienda.
- b) La caída de tensión de servicio en la zona.
- c) La caída de tensión porcentual en la acometida.
- d) Tipo de acometida (monofásica o trifásica).
- e) La longitud de la acometida en metros.
- f) El material del conductor

4.7.2 CALCULO DE CONDUCTORES DEL ALIMENTADOR PRINCIPAL

Para este cálculo se sigue el mismo proceso de cálculo que para una acometida con la diferencia de que la fuente de energía se toma en el medidor y la carga se tiene concentrada en el tablero de distribución.

4.8 CONEXIONADO DE CIRCUITOS

A continuación se presentaran algunos de los esquemas básicos en instalaciones residenciales:

4.8.1 CONEXIÓN DE UN TOMACORRIENTE BIPOLAR

Para conectar un tomacorriente bipolar, es necesario llevar dos conductores desde dos polos de la fuente de energía hasta las dos terminales de la placa de toma corriente como se muestra en la figura 4.20

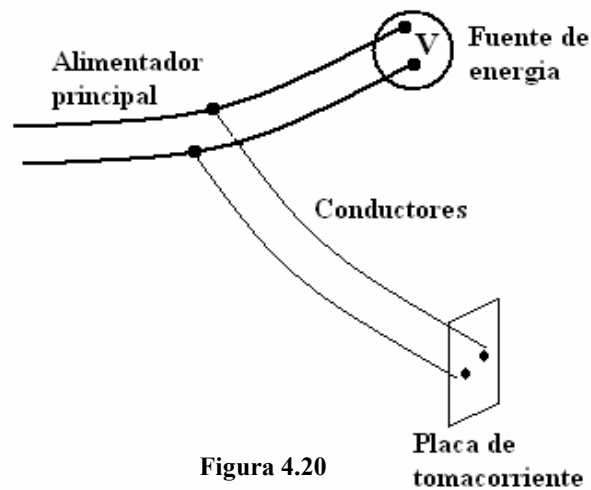


Figura 4.20

4.8.2 CONEXIÓN DE UN PUNTO DE LUZ

Para conectar un punto de luz, comandado por un interruptor; es necesario llevar dos conductores, uno llamado de ida y el otro llamado de retorno, desde dos polos de la fuente de energía hasta las dos terminales del artefacto de iluminación, haciendo que uno de los polos tenga instalado un interruptor entre la fuente y la carga (punto de luz), para encender y apagar el punto de luz.

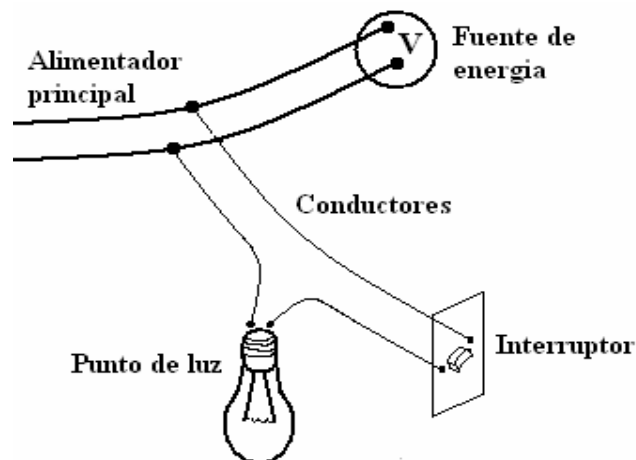


Figura 4.21

4.8.3 CONEXIÓN DE UN PUNTO DE LUZ CON DOS CONMUTADORES

Para conectar un punto de luz comandado por dos conmutadores se requiere llevar dos conductores, desde dos polos de la fuente de energía hasta las dos terminales del artefacto de iluminación, haciendo que en la trayectoria de uno de los polos, se tenga instalado los dos conmutadores entre la fuente y la carga, para poder encender y apagar el punto de luz con cualquiera de los conmutadores según se muestra en la figura 4.22.

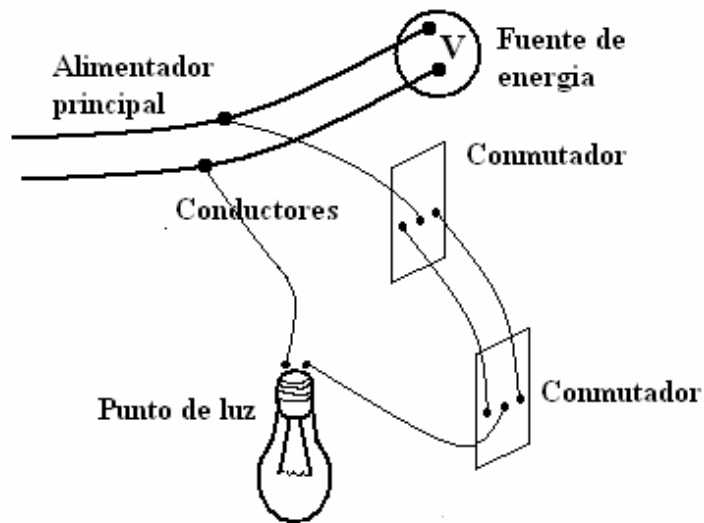


Figura 4.22

4.9 LUMINOTECNIA ^{[1*] [21] [19] [5]}

4.9.1 ILUMINACION DE INTERIORES ^{[17] [18]}

La determinación de los niveles de iluminación adecuados para una instalación no es un trabajo sencillo. Hay que tener en cuenta que los valores recomendados para cada tarea y entorno son fruto de estudios sobre valoraciones subjetivas de los usuarios (comodidad visual, agradabilidad, rendimiento visual...). El usuario estándar no existe y por tanto, una misma instalación puede producir diferentes impresiones a distintas personas. En estas sensaciones influirán muchos factores como los estéticos, los psicológicos, el nivel de iluminación, etc.

Como principales aspectos a considerar trataremos:

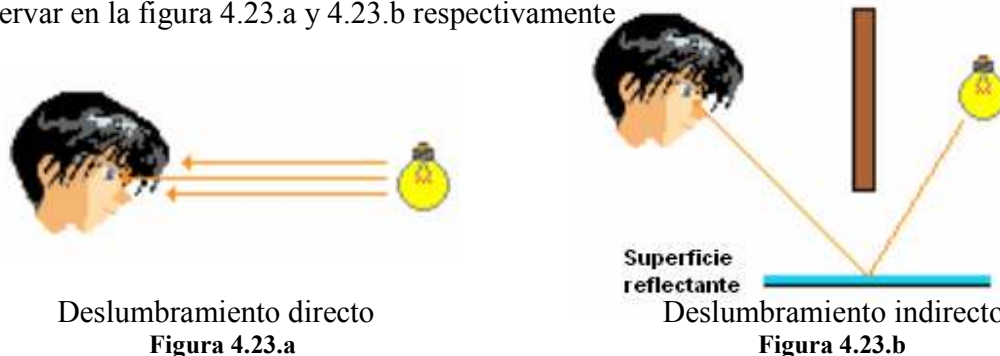
- a) El deslumbramiento
- b) Lámparas y luminarias
- c) El color
- d) Sistemas de alumbrado
- e) Métodos de alumbrado
- f) Niveles de iluminación
- g) Depreciación de la eficiencia luminosa y mantenimiento

a) Deslumbramiento.-

El deslumbramiento es una sensación molesta que se produce cuando la luminancia de un objeto es mucho mayor que la de su entorno. Es lo que ocurre cuando miramos directamente una bombilla o cuando vemos el reflejo del sol en el agua. Existen dos formas de deslumbramiento, el **perturbador** y el **molesto**. El primero consiste en la aparición de un velo luminoso que provoca una visión borrosa, sin nitidez y con poco contraste, que desaparece al cesar su causa; un ejemplo muy claro lo tenemos cuando conduciendo de

noche se nos cruza un coche con las luces largas. El segundo consiste en una sensación molesta provocada porque la luz que llega a nuestros ojos es demasiado intensa produciendo fatiga visual. Esta es la principal causa de deslumbramiento en interiores.

Pueden producirse deslumbramientos de dos maneras. La primera es por observación directa de las fuentes de luz; por ejemplo, ver directamente las luminarias. Y la segunda es por observación indirecta o reflejada de las fuentes como ocurre cuando las vemos reflejadas en alguna superficie (una mesa, un mueble, un cristal, un espejo...) como se puede observar en la figura 4.23.a y 4.23.b respectivamente



Deslumbramiento directo
Figura 4.23.a

Superficie reflectante
Deslumbramiento indirecto
Figura 4.23.b

Estas situaciones son muy molestas para los usuarios y deben evitarse. Entre las medidas que podemos adoptar tenemos ocultar las fuentes de luz del campo de visión usando rejillas o pantallas, utilizar recubrimientos o acabados mates en paredes, techos, suelos y muebles para evitar los reflejos, evitar fuertes contrastes de luminancias entre la tarea visual y el fondo y/o cuidar la posición de las luminarias respecto a los usuarios para que no caigan dentro de su campo de visión.

b) Lámparas y luminarias

Las **lámparas** empleadas en iluminación de interiores abarcan casi todos los tipos existentes en el mercado (incandescentes, halógenas, fluorescentes, etc.). Las lámparas escogidas, por lo tanto, serán aquellas cuyas características (fotométricas, cromáticas, consumo energético, economía de instalación y mantenimiento, etc.) mejor se adapte a las necesidades y características de cada instalación (nivel de iluminación, dimensiones del local, ámbito de uso, potencia de la instalación...) en la tabla 4.1 siguiente se pueden observar algunas sugerencias en función al tipo de local

Ámbito de uso	Tipos de lámparas más utilizados
Doméstico	<ul style="list-style-type: none"> • Incandescente • Fluorescente • Halógenas de baja potencia • Fluorescentes compactas
Oficinas	<ul style="list-style-type: none"> • Alumbrado general: fluorescentes • Alumbrado localizado: incandescentes y halógenas de baja tensión
Comercial (Depende de las	<ul style="list-style-type: none"> • Incandescentes

dimensiones y características del comercio)	<ul style="list-style-type: none"> • Halógenas • Fluorescentes • Grandes superficies con techos altos: mercurio a alta presión y halogenuros metálicos
Industrial	<ul style="list-style-type: none"> • Todos los tipos • Luminarias situadas a baja altura (≤ 6 m): fluorescentes • Luminarias situadas a gran altura (> 6 m): lámparas de descarga a alta presión montadas en proyectores • Alumbrado localizado: incandescentes
Deportivo	<ul style="list-style-type: none"> • Luminarias situadas a baja altura: fluorescentes • Luminarias situadas a gran altura: lámparas de vapor de mercurio a alta presión, halogenuros metálicos y vapor de sodio a alta presión

Tabla 4.1

La elección de las **luminarias** está condicionada por la lámpara utilizada y el entorno de trabajo de esta. Hay muchos tipos de luminarias y sería difícil hacer una clasificación exhaustiva. La forma y tipo de las luminarias oscilará entre las más funcionales donde lo más importante es dirigir el haz de luz de forma eficiente como pasa en el alumbrado industrial a las más formales donde lo que prima es la función decorativa como ocurre en el alumbrado doméstico.

Las luminarias para lámparas incandescentes tienen su ámbito de aplicación básico en la iluminación doméstica. Por lo tanto, predomina la estética sobre la eficiencia luminosa. Sólo en aplicaciones comerciales o en luminarias para iluminación suplementaria se buscará un compromiso entre ambas funciones. Son aparatos que necesitan **apantallamiento** pues el filamento de estas lámparas tiene una luminancia muy elevada y pueden producir deslumbramientos.

En segundo lugar tenemos las luminarias para lámparas fluorescentes. Se utilizan mucho en oficinas, comercios, centros educativos, almacenes, industrias con techos bajos, etc. por su economía y eficiencia luminosa. Así pues, nos encontramos con una gran variedad de modelos que van de los más simples a los más sofisticados con sistemas de orientación de la luz y apantallamiento (modelos con rejillas cuadradas o transversales y modelos con difusores).

Por último tenemos las luminarias para lámparas de descarga a alta presión. Estas se utilizan principalmente para colgar a gran altura (industrias y grandes naves con techos altos) o en iluminación de pabellones deportivos, aunque también hay modelos para

pequeñas alturas. En el primer caso se utilizan las luminarias intensivas y los proyectores y en el segundo las extensivas.

c) El color

Para hacernos una idea de como afecta la luz al color consideremos una habitación de paredes blancas con muebles de madera de tono claro. Si la iluminamos con lámparas incandescentes, ricas en radiaciones en la zona roja del espectro, se acentuarán los tonos marrones de los muebles y las paredes tendrán un tono amarillento. En conjunto tendrá un aspecto cálido muy agradable. Ahora bien, si iluminamos el mismo cuarto con lámparas fluorescentes normales, ricas en radiaciones en la zona azul del espectro, se acentuarán los tonos verdes y azules de muebles y paredes dándole un aspecto frío a la sala. En este sencillo ejemplo hemos podido ver cómo afecta el color de las lámparas (su apariencia en color) a la reproducción de los colores de los objetos (el rendimiento en color de las lámparas).

La **apariencia en color** de las lámparas viene determinada por su **temperatura de color** correlacionada (tabla 4.2). Se definen tres grados de apariencia según la tonalidad de la luz: luz fría para las que tienen un tono blanco azulado, luz neutra para las que dan luz blanca y luz cálida para las que tienen un tono blanco rojizo.

Temperatura de color correlacionada	Apariencia de color
$T_c > 4.000 \text{ K}$	Fría
$3.300 \leq T_c \leq 4.000 \text{ K}$	Intermedia
$T_c < 3.300 \text{ K}$	Cálida

Tabla 4.2

A pesar de esto, la apariencia en color no basta para determinar qué sensaciones producirá una instalación a los usuarios. Por ejemplo, es posible hacer que una instalación con fluorescentes llegue a resultar agradable y una con lámparas cálidas desagradable aumentando el nivel de iluminación de la sala. El valor de la iluminancia determinará conjuntamente con la apariencia en color de las lámparas el aspecto final (tabla 4.3).

Iluminancia (lux)	Apariencia del color de la luz		
	Cálida	Intermedia	Fría
$500 < E < 1.000$	agradable	neutra	fría
$1.000 < E < 2.000$	estimulante	agradable	neutra
$2.000 < E < 3.000$	no natural	estimulante	agradable

Tabla 4.3

El **rendimiento en color** de las lámparas es una medida de la calidad de reproducción de los colores.

Se mide con el **Índice de Rendimiento del Color (IRC o Ra)** que compara la reproducción de una muestra normalizada de colores iluminada con una lámpara con la misma muestra iluminada con una fuente de luz de referencia.

Mientras más alto sea este valor mejor será la reproducción del color, aunque a costa de sacrificar la eficiencia y consumo energéticos. La CIE ha propuesto un sistema de clasificación de las lámparas en cuatro grupos según el valor del IRC como se muestra en la tabla 4.4

Grupo rendimiento en color	Índice de rendimiento en color (IRC)	Apariencia de color	Aplicaciones
1	IRC \geq 85	Fría	Industria textil, fábricas de pinturas, talleres de imprenta
		Intermedia	Escaparates, tiendas, hospitales
		Cálida	Hogares, hoteles, restaurantes
2	70 \leq IRC < 85	Fría	Oficinas, escuelas, grandes almacenes, industrias de precisión (en climas cálidos)
		Intermedia	Oficinas, escuelas, grandes almacenes, industrias de precisión (en climas templados)
		Cálida	Oficinas, escuelas, grandes almacenes, ambientes industriales críticos (en climas fríos)
3	Lámparas con IRC <70 pero con propiedades de rendimiento en color bastante aceptables para uso en locales de trabajo		Interiores donde la discriminación cromática no es de gran importancia
S (especial)	Lámparas con rendimiento en color fuera de lo normal		Aplicaciones especiales

Apariencia de color y rendimiento en color (CIE)

Tabla 4.4

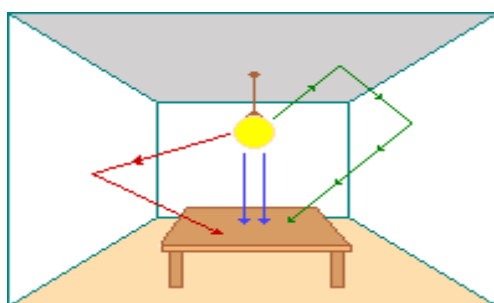
Ahora que ya conocemos la importancia de las lámparas en la reproducción de los colores de una instalación, nos queda ver otro aspecto no menos importante: la elección del color de suelos, paredes, techos y muebles. Aunque la elección del color de estos elementos viene condicionada por aspectos estéticos y culturales básicamente, hay que tener en cuenta la repercusión que tiene el resultado final en el estado anímico de las personas.

Los tonos fríos producen una sensación de tristeza y reducción del espacio, aunque también pueden causar una impresión de frescor que los hace muy adecuados para la decoración en climas cálidos. Los tonos cálidos son todo lo contrario. Se asocian a sensaciones de exaltación, alegría y amplitud del espacio y dan un aspecto acogedor al ambiente que los convierte en los preferidos para los climas cálidos.

De todas maneras, a menudo la presencia de elementos fríos (bien sea la luz de las lámparas o el color de los objetos) en un ambiente cálido o viceversa ayudarán a hacer más agradable y/o neutro el resultado final.

d) Sistemas de alumbrado

Cuando una lámpara se enciende, el flujo emitido puede llegar a los objetos de la sala directamente o indirectamente por reflexión en paredes y techo. La cantidad de luz que llega directa o indirectamente determina los diferentes sistemas de iluminación con sus ventajas e inconvenientes.



- Luz directa
- Luz indirecta proveniente del techo
- Luz indirecta proveniente de las paredes

La **iluminación directa** se produce cuando todo el flujo de las lámparas va dirigido hacia el suelo. Es el sistema más económico de iluminación y el que ofrece mayor rendimiento luminoso. Por contra, el riesgo de deslumbramiento directo es muy alto y produce sombras duras poco agradables para la vista. Se consigue utilizando luminarias directas.

En la **iluminación semidirecta** la mayor parte del flujo luminoso se dirige hacia el suelo y el resto es reflejada en techo y paredes. En este caso, las sombras son más suaves y el deslumbramiento menor que el anterior. Sólo es recomendable para techos que no sean muy altos y sin claraboyas puesto que la luz dirigida hacia el techo se perdería por ellas.

Si el flujo se reparte al cincuenta por ciento entre procedencia directa e indirecta hablamos de **iluminación difusa**. El riesgo de deslumbramiento es bajo y no hay sombras, lo que le da un aspecto monótono a la sala y sin relieve a los objetos iluminados. Para evitar

las pérdidas por absorción de la luz en techo y paredes es recomendable pintarlas con colores claros o mejor blancos.

Cuando la mayor parte del flujo proviene del techo y paredes tenemos la **iluminación semiindirecta**. Debido a esto, las pérdidas de flujo por absorción son elevadas y los consumos de potencia eléctrica también, lo que hace imprescindible pintar con tonos claros o blancos. Por contra la luz es de buena calidad, produce muy pocos deslumbramientos y con sombras suaves que dan relieve a los objetos.

Por último tenemos el caso de la **iluminación indirecta** cuando casi toda la luz va al techo. Es la más parecida a la luz natural pero es una solución muy cara puesto que las pérdidas por absorción son muy elevadas. Por ello es imprescindible usar pinturas de colores blancos con reflectancias elevadas.

e) Métodos de alumbrado.-

Los métodos de alumbrado figura 4.24 nos indican cómo se reparte la luz en las zonas iluminadas. Según el grado de uniformidad deseado, distinguiremos tres casos: alumbrado general, alumbrado general localizado y alumbrado localizado.

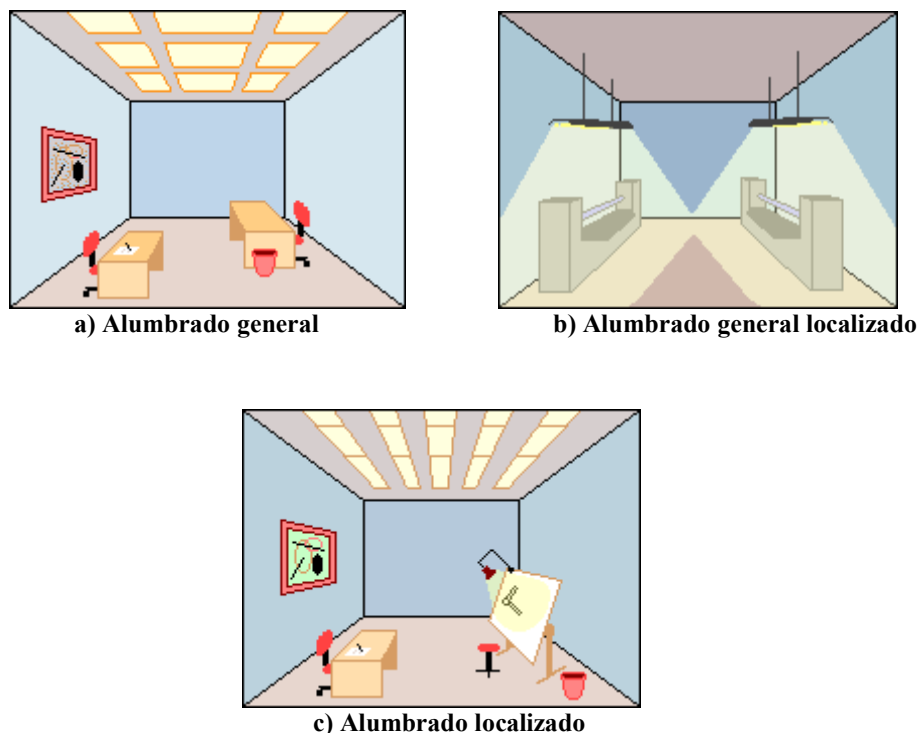
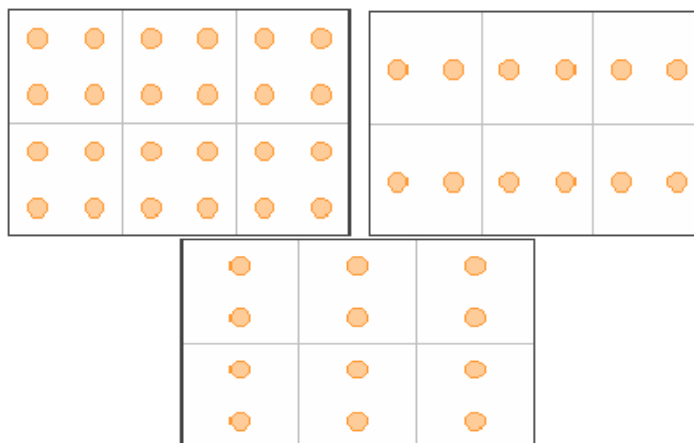


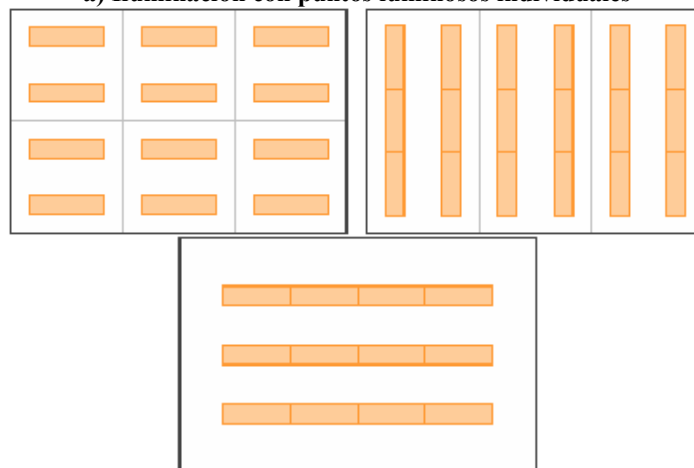
Figura 4.24

El **alumbrado general** proporciona una iluminación uniforme sobre toda el área iluminada. Es un método de iluminación muy extendido y se usa habitualmente en oficinas,

centros de enseñanza, fábricas, comercios, etc. Se consigue distribuyendo las luminarias de forma regular por todo el techo del local



a) Iluminación con puntos luminosos individuales



b) Iluminación con pantalla con uno o mas puntos luminosos

Ejemplos de distribución de luminarias en alumbrado general

Figura 4.25

El **alumbrado general localizado** proporciona una distribución no uniforme de la luz de manera que esta se concentra sobre las áreas de trabajo. El resto del local, formado principalmente por las zonas de paso se ilumina con una luz más tenue. Se consiguen así importantes ahorros energéticos puesto que la luz se concentra allá donde hace falta. Claro que esto presenta algunos inconvenientes respecto al alumbrado general. En primer lugar, si la diferencia de luminancias entre las zonas de trabajo y las de paso es muy grande se puede producir deslumbramiento molesto. El otro inconveniente es qué pasa si se cambian de sitio con frecuencia los puestos de trabajo; es evidente que si no podemos mover las luminarias tendremos un serio problema. Podemos conseguir este alumbrado concentrando las luminarias sobre las zonas de trabajo. Una alternativa es apagar selectivamente las luminarias en una instalación de alumbrado general.

Empleamos el **alumbrado localizado** cuando necesitamos una iluminación suplementaria cerca de la tarea visual para realizar un trabajo concreto. El ejemplo típico serían las lámparas de escritorio.

Recurriremos a este método siempre que el nivel de iluminación requerido sea superior a 1000 lux., haya obstáculos que tapen la luz proveniente del alumbrado general, cuando no sea necesaria permanentemente o para personas con problemas visuales. Un aspecto que hay que cuidar cuando se emplean este método es que la relación entre las luminancias de la tarea visual y el fondo no sea muy elevada pues en caso contrario se podría producir deslumbramiento molesto.

f) Niveles de iluminación recomendados ^[1]

Los niveles de iluminación recomendados (tabla 4.5) para un local dependen de las actividades que se vayan a realizar en él. En general podemos distinguir entre tareas con requerimientos luminosos mínimos, normales o exigentes.

En el primer caso estarían las zonas de paso (pasillos, vestíbulos, etc.) o los locales poco utilizados (almacenes, cuartos de maquinaria...) con iluminancias entre 50 y 200 lx. En el segundo caso tenemos las zonas de trabajo y otros locales de uso frecuente con iluminancias entre 200 y 1000 lx. Por último están los lugares donde son necesarios niveles de iluminación muy elevados (más de 1000 lx) porque se realizan tareas visuales con un grado elevado de detalle que se puede conseguir con iluminación local. Tareas y clases de local	Iluminancia media en servicio (lux)		
	Mínimo	Recomendado	Óptimo
Zonas generales de edificios			
Zonas de circulación, pasillos	50	100	150
Escaleras, escaleras móviles, roperos, lavabos, almacenes y archivos	100	150	200
Centros docentes			
Aulas, laboratorios	300	400	500
Bibliotecas, salas de estudio	300	500	750
Oficinas			
Oficinas normales, mecanografiado, salas de proceso de datos, salas de conferencias	450	500	750
Grandes oficinas	500	750	1000
Comercios			
Comercio tradicional	300	500	750
Grandes superficies, supermercados, salones de muestras	500	750	1000
Industria (en general)			
Trabajos con requerimientos visuales limitados	200	300	500
Trabajos con requerimientos visuales normales	500	750	1000
Trabajos con requerimientos visuales especiales	1000	1500	2000
Viviendas			

Dormitorios	100	150	200
Cuartos de aseo	100	150	200
Cuartos de estar	200	300	500
Cocinas	100	150	200
Cuartos de trabajo o estudio	300	500	750

Illuminancias recomendadas según la actividad y el tipo de local ^{[17] [18]}

Tabla 4.5

En la tabla 4.5 tenemos un cuadro simplificado de los niveles de iluminancia en función atablas más completas (NB 777)

g) Depreciación de la eficiencia luminosa y mantenimiento.-

El paso del tiempo provoca sobre las instalaciones de alumbrado una disminución progresiva en los niveles de iluminancia. Las causas de este problema se manifiestan de dos maneras. Por un lado tenemos el ensuciamiento de lámparas, luminarias y superficies donde se va depositando el polvo. Y por otro tenemos la depreciación del flujo de las lámparas.

En el primer caso la solución pasa por una limpieza periódica de lámparas y luminarias. Y en el segundo por establecer un programa de sustitución de las lámparas. Aunque a menudo se recurre a esperar a que fallen para cambiarlas, es recomendable hacer la sustitución por grupos o de toda la instalación a la vez según un programa de mantenimiento. De esta manera aseguraremos que los niveles de iluminancia real se mantengan dentro de los valores de diseño de la instalación.

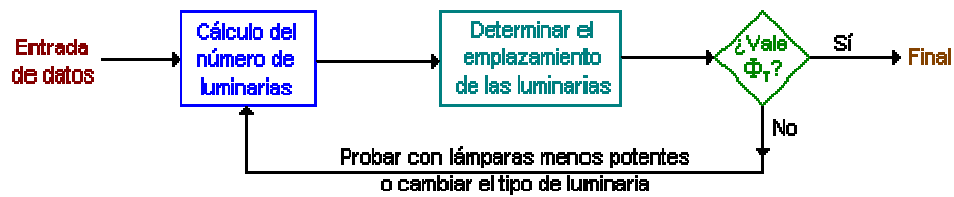
4.9.1.1 CALCULO DE INSTALACIONES PARA ALUMBRADO DE INTERIORES ^{[21] [5] [21]}

El cálculo de los niveles de iluminación de una instalación de alumbrado de interiores es bastante sencillo. A menudo nos bastará con obtener el valor medio del alumbrado general usando el **método de los lúmenes**. Para los casos en que requiramos una mayor precisión o necesitemos conocer los valores de las iluminancias en algunos puntos concretos como pasa en el alumbrado general localizado o el alumbrado localizado recurriremos al **método del punto por punto**.

4.9.1.1.1 MÉTODO DE LOS LÚMENES

Este método calcula el valor medio de servicio de la iluminancia en un local iluminado con alumbrado general. Es práctico y fácil de usar, y por ello se utiliza mucho en la iluminación de interiores cuando la precisión necesaria no es muy alta como ocurre en la mayoría de los casos.

El proceso a seguir se puede explicar mediante el siguiente diagrama de flujo o bloques:



Datos de entrada.-

Dimensiones del local y la altura del plano de trabajo (la altura del suelo a la superficie de la mesa de trabajo), normalmente de 0.85 m como se muestra en la figura 4.26

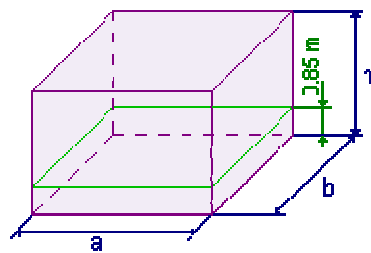


Figura 4.26

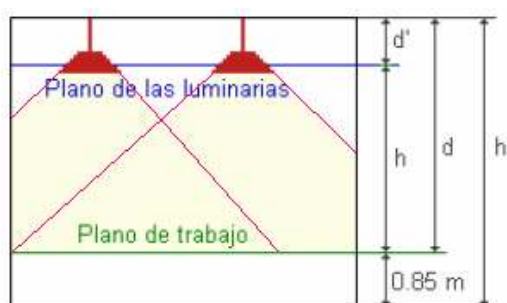
Determinar el nivel de iluminancia media (E_m). Este valor depende del tipo de actividad a realizar en el local y podemos encontrarlos tabulados en las normas (NB 777) .

Escoger el tipo de lámpara (incandescente, fluorescente...) más adecuada de acuerdo con el tipo de actividad a realizar.

Escoger el sistema de alumbrado que mejor se adapte a nuestras necesidades y las luminarias correspondientes.

Determinar la altura de suspensión de las luminarias según el sistema de iluminación escogido.

En la tabla 4.6 se tienen algunas formulas para determinar alturas referenciales



h: altura entre el plano de trabajo y las luminarias

h': altura del local

d: altura del plano de trabajo al techo

d': altura entre el plano de trabajo y las luminarias

Figura 4.27

	Altura de las luminarias
Locales de altura normal (oficinas, viviendas, aulas...)	Lo más altas posibles
Locales con iluminación directa, semidirecta y difusa	Mínimo: $h = \frac{2}{3} * (h' - 0.85)$ Óptimo: $h = \frac{4}{5} * (h' - 0.85)$
Locales con iluminación indirecta	$d' \approx \frac{1}{4} (h' - 0.85)$ $h \approx \frac{3}{4} * (h' - 0.85)$

Tabla 4.6

Calcular el índice del local (k) a partir de la geometría de este. En el caso del **método europeo** se calcula según las formulas de la tabla 4.7

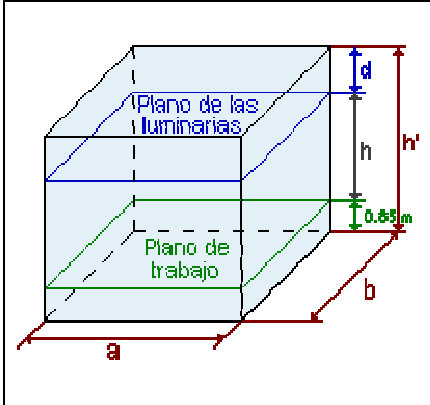
	Sistema de iluminación	Índice del local
	Iluminación directa, semidirecta, directa-indirecta y general difusa	$k = \frac{a * b}{h(a + b)} \quad (1)$
	Iluminación indirecta y semiindirecta	$k = \frac{3 * a * b}{2(h + 0.85)(a + b)} \quad (2)$

Tabla 4.7

Donde:

k es un número comprendido entre 1 y 10. A pesar de que se pueden obtener valores mayores de 10 con la fórmula, no se consideran pues la diferencia entre usar diez o un número mayor en los cálculos es despreciable.

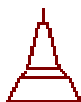

Determinar los coeficientes de reflexión de techo, paredes y suelo. Estos valores se encuentran normalmente tabulados para los diferentes tipos de materiales, superficies y acabado. Si no disponemos de ellos, podemos tomarlos de la tabla 4.8

	Color	Factor de reflexión (ρ)
Techo	Blanco o muy claro	0.7
	claro	0.5
	medio	0.3
Paredes	claro	0.5
	medio	0.3
	oscuro	0.1
Suelo	claro	0.3
	oscuro	0.1

Tabla 4.8

NOTA: En su defecto podemos tomar 0.5 para el techo, 0.3 para las paredes y 0.1 para el suelo.

Determinar el factor de utilización (η_{CU}) a partir del índice del local y los factores de reflexión como se muestra en la figura 4.28. Estos valores se encuentran tabulados y los suministran los fabricantes. En las tablas encontramos para cada tipo de luminaria los factores de iluminación en función de los coeficientes de reflexión y el índice del local. Si no se pueden obtener los factores por lectura directa será necesario interpolar.

Tpo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (η)								
		Factor de reflexión del techo								
		0.7			0.5			0.3		
		Factor de reflexión de las paredes								
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1
	1	.28	.22	.16	.25	.22	.16	.26	.22	.16
	1.2	.31	.27	.20	.30	.27	.20	.30	.27	.20
	1.5	.39	.33	.26	.36	.33	.26	.36	.33	.26
	2	.45	.40	.35	.44	.40	.35	.44	.40	.35
	2.5	.52	.46	.41	.49	.46	.41	.49	.46	.41
	3	.54	.50	.45	.53	.50	.45	.53	.50	.45
	4	.61	.56	.52	.60	.56	.52	.60	.56	.52
	5	.63	.60	.56	.63	.60	.56	.62	.60	.56
	6	.68	.63	.60	.66	.63	.60	.65	.63	.60
	8	.71	.67	.64	.69	.67	.64	.68	.67	.64
	10	.72	.70	.67	.71	.70	.67	.71	.70	.67

Ejemplo de tabla del factor de utilización

Figura 4.28

Determinar el **factor de mantenimiento (f_m) o conservación** de la instalación. Este coeficiente dependerá del grado de suciedad ambiental y de la frecuencia de la limpieza del local.

Para una limpieza periódica anual podemos tomar los valores de la tabla 4.9

Ambiente	Factor de mantenimiento (f_m)
Limpio	0.8
Sucio	0.6

Tabla 4.9

Cálculos:

a) Cálculo del flujo luminoso total necesario.-

Para ello aplicaremos la fórmula:

$$\Phi_T = \frac{E * S}{\eta * f_m} \quad (4.1)$$

donde:

Φ_T es el flujo luminoso total
 E es la iluminancia media deseada
 S es la superficie del plano de trabajo
 η es el factor de utilización
 f_m es el factor de mantenimiento

b) Cálculo del número de luminarias

$$N = \frac{\Phi_T}{n * \Phi_L} \quad (4.2)$$

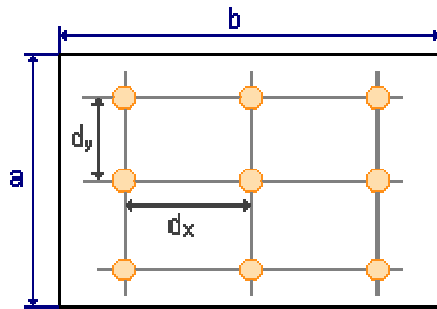
N será redondeado al número inmediato superior

Donde:

N es el número de luminarias
 Φ_T es el flujo luminoso total
 Φ_L es el flujo luminoso de una lámpara
n es el número de lámparas por luminaria

c) Emplazamiento de las luminarias.-

Una vez hemos calculado el número mínimo de lámparas y luminarias procederemos a distribuir las sobre la planta del local. En los locales de planta rectangular las luminarias se reparten de forma uniforme en filas paralelas a los ejes de simetría del local según las fórmulas:



$$N_{ancho} = \sqrt{\frac{N_{Total}}{largo}} * ancho \quad (4.3)$$

$$N_{largo} = N_{ancho} * \left(\frac{largo}{ancho} \right) \quad (4.4)$$

siendo N el número de luminarias

La **distancia máxima** de separación entre las luminarias dependerá del ángulo de apertura del haz de luz y de la altura de las luminarias sobre el plano de trabajo como se muestra en la figura 4.29

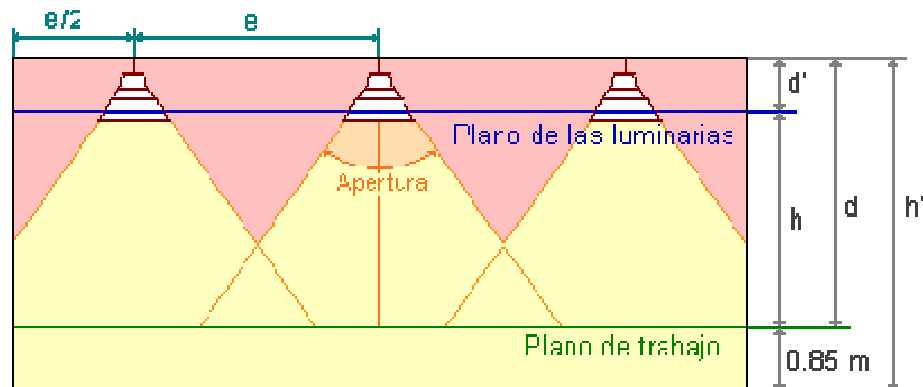


Figura 4.29

Como puede verse fácilmente, mientras más abierto sea el haz y mayor la altura de la luminaria más superficie iluminará aunque será menor el nivel de iluminancia que llegará al plano de trabajo tal y como dice la ley inversa de los cuadrados. De la misma manera, vemos que las luminarias próximas a la pared necesitan estar más cerca para iluminarla (normalmente la mitad de la distancia). Las conclusiones sobre la separación entre las luminarias las podemos resumir en la siguiente tabla 4.10

Tipo de luminaria	Altura del local	Distancia máxima entre luminarias
intensiva	> 10 m	$e \leq 1.2 h$
extensiva	6 - 10 m	$e \leq 1.5 h$
semiextensiva	4 - 6 m	
extensiva	≤ 4 m	$e \leq 1.6 h$
distancia pared-luminaria: $e/2$		

Tabla 4.10

Si después de calcular la posición de las luminarias nos encontramos que la distancia de separación es mayor que la distancia máxima admitida quiere decir que la distribución luminosa obtenida no es del todo uniforme. Esto puede deberse a que la potencia de las lámparas escogida sea excesiva. En estos casos conviene rehacer los cálculos probando a usar lámparas menos potentes, más luminarias o emplear luminarias con menos lámparas.

d) Comprobación de los resultados.-

Por último, nos queda comprobar la validez de los resultados mirando si la iluminancia media obtenida en la instalación diseñada es igual o superior a la recomendada en las tablas.

$$E_m = \frac{n * \Phi_L * \eta * f_m}{S} \geq E_{Tablas} \quad (4.5)$$

4.9.1.1.2 MÉTODO DEL PUNTO POR PUNTO ^[5]

El método de los lúmenes es una forma muy práctica y sencilla de calcular el nivel medio de la iluminancia en una instalación de alumbrado general. Pero, qué pasa si queremos conocer cómo es la distribución de la iluminación en instalaciones de alumbrado general localizado o individual donde la luz no se distribuye uniformemente o cómo es exactamente la distribución en el alumbrado general. En estos casos emplearemos el método del punto por punto que nos permite conocer los valores de la iluminancia en puntos concretos.

Consideraremos que la iluminancia en un punto es la suma de la luz proveniente de dos fuentes: una componente **directa**, producida por la luz que llega al plano de trabajo directamente de las luminarias, y otra **indirecta o reflejada** procedente de la reflexión de la luz de las luminarias en el techo, paredes y demás superficies del local tal como se ilustra en la figura 4.30

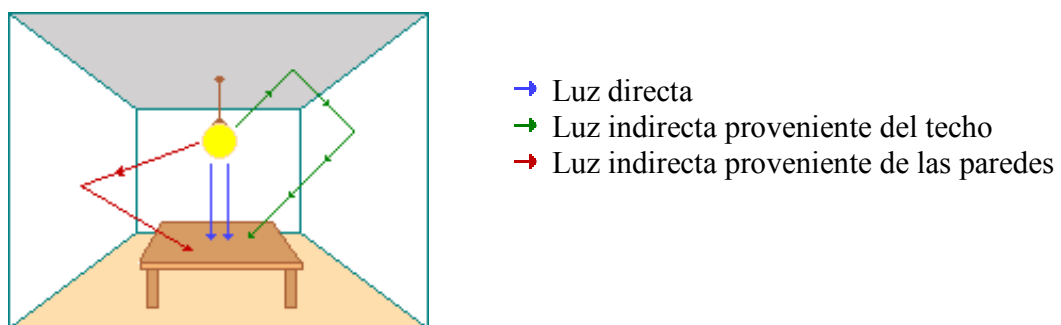


Figura 4.30

En el ejemplo anterior podemos ver que sólo unos pocos rayos de luz serán perpendiculares al plano de trabajo mientras que el resto serán oblicuos. Esto quiere decir

que de la luz incidente sobre un punto, sólo una parte servirá para iluminar el plano de trabajo y el resto iluminará el plano vertical a la dirección incidente en dicho punto para lo que se presentan las ecuaciones 4.6 y 4.7

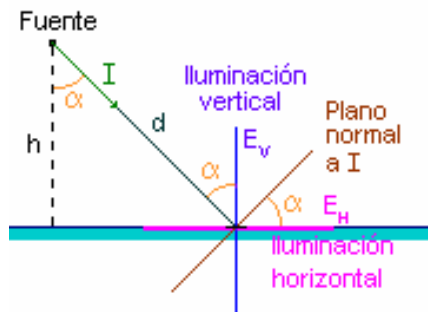


Figura 4.31

$$E_H = \frac{I \cdot \cos \alpha}{d^2} \quad (4.6)$$

$$E_V = \frac{I \cdot \sin \alpha}{d^2} = E_H \tan \alpha \quad (4.7)$$

a) Componentes de la iluminancia en un punto.-

En general, para hacernos una idea de la distribución de la iluminancia nos bastará con conocer los valores de la iluminancia sobre el plano de trabajo; es decir, la iluminancia horizontal. Sólo nos interesará conocer la iluminancia vertical en casos en que se necesite tener un buen modelado de la forma de los objetos (deportes de competición, escaparates, estudios de televisión y cine, retransmisiones deportivas...) o iluminar objetos en posición vertical (obras de arte, cuadros, esculturas, pizarras, fachadas...)

Para utilizar el método del punto por punto necesitamos conocer previamente las características fotométricas de las lámparas y luminarias empleadas, la disposición de las mismas sobre la planta del local y la altura de estas sobre el plano de trabajo.

Una vez conocidos todos estos elementos podemos empezar a calcular las iluminancias. Mientras más puntos calculemos más información tendremos sobre la distribución de la luz. Esto es particularmente importante si trazamos los diagramas isolux de la instalación.

Como ya hemos mencionado, la iluminancia horizontal en un punto se calcula como la suma de la componente de la iluminación directa más la de la iluminación indirecta. Por lo tanto:

$$E = E_{directa} + E_{indirecta} \quad (4.8)$$

b) Fuentes de luz puntuales.-

Podemos considerar fuentes de luz puntuales las lámparas incandescentes y de descarga que no sean los tubos fluorescentes. En este caso las componentes de la iluminancia se calculan usando las fórmulas.

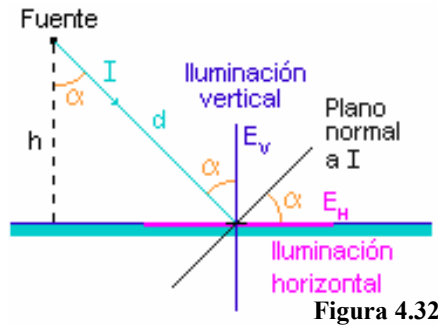


Figura 4.32

$$E_H = \frac{I(\cos^3 \alpha)}{h^2} \quad (4.9)$$

$$E_V = \frac{I(\cos^2 \alpha)(\sin \alpha)}{h^2} \quad (4.10)$$

Donde:

I es la intensidad luminosa de la lámpara en la dirección del punto que puede obtenerse de los diagramas polares de la luminaria o de la matriz de intensidades y h la altura del plano de trabajo a la lámpara.

En general, si un punto está iluminado por más de una lámpara su iluminancia total es la suma de las iluminancias recibidas:

$$E_H = \sum_{i=1}^n \frac{I_i(\cos^3 \alpha_i)}{h_i^2} \quad (4.11)$$

$$E_V = \sum_{i=1}^n \frac{I_i(\cos^2 \alpha_i)(\sin \alpha_i)}{h_i^2} \quad (4.12)$$

c) Fuentes de luz lineales de longitud infinita. Se considera que una fuente de luz lineal es infinita si su longitud es mucho mayor que la altura de montaje; por ejemplo una línea continua de fluorescentes. En este caso se puede demostrar por cálculo diferencial que la iluminancia en un punto para una fuente de luz difusa se puede expresar en las ecuaciones 4.13 y 4.14 como se muestra a continuación:

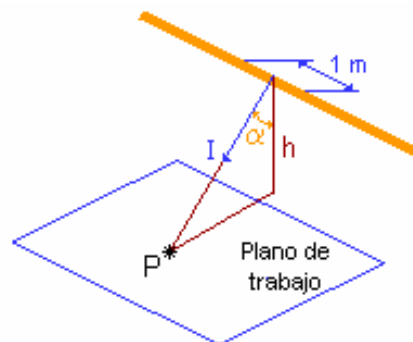


Figura 4.33

$$E_H = \frac{\pi * I}{2h} * \cos^2 \alpha \quad (4.13)$$

$$E_V = \frac{\pi * I}{2h} * \sin \alpha * \cos \alpha \quad (4.14)$$

En los extremos de la hilera de las luminarias el valor de la iluminancia será la mitad.

El valor de I se puede obtener del diagrama de intensidad luminosa de la luminaria referido a un metro de longitud de la fuente de luz. En el caso de un tubo fluorescente desnudo I puede calcularse a partir del flujo luminoso por metro, según la ecuación:

$$I = \frac{\Phi}{9.25} \quad (4.15)$$

d) Cálculo de las iluminancias horizontales empleando curvas isolux

Este método gráfico permite obtener las iluminancias horizontales en cualquier punto del plano de trabajo de forma rápida y directa. Para ello necesitaremos:

1. Las curvas isolux de la luminaria suministradas por el fabricante (fotocopiadas sobre papel vegetal o transparencias). Si no disponemos de ellas, podemos trazarlas a partir de la matriz de intensidades o de las curvas polares, aunque esta solución es poco recomendable si el número de puntos que nos interesa calcular es pequeño o no disponemos de un programa informático que lo haga por nosotros.

2. La planta del local con la disposición de las luminarias dibujadas con la misma escala que la curva isolux.

El procedimiento de cálculo es el siguiente. Sobre el plano de la planta situamos el punto o los puntos en los que queremos calcular la iluminancia. A continuación colocamos el diagrama isolux sobre el plano, haciendo que el centro coincida con el punto, y se suman los valores relativos de las iluminancias debidos a cada una de las luminarias que hemos obtenido a partir de la intersección de las curvas isolux con las luminarias como se muestra en la figura 4.34

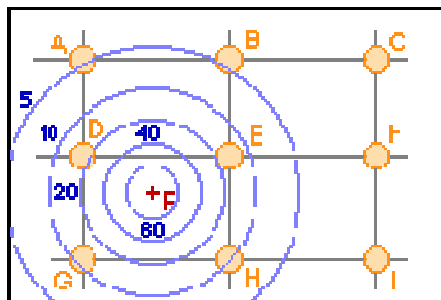


Figura 4.34

Luminaria	A	B	C	D	E	F	G	H	I	Total
Iluminancia (lux)	4	4	0	19	19	0	12	10	0	E _T = 68 lx

Finalmente, los valores reales de las iluminancias en cada punto se calculan a partir de los relativos obtenidos de las curvas aplicando la ecuación 4.16

$$E_r = E_c * \frac{\Phi_r}{\Phi_c} * \left(\frac{h_c}{h_r} \right)^2 = E_c * \frac{\Phi_r}{h_r^2} * \frac{1}{1000} \quad (4.16)$$

e) Componente indirecta o reflejada en un punto

Para calcular la componente indirecta se supone que la distribución luminosa de la luz reflejada es uniforme en todas las superficies del local incluido el plano de trabajo. De esta manera, la componente indirecta de la iluminación de una fuente de luz para un punto cualquiera de las superficies que forman el local se calcula mediante la formula:

$$E_{indirecta} = E_{ind_v} = E_{ind_H} = \frac{\Phi}{F_T} * \frac{\rho_m}{1 - \rho_m} \quad (4.17)$$

donde:

$F_T = \sum_n F_i$ es la suma del área de todas las superficies del local.

ρ_m es la reflectancia media de las superficies del local calculada como

Φ es el flujo de la lámpara

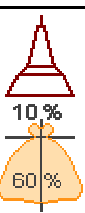
$$\rho_m = \frac{\sum_n \rho_i * F_i}{\sum_n F_i} \quad \text{siendo } \rho_i \text{ la reflectancia de la superficie } F_i$$

EJEMPLO:

1. Queremos diseñar una instalación de alumbrado para una nave industrial de 100 m de largo por 30 m de ancho y 6 m de altura. Para ello utilizaremos lámparas de vapor de sodio a alta presión de 400 W de potencia con un flujo luminoso de 50000 lm. Respecto a las luminarias, nos planteamos escoger entre los tipos 1, 2 y 3 cuyas tablas del factor de utilización, suministradas por el fabricante, se adjuntan a continuación.

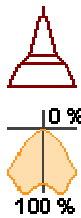
Luminarias disponibles (todas son de tipo industrial suspendido):

Luminaria 1:

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (u)															
		Factor de reflexión del techo															
		0.8				0.7				0.5				0.3		0	
		Factor de reflexión de las paredes															
		0.5		0.3		0.1		0.5		0.3		0.1		0.3		0.1	
	0.6	.39	.35	.32	.38	.34	.32	.38	.34	.31	.33	.31	.30				
	0.8	.48	.43	.40	.47	.42	.40	.46	.42	.39	.41	.38	.37				
	1.0	.53	.49	.46	.52	.48	.45	.51	.47	.45	.46	.44	.41				
	1.25	.58	.54	.51	.57	.53	.50	.55	.51	.49	.50	.48	.45				
	1.5	.62	.58	.54	.61	.57	.54	.58	.55	.52	.53	.51	.48				
	2.0	.66	.62	.59	.64	.61	.58	.61	.59	.57	.58	.55	.52				
	2.5	.68	.65	.63	.67	.64	.62	.64	.61	.60	.59	.57	.54				
	3.0	.70	.67	.65	.69	.66	.64	.65	.63	.61	.60	.59	.56				
	4.0	.72	.70	.68	.70	.69	.67	.67	.66	.64	.63	.61	.58				
	5.0	.73	.71	.70	.71	.70	.68	.68	.67	.66	.64	.63	.59				

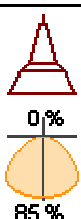
H_m : altura luminaria-plano de trabajo

Luminaria 2

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (η)																								
		Factor de reflexión del techo																								
		0.8					0.7					0.5					0.3					0				
		Factor de reflexión de las paredes																								
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.3	0.1	0													
 10 % 100 %	0.6	.66	.62	.60	.66	.62	.60	.65	.62	.59	.62	.59	.58													
	0.8	.75	.71	.68	.75	.71	.68	.74	.71	.68	.70	.68	.67													
	1.0	.80	.76	.73	.80	.76	.73	.79	.76	.73	.76	.73	.72													
	1.25	.85	.81	.80	.85	.81	.80	.84	.81	.78	.80	.78	.77													
	1.5	.88	.86	.82	.88	.85	.82	.88	.84	.82	.84	.82	.81													
	2.0	.94	.90	.88	.93	.90	.88	.92	.89	.87	.88	.87	.85													
	2.5	.96	.93	.92	.96	.93	.91	.94	.92	.90	.91	.89	.88													
	3.0	.99	.95	.94	.98	.95	.93	.96	.94	.92	.93	.91	.89													
	$D_{max} = 0.7 H_m$	4.0	1.01	.99	.96	1.00	.98	.96	.98	.97	.95	.95	.94	.92												
	f_m	.70	.75	.80																						
	5.0	1.02	1.01	.99	1.01	1.00	.98	1.00	.98	.97	.97	.96	.94													

H_m : altura luminaria-plano de trabajo

Luminaria 3

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (η)																											
		Factor de reflexión del techo																											
		0.8					0.7					0.5					0.3					0							
		Factor de reflexión de las paredes																											
		0.5					0.3					0.1					0.3					0.1					0		
 0 % 85 %	0.6	.37	.32	.29	.37	.32	.29	.37	.32	.29	.32	.29	.28																
	0.8	.47	.42	.38	.46	.42	.38	.46	.41	.38	.41	.38	.37																
	1.0	.54	.48	.45	.54	.48	.45	.53	.48	.45	.48	.45	.43																
	1.25	.60	.56	.52	.60	.55	.52	.60	.55	.52	.54	.52	.50																
	1.5	.66	.61	.57	.65	.60	.57	.64	.60	.57	.59	.56	.55																
	2.0	.72	.67	.64	.71	.67	.64	.70	.66	.63	.66	.63	.62																
	2.5	.76	.71	.68	.75	.71	.68	.73	.71	.68	.70	.67	.65																
	3.0	.79	.75	.72	.78	.75	.71	.77	.73	.71	.72	.71	.69																
	$D_{max} = 1.1 H_m$	4.0	.82	.79	.77	.81	.79	.76	.80	.77	.75	.76	.75	.73															
	f_m	.55	.60	.65																									
	5.0	.84	.82	.79	.83	.81	.78	.82	.79	.77	.78	.77	.75																

H_m : altura luminaria-plano de trabajo

Otros datos:

Los coeficientes de reflexión de paredes y techo se considerarán cero debido a que los materiales empleados (superficies y estructuras metálicas) tienen coeficientes bajos

Es recomendable que el sistema de iluminación se instale por lo menos a 4.5 m del suelo, pues en la estructura superior de la nave, hasta 5 metros del suelo, existen equipos de transporte, como grúas, destinadas al traslado de objetos pesados a distintos puntos de la nave.

En el techo existen claraboyas que ofrecen una iluminación diurna mínima de 75 lux lo suficientemente homogénea a la altura del suelo. En dicha nave sólo se trabajará de día.

El nivel de iluminación aconsejado para las actividades que se desarrollan en el local es de 680 lux en el suelo.

Se pide determinar con cuál de los tres tipos de luminarias propuestas obtendremos la mejor solución.

SOLUCIÓN:

Este es un ejemplo de problema resuelto con el **método de los lúmenes**. Tenemos una gran nave que queremos iluminar con una iluminación homogénea de 680 lx.

Datos de entrada:

- Dimensiones del local:

Largo: 100 m

Ancho: 30 m

Altura total: 6 m

Altura del plano de trabajo: 0 (iluminancia a nivel del suelo)

- Nivel de iluminancia media:

Nos piden 680 lx pero teniendo en cuenta que sólo se trabaja de día y la iluminancia de la luz solar es de 75 lux, la iluminancia proporcionada por la iluminación será:
 $E_m = 680 - 75 = 605 \text{ lx}$

- Lámparas.

Usaremos lámparas de vapor de sodio a alta presión de 400 W y 50000 lm de flujo.

- Altura de suspensión de las luminarias: 4.5 m

- Índice del local.

Dado el tipo de luminarias propuestas (de iluminación directa), nos encontramos con un caso de iluminación directa. Por lo tanto utilizaremos la ecuación 1 de la tabla 4.7

$$k = \frac{a * b}{h(a + b)} = \frac{100 * 30}{5.5(100 + 30)} = 4.195 \approx 4.2$$

- Coeficientes de reflexión.

Los coeficientes del techo y las paredes se suministran en el enunciado. Como no nos dicen nada del suelo tomaremos la hipótesis más pesimista vista en las tablas.

	Techo	Paredes	Suelo
Coeficiente de reflexión	0	0	0.1

- Determinación del coeficiente de utilización (η).

A partir de los factores de reflexión y el índice del local se leen en las tablas los factores de utilización (dato proporcionado por el fabricante). En este caso particular deberíamos interpolar ya que no disponemos de valores para $k = 4.2$; pero como la diferencia entre el coeficiente para 4 y 5 es muy pequeña podemos aproximar con los valores de 4.

	Luminaria 1	Luminaria 2	Luminaria 3
Coeficiente de utilización (η)	0.58	0.92	0.73

- Factor de mantenimiento.

En este caso los valores vienen incluidos en las tablas de las luminarias. Como no nos dicen nada sobre la suciedad ambiental tomaremos los valores medios.

	Luminaria 1	Luminaria 2	Luminaria 3
Factor de Mantenimiento (f_m)	0.75	0.75	0.60

Cálculo del flujo luminoso total utilizando la ecuación 4.1

Luminaria 1	$\Phi_T = \frac{E_m * S}{\eta * f_m} = \frac{605 * 100 * 30}{0.58 * 0.75} = 4172414 \text{ _} lm$
Luminaria 2	$\Phi_T = \frac{E_m * S}{\eta * f_m} = \frac{605 * 100 * 30}{0.92 * 0.75} = 2630435 \text{ _} lm$
Luminaria 3	$\Phi_T = \frac{E_m * S}{\eta * f_m} = \frac{605 * 100 * 30}{0.73 * 0.60} = 4143835 \text{ _} lm$

Por último se calcula el número mínimo de luminarias utilizando la ecuación 4.2. Este es un valor de referencia pues es normal que al emplazar las luminarias y hacer las comprobaciones p necesitemos un número mayor de ellas.

Luminaria 1	$N = \frac{\Phi_T}{n * \Phi_L} = \frac{4172414}{1 * 5 * 10^4} = 83.4 \approx 84$
Luminaria 2	$N = \frac{\Phi_T}{n * \Phi_L} = \frac{2630435}{1 * 5 * 10^4} = 52.6 \approx 53$
Luminaria 3	$N = \frac{\Phi_T}{n * \Phi_L} = \frac{4143835}{1 * 5 * 10^4} = 82.9 \approx 83$

Emplazamiento de las luminarias:

Finalmente sólo nos queda distribuir las luminarias sobre la planta del local y comprobar que la distancia de separación entre ellas es inferior a la máxima admisible. En este caso la separación máxima viene indicada en las tablas de las luminarias.

	Luminaria 1	Luminaria 2	Luminaria 3
Ancho			
N luminarias	5	4	5
Separación (m)	$30/5 = 6$	$30/4 = 7.5$	$30/5 = 6$
Separación de las paredes (m)	$6/2 = 3$	$7.5/2 = 3.75$	$6/2 = 3$
Largo			
N luminarias	17	14	17
Separación (m)	$100/17 = 4.88$	$100/14 = 7.14$	$100/17 = 4.88$
Separación de las paredes (m)	$4.88/2 = 2.94$	$7.14/2 = 3.57$	$4.88/2 = 2.94$
Separación máxima entre luminarias (m)	$1.1 \cdot h_m = 6.05$	$0.7 \cdot h_m = 3.85$	$1.1 \cdot h_m = 6.05$
Cumple los criterios	SI	NO	SI
Número total de luminarias	$5 \cdot 17 = 85$	$4 \cdot 14 = 56$	$5 \cdot 17 = 85$

De todas las luminarias propuestas, la LUMINARIA 2 es la única que no cumple los criterios ya que la separación obtenida es superior a la máxima permitida. Esto quiere decir que si queremos utilizar esta luminaria tendremos que poner más unidades y reducir la separación entre ellas. Podemos calcular el nuevo número necesario tomando como distancia de separación la distancia máxima (3.85 m) y usando las fórmulas usadas para distribuir las luminarias. Si hacemos las operaciones necesarias podremos ver que ahora se necesitan 208 luminarias.

En este caso es indiferente utilizar la LUMINARIA 1 o la 3, pero en general nos quedaríamos con la solución que necesitara menos luminarias. Si los consumos de las lámparas de las luminarias fueran diferentes unos de otros, tendríamos que tenerlos en cuenta para optar por la solución más barata, que sería la que necesitara menos potencia total.

Comprobación de los resultados para la LUMINARIA 3:

Para este propósito utilizaremos la ecuación 4.5

$$E = \frac{n \cdot \Phi_L \cdot \eta \cdot f_m}{S} = \frac{85 \cdot 50000 \cdot 0.73 \cdot 0.6}{30 \cdot 100} = 620.5 \text{ lx}$$

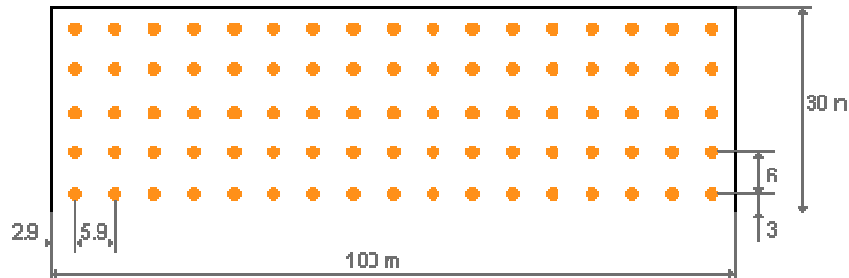
A nivel de suelo, la iluminancia total será:

$$NI = 620.5 + 75 = 694.5 \text{ lx}$$

Y la potencia consumida:

$$P = 85 \cdot 400 = 34 \text{ kW}$$

Distribución final de las luminarias:



4.9.2 ILUMINACION DE EXTERIORES

4.9.2.1 ALUMBRADO DE VIAS PUBLICAS

Contrariamente a lo que se pueda pensar, detrás de los cálculos y recomendaciones sobre alumbrado de vías públicas existe un importante desarrollo teórico sobre diferentes temas (pavimentos, deslumbramiento, confort visual, etc.). Afortunadamente, hoy día estos cálculos están muy mecanizados y no es necesario tener profundos conocimientos en la materia para realizarlos. No obstante, es recomendable tener nociones de algunos de ellos para comprender mejor la mecánica de cálculo. Así tras estudiar algunos conceptos previos de iluminación, veremos soluciones prácticas de alumbrado viario y los niveles de iluminación recomendados.

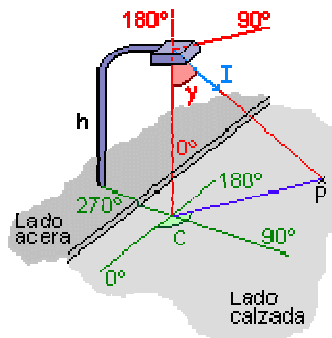
A continuación mencionaremos algunas definiciones que nos ayudaran para una mejor y mas rápida comprensión del tema.

a) Iluminancia

La iluminancia indica la cantidad de luz que llega a una superficie y se define como el **flujo luminoso** recibido por unidad de superficie:

$$E = \frac{d\phi}{ds} \quad (4.18)$$

Si la expresamos en función de la intensidad luminosa de la figura 4.35 resulta la ecuación:



$$E_H = \frac{I(C, \gamma)}{h^2} * \cos^3 \gamma \quad (4.19)$$

Figura 4.35

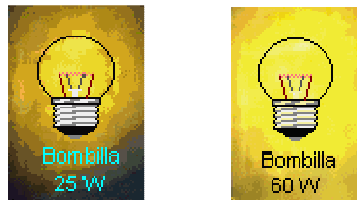
donde :

I es la intensidad recibida por el punto P en la dirección definida por el par de ángulos (C, γ) y h la altura del foco luminoso. Si el punto está iluminado por más de una lámpara, la iluminancia total recibida es entonces:

$$E_H = \sum_{i=1}^n \frac{I(C_i, \gamma_i)}{h_i^2} * \cos^3 \gamma_i \quad (4.20)$$

a.1) Flujo luminoso.-

Para hacernos una primera idea consideraremos dos bombillas, una de 25 W y otra de 60 W. Está claro que la de 60 W dará una luz más intensa. Pues bien, esta es la idea: ¿cuál luce más? o dicho de otra forma ¿cuánto luce cada bombilla?



Cuando hablamos de 25 W o 60 W nos referimos sólo a la potencia consumida por la bombilla de la cual solo una parte se convierte en luz visible, es el llamado flujo luminoso.

Podríamos medirlo en watts (W), pero parece más sencillo definir una nueva unidad, el **lumen**, que toma como referencia la radiación visible. Empíricamente se demuestra que a una radiación de 555 nm (nanómetro) de 1 W de potencia emitida por un cuerpo negro le corresponden 683 lumen.

Se define el **flujo luminoso** como la potencia (W) emitida en forma de radiación luminosa a la que el ojo humano es sensible. Su símbolo es Φ y su unidad es el lumen (lm). A la relación entre watts y lúmenes se le llama **equivalente luminoso de la energía** y equivale a:

$$1 \text{ watt-luz a } 555 \text{ nm} = 683 \text{ lm}$$

$$1 \text{ lux} = 0.0929 \text{ lúmenes.}$$

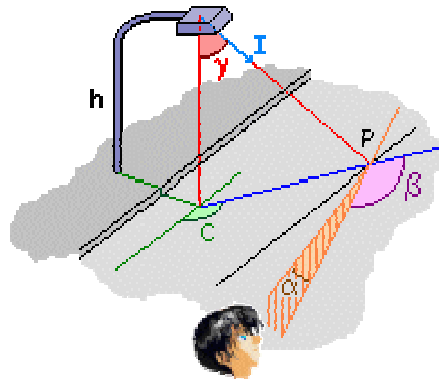
entonces:

Flujo luminoso \Rightarrow Símbolo: Φ \Rightarrow Unidad: Lumen (lm)

b) Luminancia.-

La luminancia, por contra, es una medida de la luz que llega a los ojos procedente de los objetos y es la responsable de excitar la retina provocando la visión. Esta luz proviene de la reflexión que sufre la iluminancia cuando incide sobre los cuerpos. Se puede

definir, pues, como la porción de intensidad luminosa por unidad de superficie que es reflejada por la calzada en dirección al ojo.



$$L = q(\beta, \gamma) * E_H \quad (4.21)$$

Figura 4.36

Donde:

q es el coeficiente de luminancia en el punto P que depende básicamente del ángulo de incidencia γ y del ángulo entre el plano de incidencia y el de observación β . El efecto del ángulo de observación α es despreciable para la mayoría de conductores (automovilistas con campo visual entre 60 y 160 m por delante y una altura de 1,5 m sobre el suelo) y no se tiene en cuenta. Así pues, nos queda:

$$L = \frac{I(C, \gamma) * \cos^3 \gamma}{h^2} * q(\beta, \gamma) \quad (4.22)$$

Por comodidad de cálculo, se define el término:

$$r(\beta, \gamma) = q(\beta, \gamma) * \cos^3 \gamma \quad (4.23)$$

Quedando finalmente:

$$L = \frac{I(C, \gamma) * r(\beta, \gamma)}{h^2} \quad (4.24)$$

Y si el punto está iluminado por más de una lámpara, resulta:

$$L = \sum_{i=1}^n \frac{I(C_i, \gamma_i) * r(\beta_i, \gamma_i)}{h_i^2} \quad (4.25)$$

Los valores de $r(\beta, \gamma)$ se encuentran tabulados o incorporados a programas de cálculo y dependen de las características de los pavimentos utilizados en la vía.

Criterios de calidad

Para determinar si una instalación es adecuada y cumple con todos los requisitos de seguridad y visibilidad necesarios se establecen una serie de parámetros que sirven como criterios de calidad. Son la luminancia media (L_m , L_{AV}), los coeficientes de uniformidad (U_0 , U_L), el deslumbramiento (TI y G) y el coeficiente de iluminación de los alrededores (SR).

Coefficientes de uniformidad

Como criterios de calidad y evaluación de la uniformidad de la iluminación en la vía se analizan el rendimiento visual en términos del coeficiente global de uniformidad U_0 y la comodidad visual mediante el coeficiente longitudinal de uniformidad U_L (medido a lo largo de la línea central).

$$U_0 = L_{\min} / L_m \qquad U_L = L_{\min} / L_{\max}$$

Deslumbramiento

El deslumbramiento producido por las farolas o los reflejos en la calzada, es un problema considerable por sus posibles repercusiones. En sí mismo, no es más que una sensación molesta que dificulta la visión pudiendo, en casos extremos, llegar a provocar ceguera transitoria. Se hace necesario, por tanto, cuantificar este fenómeno y establecer unos criterios de calidad que eviten estas situaciones peligrosas para los usuarios.

Se llama **deslumbramiento molesto** a aquella sensación desagradable que sufrimos cuando la luz que llega a nuestros ojos es demasiado intensa. Este fenómeno se evalúa de acuerdo a una escala numérica, obtenida de estudios estadísticos, que va del deslumbramiento insoportable al inapreciable.

G	Deslumbramiento	Evaluación del alumbrado
1	Insoportable	Malo
3	Molesto	Inadecuado
5	Admisible	Regular
7	Satisfactorio	Bueno
9	Inapreciable	Excelente

Tabla 4.11

Donde la fórmula de G se calcula a partir de características de la luminaria y la instalación.

Actualmente no se utiliza mucho porque se considera que siempre que no se excedan los límites del deslumbramiento perturbador este está bajo control.

Fórmula del deslumbramiento molesto

$$G = 13.84 - 3.31 \log I_{80} + \log \left(\frac{I_{80}}{I_{88}} \right)^{0.5} - 0.08 \log \frac{I_{80}}{I_{88}} + 1.29 \log F + 0.97 \log L_m + 4.41 \log h' - 1.46 \log p + c$$

donde:

I_{80} es la intensidad luminosa emitida por la luminaria con un ángulo de elevación $\gamma = 80^\circ$ en el plano $C = 0$.

I_{88} es la intensidad luminosa en el caso de $\gamma = 88^\circ$.

F es la superficie aparente de la luminaria vista bajo un ángulo de 76° .
 c es un factor de corrección del color que vale:

Tipo de lámpara	c
Sodio a baja presión	0.4
Otras	0

Tabla 4.12

L_m es la luminancia media de la superficie de la calzada.

h' es la altura entre el nivel de los ojos y la luminaria.

p es el número de luminarias por kilómetro.

Nota: Esta fórmula sólo es válida en el intervalo mostrado en la tabla 4.13:

$5 \leq h' \leq 20 \text{ m}$
$20 \leq p \leq 100$
$50 \leq I_{80} \leq 7000 \text{ cd}$
$1 \leq I_{80}/I_{88} \leq 50$
$0.007 \leq F \leq 0.4 \text{ m}^2$
$0.37 \leq L_m \leq \text{cd/m}^2$

Tabla 4.13

El **deslumbramiento perturbador** se produce por la aparición de un velo luminoso que provoca una visión borrosa, sin nitidez y con poco contraste, que desaparece al cesar su causa. No obstante, este fenómeno no lleva necesariamente asociado una sensación incómoda como el deslumbramiento molesto. Para evaluar la pérdida de visión se utiliza el criterio del incremento de umbral (TI) expresado en tanto por ciento:

Fórmula del incremento de umbral

$$TI = 65 \frac{L_v}{(L_m)^{0.5}} \quad (4.26)$$

Donde: L_v es la luminancia de velo equivalente y L_m es la luminancia media de la calzada.

Luminancia de velo equivalente

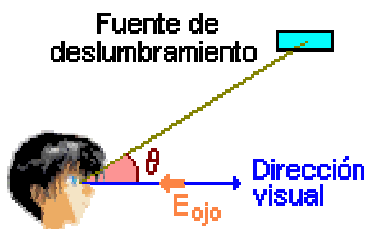


Figura 4.37

$$L_v = k \sum_{i=1}^n \frac{E_{ojo}}{\theta_i^2} \quad (4.27)$$

donde:

K es una constante que depende de la edad del individuo cuyo valor usual es 10 grados o $3 \cdot 10^{-3}$ rad.

E_{ojo} es la iluminancia sobre el ojo en el plano perpendicular a la dirección visual.

θ es el ángulo formado por la dirección visual y el rayo de luz procedente de la fuente de luz deslumbrante.

Sólo se tendrán en cuenta las fuentes deslumbradoras cuyo ángulo θ sea mayor que 20° .

Coeficiente de iluminación en los alrededores

El coeficiente de iluminación en los alrededores (*Surround Ratio*, SR) es una medida de la iluminación en las zonas limítrofes de la vía. De esta manera se asegura que los objetos, vehículos o peatones que se encuentren allí sean visibles para los conductores. SR se obtiene calculando la iluminancia media de una franja de 5 m de ancho a cada lado de la calzada.

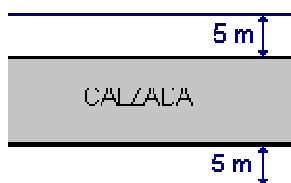


Figura 4.38

c) Lámparas y luminarias.-

Las **lámparas** son los aparatos encargados de generar la luz. En la actualidad, en alumbrado público se utilizan las lámparas de descarga frente a las lámparas incandescentes por sus mejores prestaciones y mayor ahorro energético y económico.

Concretamente, se emplean las lámparas de vapor de mercurio a alta presión y las de vapor de sodio a baja y alta presión.

Las **luminarias**, por contra, son aparatos destinados a alojar, soportar y proteger la lámpara y sus elementos auxiliares además de concentrar y dirigir el flujo luminoso de esta. Para ello, adoptan diversas formas aunque en alumbrado público predominan las de flujo asimétrico con las que se consigue una mayor superficie iluminada sobre la calzada.

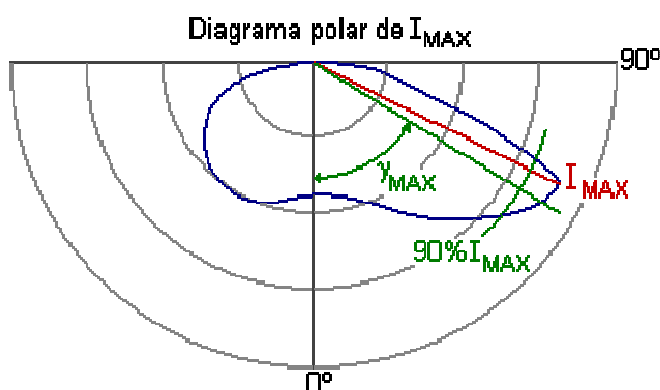
Las podemos encontrar montadas sobre postes, columnas o suspendidas sobre cables transversales a la calzada, en catenarias colgadas a lo largo de la vía o como proyectores en plazas y cruces.

Antiguamente las luminarias se clasificaban según las denominaciones cut-off, semi cut-off y non cut-off.

En la actualidad, las luminarias se clasifican según tres parámetros (**alcance, dispersión y control**) que dependen de sus características fotométricas. Los dos primeros

nos informan sobre la distancia en que es capaz de iluminar la luminaria en las direcciones longitudinal y transversal respectivamente. Mientras, el **control** nos da una idea sobre el deslumbramiento que produce la luminaria a los usuarios.

El **alcance** es la distancia, determinada por el ángulo γ_{MAX} , en que la luminaria es capaz de iluminar la calzada en dirección longitudinal. Este ángulo se calcula como el valor medio entre los dos ángulos correspondientes al 90% de I_{MAX} que corresponden al plano donde la luminaria presenta el máximo de la intensidad luminosa.



Alcance corto	$\gamma_{MAX} < 60^\circ$ (1)
Alcance intermedio	$60^\circ \leq \gamma_{MAX} \leq 70^\circ$ (2)
Alcance largo	$\gamma_{MAX} > 70^\circ$ (3)

Tabla 4.14

Figura 4.39

Alcance longitudinal

La **dispersión** es la distancia, determinada por el ángulo γ_{90} , en que es capaz de iluminar la luminaria en dirección transversal a la calzada. Se define como la recta tangente a la curva isocandela del 90% de I_{MAX} proyectada sobre la calzada, que es paralela al eje de esta y se encuentra más alejada de la luminaria.

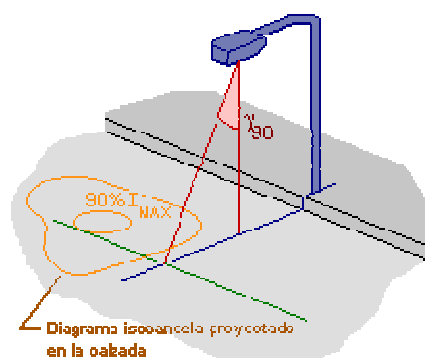
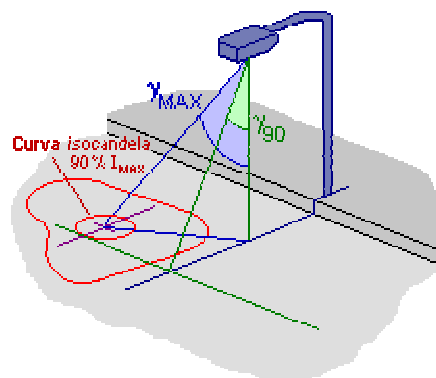


Figura 4.40

Dispersión estrecha	$\gamma_{90} < 45^\circ$
Dispersión media	$45^\circ \leq \gamma_{90} \leq 55^\circ$
Dispersión ancha	$\gamma_{90} > 55^\circ$

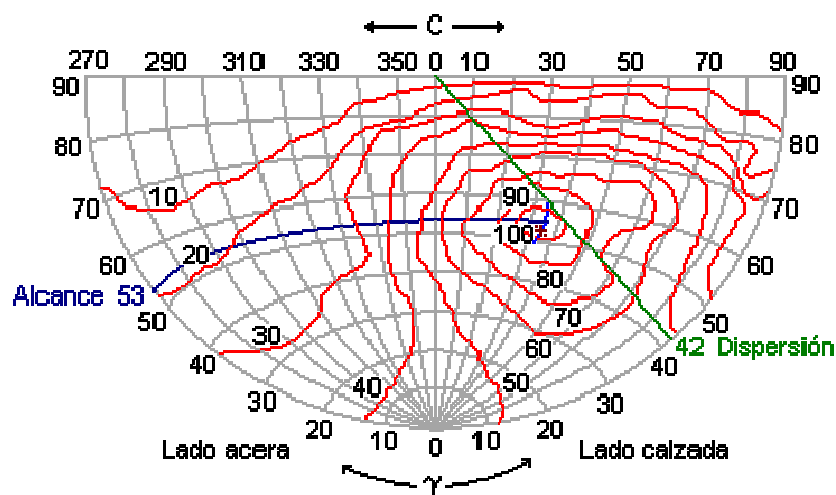
Tabla 4.15

Tanto el alcance como la dispersión pueden calcularse gráficamente a partir del diagrama **isocandela** relativo en proyección azimutal.



Alcance y dispersión de una luminaria

Figura 4.41



Método gráfico para calcular el alcance y la dispersión

Figura 4.42

Por último, el **control** nos da una idea de la capacidad de la luminaria para limitar el deslumbramiento que produce.

Control limitado	$SLI < 2$
Control medio	$2 \leq SLI \leq 4$
Control intenso	$SLI > 4$

Tabla 4.16

Donde: la fórmula del SLI (índice específico de la luminaria) se calcula a a partir de las características de la misma.

Disposición de las luminarias en la vía.-

Para conseguir una buena iluminación, no basta con realizar los cálculos, debe proporcionarse información extra que oriente y advierta al conductor con suficiente

antelación de las características y trazado de la vía. Así en curvas es recomendable situar las farolas en la parte exterior de la misma, en autopistas de varias calzadas ponerlas en la mediana (jardinera central, obstáculo de separación, enmallado, etc.) o cambiar el color de las lámparas en las salidas.

En los **tramos rectos de vías con una única calzada** existen tres disposiciones básicas: **unilateral**, **bilateral tresbolillo** y **bilateral pareada**. También es posible suspender la luminaria de un cable transversal pero sólo se usa en calles muy estrechas.

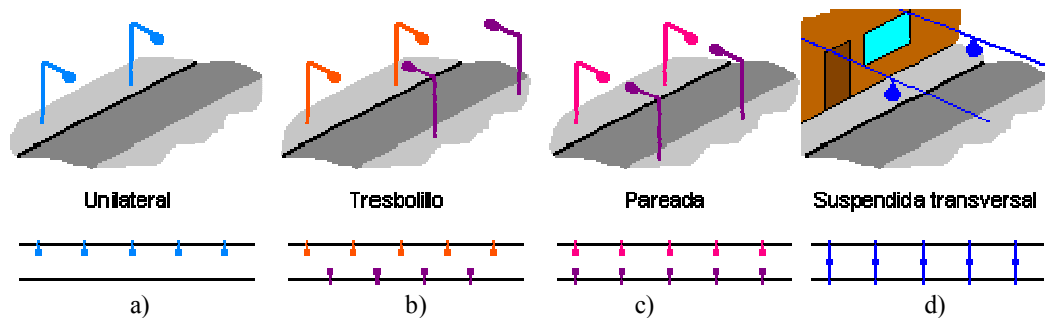


Figura 4.43

La distribución unilateral se recomienda si la anchura de la vía es menor que la altura de montaje de las luminarias. La bilateral tresbolillo si está comprendida entre 1 y 1.5 veces la altura de montaje y la bilateral pareada si es mayor de 1.4.

Disposición	Relación entre la anchura de la vía y la altura de montaje
Unilateral	$A/H < 1$
Tresbolillo	$1 \leq A/H \leq 1.5$
Pareada	$A/H > 1.5$
Suspendida	Calles muy estrechas

Tabla 4.17

En el caso de **tramos rectos de vías con dos o más calzadas** separadas por una mediana se pueden colocar las luminarias sobre la mediana o considerar las dos calzadas de forma independiente. Si la mediana es estrecha se pueden colocar farolas de doble brazo que dan una buena orientación visual y tienen muchas ventajas constructivas y de instalación por su simplicidad.

Si la mediana es muy ancha es preferible tratar las calzadas de forma separada.

Pueden combinarse los brazos dobles con la disposición al tresbolillo o aplicar iluminación unilateral en cada una de ellas. En este último caso es recomendable poner las

luminarias en el lado contrario a la mediana porque de esta forma incitamos al usuario a circular por el carril de la derecha.

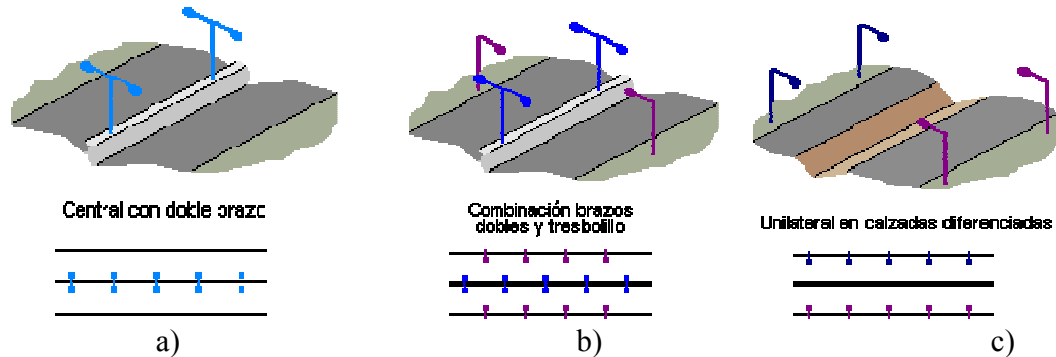


Figura 4.44

En **tramos curvos** las reglas a seguir son proporcionar una buena orientación visual y hacer menor la separación entre las luminarias cuanto menor sea el radio de la curva. Si la curvatura es grande ($R > 300$ m) se considerará como un tramo recto. Si es pequeña y la anchura de la vía es menor de 1.5 veces la altura de las luminarias se adoptará una disposición unilateral por el lado exterior de la curva. En el caso contrario se recurrirá a una disposición bilateral pareada, nunca tresbolillo pues no informa sobre el trazado de la carretera.

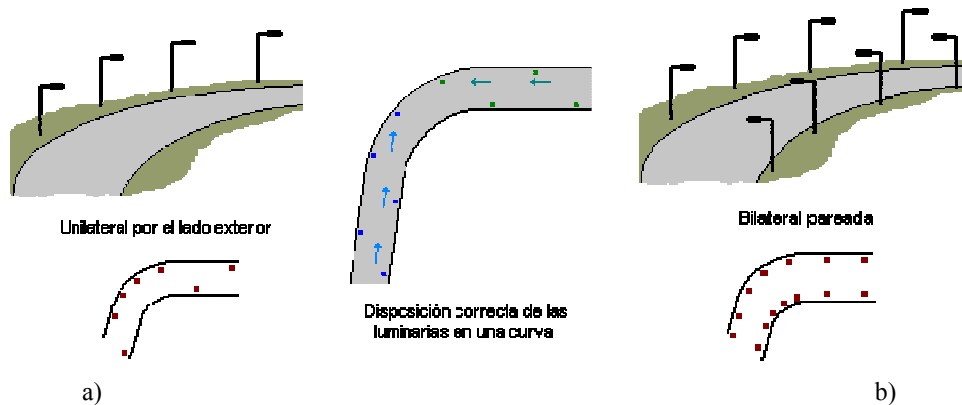


Figura 4.45

$R > 300$ m	Asimilar a un tramo recto	
$R < 300$ m	$A/H < 1.5$	Unilateral exterior
	$A/H > 1.5$	Bilateral pareada

Tabla 4.18

En **cruces** conviene que el nivel de iluminación sea superior al de las vías que confluyen en él para mejorar la visibilidad. Asimismo, es recomendable situar las farolas en el lado derecho de la calzada y después del cruce. Si tiene forma de T hay que poner una luminaria al final de la calle que termina. En la salidas de autopistas conviene colocar luces

de distinto color al de la vía principal para destacarlas. En cruces y bifurcaciones complicados es mejor recurrir a iluminación con proyectores situados en postes altos, más de 20 m, pues desorienta menos al conductor y proporciona una iluminación agradable y uniforme.

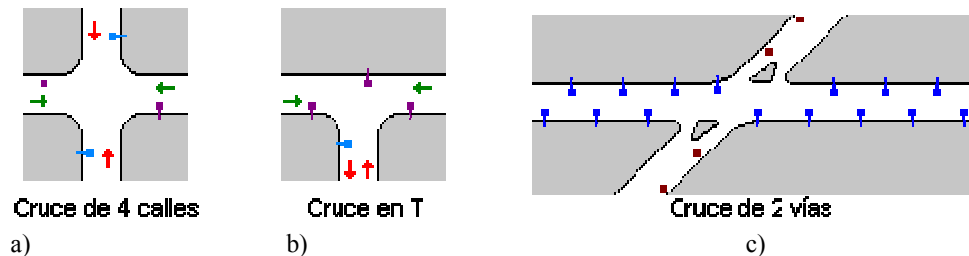


Figura 4.46

En las **plazas y glorietas** se instalarán luminarias en el borde exterior de estas para que iluminen los accesos y salidas. La altura de los postes y el nivel de iluminación será por lo menos igual al de la calle más importante que desemboca en ella. Además, se pondrán luces en las vías de acceso para que los vehículos vean a los peatones que crucen cuando abandonen la plaza.

Si son pequeñas y el terraplén central no es muy grande ni tiene arbolado se puede iluminar con un poste alto multibrazo. En otros casos es mejor situar las luminarias en el borde del terraplén en las prolongaciones de las calles que desemboca en esta.

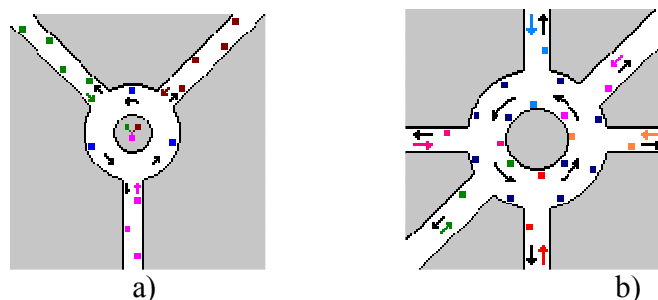


Figura 4.47

En los **pasos de peatones** las luminarias se colocarán antes de estos según el sentido de la marcha de tal manera que sea bien visible tanto por los peatones como por los conductores.

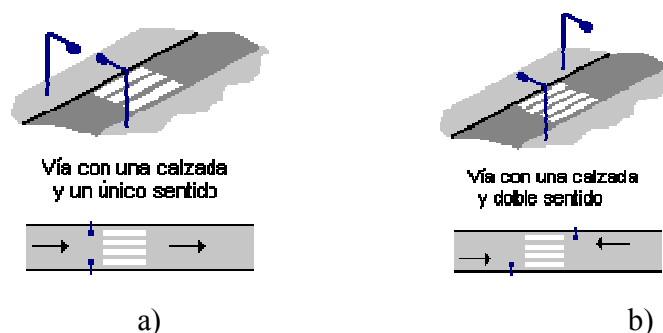


Figura 4.48

Por último, hay que considerar la **presencia de árboles en la vía**. Si estos son altos, de unos 8 a 10 metros, las luminarias se situarán a su misma altura. Pero si son pequeños las farolas usadas serán más altas que estos, de 12 a 15 m de altura. En ambos casos es recomendable una poda periódica de los árboles.

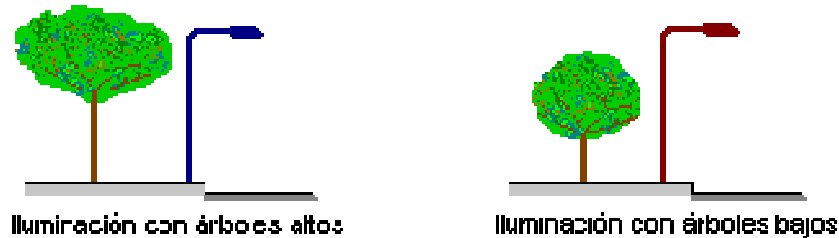


Figura 4.49

Niveles de iluminación recomendados.-

Los niveles de iluminación recomendados dependen de las normativas en vigor en cada territorio, aunque muchas de ellas toman como referencia los valores aconsejados por la CIE. Según esta, las vías se dividen en cinco tipos de acuerdo con las características del tráfico, de la vía y de los alrededores.

Tipo de vía	Entorno	Categoría	Luminancia media Lm (cd/m ²)	Coeficientes de uniformidad		Control del deslumbramiento	
				Global U ₀	Longitudinal UL	Molesto G	Perturbador TI
A		A	≥2	≥0.4	≥0.7	≥6	≤10 %
B	Claro	B1	≥2			≥5	
	Oscuro	B2	≥1			≥6	
C	Claro	C1	≥2		≥0.5	≥5	≤20 %
	Oscuro	C2	≥1			≥6	≤10 %
D	Claro	D	≥2			≥4	≤20 %
E	Claro	E1	≥1			≥4	
	Oscuro	E2	≥0.5			≥5	

Valores recomendados por la CIE (1977)

Tabla 4.19

Tipos de vías.-

Tipo A:

Vías rápidas sin cruces a nivel con accesos controlados y tráfico rápido. Por ejemplo autopistas y autovías.

Tipo B:

Carreteras principales con tráfico rápido y posiblemente carriles para tráfico lento y peatones. Carreteras nacionales, interurbanas.

Tipo C:

Vías con tráfico moderadamente rápido. Por ejemplo cinturones de circunvalación, carreteras radiales y vías urbanas de tráfico rápido.

Tipo D:

Vías con tráfico mixto con presencia de vehículos lentos y peatones. Carreteras provinciales, comarcales, travesías, vías urbanas y calles comerciales.

Tipo E:

Vías con tráfico elevado mixto y limitación de velocidad. Zonas residenciales y calles locales.

Los valores indicados en la tabla 4.20 son luminancias, no iluminancias, pues recordemos que son estas las responsables de provocar la sensación de visión.

A partir de **1995** la CIE ha establecido unas nuevas recomendaciones más acordes con las últimas investigaciones sobre el tema.

Categoría	Luminancia media L_m (cd/m^2)	Coeficientes de uniformidad		Control del deslumbramiento TI	Alrededores SR
		Global U_0	Perturbador TI		
M1	≥ 2.00	≥ 0.4	≥ 0.7	≤ 10	≥ 0.5
M2	≥ 1.50		≥ 0.5		
M3	≥ 1.00		≥ 0.5		
M4	≥ 0.75		---	≤ 15	---
M5	≥ 0.50				

Valores recomendados por la CIE (1996)

Tabla 4.20

Además de estas recomendaciones que se aplican en los tramos normales de las vías hay que considerar que en las zonas conflictivas (cruces, intersecciones, estrechamiento de la vía o del número de carriles, zonas con circulación de peatones o vehículos lentos que dificulten la circulación, rotondas, pasos a nivel, rampas, etc.) suele ser necesario un incremento de los requerimientos luminosos.

Si trabajamos con luminancias hay que aumentar en una unidad la categoría de la vía de valor de M_x más alta que converja en la zona. Cuando sea del tipo M1 a dicha zona también se aplicará este criterio.

En distancias cortas, menos de 60 m, no se pueden aplicar los métodos de cálculos de las luminancias y se utiliza el criterio de las iluminancias.

Categoría	Nivel medio iluminancia E_m (lux)	Coef. global uniformidad U_0
C0	≥ 50	≥ 0.4
C1	≥ 30	
C2	≥ 20	
C3	≥ 15	
C4	≥ 10	
C5	≥ 7.5	

Tabla 4.21

El número de la categoría de la zona de conflicto (Cx) no será menor que el de la vía de mayor categoría (Mx) que confluya en la zona.

Categoría de las vías

Tipo de vía	Categoría *	Categoría * zonas de conflicto
Vías rápidas con calzadas separadas, sin cruces a nivel con accesos controlados y tráfico rápido. Ej.: autopistas y autovías.	M1, M2 o M3	C1, C2 o C3
Vías rápidas con dos carriles	M1 o M2	C1 o C2
Vías urbanas importantes. Carreteras radiales y de distribución. Ej.: cinturones de circunvalación, carreteras radiales...	M2 o M3	C2 o C3
Carreteras de conexión de menor importancia, distribución local	M4 o M5	C4 o C5

Tabla 4.22

* La categoría escogida depende de factores como la densidad de tráfico, complejidad del trazado, presencia de señales y semáforos y tipo de usuarios de la vía.

4.9.2.1.1 MÉTODO DE LOS LÚMENES O DEL FACTOR DE UTILIZACIÓN

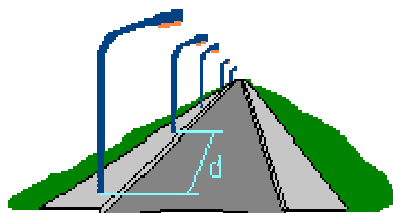
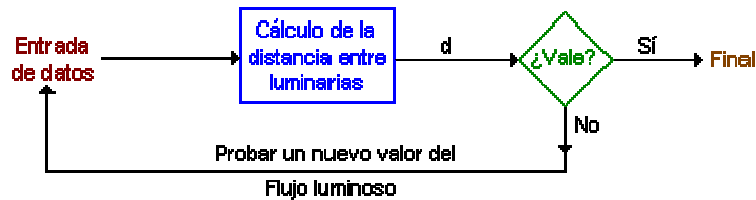


Figura 4.50

La finalidad de este método es calcular la distancia de separación adecuada entre las luminarias que garantice un nivel de iluminancia medio determinado. Mediante un proceso

iterativo, sencillo y práctico, se consiguen unos valores que aunque no son muy precisos, sí sirven de referencia para empezar a aplicar otros métodos.

El proceso a seguir se puede explicar mediante el siguiente diagrama de bloques:



Datos de entrada:

Determinar el nivel de iluminancia media (E_m).

Este valor depende de las características y clase de pavimento, clase de vía, intensidad del tráfico, etc. Como valores orientativos podemos usar la siguiente tabla:

Tipo de vía	Iluminancia media (lx)	Luminancia media (cd/m ²)
A	35	2
B	35	2
C	30	1.9
D	28	1.7
E	25	1.4

Tabla 4.23

Escoger el tipo de lámpara

(vapor de mercurio, sodio...) y la altura de montaje necesarias sin exceder el flujo máximo recomendado en cada intervalo.

Flujo de la lámpara (lm)	Altura (m)
$3000 \leq \Phi < 10000$	$6 \leq H < 8$
$10000 \leq \Phi < 20000$	$8 \leq H < 10$
$20000 \leq \Phi < 40000$	$10 \leq H < 12$
≥ 40000	≥ 12

Tabla 4.24

Elegir la disposición de luminarias más adecuada según la relación entre la anchura de la calzada y la altura de las luminarias

Disposición	Relación anchura/altura
Unilateral	≤ 1
Tresbolillo	$1 < A/H \leq 1.5$
Pareada	> 1.5

Tabla 4.25

Determinar el factor de mantenimiento (f_m) dependiendo de las características de la zona (contaminación, tráfico, mantenimiento...). Normalmente esto es difícil de evaluar y se recomienda tomar un valor no superior a 0.8 (habitualmente 0.7).

Características de la vía	Luminaria abierta	Luminaria cerrada
Limpia	0.75	0.80
Media	0.68	0.70
Sucia	0.65	0.68

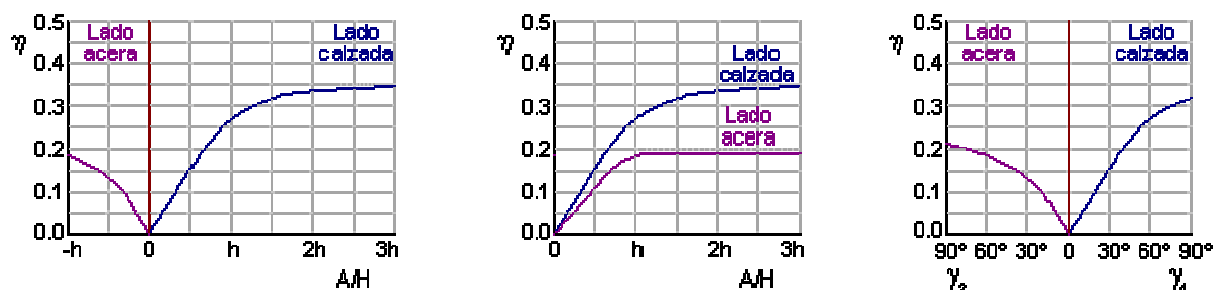
Tabla 4.26

Calcular el factor de utilización (η)

El factor de utilización es una medida del rendimiento del conjunto lámpara-luminaria y se define como el cociente entre el flujo útil, el que llega a la calzada, y el emitido por la lámpara.

$$\eta = \frac{\Phi_{\text{útil}}}{\Phi_L} \quad (4.29)$$

Normalmente se representa mediante curvas que suministran los fabricantes con las luminarias. Estas curvas podemos encontrarlas en función del cociente anchura de la calle/altura (A/H), la más habitual, o de los ángulos γ_1, γ_2 en el lado calzada y acera respectivamente.



Curvas del factor de utilización

Figura 4.51

De los gráficos se puede observar que hay dos valores posibles, uno para el lado acera y otro para el lado calzada, que se obtienen de las curvas.

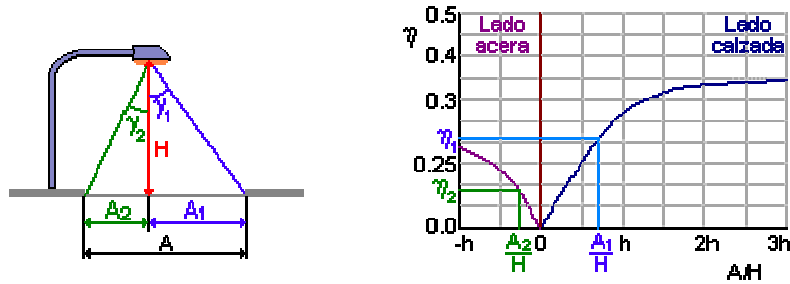


Figura 4.52

$$A = A_1 + A_2$$

$$\eta = \eta_1 + \eta_2$$

Por tanto, para obtener el factor de utilización total de la sección transversal de la calle habrá que sumar los coeficientes del lado acera y del lado calzada, aunque en otros casos la cosa puede ser diferente.

Cálculo de la separación entre luminarias

Una vez fijados los datos de entrada, podemos proceder al cálculo de la separación (d) entre las luminarias utilizando la expresión de la iluminancia media.

$$E_m = \frac{\eta * f_m * \Phi_L}{A * d} \quad (4.30)$$

donde:

Em es la iluminancia media sobre la calzada que queremos conseguir.

η es el factor de utilización de la instalación.

f_m es el factor de mantenimiento.

Φ_L es el flujo luminoso de la lámpara.

A es la anchura a iluminar de la calzada que en disposición bilateral pareada es la mitad (A/2) y toda (A) en disposiciones unilateral y tresbolillo.

Unilateral o tresbolillo	A
Bilateral	A/2

son datos conocidos y d es la separación entre las luminarias, por consiguiente la incógnita a resolver.

Comprobación

Finalmente, tras las fases anteriores, entrada de datos y cálculo, solo queda comprobar si el resultado está dentro de los límites. Si es así habremos acabado y si no variaremos los datos de entrada y volveremos a empezar. Si la divergencia es grande es recomendable cambiar el flujo de la lámpara.

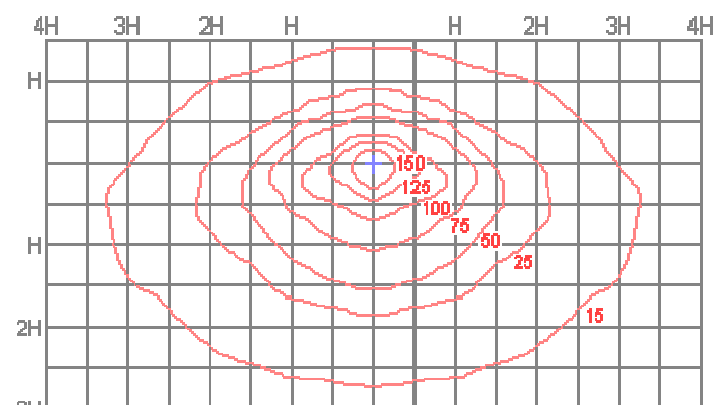
A modo orientativo podemos usar la tabla 4.27 que da la relación entre la separación y la altura para algunos valores de la iluminancia media.

E_m (lux)	separación / altura
$2 \leq E_m < 7$	$5 \leq d/h < 4$
$7 \leq E_m < 15$	$4 \leq d/h < 3.5$
$15 \leq E_m \leq 30$	$3.5 \leq d/h < 2$

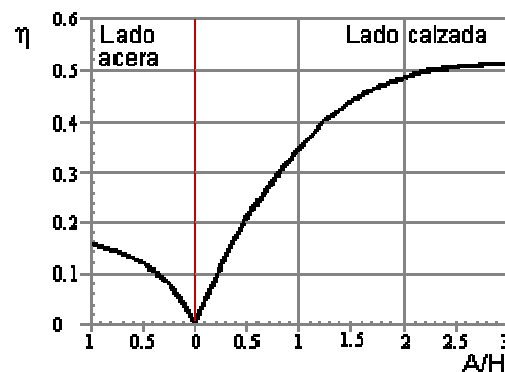
Tabla 4.27

Ejemplo

Queremos dimensionar una instalación de alumbrado público de para una calle de una zona rural poco transitada. Cada acera mide 1.5 m y la calzada cinco metros midiendo la calle en total 8 m de anchura. Se ha pensado instalar luminarias abiertas con lámparas de vapor de sodio a alta presión de 250 W y flujo luminoso de 15000 lm. Disponemos asimismo de las curvas isolux de la luminaria y las gráficas del factor de utilización suministradas por el fabricante.



Curva isolux de la luminaria



Curva del factor de utilización

Otros datos: Se considerará que la proyección del centro óptico de la luminaria sobre la calzada estará a 1 m del bordillo.

Determinar:

- La altura de montaje.
- La disposición más adecuada de las luminarias.

- c) El valor de la iluminancia media.
- d) La distancia de separación de las luminarias.
- e) La iluminancia media en la calzada en el momento de puesta en marcha de la instalación y una vez se produce la depreciación.
- f) La iluminancia media sobre la cada acera.
- g) Los factores de uniformidad media y extrema de la calzada.

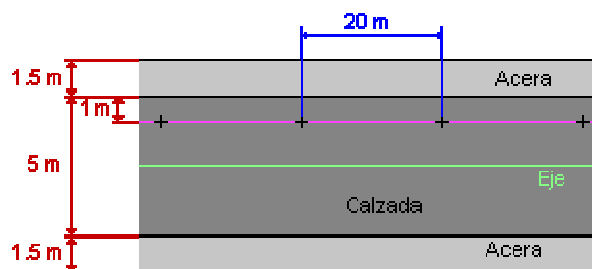
Solución

Este problema podría ser el típico planteamiento de una instalación real. Aquí la información disponible es muy escasa y debemos determinar todos los parámetros de la instalación.

Para resolverlo aplicaremos el algoritmo descrito en el método de los lúmenes que nos permitirá conocer todos los datos requeridos excepto los factores de uniformidad. Para estos últimos emplearemos el método de los nueve puntos.

Datos:

Lámpara de vapor de sodio a alta presión de 25000 lm de flujo luminoso



a.- Altura de montaje

Según la tabla que nos da la relación entre el flujo luminoso de la lámpara y la altura de la luminaria para un flujo de 15000 corresponde una altura entre 8 y 10 metros. Por motivos económicos cogeremos postes de 8 m de altura que son más baratos. Por tanto $h = 8 \text{ m}$.

b.- Disposición de las luminarias

Para conocer la disposición debemos calcular primero el valor de la relación entre el ancho de la calzada y la altura de las luminarias. En nuestro caso es $5/8 = 0.625$ que según la correspondiente tabla aconseja una disposición unilateral.

c.- El valor de la iluminancia media

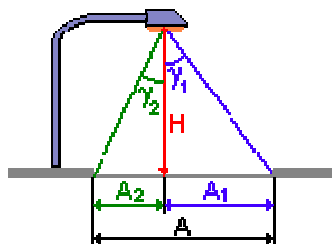
Sabemos que la instalación está situada en una calle de tráfico escaso en una zona rural. Es lógico pensar que las necesidades luminosas serán mínimas y la asimilaremos a una vía del tipo E. Por tanto, le corresponderá una iluminancia media de **25 lx**.

d.- La distancia de separación entre las luminarias

Ya tenemos casi todos los datos necesarios para poder aplicar la fórmula de la iluminancia media excepto el factor de mantenimiento y el de utilización.

Para conocer el valor del factor de mantenimiento sabemos que se instalará una luminaria de tipo abierto. Nos queda por decidir si el grado de suciedad del entorno. Como la calle está en una zona rural con poco tráfico podemos pensar que la instalación no se ensuciará demasiado pero también podemos suponer que las lámparas no se limpiarán con mucha frecuencia. Por tanto y adoptando una posición conservadora le asignaremos el valor de una luminaria abierta en un ambiente medio. Así pues, le asignaremos un valor de 0.68.

Calculo del factor de utilización:



$$\frac{A_1}{h} = \frac{4}{8} = 0.5 \Rightarrow \eta_1 = 0.2$$

$$\frac{A_2}{h} = \frac{1}{8} = 0.125 \Rightarrow \eta_2 = 0.04$$

$$\eta = \eta_1 + \eta_2 = 0.24$$

Finalmente sólo queda calcular el valor de d.

$$E_m = \frac{\eta * f_m * \Phi_L}{A * d}$$

de donde:

$$d = \frac{\eta * f_m * \Phi_L}{E_m * A} = \frac{0.24 * 0.68 * 15000}{25 * 9} = 19.6m$$

e.- La iluminancia media en la calzada en el momento de puesta en marcha de la instalación y una vez se produce la depreciación

En el momento de la puesta en marcha el valor del factor de mantenimiento es 1. Por tanto:

$$E_m = \frac{\eta * f_m * \Phi_L}{A * d} = \frac{0.24 * 1 * 15000}{5 * 19.6} = 36.73lx$$

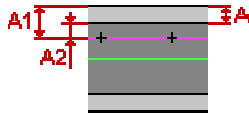
Transcurrido el tiempo el flujo luminoso de la lámpara descenderá por efecto de la suciedad y la depreciación de esta. El nuevo valor de la luminancia será:

$$E_m = \frac{\eta * f_m * \Phi_L}{A * d} = \frac{0.24 * 0.68 * 15000}{5 * 19.6} = 24.98lx$$

f.- La iluminancia media sobre la cada acera.

Para calcular las iluminancias lo primeros que debemos determinar son los factores de utilización de cada una de las aceras.

Acera más próxima a las luminarias



$$\frac{A_1}{h} = \frac{2.5}{8} = 0.3125 \Rightarrow \eta_1 = 0.08$$

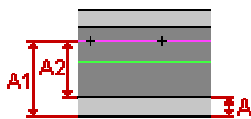
$$\frac{A_2}{h} = \frac{1}{8} = 0.125 \Rightarrow \eta_1 = 0.04$$

$$\eta = \eta_1 + \eta_2 = 0.04$$

de donde:

$$E_m = \frac{\eta * f_m * \Phi_L}{A * d} = \frac{0.04 * 0.68 * 15000}{1.5 * 19.6} = 13.88lx$$

Acera opuesta a las luminarias



$$\frac{A_1}{h} = \frac{5.5}{8} = 0.7 \Rightarrow \eta_1 = 0.27$$

$$\frac{A_2}{h} = \frac{4}{8} = 0.5 \Rightarrow \eta_1 = 0.2$$

$$\eta = \eta_1 + \eta_2 = 0.07$$

de donde:

$$E_m = \frac{\eta * f_m * \Phi_L}{A * d} = \frac{0.07 * 0.68 * 15000}{1.5 * 19.6} = 24.29lx$$

g.- Los factores de uniformidad media y extrema de la calzada.

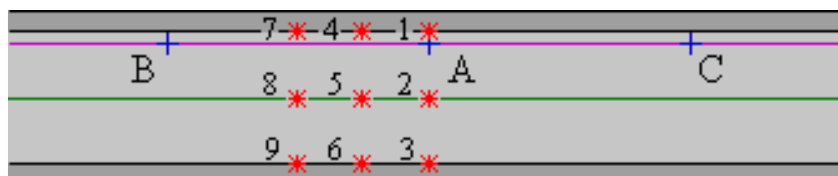
Para calcular los factores de uniformidad hemos de emplear el método de los nueve puntos.

En primer lugar tendremos que elaborar un plano de la calle a la misma escala que las curvas isolux del fabricante. Las curvas están referidas a distancias divididas por la altura de la luminaria. Por tanto hemos de dividir los parámetros de la calle por este valor. Cuando dispongamos de estos valores relativos, los multiplicaremos por el número de píxeles (milímetros sobre el papel) que corresponden a una unidad de H en el gráfico; en nuestro caso son 42 píxel por unidad de longitud.

Resumiendo:

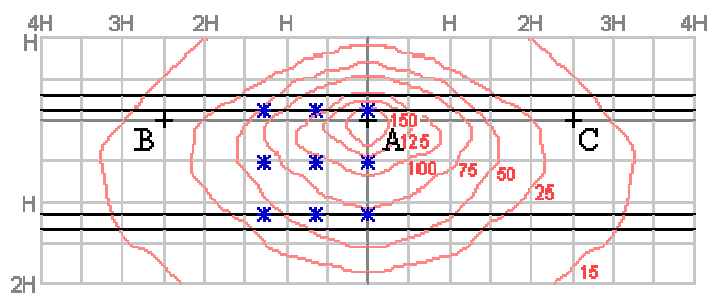
$$y = \frac{x}{h} * r = \frac{x}{8} * 42 \text{ píxel} / m$$

A continuación podemos ver el dibujo de la calle a escala con los nueve puntos ya colocados sobre ella.

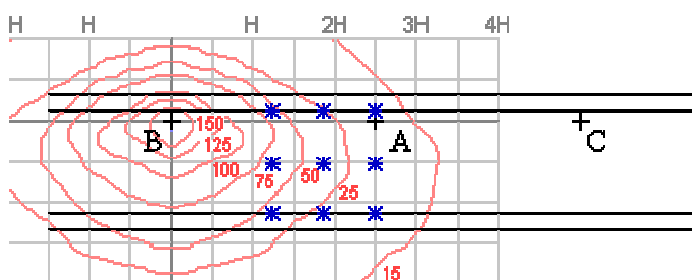


Una vez realizado esto podemos pasar a superponer la gráfica sobre las diferentes luminarias y leer los valores de la curva isolux sobre los puntos tal y como hicimos al hablar del método de los nueve puntos.

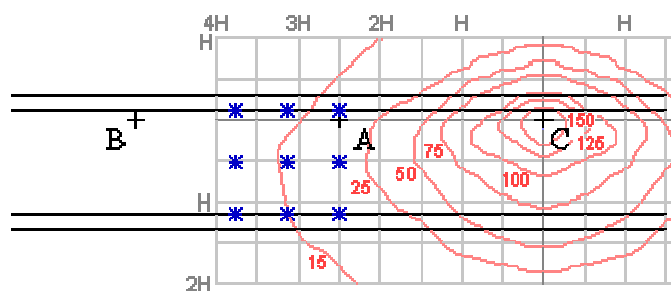
Para A



Para B



Para C



	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	150	123	75	100	97	66	64	73	42
B	20	23	18	25	38	42	63	72	42
C	20	23	22	13	17	15	9	10	9
$\sum E_i$ curva	190	169	115	138	152	123	136	155	93
E_i real	44.6	40.0	27.0	32.4	34.6	28.9	31.9	36.4	21.8

Los valores reales de las iluminancias en cada punto se calculan a partir de los relativos aplicando la fórmula:

$$E_r = E_c * \frac{\Phi_r}{\Phi_c} * \left(\frac{h_c}{h_r} \right)^2 = E_c * \frac{\Phi_r}{h_r^2} * \frac{1}{1000} = E_c * \frac{15000}{8^2} * \frac{1}{1000} = 0.23 * E_c$$

Finalmente, calculamos la iluminancia media y los factores de uniformidad:

$$U_m = \frac{E_{\min}}{E_m} = \frac{21.8}{34} = 0.64 \quad U_{ext} = \frac{E_{\min}}{E_{\max}} = \frac{21.8}{44.6} = 0.49$$

$$E_m = 34 \text{ lx}$$

El valor de E_m obtenido es el del momento de puesta en marcha de la instalación. Para obtener el valor una vez producida la depreciación hemos de multiplicarlo por el factor de mantenimiento (0.68). Obtenemos entonces un valor de **23.12 lx**. La pequeña discrepancia existente con el otro método (24.29) se puede deber a inexactitudes al elaborar los gráficos y a errores de apreciación en la lectura de los mismos.

4.10 DEMANDA MAXIMA

4.10.1 NIVELES DE CONSUMO DE INSTALACIONES DOMICILIARIAS .

De acuerdo a los aparatos o equipos instalados en una vivienda unifamiliar se tienen los siguientes niveles de consumo:

a) Nivel de consumo mínimo.

Permite la utilización de iluminación, refrigerador, plancha eléctrica, radio, televisión y pequeños artefactos electrodomésticos. Previsión de la demanda máxima 3000W.

b) Nivel de consumo medio.

Permite la utilización de cocina eléctrica, calentador de agua refrigerador, radio, televisor y otros aparatos electrodomésticos. Previsión de la demanda máxima 7000 W.

c) Nivel de consumo elevado.

Es el que corresponde a aquellas viviendas que cuentan con aparatos electrodomésticos en gran numero o de potencias unitarias elevadas o de un sistema de calefacción eléctrica y de condicionamiento de aire de gran consumo. Previsión de demanda máxima total mayor de 7000 W.

NIVEL DE CONSUMO	SUPERFICIE MAX. (m2)
Minimo	80
Medio	140
Elevado	Mayor a 140

Tabla 4.28

4.10.2 DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA MÁXIMA EN INSTALACIONES DOMICILIARIAS.

En la determinación de la demanda máxima de una vivienda unifamiliar debe primeramente preverse las cargas que serán instaladas.

En instalaciones de este tipo deben localizarse y caracterizarse.

- Equipos de iluminación
- Tomacorrientes
- Equipos de potencia igual o mayor a 2000 W

4.10.2.1 POTENCIA INSTALADA DE ILUMINACIÓN

La potencia de iluminación estará determinada a partir de los cálculos luminotécnicos respectivos de acuerdo con los niveles de iluminación prescritos tipo de iluminación tipo de luminaria, tipo de luz, etc.

- El tipo de luminaria debe elegirse a criterio
- Los puntos de luz deben disponerse en el local tratando de obtener la iluminación mas uniforme posible.
- La suma de las potencias nominales de las lámparas se puede calcular tomando como base los valores de densidad de carga.

Nivel de consumo	Iluminación incandescente	Iluminación fluorescente (alto factor de potencia)
Mínimo	10	6
Medio	15	6
Elevado	20	8

Tabla 4.29

Para las luminarias fijas de iluminación incandescente la potencia debe tomarse igual a la suma de las potencias nominales de las lámparas. Cuando estas no fueran conocidas debe considerarse un mínimo de 100W por lámpara.

Para las luminarias fijas de iluminación con lámparas de descarga (fluorescentes), la potencia debe considerarse la potencia nominal de la lámpara y los accesorios a partir de los datos del fabricante. Si no se conocen datos precisos, la potencia nominal de las luminarias debe tomarse como mínimo a 1.8 veces la potencia nominal de la lámpara en vacío.

$$PI = DC * Area \quad (Incandescentes) \quad (4.31)$$

$$PI = DC * Area * 1.8 \quad (Fluorescentes) \quad (4.32)$$

$$N_{Lu\ min\ arias} = \frac{PI}{P_{No\ min\ al-foco}} \quad (4.33)$$

4.10.2.2 POTENCIA INSTALADA EN TOMACORRIENTES.

El número mínimo de toma corrientes se determina de acuerdo a los siguientes criterios:

1. Local o dependencia de área igual o inferior a 10 m². 1 toma
2. Local o dependencia de área superior a 10 m², el número mayor a partir de las siguientes alternativas:
3.
 - Una toma por cada 10 m²
 - Una toma por cada 5 metros de perímetro.
 - En baños una toma

A cada toma se atribuirá una potencia de 200 W para efectos de calculo de cantidad como de potencia las tomas dobles o triples instaladas en una misma caja, deben computarse como una sola.

4.10.2.3 POTENCIA INSTALADA EN FUERZAS.

Todos los equipos o aparatos con potencias mayores a 2000 W se consideran como ligados a tomas de uso específico y la potencia instalada será la suma de las potencias nominales de los aparatos.

4.10.3 CALCULO DE LA DEMANDA MÁXIMA.

Es la estimación de la potencia máxima utilizada, y la potencia instalada es la suma de todas las potencias nominales de los aparatos y equipos conectados en una determinada instalación.

La potencia instalada de iluminación y la potencia de tomacorrientes se afectaran de los siguientes factores de demanda.

POTENCIA INSTALADA	FACTOR DE DEMANDA
Los primeros 3000 W.	100%
De 3001 W. a 8000 W.	35%
8001 W. ó más	25%

Tabla 4.30

La potencia instalada de fuerza se afectara de los siguientes factores de demanda.

Nº DE EQUIPOS	FACTOR DE DEMANDA
2 ó menos	100%
3 a 5	75%
6 ó más	50%

Tabla 4.31

Luego la demanda será la suma de las potencias de iluminación y tomacorrientes y la potencia de fuerza afectados por sus correspondientes factores.

Para la Iluminación más las Tomas:

$$D_{Max-I-T} = (PI_{Iluminacion} + PI_{Tomas}) * FD \quad (4.34)$$

Para la Fuerza:

$$D_{max-F} = PI * FD \quad (4.35)$$

La demanda máxima será:

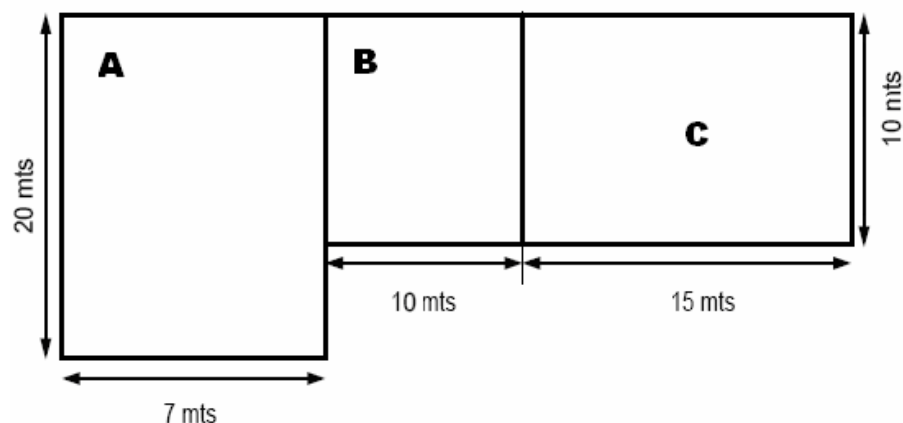
$$D_{Max} = D_{Max-I-T} + D_{Max-F} \quad (4.36)$$

EJEMPLO

Se tiene el siguiente plano arquitectónico donde la habitación **A** es de 20 x 7m, lav habitación **B** es de 10 x 10 m y un taller **C** 15 x 10m, también se cuenta con tres equipos en el taller C donde cada uno de los equipos es de 4KW y los dos siguientes son de 3KW

Calcular:

- El numero de luminarias en cada habitación si se utilizan lámparas incandescentes de 100W.
- Numero de tomas en cada habitación.
- Potencia instalada en la habitación **B**.
- Demanda Máxima.



Solución:

a) Numero de luminarias.

Habitacion A:

$$PI = DC * Area \quad (Incandescentes)$$

$$PI = 15 \frac{W}{m^2} * (20 * 7) m^2 = 2100W$$

$$N_{Lu \min arias} = \frac{PI}{P_{No \min al-foco}} \quad N_{Lu \min arias-A} = \frac{2100}{100} = 21 Lu \min arias$$

Análogamente para las habitaciones B y C se tiene:

$$N_{Lu \min arias-B} = \frac{1000}{100} = 10 Lu \min arias$$

$$N_{Lu \min arias-C} = \frac{3000}{100} = 30 Lu \min arias$$

b) Numero de tomas.

Habitación A:

$$N_{tomas} = \frac{Perimeto(mts)}{5mts.}$$

$$N_{tomas-A} = \frac{54mts}{5mts.} = 10 Tomas$$

Análogamente se tendrá:

$$N_{tomas-B} = \frac{40mts}{5mts.} = 8 Tomas$$

$$N_{tomas-C} = \frac{50mts}{5mts.} = 10 Tomas$$

c) Potencia instalada en la habitación B

$$PI = DC * Area \quad (Incandescentes)$$

$$PI = 10 \frac{W}{m^2} * (10 * 10) m^2 = 1000W$$

d) Demanda máxima.

$$D_{Max-I-T} = (PI_{Iluminacion} + PI_{Tomas}) * FD$$

$$D_{Max-I-T} = 6100 * FD$$

Operando con el factor de demanda se tiene:

$$3000 * FD = 3000 * 1 = 3000W$$

$$3000 * FD = 3100 * 0.35 = 1085W$$

$$D_{Max-I-T} = 4085W$$

$$D_{max-F} = PI * FD$$

$$D_{max-F} = 1000 * 0.75 = 750W$$

Entonces se tendrá:

$$D_{Max} = D_{Max-I-T} + D_{Max-F}$$

$$D_{Max} = 4085 + 750 = 4835W$$

4.11 CALCULO DE LA SECCION DEL CONDUCTOR

El cálculo de la sección del conductor es un procedimiento relativamente corto y fácil, que a continuación detallaremos con la aplicación en un ejemplo.

EJEMPLO

Dentro del proyecto de la instalación eléctrica de una maestranza que operará con equipos trifásicos se desea determinar la sección del conductor del circuito, con los datos siguientes determine dicha sección

DATOS:

Potencia: 40 Kw. (consumo)

Longitud: 120 m. (del circuito completo)

Tensión : 380 Volt (trifásico alterna)

Temperatura: 20° c

Caída de tensión: 3% para circuitos derivados (edificios, viviendas)
2% para alimentadores y acometidas

NOTA: Cuando no se cuenta con el dato de la caída de tensión, este se lo puede extraer de la norma NB777

SOLUCION:

Por caída de tensión:

El 3% de 380 volt. Es **11.4** volt. = ΔV

Determinamos la corriente real:

$$I = \frac{P}{V * \cos \varphi}$$

Alimentador monofásico

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * V * \cos \varphi}$$

Alimentador trifásico

Donde : $\cos \varphi$ = factor de potencia = 0.9 (NB777 Pág. 12)

Entonces:

$$I = \frac{40000}{\sqrt{3} * 380 * 0.9} = 67.5 \text{ Amp}$$

Por el criterio de caída de tensión:

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} * \rho * L * I_L * \cos \varphi}{S}$$

donde:

ρ es la resistividad del material de fabricación del conductor:

$$\rho_{cu} = 1/57$$

$$\rho_{Al} = 1/36$$

Entonces, despejando S se tendrá:

$$S = \frac{\sqrt{3} * \rho * L * I_L * \cos \varphi}{\Delta V}$$

Operando las unidades se tiene:

$$S = \frac{\frac{\Omega * mm^2}{\eta} * \eta * A}{Volt} = \frac{\frac{Volt}{A} * mm^2 * A}{Volt} = mm^2$$

$$S = \frac{\sqrt{3} * 0.017 * 120 * 67.53 * 0.9}{11.4} = 18.8 mm^2$$

4.12 DISPOSITIVOS DE MANIOBRA Y PROTECCION ^[4]

Los dispositivos de maniobra son todos aquellos elementos que nos permiten accionar con la energía eléctrica, por ejemplo aquellos que nos permiten abrir y cerrar circuitos (interruptores, pulsadores, conmutadores, tomacorrientes, etc.)

a) Módulos interruptores

En los circuitos, estos módulos, cortan del lado del borne fijo, el conductor de fase para alimentar diversas cargas como ser lámparas de todo tipo, extractores, y en general en los denominados circuitos para iluminación.

La razón por la cual este modulo debe cortar siempre el conductor activo de fase, es la de la seguridad hacia la integridad física de las personas.

b) Modulo interruptor de combinación

La función básica de este interruptor es la de invertir las conexiones en un circuito dado, para producir efectos de control combinado sobre una misma carga.

Por citar un ejemplo, la iluminación debe iniciarse al ingresar a un pasillo y debe ser apagada al terminar de circular el mismo.

c) Módulos toma corrientes para usos generales

Sabemos que los tomacorrientes son dispositivos que permiten a la red de alimentación eléctrica conectar aparatos o equipos eléctricos como luminarias, electrodomésticos, etc.

d) Dimmers

Los dimmers o reguladores electrónicos para luminarias, se utilizan para graduar en forma continua la intensidad de luz que emite la fuente luminosa.

Los dimmers también son fabricados para regular la potencia de cargas resistivas (hornos, calentadores, etc.) y reactivas (ventiladores, extractores, etc.)

e) Interruptores bipolares

Estos módulos pueden llevar insertados una lámpara de neón o led indicador de presencia para ser detectados en la oscuridad. Admiten la combinación operativa con módulos interruptores inversos con interruptores temporizados.

Otra necesidad de aplicación es el accionamiento simultáneo de luminarias y extractor de aire en los baños públicos, privados y toilettes donde es necesaria la ventilación después de haber sido interrumpida la iluminación, con un rango aceptable de tiempo entre 0 y 15 minutos.

Una vez finalizada la temporización en el interruptor, el circuito de utilización, interrumpe su trabajo abriéndose e interrumpiendo la alimentación a la luminaria, extractor, ventilador, etc.

4.12.1 NOCIONES BÁSICAS, TERMINOLOGÍA Y SIMBOLOGÍA

La seguridad de las personas es el objetivo principal que debe tener presente un profesional en el momento de desarrollar un proyecto, para este propósito es muy importante conocer las diferentes normativas documentadas en las distintas normas y reglamentos vigentes, tanto en nuestro país (NB 777) como en otras naciones por ejemplo la Española (UNE 20-460-90), la argentina (reglamento AEA), etc.

4.13 TERMINOLOGÍA

- **Aislante:**

Cuerpo no conductor del calor o la energía eléctrica.

Son de diversos materiales:

- cerámicos
- plásticos
- caucho
- neopreno

- celulosa
- etc.

- **Aislamiento:**

Dispositivo para evitar el paso de la electricidad o el calor por conducción, utilizado en instalaciones eléctricas ,cuyo fin principal es cumplir funciones de índole mas bien mecánicas que eléctricas.

- **Baja tensión:**

Nivel de tensión igual o inferior a 1000 V

- **Sobrecorriente:**

Toda corriente superior al valor de la corriente nominal. Para los conductores, la corriente admisible es considerada como corriente nominal bajo condiciones determinadas, definiciones y/o cálculos establecidos en la norma NB 777.

- **Contacto directo:**

Contacto de materiales, personas o equipos con partes energizadas de materiales y/o equipos.

- **Conductor de protección:**

Conductor utilizado en circuitos eléctricos cuya finalidad es la protección contra descargas eléctricas en caso de falla.

- **Fusible:**

Hilo de una aleación especial que, colocado en un circuito eléctrico, interrumpe el paso de corriente al fundirse cuando la intensidad es demasiado fuerte, convirtiéndose en uno de los medios de protección mas sencillo en un circuito.

- **Shock eléctrico :**




Es una conmoción violenta e imprevista que trastorna o perturba, provocado por el flujo de energía eléctrica a través de el cuerpo, que por contacto prolongado o intenso puede causar lesiones y/o quemaduras en distintas áreas del cuerpo, en algunos casos puede provocar paros respiratorios, cardiacos, etc. derivando incluso en la muerte o lesiones muy graves.

- **Corto circuito:**


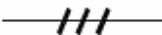
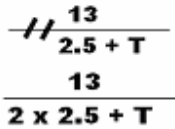
Fenómeno eléctrico que se produce al unir con n conductor de resistencia muy débil dos puntos entre los cuales existe una diferencia de potencial.










4.14 SIMBOLOGÍA



1.- GENERAL

SIMBOLO	DESCRIPCION
	Peligro electrico
	Corriente continua, simbolo general
	Corriente alterna, simbolo general







2.- CONDUCTORES Y TENDIDO DE CONDUCTORES


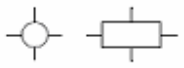



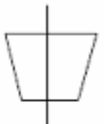



SIMBOLO	DESCRIPCION
	Conductor, simbolo general
	Conductor indicando el numero de conductores (en este caso 3 conductores)
	Dos conductores de 2.5 mm ² mas conductor de tierra utilizando una cañeria de 13 mm de diametro interior








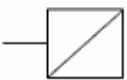
SIMBOLO	DESCRIPCION
	Conductor mobile
	Conductor subterraneo
	Conductor aereo
	Conductor adosado (sobrepuesto)
	Conductor empotrado
	Conductor tendido en canal
	Conductor sobre aislador
	Conductor de proteccion
	Conductor de señalizacion

SIMBOLO	DESCRIPCION
	Conductor telefonico
	Conductor radio fonico


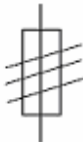





3.- ALIMENTACION, CONEXIN Y CRUCE DE CONDUCTORES O LINEAS

SIMBOLO	DESCRIPCION
	Conductor procedente de arriba o dirigido hacia la parte superior
	Conductor con alimentacion hacia arriba
	Conductor con alimentacion desde arriba
	Conductor procedente de abajo o dirigido hacia la parte inferior
	Conductor con alimentacion hacia abajo
	Conductor con alimentacion desde abajo

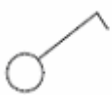
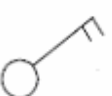
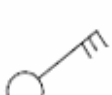

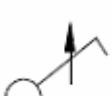
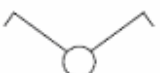
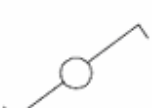
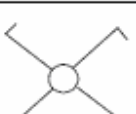
SIMBOLO	DESCRIPCION
	Conductor dirigido hacia arriba y abajo
	Caja de derivaciones
	Cruce de conductores sin conexión
	cruce de conductores con conexión
	Derivacion de un conductor
	Terminal de cables (mufla de cables)
	Barra distribuidora principal
	Recuadro para aparatos
	Tablero de distribucion principal




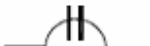
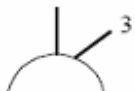

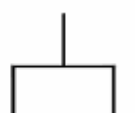

SIMBOLO	DESCRIPCION
	Tablero de distribucion
	Medidor de consumo energia electrica
	Puesta a tierra
	Puesta a masa
	Protector de sobretension
	Elemento acumulador o baterias
	Transformador
	Conductor aereo

4.- FUSIBLES, INTERRUPTORES DE PROTECCION Y SELECCIÓN


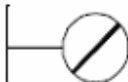





SIMBOLO	DESCRIPCION
	Fusible de N amperios
	Fusible tripolar de 30 A
	Interruptor tripolar
	Interruptor simbolo general
	Interruptor con disparador termico
	Interruptor con disparador magnetico
	Selector de dos posiciones

5.- INTERRUPTOR Y COMACORRIENTES DE SERVICIO

SIMBOLO	DESCRIPCION
	Interruptor monopolar
	Interruptor bipolar
	Interruptor tripolar
	Interruptor monopolar con jalador
	Interruptor con atenuador
	Interruptor monopolar de serie, doble efecto
	Interruptor conmutador
	Interruptor de cruce

SIMBOLO	DESCRIPCION
	Interruptor pulsador
	Interruptor pulsador luminoso
	Toma corrientes para 110 V
	Toma corrientes para 220 V
	Toma corrientes multiple con tres tomas
	Tomacorrientes con proteccion a tierra
	tomacorrientes para telecomunicaciones
	Tomacorrientes para antena TV, Radio

6.- LAMPARAS

SIMBOLO	DESCRIPCION
	Punto de luz, simbolo general
	Punto de luz adosado a la pared
	Lampara con interruptor incorporado
	Lampara de emergencia
	Lampara de luminosidad graduable, por efecto externo
	Lampara fluorecente
	Indicador luminoso

4.15 CARACTERISTICAS DE RIESGO

El riesgo de accidentes por contacto con la energía eléctrica o mal funcionamiento en un circuito eléctrico, consecuentemente trae secuelas de carácter físico y emocional, por lo que es importante conocer los procesos por los cuales una persona u aparato estaría en riesgo de sufrir dichos daños ya sea por descuido o por una mala planificación del proyecto.

4.15.1 RIESGOS PROBABLES QUE SE PUEDEN ORIGINAR.

- Descargas eléctricas de origen directo e indirecto que pueden provocar tetanización, contracciones de los músculos, paro respiratorio, fibrilaciones ventriculares, quemaduras, infarto, taquicardia y otros.
- Mal funcionamiento del mecanismo y sistemas de protección.
- Fallos de las tomas de tierra.
- Incorrecta instalación, cortes, defectos de conexión, etc.
- Caídas de tensión por sobrecarga que repercuten en calentamiento de instalaciones (conductores), receptores y aparatos.

a) Contacto directo

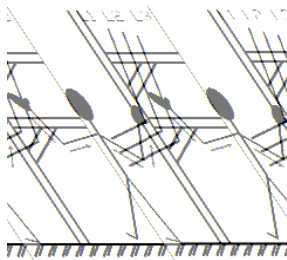


Figura 4.53

Conductor activo con masa conductora.
En este caso una estructura metálica

b) Contacto indirecto

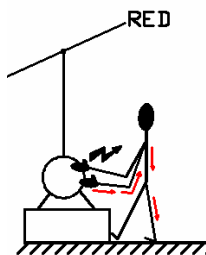


Figura 4.54

Contacto indirecto con una cáscara metálica y suelo conductor

c) Quemaduras

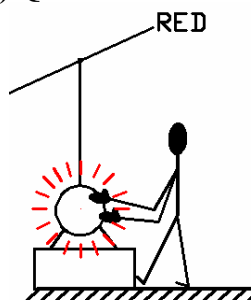


Figura 4.55

Elevación de la temperatura de la carcasa por sobre carga continua

d) Fuego

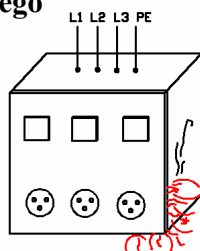


Figura 4.56

Por malos contactos en la bases de enchufes, se provocan sobrecargas muy elevadas y otros

e) Explosión



Figura 4.56

Producción de chispazo o llamas en lugares o locales con productos inflamables con riesgo de incendio o explosión.

f) Sobre tensión

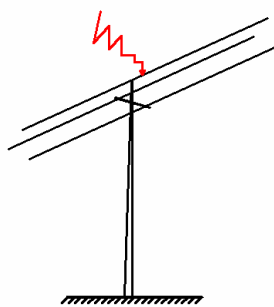


Figura 4.57

Debidas a defectos en el transformador, contactos con tensiones superiores, incidencias atmosféricas

g) Sobre intensidad

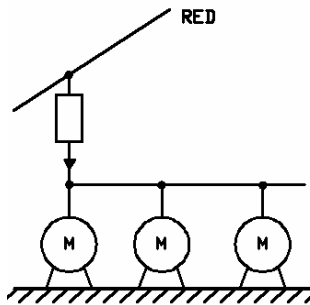


Figura 4.58

Sobre intensidad en conductores debido especialmente a sobrecargas. En este caso exceso de receptores

h) Caída de tensión

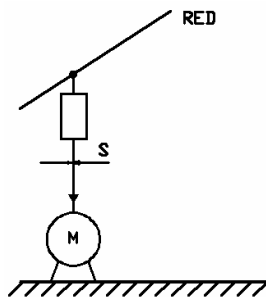


Figura 4.59

La causa es debido a que el receptor es de gran potencia y la línea de pequeña sección

4.15.2 SISTEMAS DE PROTECCION ^[4]

4.15.2.1 ASPECTOS FUNDAMENTALES

Todos los sistemas eléctricos, sean estos domésticos, industriales, comerciales, etc., tienen básicamente, la misma finalidad, que es la de suministrar energía eléctrica para su utilización del modo más seguro y confiable cuando sea económicamente posible.

Hoy en día, son enormes las cantidades de energía eléctrica envueltas en los sistemas industriales y comerciales, y con una tasa de crecimiento permanente, Esta energía debe ser adecuadamente *confinada y controlada* para evitar se constituya en una amenaza para las personas y las propiedades. Por otra parte, la creciente tendencia a un *automatismo* de los procesos industriales y las actividades comerciales exigen cada vez más un suministro de energía con alto grado de confiabilidad, teniendo en cuenta los elevados costos que pueden representar el parar la producción sea en industrias o en servicios. Así, es cada vez más importante la protección de los sistemas eléctricos.

Se llama maniobra al cambio de la configuración eléctrica de un circuito, hecha manual o automáticamente por un dispositivo adecuado y destinado a esa finalidad. La protección es un tipo particular de maniobra que es automáticamente provocada por dispositivos sensibles a determinadas condiciones anormales que ocurren en un circuito, con el objeto de evitar o limitar daños a un sistema o equipo eléctrico.

La protección de un sistema eléctrico tiene por objeto.

- a) Evitar daños a las personas y animales domésticos
- b) Evitar o minimizar daños a equipos y propiedades
- c) Minimizar las interrupciones de suministro de energía al sistema
- d) Limitar los efectos de una perturbación sobre las partes no directamente afectadas del sistema, tanto en duración como en extensión
- e) Minimizar los efectos de perturbaciones internas de la instalación sobre el sistema de la distribuidora de energía eléctrica

El escoger, la aplicación y la coordinación selectiva adecuada del conjunto de componentes que constituyen la protección de un sistema, es uno de los aspectos más importantes y menos estudiados de un proyecto eléctrico. Al ejecutar un proyecto, no es admisible considerar solamente el funcionamiento normal del sistema, lo que sin duda, será, mucho más simple.

Es obligatorio presumir que los equipos pueden tener fallas, que las personas cometerán errores y que ocurrirán imprevistos. La función de la protección es justamente minimizar los daños al sistema y sus componentes, y limitar la extensión y la duración de las interrupciones del suministro de energía eléctrica siempre que, en cualquier parte del sistema ocurrirá una falla en los equipos, una falla humana o un imprevisto cualquiera. Tenemos que considerar, sin embargo, que la protección a ser proyectada, atendiendo siempre condiciones mínimas de seguridad y confiabilidad, podrá variar de “intensidad” dependiendo de factores económicos en la selección de los componentes que ejercerán aquella función.

La protección de una instalación eléctrica es realizada por medio de dispositivos y métodos adecuados y contemplan los siguientes aspectos:

- Protección contra los contactos directos
- Protección contra los contactos indirectos
- Protección contra los efectos térmicos en servicio normal
- Protección contra las sobrecargas
- Protección contra los cortocircuitos
- Protección contra las sobretensiones

En los últimos años, la protección contra las *fallas de tierra* ha adquirido una importancia cada vez mayor en los diversos tipos de instalaciones. Con el uso y cada vez más intenso de la electricidad para las más diversas funciones, ese tipo de falla, muy común en los sistemas eléctricos, paso a ser encarada con una serie cada vez mayor.

La gran mayoría de las fallas son a tierra, así mismo aquellas que se inician entre fases pueden ser rápidamente a cualquier caja metálica de equipo, o conductor, que proporcionara una vía de retorno a tierra.

Los cortocircuitos francos entre fase a tierra son raros. Las fallas más comunes ocurren en forma de arco, y si no fuesen prontamente eliminadas pueden tener extremadamente destructivos. Las temperaturas de los arcos pueden ser generalmente independientes de la corriente de cortocircuito, pudiendo ocurrir que arcos de gran capacidad destructiva pueden ser suministradas por corrientes insuficientes para hacer actuar, por lo menos en el tiempo adecuado, los dispositivos de protección usuales.

4.15.3 PROTECCIÓN PARA LA MANIPULACIÓN Y TRANSPORTE DE ENERGÍA

Al ser la corriente eléctrica un acumulo de energía, se debe tener mucho cuidado en la manipulación y en su transporte, por lo que se considera lo siguiente:

- Deberá tenerse muy en cuenta la clase de aislamiento con el que cuentan los conductores y receptores (motores, artefactos, maquinas, etc.), en el caso de los conductores se verificara si el material aislante es de buena calidad (resistente al calor, a la intemperie, no inflamable, etc.), el caso de los receptores es mas complejo, ya que se tendrá en cuenta el tipo de receptor que se manipula por ejemplo en los motores se verificara que tenga aislamiento térmico, aislamiento contra choques eléctricos, etc.
- Para transportar energía deberá tenerse en cuenta si la sección del conductor es la adecuada, el tipo de aislamiento con el que cuenta, tipo de transporte (aéreo, subterráneo, adosado, etc.), accesorios necesarios para su correcta manipulación y transporte, etc.

4.15.4 PROTECCION PERSONAL

En la realización de los trabajos eléctricos se utilizaran materiales de seguridad homologados. Entre los mas importantes citaremos:

- Guantes para trabajos y aislantes
- Gafas protectoras según el trabajo a realizar.
- Botas de seguridad
- Cascos de protección de la cabeza y contra caída de objetos.
- Cascos y tapones para los oídos, contra los ruidos.
- Mascarilla de protección contra polvo, humos, gases y productos tóxicos.

4.15.5 PROTECCION LABORAL

- Pértigas aislantes (varillas flexibles).
- Banquetas aislantes

- Escaleras con aislamiento
- Materiales de medida y comprobación.
- Herramientas eléctricas con aislamiento adecuado (alicates, pinzas, destornilladores, etc.).
- Botiquín de primeros auxilios.

4.16 CONSIDERACIONES PARA UN PROYECTO DE INSTALACION ELECTRICA

4.16.1 PLANO DE CABLEADO

El cableado de circuitos de iluminación debe considerar los siguientes aspectos:

- La alimentación a un ambiente debe realizarse hasta un punto de luz, no a través de los interruptores.
- El cableado debe hacerse ambiente por ambiente
- Es conveniente, hasta tener practica, hacer un diagrama desarrollado (que muestre lámparas circulación de la corriente eléctrica de los elementos y a objeto de facilitar el funcionamiento de los circuitos), antes de proceder al cableado.

4.16.2 PLANO DE DUCTOS

El tendido de ductos para proteger los conductores en circuitos de iluminación debe considerar los siguientes aspectos:

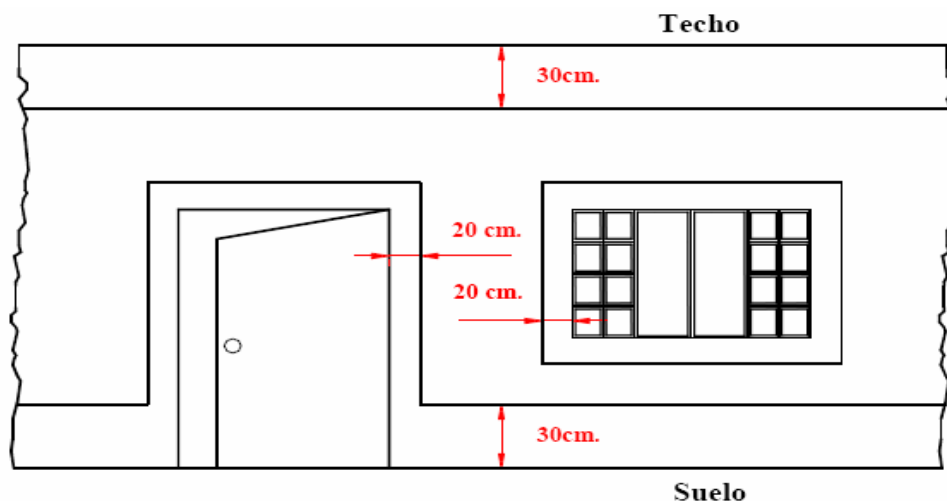
- a) El trazado de las canalizaciones, se hará siguiendo preferentemente líneas paralelas a las verticales y horizontales que limitan el local donde se efectúa la instalación
- b) Los tubos se unirán entre sí, mediante accesorios adecuados a su clase que aseguren la continuidad de la protección que proporcionan a los conductores según se muestra en las figuras.
- c) Será posible la fácil introducción y retirada de los conductores en los tubos, después de colocados y fijados éstos y sus accesorios, disponiendo para ello las cajas de registro que se consideren convenientes
- d) Para que no pueda ser destruido el aislamiento de los conductores por su roce con los bordes libres de los tubos, los extremos de éstos, cuando sean metálicos y penetren en una caja de conexión o aparato, estarán provistos de boquillas con bordes redondeados o dispositivos equivalentes o bien convenientemente mecanizados y si se trata de tubos metálicos con aislamiento interior, este último sobresaldrá unos milímetros de su cubierta metálica.
- e) Cuando los tubos estén constituidos por materias susceptibles de oxidación y cuando hayan recibido durante el curso de su montaje algún trabajo de mecanización (atarrajado, curvado, etc.) se aplicará a las partes mecanizadas pinturas antioxidantes.

Igualmente, en el caso de utilizar tubos metálicos sin aislamiento interior, se tendrá en cuenta la posibilidad de que se produzcan condensaciones de agua en el interior de los mismos, para lo cual se elegirá convenientemente el trazado de su instalación y se preverá la evacuación del agua en los puntos más bajos de ellas e incluso, si fuera necesario, estableciendo una ventilación apropiada en el interior de los tubos mediante el sistema adecuado como puede ser, por ejemplo, el empleo de una “T” cuando uno de los brazos no se emplea.

f) En los cruces de los tubos rígidos con las juntas de dilatación de un edificio deberán interrumpirse los tubos, quedando los extremos de los mismos separados entre sí unos 5 cm, para empalmarse posteriormente con un manguito deslizante que tenga una longitud mínima de 20 cm.

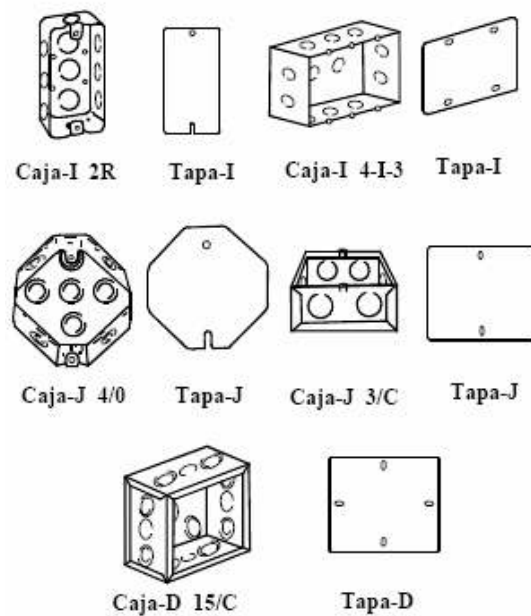
g) Los tubos empotrados podrán instalarse antes de terminar la construcción de la pared o techo que los han de alojar, siendo necesarios en estos casos fijar bien los tubos, de forma que no puedan desplazarse durante los trabajos posteriores de la construcción.

h) Es conveniente ubicar los tubos normales empotrados en paredes, de tal forma que los recorridos verticales estén a 30 cm, como máximo, del suelo o techo y a 20 cm, como máximo, en recorridos verticales de los ángulos o esquinas tal como se muestra en la figura 4.60.



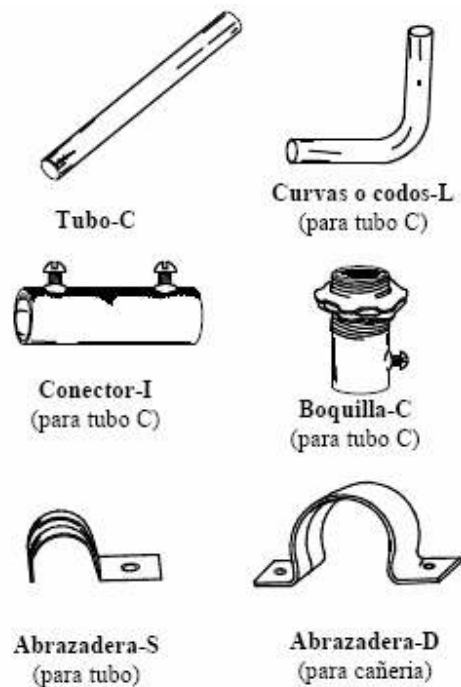
Dimensiones adecuadas para el empotramiento de caños

Figura 4.60



Diferentes accesorios para el tendido de tubos.

Figura 4.61



Diferentes accesorios para el tendido de tubos.

Figura 4.62

4.16.3 PLANO DE INSTALACIONES UNIFAMILIARES (plano adjunto en anexo)

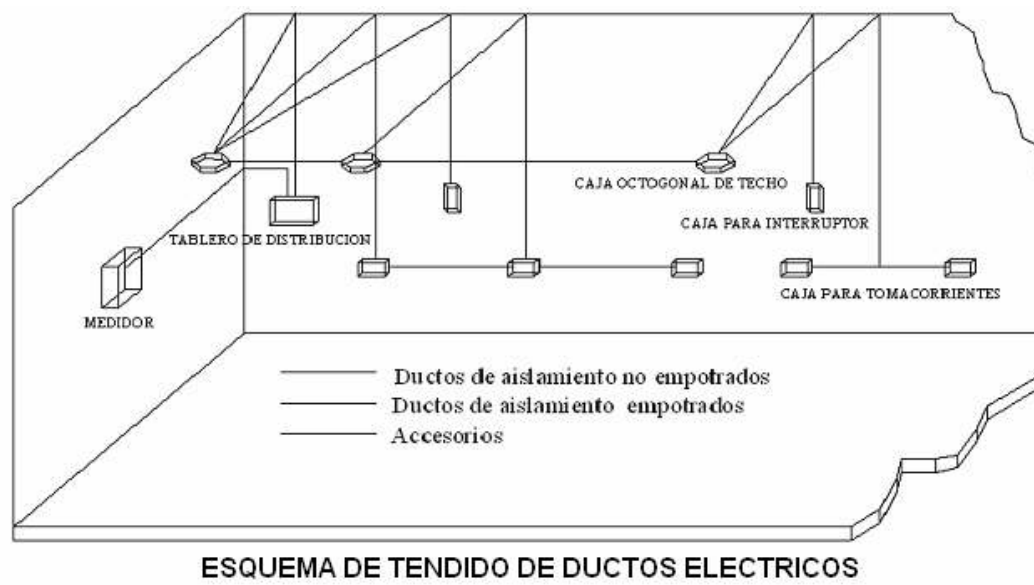


Figura 4.49

UNIDAD N° 5

MAQUINAS ELECTRICAS

5.1 GENERALIDADES DE LOS TRANSFORMADORES ^[2*]

La preferencia que tiene la corriente alterna frente a la continua radica en que la corriente alterna se puede transformar con facilidad.

La utilización de corriente continua queda limitada a ciertas aplicaciones, por ejemplo, para la regulación de motores. Sin embargo, la corriente continua adquiere en los últimos tiempos una significación creciente, por ejemplo para el transporte de energía a tensiones extra altas.

Para transportar energía eléctrica de sistemas que trabajan a una tensión dada a sistemas que lo hacen a una tensión deseada se utilizan los transformadores. A este proceso de cambio de tensión se le "llama transformación".

La energía eléctrica es transferida de un circuito eléctrico a otro, estando este ultimo aislado conductivamente del primero.

Además de transferir energía transforma tensión, corriente e impedancia.
Existen:

- Transformadores de potencia
- Transformadores de comunicación
- Transformadores de instrumento.

5.2 EL TRANSFORMADOR ^[2*]

Es un dispositivo que convierte energía eléctrica de un cierto nivel de voltaje, en energía eléctrica de otro nivel de voltaje, por medio de la acción de un campo magnético.

Esta constituido por dos o más bobinas de alambre, aisladas entre si eléctricamente por lo general y arrolladas alrededor de un mismo núcleo de material ferromagnético.

El arrollamiento que recibe la energía eléctrica se denomina arrollamiento de entrada, con independencia si se trata del mayor (alta tensión) o menor tensión (baja tensión).

El arrollamiento del que se toma la energía eléctrica a la tensión transformada se denomina arrollamiento de salida. En concordancia con ello, los lados del transformador se denominan lado de entrada y lado de salida.

El arrollamiento de entrada y el de salida envuelven la misma columna del núcleo de hierro.

El núcleo se construye de hierro por que tiene una gran permeabilidad, o sea, conduce muy bien el flujo magnético.

En un transformador, el núcleo tiene dos misiones fundamentales:

- a. Desde el punto de vista eléctrico –y esta es su misión principal- es la vía por que discurre el flujo magnético. A través de las partes de la culata conduce el flujo magnético siguiendo un circuito prescrito, de una columna a otra.
- b. Desde el punto de vista mecánico es el soporte de los arrollamientos que en él se apoyan.

Para generar el flujo magnético, es decir, para magnetizar el núcleo de hierro hay que gastar energía eléctrica. Dicha energía eléctrica se toma del arrollamiento de entrada.

El constante cambio de magnetización del núcleo de hierro origina pérdidas. Estas pérdidas pueden minimizarse eligiendo tipos de chapa con un bajo coeficiente de pérdidas.

Además, como el campo magnético varía respecto al tiempo, en el hierro se originan tensiones que dan orígenes a corrientes parásitas, también llamadas de Foucault. Estas corrientes, asociadas con la resistencia óhmica del hierro, motivan pérdidas que pueden reducirse empleando chapas especialmente finas, de unos 0.3 mm de espesor, aisladas entre sí (apiladas). En cambio, en un núcleo de hierro macizo se producirían pérdidas por corrientes parásitas excesivamente grandes que motivarían altas temperaturas.

Una vez descritos los dos principales componentes, va a tomar conocimiento del principio de la transformación:

El flujo magnético, periódicamente variable en el tiempo, originado por la corriente que pasa a través del arrollamiento de entrada induce en el arrollamiento de salida una tensión que varía con la misma frecuencia.

Su magnitud depende de la intensidad y de la frecuencia del flujo así como del número de vueltas que tenga el arrollamiento de salida, como se ve en la siguiente formula (ley de la inducción).

$$E = 4.44 * 10^{-8} * a_c * B * f * N \quad (5.1)$$

$$E = 4.44 * f * \phi_m * N \quad (5.2)$$

$$B_m = \frac{\phi_m}{A} \quad (5.3)$$

Donde:

a_c = sección del núcleo en pulgadas cuadradas,

Φ_m = flujo máximo

B = densidad máxima del flujo en líneas por pulgada cuadrada,

B_m = Densidad de flujo máxima

E = tensión eficaz,

f = frecuencia en Hz

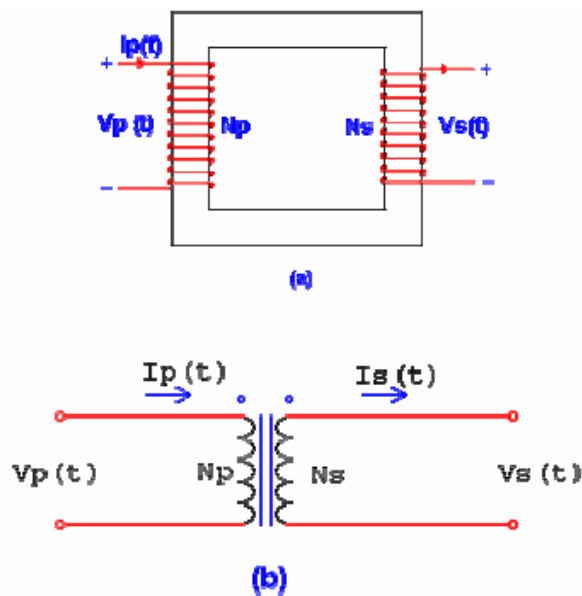
A = Área

N = número de espiras del devanado

5.2.1 TRANSFORMADOR IDEAL ^[9]

Un transformador ideal es un equipo sin pérdidas, con una bobina de entrada y una bobina de salida.

Las relaciones entre los voltajes de entrada y de salida, y entre la corriente de entrada y de salida, se establece mediante dos ecuaciones sencillas. La figura siguiente muestra un transformador ideal.



a) Esquema de un transformador ideal. b) Símbolos esquemáticos de un transformador ideal.

Figura 5.1

En el transformador que se muestra en la figura anterior tiene N_p espiras de alambre sobre su lado primario y N_s de espiras de alambre en su lado secundario. La relación entre el voltaje $V_p(t)$ aplicado al lado primario del transformador y el voltaje $V_s(t)$ inducido sobre su lado secundario es :

$$V_P = e_P \quad \frac{V_P(t)}{V_S(t)} = \frac{N_P}{N_S} = a \quad (5.4)$$

$$e_S = V_S$$

$$e_P = 4,44 N_P f \phi \quad f = \text{frecuencia}$$

$$e_S = 4,44 N_S f \phi \quad ; \quad \phi = \text{flujo_maximo}$$

En donde a se define como la relación de espiras del transformador o relación de transformación.

$$a = \frac{N_P}{N_S} \quad (5.5)$$

La relación entre la corriente $i_P(t)$ que fluye en el lado primario del transformador y la corriente $i_S(t)$ que fluye hacia fuera del lado secundario del transformador es

$$N_P * i_P(t) = N_S * i_S(t) \quad (5.6)$$

$$\frac{N_S}{N_P} = \frac{i_P(t)}{i_S(t)} = \frac{1}{a} \quad (5.7)$$

5.2.2 TRANSFORMADOR NO IDEAL DE NÚCLEO REAL ^[9]

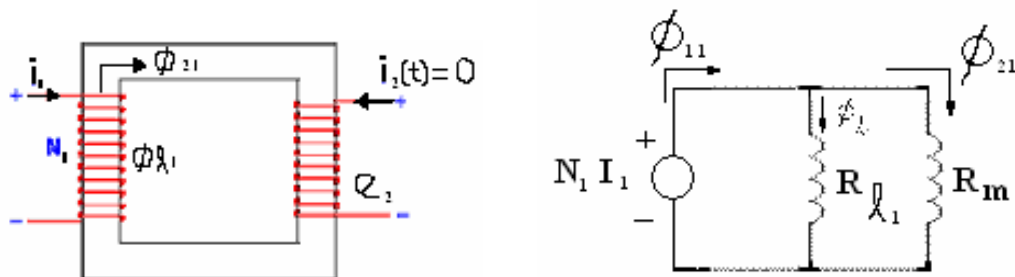


Figura 5.2

$$N_1 I_1 = \phi_{11} R_{l1} // R_m \quad (5.8)$$

$$\phi_{l,1} = P_{l,1} N_1 i_1 \quad (5.9)$$

$$\phi_{2,1} = P_m N_1 i_1 \quad (5.10)$$

$$\phi_{11} = \phi_{l,1} + \phi_{2,1} = (P_{l,1} + P_m)N_1 i_1 \quad (5.11)$$

5.2.3 Potencia en un transformador ideal

La potencia suministrada al transformador por el circuito primario se expresa por medio de la ecuación

$$P_{ent} = V_p * I_p * \cos \theta_p \quad (5.12)$$

En donde θ_p es el ángulo entre el voltaje y la corriente secundaria. La potencia que el circuito secundario suministra a sus cargas se establece por la ecuación:

$$P_{sal} = V_s * I_s * \cos \theta_s \quad (5.13)$$

En donde θ_s es el ángulo entre el voltaje y la corriente secundarios. Puesto que los ángulos entre el voltaje y la corriente no se afectan en un transformador ideal, $\theta_p = \theta_s = \theta$.

Las bobinas primaria y secundaria de un transformador ideal tienen el mismo factor de potencia.

¿Cómo se compara la potencia que va al circuito primario del transformador ideal, con la potencia que sale por el otro lado?

Es posible averiguarlo por medio de las ecuaciones de voltaje y corriente. La potencia que sale de un transformador es:

$$P_{sal} = V_s * I_s * \cos \theta \quad (5.14)$$

Aplicando las ecuaciones de relación de espiras nos resulta

$$V_s = \frac{V_p}{a} \quad (5.15) \quad \text{y} \quad I_s = a * I_p \quad (5.16)$$

así que

$$P_{sal} = \frac{V_p}{a} * a * I_p * \cos \theta \quad (5.17)$$

$$P_{sal} = V_p * I_p * \cos \theta = P_{ent} \quad (5.18) \quad ; \quad P_{ent} = P_{sal}$$

De donde, la potencia de salida de un transformador ideal es igual a su potencia de entrada.

La misma relación se aplica a la potencia reactiva Q y la potencia aparente S.

$$Q_{ent} = V_p * I_p * \text{Sen } \theta = V_s * I_s * \text{Sen } \theta = Q_{sal} \quad (5.19)$$

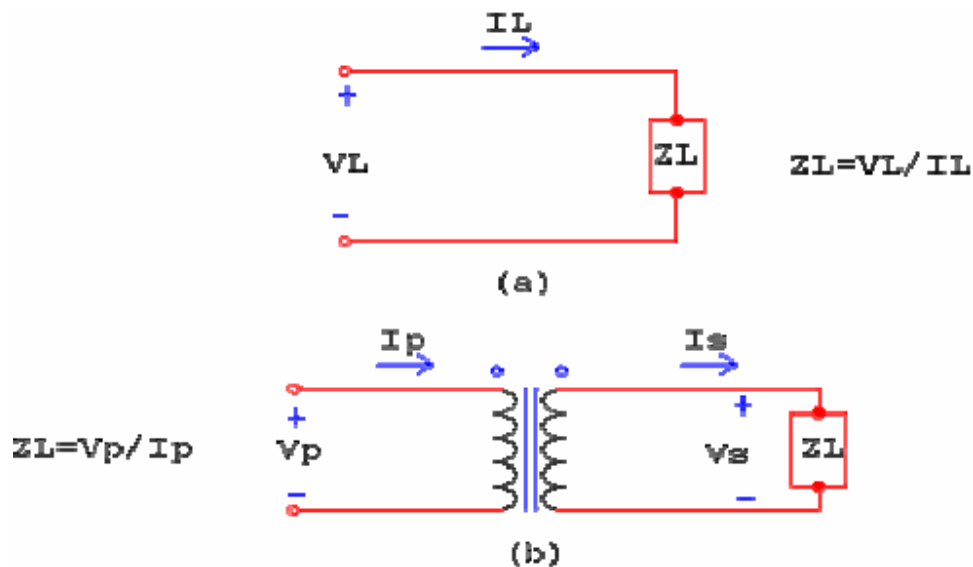
$$S_{ent} = V_p * I_p = V_s * I_s = S_{sal} \quad (5.20)$$

5.2.4 TRANSFORMACIÓN DE LA IMPEDANCIA MEDIANTE UN TRANSFORMADOR ^[9]

La impedancia de un artefacto o un elemento se define como la relación fasorial entre el voltaje y la corriente que lo atraviesan:

$$Z_L = \frac{V_L}{I_L} \quad (5.21)$$

Una de las propiedades interesantes de un transformador es que puesto que cambia los niveles de voltaje o corriente, también cambia la relación entre el voltaje y corriente y por consiguiente, la impedancia aparente de un elemento. Para entender mejor esta idea véase la figura 5.3



a) Definición de impedancia. b) Escalamiento de la impedancia a través de un transformador
Figura 5.3.

Si la corriente secundaria se llama Is y el voltaje secundario Vs, entonces la impedancia de la carga total se expresa por la ecuación 5.22

$$Z_L = \frac{V_s}{I_s} \quad (5.22)$$

La impedancia aparente del circuito secundario primario del transformador es

$$Z_L^I = \frac{V_P}{Z_P} \quad (5.23)$$

Como el voltaje primario se puede expresar

$$V_P = a * V_S \quad (5.24)$$

Y la corriente primaria

$$I_P = \frac{I_S}{a} \quad (5.25)$$

La impedancia del primario es

$$Z_L^I = \frac{V_P}{Z_P} = \frac{(a * V_S)}{\left(\frac{I_S}{a}\right)} = a^2 * \left(\frac{V_S}{I_S}\right) \quad (5.26)$$

$$Z_L^I = a^2 * Z_L \quad (5.27) \quad (\text{Impedancia aparente del primario})$$

Con un transformador es posible acoplar la magnitud de la impedancia de la carga con la magnitud de la impedancia de la fuente escogiendo sencillamente la relación apropiada de espiras.

5.2.5 TRANSFORMADOR MONOFASICO ^[9]

5.2.5.1 TRANSFORMADOR REAL

Los transformadores ideales descritos anteriormente, nunca se podrán construir en realidad.

Lo que puede construirse son transformadores reales; dos o más bobinas de alambre, físicamente envueltas alrededor de un núcleo ferromagnético.

Las características de un transformador real se aproximan mucho a las de un transformador ideal, pero sólo hasta un cierto grado.



Figura 5.4

El funcionamiento de un transformador real, consiste en dos bobinas de alambre enrolladas alrededor de un núcleo del transformador. La bobina primaria del transformador está conectada a una fuente de fuerza de c.a. y la bobina secundaria está en circuito abierto.

La base del funcionamiento del transformador se puede derivar de la ley de Faraday

5.2.6 FUNCIONAMIENTO DEL TRANSFORMADOR CON CARGA. ^[9]

Veamos que pasa cuando entre los bornes del secundario se conecta una carga, constituida por una resistencia, o más generalmente, por una impedancia Z , que hará circular corriente por ella y por el secundario del transformador, ya que a un circuito cerrado se estará aplicando una f.e.m. E_2 .

La corriente que circulará por tal circuito la llamamos I_2 , según indica la figura 5.5

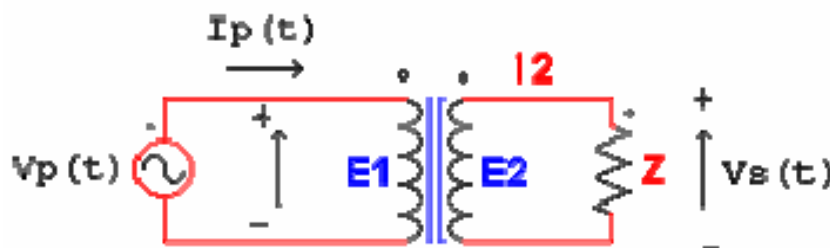


Figura 5.5

Al circular por el secundario una corriente, se tendrá una cantidad de amper-vueltas, y por ende, una cierta fuerza magnetomotriz.

5.2.6 FUNCIONAMIENTO EN PARALELO.

Dos transformadores monofásicos funcionarán en paralelo si están con la misma polaridad.

Dos transformadores trifásicos funcionarán en paralelo si tienen la misma disposición de devanados (por ejemplo, estrella-triángulo), están conectados con la misma

polaridad y tienen la misma secuencia de rotación de fases. Si dos transformadores (o dos bancos de transformadores) tienen la misma tensión nominal, las mismas relaciones de espiras, las mismas impedancias (en porcentaje) y las mismas relaciones entre reactancia y resistencia, se repartirán la corriente de carga proporcionalmente a sus potencias nominales, sin diferencia de fase entre las corrientes de los dos transformadores.

Si cualquiera de las condiciones anteriores no se cumple, la corriente de carga puede no repartirse entre los dos transformadores en proporción a sus potencias nominales y puede haber una diferencia de fase entre las corrientes en los dos transformadores.

5.2.7 TRANSFORMADOR TRIFÁSICO.^[9]

5.2.7.1 CIRCUITOS EQUIVALENTES.

Casi todos los sistemas importantes de generación y distribución de potencia del mundo son, hoy en día, sistemas de c.a. trifásicos (figura 5.5). Puesto que los sistemas trifásicos desempeñan un papel tan importante en la vida moderna, es necesario entender la forma como los transformadores se utilizan en ella.



Figura 5.5

Los transformadores para circuitos trifásicos pueden construirse de dos maneras. Estas son:

- a. Tomando tres transformadores monofásicos y conectándolos en un grupo trifásico.
- b. Haciendo un transformador trifásico que consiste en tres juegos de devanados enrollados sobre un núcleo común.

En el análisis de sistemas de potencia es frecuentemente necesario combinar las impedancias de los transformadores con las impedancias de las líneas de transmisión a las que están conectados. Luego, resulta a menudo conveniente representar un grupo de

devanados conectados en triángulo por un circuito equivalente conectado en estrella, ya que en la conexión en estrella las impedancias equivalentes que representan a los transformadores están en serie con los tres terminales de línea y por lo tanto pueden sumarse directamente a las impedancias de fase de los circuitos de transmisión.

5.2.8 CONEXIONES TRIFASICAS. ^[9]

5.2.8.1 CONEXIONES DE TRANSFORMADOR TRIFÁSICO

Un transformador trifásico consta de tres transformadores monofásicos, bien separados o combinados sobre un núcleo. Los primarios y secundarios de cualquier transformador trifásico pueden conectarse independientemente en estrella(Y) o en su caso en delta(Δ). Esto da lugar a cuatro conexiones posibles para un transformador trifásico.

- a) Conexión estrella(Y)- estrella(Y)
- b) Conexión estrella(Y)- delta(Δ)
- c) Conexión delta(Δ)- estrella(Y)
- d) Conexión delta(Δ)- delta(Δ)

5.3 UTILIZACION DE LA ENERGIA ELECTRICA ^[8]

5.3.1 INTRODUCCION

5.3.2 FUERZA MOTRIZ

Los circuitos para fuerza motriz están destinados a la alimentación eléctrica para el accionamiento de motores trifásicos de potencias importantes. En los edificios, son los motores destinados a la alimentación de motores para ascensores, montacargas, equipos centrales para aire acondicionado, equipos de bombeo para agua potable y aguas servidas, grandes ventiladores centrífugos para ventilación forzada, etc.

Cada circuito para fuerza motriz debe tener un sistema de protección propio.

La alimentación eléctrica de los motores trifásicos se realiza a través de la red eléctrica de 3 x 380, sistema estrella con neutro de la red conectado a tierra en el transformador de distribución. En general a partir de 1 HP se prefiere el motor trifásico por ser mas económico, ser de menor precio y requerir menor mantenimiento que los monofásicos. Va de suyo que la alimentación monofásica en 220 V para potencias superiores a 1 HP es desaconsejable por la mayor cantidad de sección del conductor de cobre, conforme surge de la ecuación de la potencia eléctrica:

$$P = U * I \quad (5.28)$$

Donde:

Puede observarse que para una mayor potencia manteniendo constante la tensión de alimentación, la intensidad crece.

5.3.3 MOTORES ^[8]

Los motores son máquinas que entregan energía mecánica, los más utilizados son el motor eléctrico, motor diesel y el motor a gasolina.

El motor eléctrico es una máquina motriz que entrega energía de manera simple y eficiente, su principal ventaja reside en el reducido peso y tamaño, no contamina el ambiente, produce menos ruido y son empleados en grandes instalaciones de bombeo de SEMAPA por ejemplo.

Exigen una operación más cuidadosa, pero presentan la ventaja de mejor eficiencia, no soportan bien las caídas de tensión, por lo que su funcionamiento es por medio de auto transformador.

Entre los motores eléctricos, se tienen los siguientes tipos: los síncronos, los asíncronos y los de corriente directa.

Los motores asíncronos son los más utilizados y se dividen en:

- Motor con rotor de jaula de ardilla
- Motor con rotor de anillo deslizante.

5.3.3.1 MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA

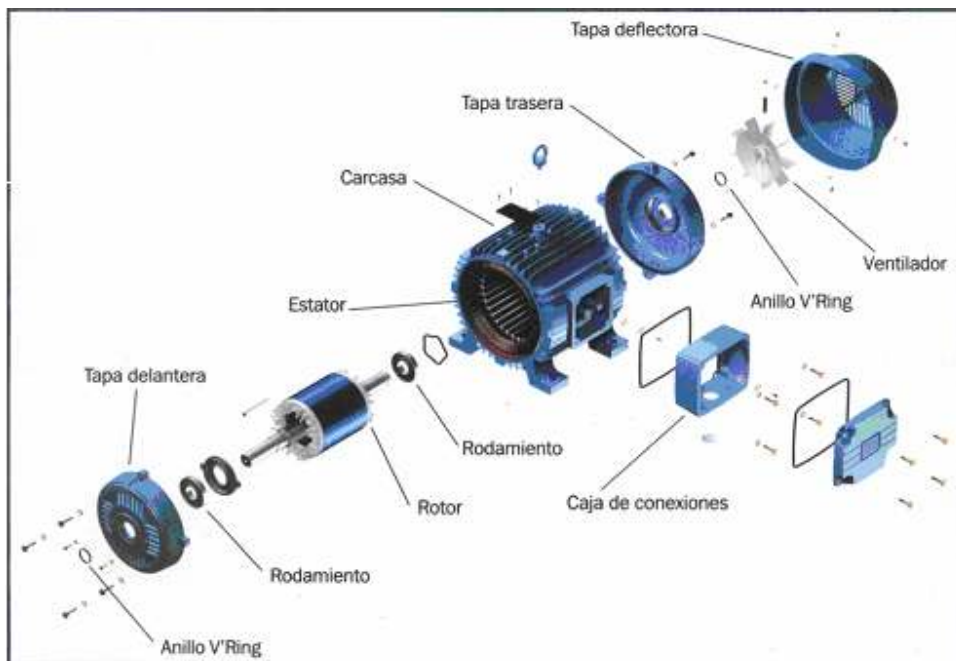
Debido a que este tipo de motores no llega a trabajar nunca con velocidad síncrona, también se conocen como **MOTORES ASÍNCRONOS**. Por el número de fases se clasifican en general como:

- Trifásicos.
- Bifásicos.
- Monofásico

Por el tipo de rotor pueden ser:

- De rotor devanado
- De rotor jaula de ardilla

Un motor de inducción esta constituido por muchas partes, tanto mecánicas como eléctricas, para ello mostramos en la figura 5.6 la composición básica de un motor.



Componentes principales de un motor eléctrico

Fuente: Manual de Bombas y Válvulas KSB

Figura 5.6

Estator.

El estator de los motores de **inducción** esta formado por paquetes de láminas de acero al silicio troquelado.

El estator representa una de las partes del circuito magnético del motor. El contenido del silicio depende de la densidad de flujo, esta constituido por paquetes de lámina troquelada en forma de ranuras, con objeto de que el bobinado del estator pueda alojarse en dichas ranuras. Desde luego, la forma de las ranuras varía de acuerdo con el tamaño o tipo de motor.

En las ranuras del estator se alojan las bobinas del estator, que pueden considerarse, en forma análoga al transformador, circuito primario.

Rotor.

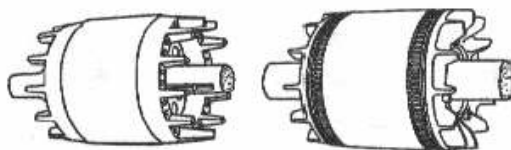
El rotor de los motores de inducción pueden ser de dos tipos:

a) Rotor jaula de ardilla.

Recibe este nombre debido a que precisamente tiene la forma de una jaula de ardilla tal como se muestra en la figura 5.7.

Aquí, el bobinado está construido por barras que se vacían sobre el rotor destinado para este fin; por lo general, las barras son de aluminio y al fundirse el rotor, debido a la

forma que se le da, quedan unidos entre si en cortocircuito en la forma de una jaula de ardilla.



Rotor jaula de ardilla

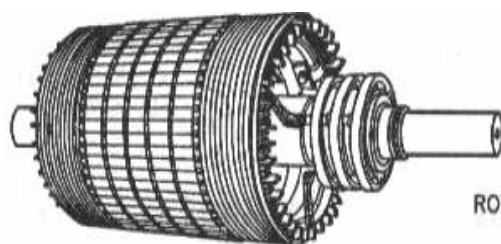


a) Estator de ranuras abiertas



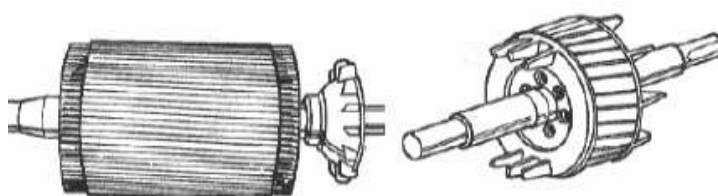
b) Estator de ranuras semi cerradas

Figura 5.7

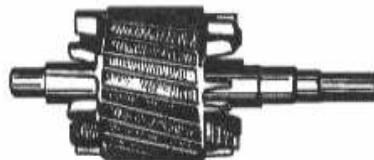


ROTOR DEVANADO

Rotor Devanado



Rotor jaula de ardilla

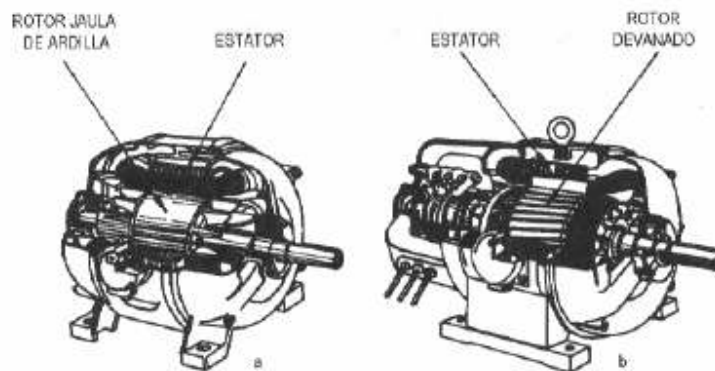


a) Rotor jaula de ardilla con barras de aluminio en el devanado



b) Rotor devanado con conductores de cobre en el devanado

Figura 5.8



PERSPECTIVA DE MOTORES DE INDUCCIÓN

a) Jaula de ardilla ; b) Rotor devanado

Figura 5.9

b) Rotor devanado.

Se llama así porque su bobina está devanado en las ranuras. Está formado por paquetes de láminas troqueladas, montadas sobre el eje. Las bobinas se devanan sobre las ranuras y su arreglo depende del número de polos (el mismo que el estator) y de fases.

Carcaza o soporte

La carcaza recibe también el nombre de soporte por ser el elemento que contiene el estator y los elementos auxiliares del motor.

Auxiliares.

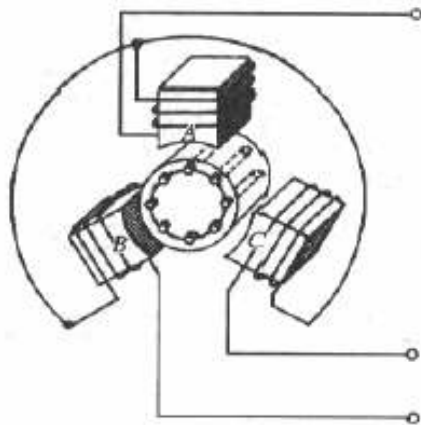
Los auxiliares del motor de inducción son elementos necesarios para el funcionamiento de éste y dependen del tipo de motor.

Desde el punto de vista de conversión de energía, el motor de inducción se puede definir como sigue: Elemento que convierte energía eléctrica en energía mecánica por el principio de inducción electromagnética.

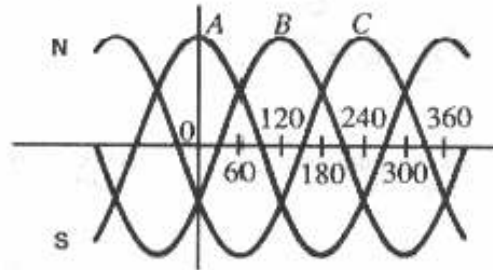
5.3.3.1.1 PRINCIPIO DE OPERACIÓN DEL MOTOR DE INDUCCIÓN.

Al aplicar una tensión en las terminales del estator se produce una fuerza magnetomotriz uniforme y giratorio. Si suponemos, por ejemplo, que el rotor es del tipo jaula de ardilla, en cada barra se induce una fuerza magnetomotriz de sentido opuesto, está hace circular una corriente y se produce un par que hace girar el rotor.

Si se estudia el motor de inducción en forma semejante al transformador, se puede considerar el devanado del estator como el circuito primario y el del rotor como secundario.



a) Esquema de principio



b) Ondas de flujo trifásico

Figura 5.10

El motor de inducción fue inventado por **Nikola Tesla en 1888** y su principio no requiere conexiones a la parte rotatoria, la transferencia de energía de la parte estacionaria a la parte rotatoria es por medio de inducción electromagnética.

Un campo magnético rotatorio producido por el devanado estacionario (llamado estator) induce una fuerza electromotriz y una corriente en el rotor.

Aún cuando el flujo generado por cada bobina es únicamente un flujo alterno, las contribuciones de los flujos combinados de las tres bobinas superpuestas, llevan las corrientes en los ángulos de fase apropiados y produce un flujo rotatorio de dos polos.

Es el flujo rotatorio no el flujo alterno el que produce la acción de inducción en el motor. Al flujo rotatorio (llamado también campo rotatorio), producido por las corrientes trifásicas, se pueden eslabonar con el campo rotatorio producido por un imán superpuesto al rotor.

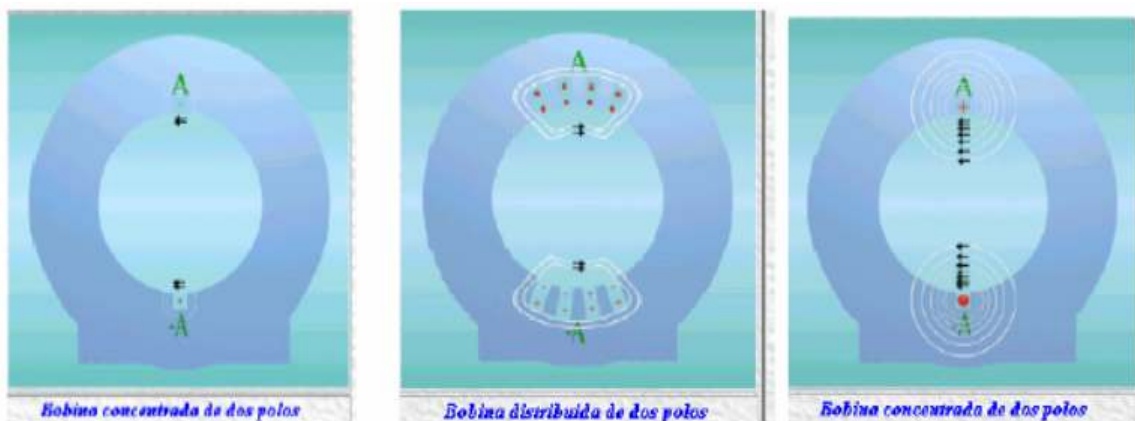


Figura 5.11.a

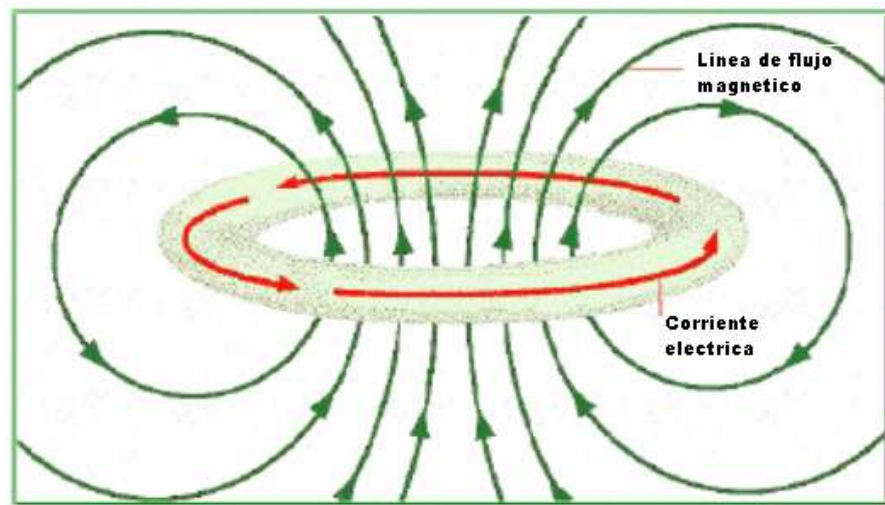


Figura 5.11.b

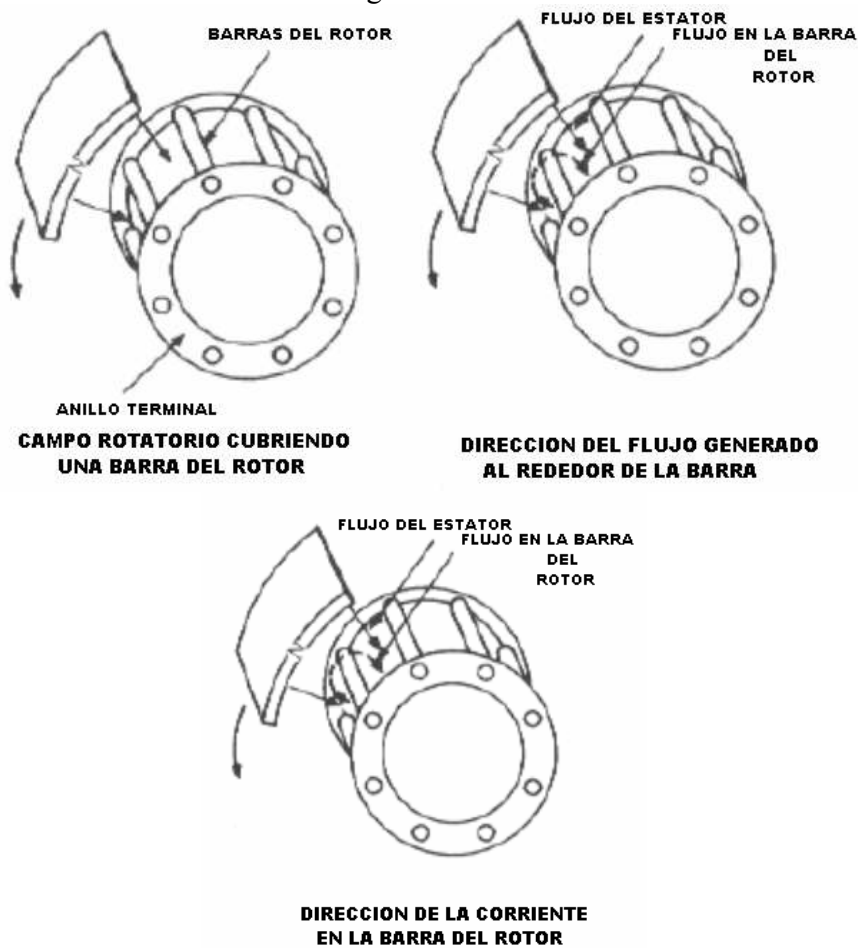


Figura 5.12

De acuerdo con la ley de **Lenz**, el voltaje, la corriente y el flujo generado por el movimiento relativo entre un conductor y un campo magnético estará en una dirección que

se opone al movimiento relativo como se muestra en la figura 5.11(b). De aquí que para satisfacer la ley de Lenz, los conductores deben desarrollar una fuerza mecánica. La dirección de la corriente en la barra del rotor que determina el flujo en sentido opuesto está determinada por la regla de la mano derecha.

5.3.3.1.2 DESLIZAMIENTO.

Se ha mencionado que el rotor de los motores de inducción gira a una velocidad menor que la síncrona. En este caso, la velocidad síncrona es la velocidad de las ondas giratorias de la fuerza magnetomotriz y se calcula de la siguiente forma.

$$N_s = \frac{60 * f}{PP} \quad (5.29)$$

$$f = \text{Frecuencia.en.c.p.s.}$$

$$PP = \text{Pares.de.polos}$$

El deslizamiento se define como la diferencia entre la velocidad síncrona N_s y la velocidad del rotor N_r . Se expresa generalmente por medio de la siguiente ecuación.

$$\%S = \frac{N_s - N_r}{N_s} * 100 \quad (5.30)$$

Donde:

N_s = Velocidad sincronía de las ondas de fuerza magnetomotriz

N_r = Velocidad del rotor, que depende principalmente de la carga

El deslizamiento máximo permisible es del **15%**

5.3.3.1.3 VELOCIDAD DEL ROTOR. ^[9]

De la expresión para el deslizamiento se puede conocer la velocidad síncrona N_s , a partir de la frecuencia y del número de polos; entonces, la velocidad del rotor se puede determinar como sigue:

$$\%S = \frac{N_s - N_r}{N_s} * 100$$

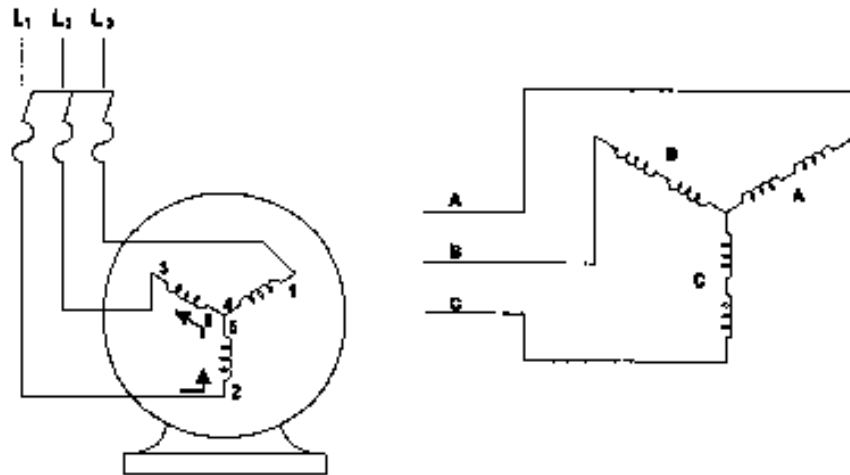
$$S = \frac{N_s - N_r}{N_s}$$

$$N_s * S = N_s - N_r$$

$$N_r = N_s (1 - S) \quad (5.31)$$

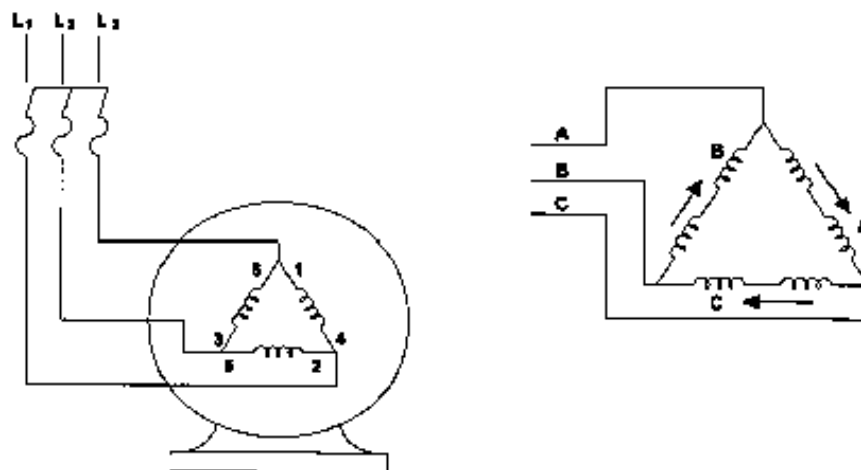
5.3.3.1.4 CONEXIONES DEL DEVANADO DEL ESTATOR

El devanado del estator trifásico puede estar conectado en delta o estrella.



Conexión Estrella

Figura 5.12



Conexión Delta

Figura 5.13

5.3.3.1.5 CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES DE LOS MOTORES TIPO JAULA DE ARDILLA.

La asociación nacional de fabricantes de equipos eléctricos (NEMA), con el fin de tener uniformidad en la aplicación, ha clasificado este tipo de motores de acuerdo con el par

desarrollado a rotor bloqueado, el par máximo desarrollado, la corriente de arranque o algunos otros valores y ha designado letras a este tipo de motores.

La designación Nema más comunes son:

- **Clase A**
- **Clase B**
- **Clase C**

5.3.3.1.5.1 DESIGNACIÓN NEMA CLASE “A”

Este motor tiene las siguientes características: par de arranque normal y bajo corriente de arranque. Este motor es el mas usado de los del tipo jaula de ardilla, ya que tiene un par de arranque y un par de rotor bloqueado, adecuado para el arranque de una gran variedad de maquinas industriales; además toma una corriente aceptable a pleno voltaje.

5.3.3.1.5.1.1 APLICACIONES GENERALES DE LOS MOTORES CLASE “A”

- En maquinas – herramientas, como son tornos, esmeriles, fresas, etc.
- Para accionar ventiladores, en sopladores para extracción de humos en chimeneas de tiro forzado, extracción de gases, etc.
- Para accionar bombas centrífugas (Para bombear agua y líquidos mas densos que el agua hasta 10 H.P son capacidades adecuadas).
- Para accionar prensas trituradores, molinos de baja carga, compresores de arranque sin carga, etc

5.3.3.1.5.2 DESIGNACIÓN NEMA CLASE “B”

Este motor tiene las siguientes características:

Alto par de arranque y bajo corriente de arranque, es decir, que estos motores tienen un alto par a rotor bloqueado, bajo corriente de arranque y relativamente un bajo deslizamiento a plena carga.

5.3.3.1.5.2.1 APLICACIONES GENERALES DE LOS MOTORES CLASE “B”.

- En compresoras de movimiento alternativo (bajo condiciones de carga).
- Elevadores, transportes de material, trituradores, pulverizadores, alimentadores al hogar, de hornos, etc.

5.3.3.1.5.3 DESIGNACIÓN NEMA CLASE “C”

Las características de este tipo de motor son: alto par de arranque, bajo corriente de arranque y alto deslizamiento. Usan rotor con alta resistencia y se emplean comúnmente con carga que tienen muchas pérdidas intermitentes de altas y bajas. Las maquinas impulsadoras para estos motores generalmente están provistas de un volante que tiene una

inercia considerable; en vacío, éstos operan con un deslizamiento muy pequeño que crece cuando se aplica la carga máxima considerablemente, permitiendo al sistema absorber la energía del volante. Cuando el motor opera con carga no intermitentes, entonces no es necesario el uso del volante.

5.3.3.1.5.3.1 APLICACIONES GENERALES DE LOS MOTORES CLASE “C”.

- Se usan generalmente en punzadores, Bombas de movimiento alternativo, desmenuzadoras, etc.

5.3.3.1.6 CARACTERÍSTICAS DE COMPORTAMIENTO DE MOTORES.

En este párrafo, se describen alguna de las principales características de comportamiento de los motores eléctricos, incluyendo: Par, velocidad y potencia.

5.3.3.1.6.1 PAR MOTOR

La fuerza rotacional producida por un motor es llamado PAR, se mide en lb. – pie o Kg. – m, representa la cantidad de fuerza que se puede aplicar a una palanca de un pie de longitud, levantando una libra de peso. El par puede ser estático (sin movimiento) o activo (con movimiento), una fuerza activa produce potencia mecánica; los requerimientos del par varían considerablemente de una aplicación de un motor a otra y son frecuentemente un concepto crítico del diseño, muchas aplicaciones tales como en las bombas centrífugas y ventiladores, tienen par variable requiriendo un par relativamente pequeño cuando aceleran de un paro o cuando operan a bajas velocidades.

5.3.3.1.6.2 VELOCIDAD DEL MOTOR.

Hay tres tipos de velocidades del motor a considerar.

1) Velocidad síncrona.

La velocidad sincronía de rotación del campo magnético. La velocidad síncrona de un motor de inducción depende de la frecuencia de alimentación (60Hz) y del número de polos.

$$N_s = \frac{60 * f}{PP} \quad (5.32)$$

f = Frecuencia en c.p.s.

PP = Pares de polos

2) Velocidad de operación.

Los motores de inducción solo operan a su velocidad síncrona cuando están sin carga. En la medida que la carga se incrementa, el rotor se retraza ligeramente con respecto al campo magnético de modo que la velocidad de operación es la velocidad real de operación de un motor bajo cualquier condición específica.

3) Velocidad a plena carga.

La mayoría de los motores tienen las revoluciones por minuto (RPM) a plena carga indicada en su placa característica, esta es la velocidad a que se espera opere el motor cuando acciona su carga nominal y es típicamente 1 ó 4% menor que la velocidad síncrona.

5.3.3.1.6.3 CARGA Y POTENCIA.

La carga se define como la salida mecánica de un motor, esta carga se mide en caballos de fuerza o en kilowatts. La potencia nominal en HP indica la máxima potencia mecánica de salida que normalmente debe producir.

La potencia en HP es una función del par y de la velocidad de rotación, a cualquier velocidad dada, el par es proporcional a la potencia en HP. En la medida que la velocidad se incrementa, se requiere menos par para producir una carga dada. La siguiente ecuación describe la relación entre potencia en HP, par y velocidad de operación.

$$HP = \frac{Par(Lb - pie) * Velocidad(RPM)}{5252} \quad (5.33)$$

$$Par = \frac{HP * 5252}{Velocidad} \quad (5.34)$$

$$1Par = 746.W$$

5.3.3.1.7 VENTAJAS DE LOS MOTORES TIPO JAULA DE ARDILLA.

- Costo inicial bajo.
- Su rotor es de construcción simple.
- Es compacta y su instalación ocupa poco espacio.
- No produce chispas que pudieran provocar incendios.
- Lleva poco equipo de control, ya que no necesita control en el rotor.

5.3.3.1.8 DESVENTAJAS.

- Su corriente de arranque es relativamente alto
- Su par de arranque es fijo en un motor dado.

5.3.3.1.9 VENTAJAS DE LOS MOTORES DE ROTOR DEVANADO.

Los motores de rotor devanado tienen dos ventajas sobre los del tipo jaula de ardilla.
Primera: En ellos se puede desarrollar un alto par de arranque con corriente de arranque bajo y, además, pueden operar a plena carga con pequeños deslizamientos y con eficiencia.
Segunda: se puede cambiar el deslizamiento, cambiando la resistencia del rotor.

5.3.3.1.10 MOTORES MONOFASICOS DE CORRIENTE ALTERNA.

Cuando están en operación, este tipo de motores desarrollan un campo magnético rotatorio, pero antes de que el rotor inicie la rotación, el estator produce sólo un campo estacionario pulsante.

Para producir un campo rotatorio y, por lo tanto, un par de arranque, se debe tener un devanado auxiliar desfasado 90° con respecto al devanado principal. Una vez que el motor ha arrancado, el devanado auxiliar se remueve del circuito. Estos motores han sido perfeccionados a través de los años, a partir del tipo original de repulsión, en varios tipos mejorados que en la actualidad se conoce como.

- Motor de fase partida.
- Motores de arranque con capacitor.
- Motores con capacitor permanente.
- Motor de inducción-repulsión.
- Motores de polos sombreados.
- Motores universales.

5.3.3.1.10.1 MOTORES MONOFÁSICOS DE FASE PARTIDA.

Fueron de los primeros motores monofásicos usados en la industria, y aún permanece su aplicación en forma popular. Estos motores se usan en: máquinas herramientas, ventiladores, bombas, secadoras y una gran variedad de aplicaciones; la mayoría de ellos se fabrican en el rango de $1/30(29.9 \text{ W})$ a $1/2\text{HP}(373 \text{ W})$.

En general un motor de fase partida consiste de una carcasa, un estator formado por laminas, en cuyas ranuras se alojan las bobinas de los devanados principales y auxiliares, un rotor o parte giratoria formado por conductores basados de barra de cobre o aluminio embebidos en el rotor y conectados entre si por medio de un anillo de cobre en ambos extremos, formando lo que se conoce como una jaula de ardilla, se les llama así porque la configuración de los anillos y las barras conductoras se asemejan realmente a una jaula de ardilla.

5.3.3.1.10.2 MOTOR DE ARRANQUE CON CAPACITOR.

Estos motores son monofásicos de corriente alterna, cuyo rango va desde fracciones de 1HP hasta 15 HP. Se usan ampliamente en muchas aplicaciones de tipo monofásico, tales como accionamiento de máquinas herramientas (taladros, pulidoras, etc.), compresoras de aire, refrigeradores, etc. Este tipo de motores es similar a su construcción al de fase partida, excepto que se conecta un capacitor en serie con el devanado de arranque.

5.3.3.1.10.3 MOTORES DE FASE PARTIDA CON CAPACITOR PERMANENTE.

Los motores de fase partida con capacitor permanente, usan un capacitor conectado en serie con los devanados de arranque y de trabajo. El capacitor crea un retraso en el devanado de arranque, el cual es necesario para arrancar el motor y para accionar la carga.

En caso necesario, los devanados de un motor con capacitor permanente se pueden identificar verificando los valores de la resistencia de los devanados de arranque y de trabajo. El devanado de arranque y el devanado de trabajo con su capacitor, permanecen en circuito mientras el motor está en operación. La principal diferencia entre un motor con capacitor permanente y un motor de arranque con capacitor, es que no se requiere switch centrífugo para los motores con capacitor permanente. Estos motores no pueden arrancar y accionar cargas que requieren un alto par de arranque.

5.3.3.1.10.4 MOTOR DE INDUCCIÓN –REPULSIÓN.

Un motor de inducción-repulsión arranca con un principio de operación y cuando casi alcanza su velocidad, cambia a otro tipo de operación. Se desarrollan fuerzas torsionales muy altas durante el arranque, por la repulsión entre el polo magnético en la armadura y el mismo tipo de polo en el campo adyacente del devanado del estator. Los motores de inducción-repulsión se aplican donde se requieren arrancar cargas pesadas sin demandar demasiada corriente. Se fabrican de 1/2HP hasta 20HP y se aplican con cargas típicas como: compresoras de aire grande, equipo de refrigeración, etc.

5.3.3.1.10.5 MOTOR DE POLOS SOMBREADOS.

Este tipo de motores es usado en casos específicos, como es el accionamiento de ventiladores o sopladores, que tienen requerimientos de potencias muy bajas. Su rango de potencia está comprendido en valores desde 0.0007 HP hasta 1/4 HP y la mayoría se fabrican en el rango de 1/100 a 1/20 de HP. La principal ventaja de estos motores en su simplicidad de construcción, su confiabilidad y su robustez, además tienen un bajo costo.

Las principales desventajas de los motores de polos sombreados son:

- Tienen un par de arranque muy bajos.
- Su eficiencia es muy bajo. Por ejemplo, un motor de 1/20HP tiene una eficiencia del orden del 35%. Para mas pequeños, puede llegar a ser hasta del 5%.
- Su factor de potencia es muy pobre.

A pesar de estas desventajas, cuando su aplicación es apropiada, las ventajas pueden ser mayores que las desventajas.

5.3.3.1.10.6 MOTORES UNIVERSALES.

Los motores universales son pequeños motores con devanado en serie, que opera con voltaje de corriente directa (C.D.) o de alterna (C.A.), y se deben comportar de la misma manera. Se diseñan y se construyen en tamaños de 3/4 de HP o menores.

Los motores universales tienen prácticamente la misma construcción que los de (C.D.), ya que tienen un devanado de campo y una armadura con escobillas y conmutador.

El conmutador mantiene a la armadura girando a través del campo magnético del devanado de campo. También cambia el flujo de corriente con relación al devanado de campo y la armadura, es decir, cumple con una función de empujar y jalar; esta acción esta creada por los polos norte y sur de los devanados de campo y armadura.

5.3.3.2 MAQUINAS DE CORRIENTE CONTINUA ^[9]

El funcionamiento de un motor eléctrico de corriente continua puede ser explicado de la siguiente manera:

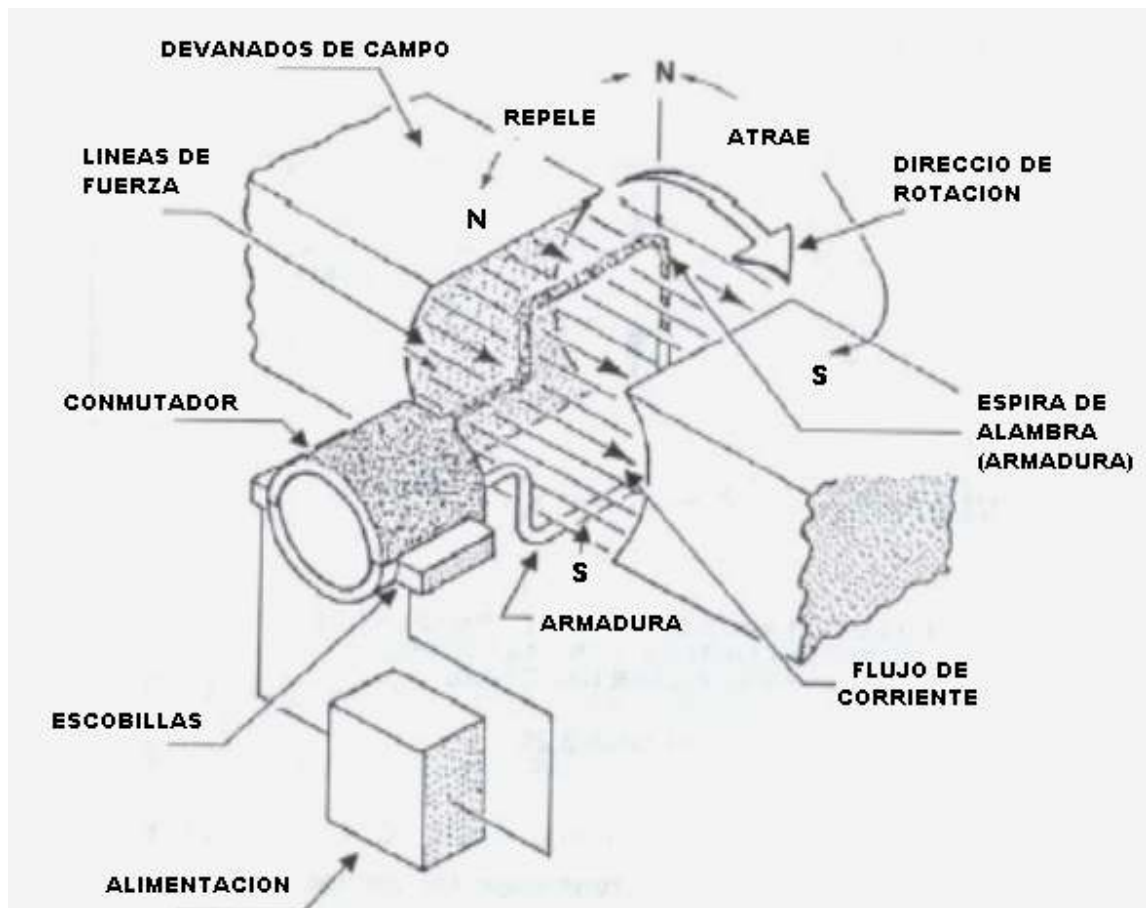


Figura 5.14

Se aplica una tensión a las escobillas, con la que circulará una corriente por la bobina. Si existe un campo excitador actuara una fuerza sobre la bobina recorrida por la corriente. La fuerza esta aplicada a una distancia r del eje de rotación, con lo que también aparecerá un par. Según la regla de la mano izquierda la bobina girara en el sentido indicado en la figura anterior. A continuación el colector invertirá el sentido de la corriente que circula por la espira, por lo que las corrientes que circulan situados por debajo los polos siempre tendrán los mismos sentidos que antes con lo que el par actuara siempre en el mismo sentido.

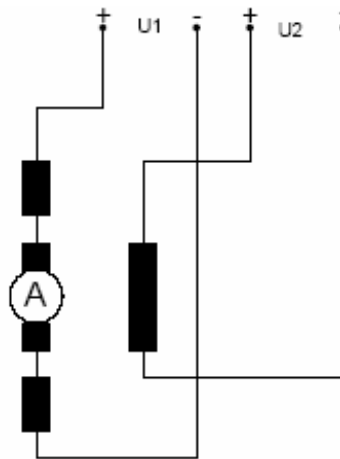
5.3.3.2.1 CONEXIONES – COMPORTAMIENTO EN RÉGIMEN.

El comportamiento de régimen de los motores de continua depende en gran manera del modo que se conecten inductor e inducido. Entre los tipos tenemos:

- Motor con excitación independiente
- Motor con excitación en derivación
- Motor con excitación serie
- Motor con excitación compound

5.3.3.2.2 MOTOR CON EXCITACIÓN INDEPENDIENTE.

El devanado de excitación y el de inducido de un motor de continua con excitación independiente, se alimentan mediante dos fuentes de tensión diferentes, cuyas tensiones suelen ser también de valores distintos.



Motor de corriente continua de excitación independiente

Figura 5.15

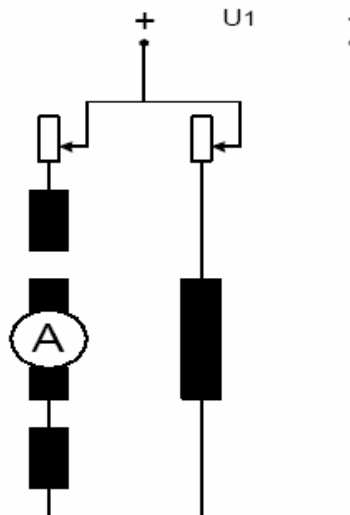
Los motores con excitación independiente presentan un comportamiento de régimen, donde su frecuencia de giro es prácticamente constante e independiente de las variaciones de carga. Su velocidad se puede gobernar mediante la tensión del devanado de inducido o también mediante la intensidad de corriente de excitación.

Estos motores se utilizan en aquellos casos en que haya de gobernarse la frecuencia de giro dentro los márgenes amplios y se precisen potencias, por ejemplo: Excavadoras, maquinas / herramientas, trenes laminadoras, etc.

5.3.3.2.3 MOTOR CON EXCITACIÓN EN DERIVACIÓN.

El motor con excitación en derivación también llamado motor shunt, el devanado del inducido y el de excitación se encuentran conectados en paralelo.

Por lo tanto, el devanado del inductor, ósea, el de excitación esta sometido directamente a la tensión de red por lo que su campo es prácticamente independiente a la frecuencia de giro y de la carga. Este es muy parecido a la maquina de excitación independiente. El comportamiento de un motor con excitación en derivación por lo general se caracteriza por una ligera reducción de la frecuencia de giro cuando aumenta la carga.



Motor de corriente continua de Excitación Shunt

Figura 5.16

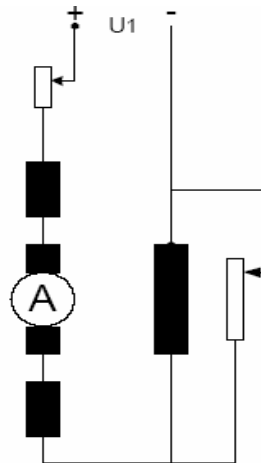
Su corriente de arranque suele ser intensa, pues las resistencias de los devanados de inducido auxiliar y de compensación son pequeñas. Por lo que el motor se coloca en marcha mediante un reóstato de arranque.

La velocidad del mismo puede variarse mediante la tensión aplicada al devanado del inducido o mediante la corriente de excitación mediante un reóstato de campo instalada en la parte superior. El motor shunt se utiliza en todos aquellos casos en que sea precisa una frecuencia de giro uniforme por ejemplo, para accionar maquinas / herramientas.

5.3.3.2.4 MOTOR CON EXCITACIÓN EN SERIE.

En el motor con excitación en serie o simplemente motor serie, todos los devanados están conectados en serie, por lo que la corriente que circula por todos ellos es la misma. En esta maquina la frecuencia de giro depende en gran manera de la carga. Cuando se reduce la carga aumenta fuertemente la frecuencia de giro, en vacío crece la velocidad excesivamente la maquina se embala.

Por lo que los motores serie no deberán funcionar si no están cargados. Estas tienen una corriente de arranque muy grande, por lo que deben colocarse en marcha a través de reóstatos de arranque para limitar la corriente.



Motor de corriente continua de excitación serie

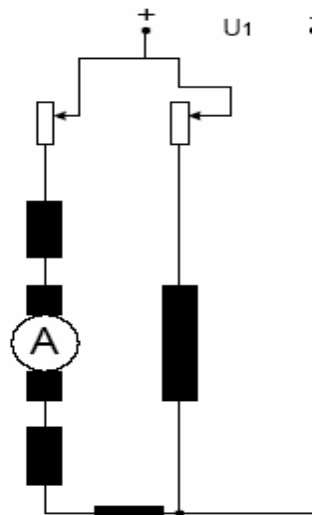
Figura 5.17

Un motor serie se caracteriza por presentar un gran par de arranque y por tener una frecuencia de giro n que depende mucho de la carga. El motor se emplea para accionar grandes cargas, por ejemplo, vehículos, ascensores, motores de arranque para coches, etc.

5.3.3.2.5 MOTOR COMPOUND.

El motor Compound o compuesto reúne todas las propiedades de los motores serie y shunt, pues posee un devanado en serie y otro en paralelo. Este motor tiene un par de arranque ligeramente inferior al de un motor serie.

Al cargarlo su frecuencia de giro se reduce algo mas que un motor shunt; en vacío no se embala. Por ser mas flexible su relación frecuencia de giro/par, encuentra su aplicación en el accionamiento de masas pesadas, por ejemplo, para prensar, estampar, cizallar, etc.



Motor de corriente continua con excitación compound

Figura 5.18

Motor compound: se designa así al motor de corriente continua cuya excitación es originada por dos bobinados inductores independientes; uno dispuesto en serie con el bobinado inducido y otro conectado en derivación con el circuito formado por los bobinados inducidos, inductor serie e inductor auxiliar.

5.4 MAQUINAS ELECTRICAS EN EL CAMPO DE LA INGENIERIA CIVIL

5.4.1 INTRODUCCIÓN

El número de horas de bombeo.

El número de horas a bombear se lo realiza con uno o mas operaciones o arranques al día, dependiendo de los factores económicos y operativos como:

- Consumo de agua
- Rendimiento de la fuente
- Desgaste prematuro de la bomba
- Disponibilidad de energía
- Costo de energía.

Seguimiento a las variables que influyen en una estación elevadora.

a). Fuentes: las fuentes de abastecimiento, son de naturaleza subterráneas, definidos por la forma de explotación de agua por medio de pozos profundos.

b). Tratamiento: la planta de tratamiento que potabiliza las aguas provenientes de los campos, cumple los procesos de floculación, sedimentación y filtración.

c). Almacenamiento: Depósito de almacenamiento de cierta capacidad

Pozo de succión

a) Dimensiones del pozo

Las dimensiones del pozo de succión según la Norma Boliviana NB-689, debe ser diseñada con una capacidad igual o superior al caudal de bombeo.

Para verificar la dimensión actual del pozo en funcionamiento, se utiliza la grafica y la metodología, elaboradas por el Hydraulic Institute¹ de los Estados Unidos, utilizando la figura 5.19

¹ Norma Boliviana NB-689

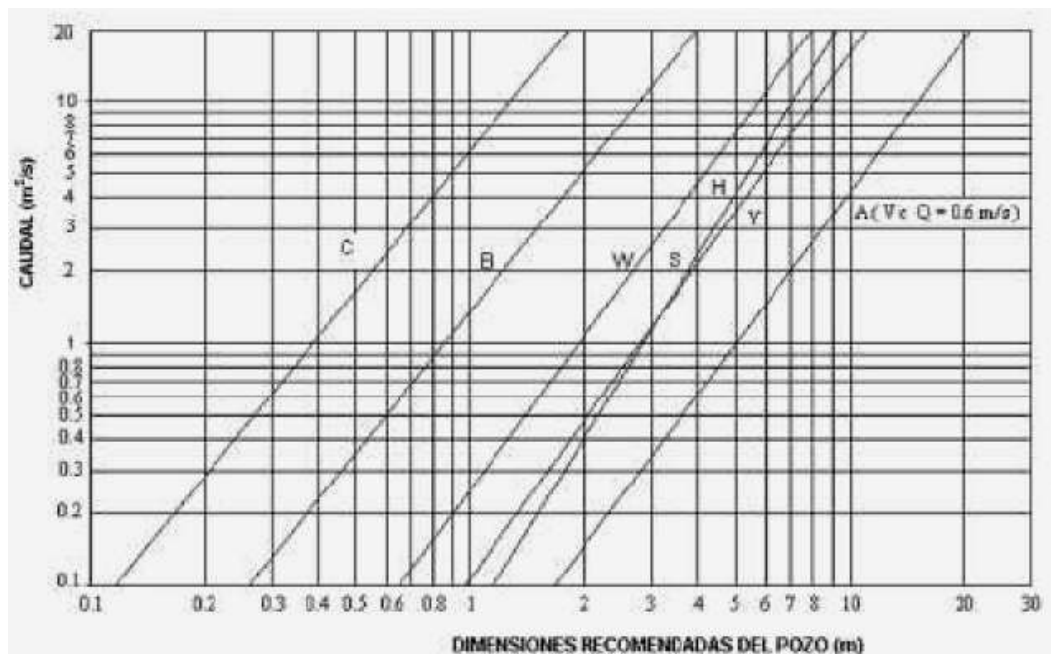


Figura 5.19 – Dimensiones del pozo en función al caudal

FUENTE: Norma Boliviana NB-689

b) Consideraciones generales

En cuanto a la forma del pozo, debe seguirse las siguientes disposiciones:

- En la entrada de agua al pozo no debe producir vértices o turbulencias
- No debe tener cambios geométricos pronunciados
- Evitar cambios bruscos en la dirección del flujo
- Evitar la distribución asimétrica del flujo en el pozo
- La entrada de agua al pozo debe estar por debajo del nivel de la tubería de succión.

Sumergencia.

La inmersión o sumergencia mínima (S_{min}) de la tubería debe ser mayor que 2.5 veces su diámetro, pero nunca inferior **0.5 m**.

Para calcular (S_{min}) en metros ha de ser la equivalente a la altura dinámica, más 0,1 m de incremento de seguridad para compensar una irregular distribución de la velocidad.

La *velocidad máxima* del flujo en la *tubería de aspiración*, y en la *tubería de aporte* al pozo de la bomba, no debe pasar los **3 m/s**. Se recomienda no obstante de 1 hasta 2 m/s.

$$S_{min} = 2.5 * D + 0.1 \quad \text{ó} \quad S_{min} \geq 2.5 * \left(\frac{V_s^2}{2 * g} \right) + 0.2$$

Donde:

S_{min} = Sumergencia mínima (m)

D = Diámetro de la tubería de succión (m)

V_s = Velocidad máxima del flujo en la tubería de succión (m/s).

Ejemplo:

$$\begin{aligned} D &= 0.4\text{m} \\ V_s &= 2.5 \text{ m/s} \\ S_{min} &= 2.5*(0.4)+0.1 = \mathbf{1.1 \text{ (m)}} > \mathbf{0.5 \text{ (m) OK}} \end{aligned}$$

$$S_{min} = 2.5 * \left(\frac{2.5^2}{2 * 9.8} \right) + 0.2 = \mathbf{0.99 \text{ (m)}} > \mathbf{0.5 \text{ (m) OK}}$$

Se elegirá el mayor de los anteriores y según la figura 5.20

($S_{min} \approx 0.65$)

se tiene:

$$S_{min} = 1.1 \text{ m}$$

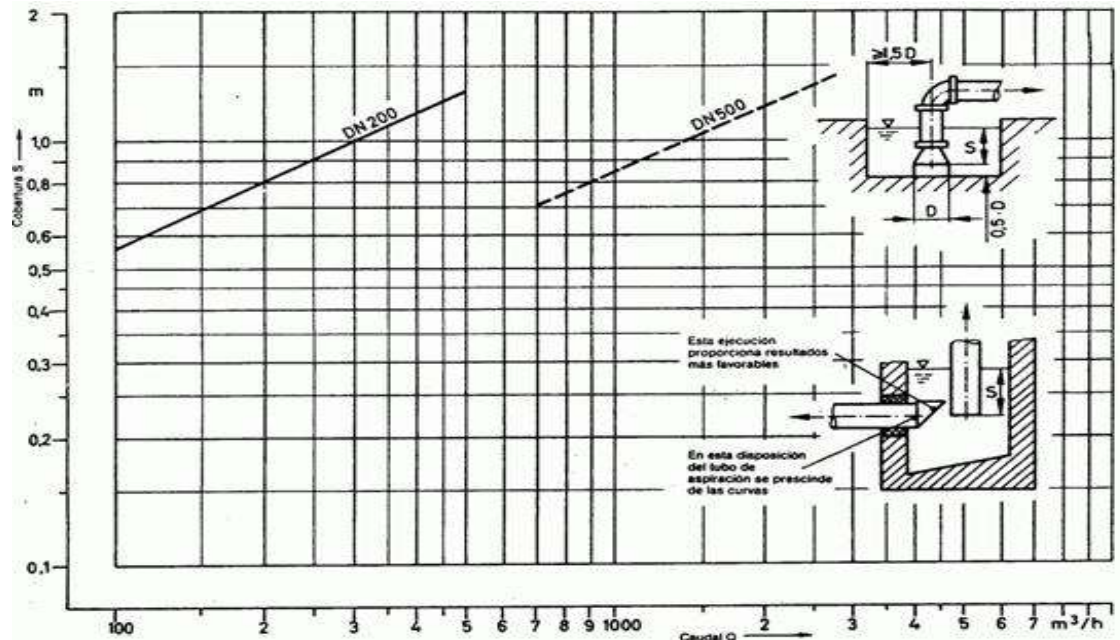


Figura 5.20 – Sumergencia S_{min} en función del diámetro del tubo DN y del caudal

La figura 5.20 muestra la dependencia del nivel (S_{min}) con respecto al diámetro DN y el caudal (Q_b). Los valores que de este ábaco se obtienen, tienen amplia garantía de seguridad contra la formación de vórtice.

Disposición de la tubería de aspiración

La tubería de aspiración ha de ser tan corta como sea posible y ligeramente ascendente hacia la bomba. Las tuberías de aspiración y de aporte deberán quedar suficientemente distanciadas en el depósito o pozo de bombas, para evitar la entrada de aire en la bomba a través de la primera. Así mismo, la tubería de aporte desembocará siempre por debajo del nivel del líquido en el depósito o pozo, véase figura 5.21.

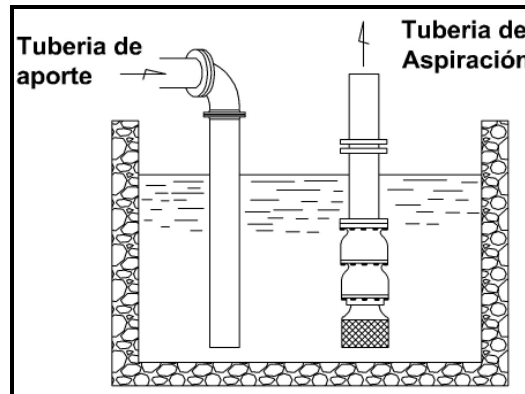


Figura 5.21 – Disposición de tuberías en el depósito, para evitar la entrada de aire en la bomba

Cuando la tubería de aspiración no está suficientemente inmersa en el pozo o cámara de bombeo de bombas, puede tener lugar la entrada de aire en la bomba debido a la rotación del medio con formación de torbellinos (vórtice). Comenzando con la formación de una cavidad en forma de embudo a nivel superficial, es cuando surge bruscamente un canal de aire que desciende desde la misma superficie hasta la embocadura de la tubería de aspiración.

Con una suficiente inmersión (véase fig. 5.22) o tomando las medidas necesarias, puede evitarse esta formación de vórtice, la cual se hace más considerable cuanto mayor sea el caudal bombeado.

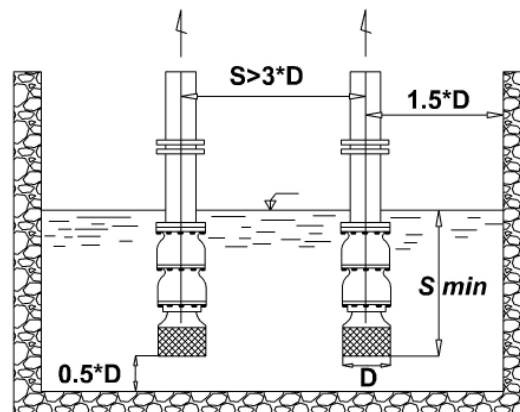


Figura 5.22 – Disposición de la tubería de aspiración en el pozo para evitar la formación de vórtice.

Volumen del almacenamiento del cárcamo

El volumen de almacenamiento requerido para el caudal de bombeo en el cárcamo, se determina con la expresión:

$$V_a = 3.6 \cdot Q_{m\acute{a}x_d} \cdot T \quad (5.35)$$

Donde:

V_a = Volumen de almacenamiento para bombeo (m^3)

$Q_{m\acute{a}x_d}$ = caudal máximo diario (lts/seg)

T = Tiempo mas largo de descanso de bomba en (horas).

3.6 = para Convertir l/s a m^3 .

5.4.2 BOMBAS DE AGUA. ^[7*]

Las bombas deben seleccionarse de tal forma que se obtenga un equipo con capacidad y altura dinámica requerida por el proyecto.

Además, deben considerarse los siguientes criterios en la selección del tipo de bombas.

- Características del fluido que va a ser bombeado
- Caudal y altura de bombeo
- Forma de operación ya sea en serie o paralelo
- Tiempo de energía disponible.
- Presiones de trabajo
- Temperatura
- Compatibilidad con equipos existentes.

5.4.2.1 Clasificación de las bombas

Existe una diversidad de clasificación de bombas, la más adecuada es la proporcionada por el instituto de Hidráulica de los EE.UU.².

La clasificación realizada dada por el “Hydraulic Institute” de EE.UU. (1984), toma en cuenta la forma cómo el fluido se desplaza dentro de los elementos de la bomba, así para aquellos en los que el fluido se desplaza a presión dentro de una carcasa cerrada, como resultados del movimiento suavizada de un pistón o embolo, se le denomina “*bombas de desplazamiento positivo*”, mientras que las bombas en las cuales el fluido es desplazado por el movimiento circular de uno o varios impulsores provistos de alabe, se les denomina “*Bombas Centrifugas*”.

Clasificación de las bombas por categorías, que son las siguientes.

- Bombas volumétricas o estáticas (*desplazamiento positivo*).
- Bombas de flujo o dinámicas (*centrifugas*).

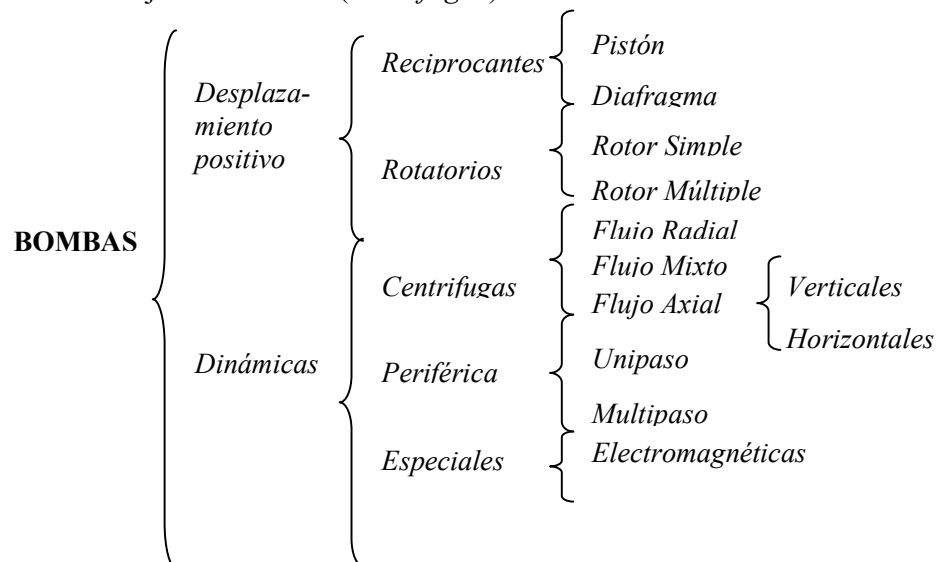


Figura 5.23 – Clasificación de las bombas

² Hydraulic Institute, IH (1992), The Netherlands.

Para el cálculo de selección de bomba, se utilizaran las bombas de flujo o dinámicas a este grupo pertenecen las *bombas centrífugas* con velocidad de descarga *radial*, descarga *axial* y las bombas intermedias con velocidad de descarga *mixto*.

Tipo	Caudal	Altura de Carga
Flujo Radial	Bajo	Alta
Flujo Axial	Alto	Baja
Flujo Mixto	Medio	Media

Cuadro 5.1 – Tipo de bombas de flujo o dinámicos
FUENTE: Estructuras Hidráulicas Mac Graw Hill

La empresa SEMAPA por ejemplo, ha visto conveniente el uso de *bombas centrífugas de flujo axial* de extensa aplicación, en la mayoría de sus estaciones elevadoras de agua cruda y aguas tratadas.

5.4.2.2. Tipos de bombas centrífugas

Los tipos de bombas de flujo axial pueden ser *verticales* y *horizontales*, pero el diseño estructural del cárcamo, solo esta limitado al uso de las bombas verticales.



Bomba Centrífuga Vertical (multicelular)
Figura 5.24



Bomba Centrífuga Horizontal
Figura 5.25

Estas bombas deben ubicarse directamente sobre el punto de captación y son capaces de elevar caudales mayores con pequeñas alturas de succión.

5.4.2.3. Composición y funcionamiento de las bombas Verticales Multicelulares

Las bombas centrífugas verticales denominadas, también *Electrobombas Multicelulares*, actúan directamente sumergidas con los multicelulares en el líquido, acoplado al motor que se ubica en la superficie.

Los multicelulares están compuestos de turbinas semiaxiales (*RODETES*) en hierro fundido o *bronce*, el cuerpo de la bomba en hierro fundido GG-25, el eje en acero inoxidable guiado por cojinetes de goma, ver *figura 5.26* y *figura 5.27*.



Rodetes de la Electro bomba,

Figura 5.26



Electro bombas multicelulares

Figura 5.27

5.4.2.4 SELECCIÓN DE LA BOMBA

a) Selección de la marca de bomba

Una vez determinado el tipo de bomba que se empleara para el proyecto se procede a definir la marca de la bomba.

Existe en el mercado una ilimitada diversidad de fábricas de bombas hidráulicas como: (Ingersoll Dresse Pumps, Caprari, Goulds Turbine Pump, Flygts, Bombas Ideal, etc.), que ofertan una gama de bombas.

La que mejor responde a las características del sistema y la de mejor acceso a compra, que ofertan las distribuidoras e importadoras del mercado, son las bombas Goulds Turbine Pump y bombas ideal.

b) Tamaño de la bomba y condiciones de trabajo

Para la selección del tamaño de la bomba, es necesario conocer las condiciones de trabajo de la bomba, que esta definido principalmente por dos características:

- Caudal de bombeo.
- Altura de bombeo.

Así también como la frecuencia de la red disponible para la operación de la bomba. Conocidos los datos necesarios es posible calcular el tamaño de la bomba de las curvas disponibles, denominadas curvas características de la bomba, después se van obteniendo las restantes magnitudes de la bomba elegida como: rendimiento, eficiencia, potencia, altura de succión, etc.

c) Elección del Número de unidades de bombeo

El número de unidades a elegir depende fundamentalmente del caudal de bombeo y de sus variaciones en el tiempo. Además debe suponerse un margen de seguridad, previendo equipos de reserva para atender situaciones de emergencia.

Para la elección de las bombas que respondan en forma adecuada a los valores de caudal y altura de bombeo, se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos importantes.

- Se considera un periodo de vida útil de los equipos igual a 10 años.
- El número de horas de bombeo máximo recomendado es de 16 horas.

5.4.2.4. Altura de Carga Total en impulsión de la instalación

$$HDT = H_{geo} + \frac{P_a - P_e}{\rho * g} + \frac{v_a^2 - v_e^2}{2g} + \sum H_v \quad (5.36)$$

La altura de dinámica total o *altura manométrica* HDT , es el resultado de los siguientes componentes.

La altura geométrica (H_{geo}) en impulsión, es la suma de la altura de succión (H_s) e impulsión (H_i).

$\frac{P_a - P_e}{\rho * g}$, diferencia de presiones entre las superficies del líquido de la aspiración e impulsión, en caso de depósitos cerrados.

$\sum H_v$, suma de todas las pérdidas de carga del sistema (pérdidas de carga por fricción en la tubería (H_f), pérdidas localizadas por válvulas y demás accesorios (H_l), tanto en la línea de aspiración como en la impulsión

$\frac{v_a^2 - v_e^2}{2g}$, es la diferencia de altura dinámica entre la *salida* y *entrada* de la bomba.

En la práctica puede desestimarse la diferencia de alturas dinámicas.

De este modo y con depósitos cerrados se tiene.

$$HDT \cong H_{geo} + \frac{P_a - P_e}{\rho * g} + \sum H_v \quad (5.37)$$

Entonces en depósitos abiertos la altura dinámica total de la instalación es:

$$HDT = H_i + H_s + H_f + H_l \quad (5.38)$$

5.4.2.5. Curva característica de la bomba

Es la representación gráfica del desarrollo conjunto de los parámetros, el cual caracteriza el comportamiento de la bomba centrífuga, estos parámetros son: la *potencia absorbida* (**P**), el rendimiento (**η**) y el NPSH (carga neta positiva de succión) requerido de la bomba.

También denominada *Curva* (QH), en la que las abscisas representan *caudales* y las ordenadas *alturas*, siendo los fabricantes los que suministran tal información.

a) Eficiencia

La eficiencia de la bomba es la relación entre la potencia suministrada al fluido y la potencia alimentada al eje por la acción del impulsor, se expresa en porcentaje y siempre es menor al 100%.

La eficiencia de la bomba es provista por el fabricante y este valor esta representada en ábacos de la curva característica de la bomba.

b) Potencia

b.1) Potencia absorbida por la bomba

La potencia absorbida por la bomba centrífuga, es la que requerida por esta en su acoplamiento al eje de la maquina de accionamiento (motor), se calcula mediante la expresión.

$$P = \frac{Q * H_t * \rho}{367 * \eta} = \text{en KW} \quad P = \frac{Q * H_t * \gamma}{75 * \eta} = \text{en HP} \quad (5.39)$$

Donde:

Q = Caudal de bombeo (m³/hra)

Ht = Altura total en (m)

ρ = Densidad del agua (Kg/dm³)

γ = Peso específico del liquido (Kg/dm³)

b.2) Potencia del motor

Como la bomba tiene rozamientos mecánicos, es evidente que el motor tendrá que entregar algo más de potencia para suplir la que se disipa en los rozamientos, esto implica el aumento de potencia absorbida por la bomba de modo la potencia a suministrar en el eje será según los siguientes incrementos.

Potencia absorbida por la bomba	Incremento de potencia, para potencia nominal del motor
Menor a 7,5 Kw.	aprox. 20 %
Desde 7,5 hasta 40 Kw.	aprox. 15 %
Mayores a 40 Kw.	aprox. 10 %

Incremento de potencia

FUENTE: Manual de Bombas KSB

Cuadro 5.2

c) Carga Neta Positiva de Succión o (NPSH=Net Positive Suction Head)³**c.1) CNPS requerido por la bomba (CNPS_{req.})**

Para el correcto funcionamiento de una bomba centrífuga, es condición imprescindible que no surja formación de vapor alguna en su interior y evitar su cavitación.

La cavitación ocurre cuando la *presión absoluta* dentro de un impulsor cae por debajo de la *presión del vapor del líquido* y se forman burbujas de vapor, cuando el fluido avanza a una zona de mayor presión, las burbujas colapsan y su *implosión* puede producir un picado del impulsor, donde la parte más vulnerable es el extremo de los álabes.

CNPS_{req.} (*requerido*) para la bomba viene definida por el fabricante y su valor en metros se obtiene en la curva característica de la misma, a este valor se le suma un incremento de seguridad de 0,5 (m).

c.2) CNPS disponible en la instalación (CNPS_{disp.})

Para garantizar un funcionamiento de la bomba libre de perturbaciones (sin cavitación) es preciso determinar el valor de CNPS de la instalación (CNPS_{disp.}).

d) Número de revoluciones de motor

Mediante el accionamiento con motores trifásicos (*motores asíncronos con rotor de corto circuito o jaula de ardilla*) resultan las siguientes velocidades de servicio:

³ Siglas en Ingles

Número de polos Frecuencia	2	4	6	8	10	12	14
	Número de revoluciones de referencia en la documentación de curvas características, en l/min. = rpm.						
Con red de 50 Hz	2900	1450	960	725	580	480	415
Con red de 60 Hz	3500	1750	1160	875	700	580	500

Velocidad de motor

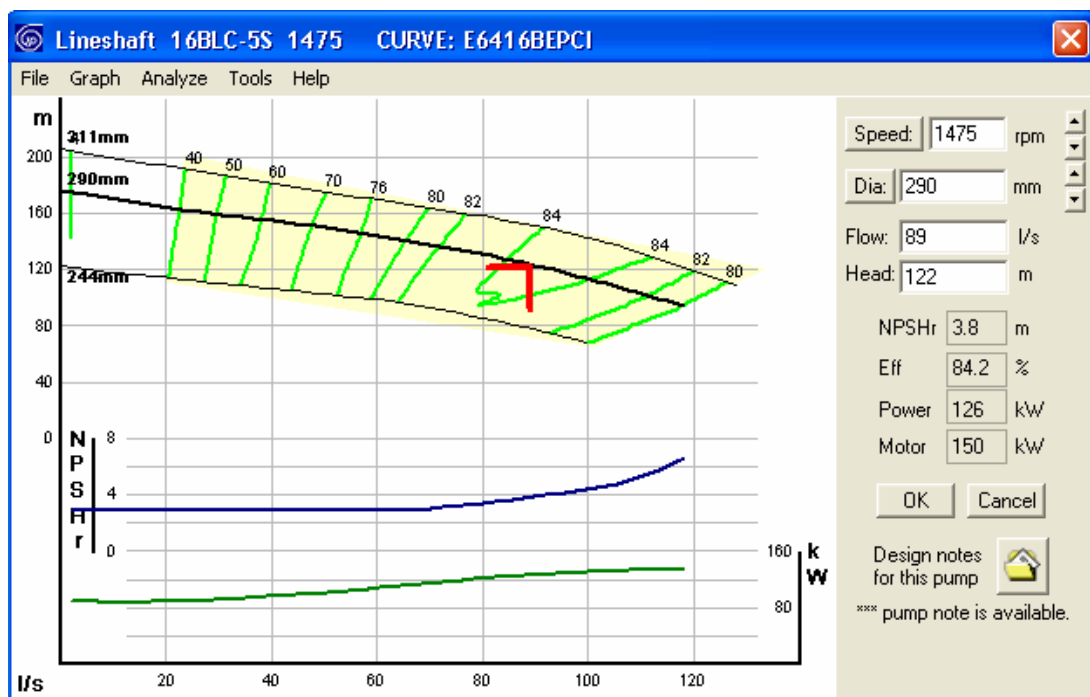
FUENTE: Manual de bombas y Válvulas (KSB)

Cuadro 5.3

5.4.2.6. OTRA ALTERNATIVA DE ELECCIÓN DE LA BOMBA

También la elección de la bomba conviene realizar mediante las curvas del modelo de bombas, conociendo los datos necesarios de caudal y altura de impulsión del punto de servicio deseado para el proyecto.

La selección del tamaño, y capacidad de bomba, se puede realizar mediante ordenador "GOULDS" por ser accesible a compra y mantenimiento en nuestro medio, representados por grandes importadores como ROGHUR S.A., ver figura 5.28.



Ordenador Goulds Turbine Pump
Figura 5.28

El ordenador selecciona todos los datos técnicos necesarios

- Rendimiento en diversos puntos de la curva
- Potencia de la bomba y Motor.
- Carga neta positiva de succión CNPS en diversos puntos de la curva
- Diámetro del impulsor.

5.4.2.7. VÁLVULAS DE CONTROL

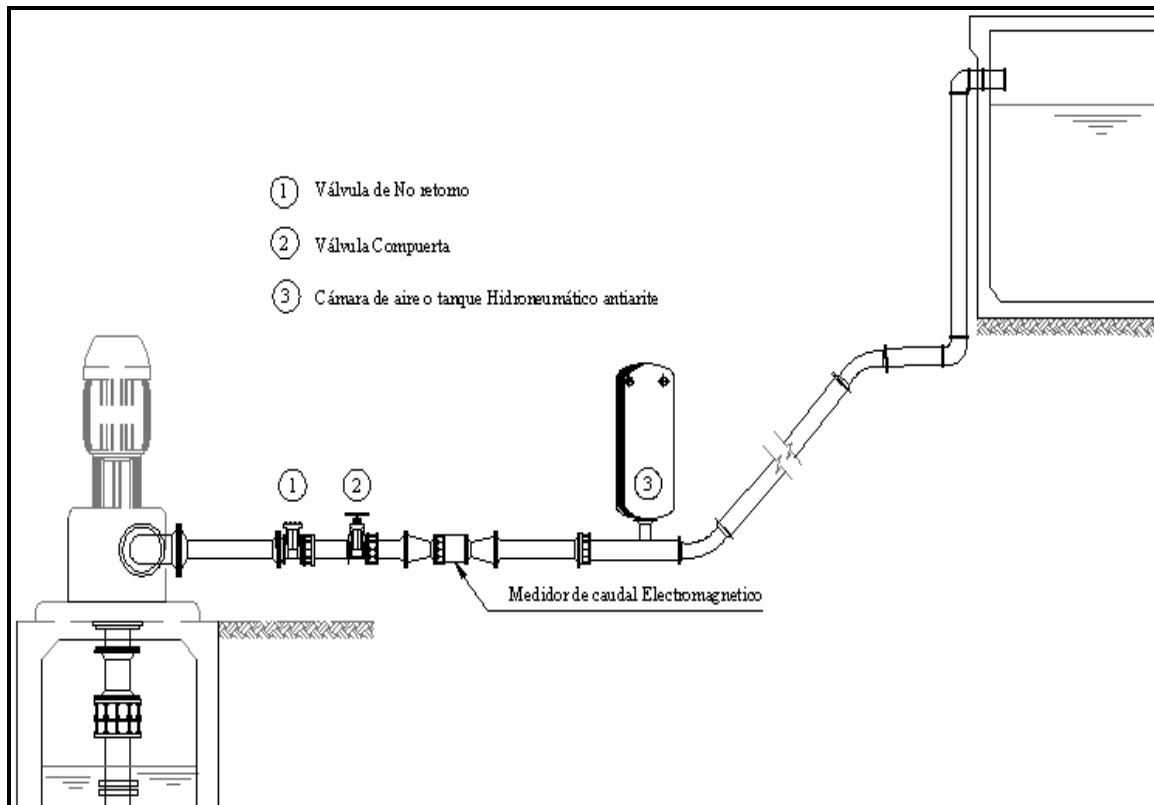
Todo fluido, al ser transportado por medio de tuberías, requiere un control de flujo, un método que impida su retorno y que libere el exceso de presión cuando esta sobrepase ciertos límites de seguridad, para cumplir estas funciones se utilizan las válvulas.

La elección de las válvulas es simple, se debe tener en cuenta su capacidad, la clase de fluido, la temperatura del fluido, la clase y el tipo de tubería en la cual se debe instalar, la forma de realizar las conexiones, la manera como se va a operar y finalmente las facilidades para su buen manejo.

Entre las distintas variedades de válvulas están las siguientes:

- *Válvulas check o de no retorno:* permiten el flujo en una sola dirección
- *Válvulas reguladoras de presión:* se usan para mantener una presión constante en la descarga aunque en la entrada varíen el flujo o la presión. Regulan únicamente la presión dinámica más no la estática.
- *Válvula de compuerta o cortina:* permite regular el caudal y realizar mantenimiento de la conducción.
- *Válvula de admisión de aire:* evita la formación de un vacío cuando se cierra la válvula de compuerta ubicada aguas arriba.
- *Válvula aliviadora de presión:* disminuye la sobrepresión cuando se cierra una válvula de compuerta ubicada aguas abajo.
- *Válvulas reductoras de presión:* debido a su alta resistencia al flujo y por lo tanto a la alta pérdida de carga, disminuyen la presión dinámica. Producen en su interior una pérdida de carga cualquiera que sea la presión de entrada y el caudal.
- *Cámaras de aire:* son dispositivos antiarite, la cual constan en su interior de aire comprimido lo cual amortigua los impactos producidos por la Sobrepresión del golpe.

Su disposición en una línea de conducción se ilustra en la *Figura 5.29*



Localización típica de válvulas
Figura 5.29

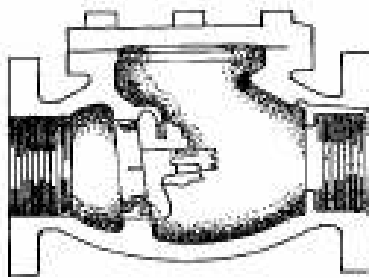
5.4.2.7.1. VÁLVULAS DE RETENCIÓN O VÁLVULA CHECK

Las válvulas de retención check son generalmente instaladas en sistemas hidráulicos de bombeo, con la finalidad de evitar el cambio de dirección del fluido que se conduce a través de la tubería

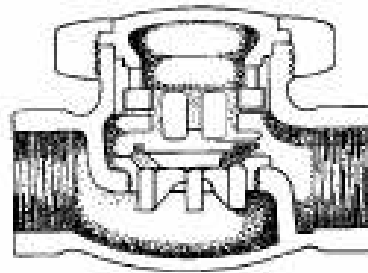
Cuando se detiene el funcionamiento de las bombas las válvulas de retención se cierran, reteniendo la columna de agua en la tubería.

Deben ser instaladas de modo que se abran en el sentido del flujo. En el cuerpo de la válvula, se encuentra una flecha que indica el sentido de instalación.

Hay de dos tipos distintos, conocidos como *válvulas de retención a bisagra* y *de retención horizontal*.



Válvula de retención a bisagra



Válvula de retención horizontal

Válvulas de retención o válvula check

Figura 5.30

5.4.2.7.2. VÁLVULAS DE ALIVIO DE PRESIÓN

Las válvulas de alivio (*liberadoras de presión*) son utilizadas en sistemas de agua potable.

La válvula previene incremento de presiones o evitar que un exceso de presión pueda causar daño en las instalaciones mediante una liberación rápida de estas, La cual protege al sistema de bombeo del golpe ariete.

Este tipo de válvulas han sido desarrolladas para dar solución a los problemas típicos de inversión de flujo y aumento excesivo de presión.

Están reguladas para una determinada presión de apertura. Permanecen cerradas en funcionamiento normal y solo se abren si el fluido sobrepasa la presión requerida, liberando el exceso.

El rango de ajuste de estas válvulas es de 0-12 Kg/cm² (0-120 mH₂O), por lo tanto las válvulas trabajarán adecuadamente.



Válvulas de alivio o liberadoras de presión

Figura 5.31

5.4.2.7.3. Válvula de compuerta o cortina

La válvula compuerta tiene como función la regulación y corte de flujo en una tubería.

Permite el paso del flujo en posición completamente abierta en posición ascendente y lo restringe en la posición completamente cerrada, con la mínima pérdida de carga posible.

Cuando la válvula está en posición abierta, no solo facilita el paso del fluido en línea recta sino que, además, la sección mantiene la misma área de la tubería a la cual está unida.



Válvulas compuerta o cortina
Figura 5.32

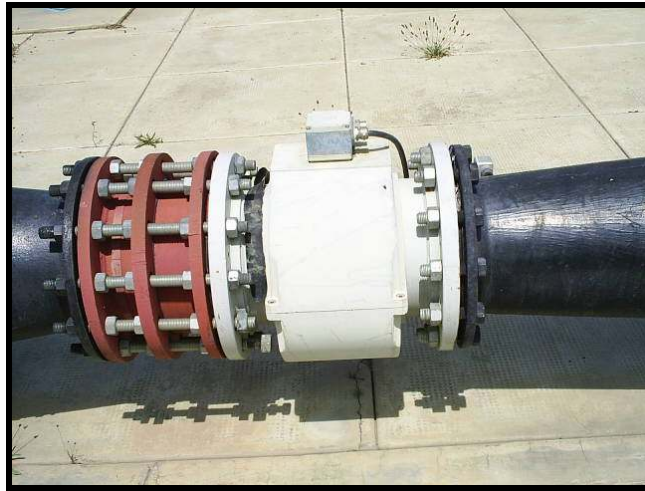
ACCESORIOS COMPLEMENTARIOS ^[11]

5.4.2.7.4. Medidor de caudal electromagnético:

Consta de bobinas colocadas una a cada lado del cuerpo del aparato, que son excitadas por una corriente alterna, con lo que se produce un campo magnético uniforme a través de la parte interna del tubo; conforme pasa el flujo por dicho campo magnético, se genera una inducción de voltaje que es percibida por dos electrodos diametrales opuestos.

El cambio de voltaje se relaciona con la velocidad del escurrimiento, El medidor es de acero inoxidable o aluminio recubierto de neopreno, plástico o cerámica, prácticamente no provoca perdidas de carga piezometrica, tiene muchas exactitud, pero alto costo de adquisición.

Este medidor se ajusta al sistema de telemetría de SEMAPA.



Medidor de caudal electromagnético

Figura 5.33

5.4.3 VIBRADORES PARA HORMIGÓN. ^[5*]

La compactación de los hormigones en obra se realizara mediante procedimientos adecuados a la consistencia de las mezclas y de manera tal que se eliminen los huecos y se obtenga un perfecto cerrado de la masa, sin que llegue a producirse segregación. El proceso de compactación deberá prolongarse hasta que refluya la pasta a la superficie.

Esta compactación se consigue mediante vibradores de hormigón.

El hormigón es una mezcla de agua, áridos (arena y grava) y cemento. El vibrador transmite a esta masa oscilaciones con una alta frecuencia, de forma que el rozamiento interno entre las partículas disminuye y amortigua el efecto de la gravedad adoptando un estado fluido como si fuera un líquido. Esta masa rodea las armaduras de refuerzo y penetra en los lugares de difícil acceso.

Durante este proceso el aire encerrado en el hormigón se desprende a la superficie en forma de burbujas, la masa pasa a tener en torno al 1% de aire en el volumen. El aire en el hormigón se produce al verter el hormigón y por reacciones químicas entre los componentes.

La masa pasa de estar amontonada y heterogénea a una masa compacta y brillante. Con el vibrado evitamos el amontonamiento de la grava y oquedades en la masa del hormigón, de forma que el mortero de cemento rellena todos los huecos entre los áridos.

El contenido de aire y agua en exceso perjudica la resistencia del hormigón, de forma que con el vibrado obtenemos una mezcla homogénea con la relación agua, aire y cemento correctas, consiguiendo la resistencia de hormigón adecuada.

La vibración debe ser adecuada, ya que un exceso de vibración podría producir que la grava se acumulara en la parte inferior y los materiales mas finos junto a la superficie. Esta segregación se produce principalmente en hormigones de consistencia fluida. La segregación puede producir retracciones irregulares que trae consigo tensiones que dan lugar a fisuras.

Con el vibrado también conseguimos que la adherencia entre el hormigón recién preparado y el viejo se mejore.

5.4.3.1 Tipos de vibración de hormigón.

Interna.- Un vibrador con una forma alargada llamado “aguja” es introducido dentro de la masa de hormigón. El vibrador se pone en contacto con la masa de hormigón.



Figura 5.34

Externa.- El molde o encofrado que contiene el hormigón se somete a vibración con vibradores sujetos exteriormente.



Figura 5.35

Superficial.- Una viga con un sistema vibrante se pone en contacto con la superficie que se desea vibrar. Se utiliza para losa y pavimentos.

5.4.3.2 CONCEPTOS GENÉRICOS VIBRADORES INTERNOS

Introducción

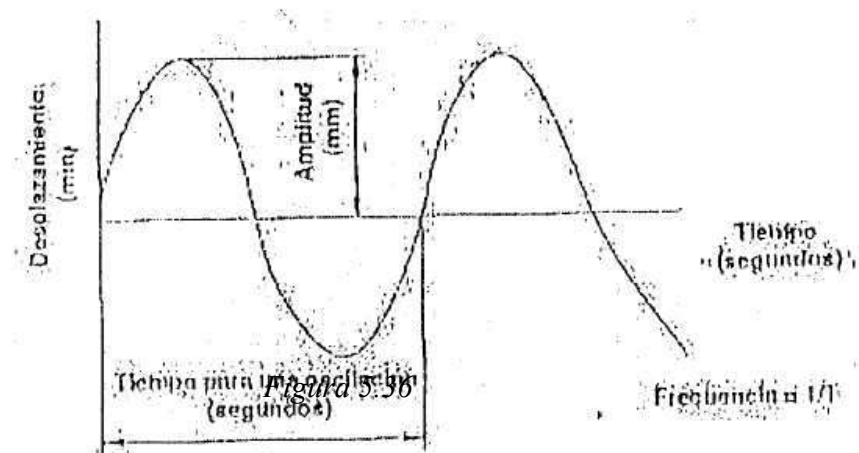
La vibración es generada por una masa excéntrica girando en torno a un eje a una cierta velocidad. Esta masa genera una fuerza que provoca un desplazamiento del vibrador con una cierta amplitud.

Frecuencia del vibrador

Es el número de oscilaciones por unidad de tiempo ($1/T$). Se mide en Hertz (s^{-1}) o en rpm (vibraciones por minuto). $Hertz = rpm/60$. Estas oscilaciones están provocadas por el giro de la masa. Las frecuencias de vibración de los vibradores internos van desde 9000 a 21000 rpm, esto es desde 150 Hz a 350 Hz. Las bajas frecuencias ponen en movimiento la grava gruesa y las altas frecuencias hacen vibrar a las partículas pequeñas (mortero y cemento). Estudios realizados concluyen que la frecuencia óptima es alrededor de 12000 rpm (200 Hz). Son recomendables altas frecuencias para que el mortero corra y rellene los huecos entre la grava.

Amplitud del vibrador

Es la desviación máxima del vibrador respecto la posición neutra. La amplitud del vibrador es proporcional a la masa excéntrica y a su excentricidad y es inversamente proporcional al peso del vibrador. La amplitud del vibrador se mide fuera del hormigón, cuando el vibrador se introduce en el hormigón la amplitud será más pequeña porque es amortiguada por la masa.



Fuerza centrífuga

Una masa excéntrica girando a unas r.p.m. genera una fuerza centrífuga. Esta fuerza es directamente proporcional a la masa excéntrica, a la excentricidad de la masa y a las

revoluciones al cuadrado. Esta fuerza centrífuga lleva consigo una aceleración del vibrador que nos da idea de la intensidad de la vibración. Esta aceleración es una función de la amplitud y de la frecuencia al cuadrado. Las aceleraciones se expresan en múltiplos de la aceleración de la gravedad. En el vibrado interno se requieren aceleraciones de vibración entre 100 y 150g.

La fuerza centrífuga correspondiente a estas aceleraciones depende del peso del vibrador y puede ir de 150 Kg en los vibradores pequeños a 1500 Kg en los más grandes.

Peso del vibrador

En los vibradores internos podemos distinguir dos pesos, el peso completo del conjunto vibrador y el peso del elemento vibrante también se le conoce por los nombres de "aguja", "cabezal", "botella" o "porra". El peso de este elemento vibrante interesa que sea el menor posible para que la amplitud del vibrador sea mayor, así como facilitar el manejo del mismo.

Dimensiones del vibrador

Cuando hablamos de dimensiones del vibrador nos referimos a las dimensiones del elemento vibrante. Las dimensiones principales son el diámetro y la longitud. El rendimiento del vibrador está relacionado con el diámetro, cuanto mayor diámetro los m³/h de hormigón vibrado aumentan. El diámetro del vibrador está condicionado por el tipo de estructura que se va a vibrar, distancia entre las armaduras, espesor del muro a vibrar, cantidad de hormigón a vibrar, tipo de hormigón utilizado,.. Los vibradores de hormigón van de 25 mm hasta 100 mm de diámetro. La longitud del cabezal se recomienda de al menos 30 cm, ya que el hormigón normalmente se vierte en capas de 30cm y debe sumergirse el cabezal completamente.

Del conjunto vibrante es importante la longitud de la parte flexible. Cuando se quiere vibrar pilares hay que tener en cuenta que hay que llegar a la parte inferior del pilar por ello la longitud será al menos la altura del pilar.

En ocasiones, para obras singulares se precisan vibradores de longitudes especiales, de 20 m o más. Por otro lado para vibrar cimentaciones se precisan vibradores de poca longitud. Se recomienda utilizar vibradores de la longitud justa para el tipo de trabajo que se va a usar.

La longitud estándar de los vibradores van desde 1m hasta 6m, aunque bajo requerimiento se pueden servir cualquier longitud. La longitud máxima está limitada según el tipo de transmisión utilizada.

Tipo y potencia del motor de accionamiento del vibrador

El vibrador puede obtener la energía necesaria para trabajar de diferentes fuentes. Esta energía puede ser eléctrica, de motores de explosión, neumática o hidráulica. La alimentación eléctrica se adapta al suministro de cada país, pudiendo ser monofásica a 115V o 230, trifásica a 400V y la frecuencia de alimentación puede ser 50 o 60 Hz. Los motores de explosión pueden ser de gasolina tanto de dos o cuatro tiempos o diesel.

Según la fuente de alimentación que se disponga se especificará claramente el tipo de accionamiento que se desea. Los vibradores accionados por motores de explosión presentan problemas de contaminación, especialmente en zonas cerradas. Por otro lado precisan de mayor mantenimiento. Según el tipo de vibrador se precisa una potencia del motor adecuada. Cuanto mayor es el vibrador la potencia de accionamiento deberá ser mayor.

Cuando se conecte un vibrador eléctrico a un generador se debe tener en cuenta la potencia necesaria para evitar problemas. Los vibradores neumáticos precisan de un compresor que deberá tener el caudal y la presión necesaria por el vibrador.

Radio de acción del vibrador

Es la distancia medida desde el vibrador a partir de la cual ya no llega la influencia del vibrador, o expresado de otra forma es la distancia a la cual las oscilaciones transmitidas por el vibrador a la masa son prácticamente nulas. Si el radio de acción de un vibrador es de 40 cm, quiere decir que para vibrar completamente el hormigón tenemos que introducir el vibrador interno cada 80 cm. En el radio de acción influyen los parámetros arriba indicados. Para determinar el radio de acción en la obra se toma una barra de hierro de unos 20 mm de diámetro y se coloca sobre el hormigón verticalmente. Observamos que cerca del vibrador esta barra se hunde, a partir del punto que ya no se hunde es el radio de acción del vibrador. La distancia entre un punto de vibración y otro es de 8 a 10 veces el diámetro del vibrador.



Grupo motriz eléctrico monofásico



Eje Flexible con aguja



Agujas sistema pendular

Vibrador interno alta frecuencia

Figura 5.37

Tipo de accionamiento

- Para conectar el vibrador se precisas un generador de 200 Hz 3~ 42V
- El generador puede ser accionado por motor eléctrico trifásico (380V/220 3~) o motor monofásico (220V)
- También puede ser accionado por motor de gasolina o diesel
- Los vibradores conectados no excederán la potencia del generador

Sistema de transmisión

- El vibrador dispone de una clavija para conectar al generador
- El equipo se alimenta por cable eléctrico, 10 m de cable manguera y 5 m de cable dentro de una manguera de goma reforzada.
- Otras longitudes tanto de cable como de manguera pueden suministrarse.
- La manguera sirve para proteger el cable y para manipular el vibrador.
- El vibrador se acciona con un interruptor dentro de una caja de aleación de aluminio.

Sistema do vibración

- El cable alimenta un motor dentro de la aguja.
- Este motor trabaja a 200 Hz 3~ 42V.
- El motor mueve una excéntrica apoyada en rodamientos
- El motor está disponible con protección térmica para evitar averías en caso de calentamientos excesivos.

Puntos destacables

- De 36 a 65mm diámetro
- No hay limite de longitud
- Muy buenas características de vibración
- Preparado para trabajos intensos
- Transmisión sin partes móviles (cable eléctrico)
- Total seguridad del operario 42 V

- Gran autonomía, equipo estándar 15m.
- Con un generador se puede trabajar con varias agujas. Puntos a considerar
- Coste Inicial mayor
- Se precisa de convertidor

Recomendación del vibrador según aplicación (Cuadro 5.4)

APLICACIÓN	Diámetro mm	Frecuencia Recomendada en Hz	Fuerza centrifuga Kg	Radio de acción cm	Rendimiento m ³ /h
Hormigón blando y fluido en lugares estrechos y de difícil acceso. Pueden usarse para complementar a vibradores de mayor tamaño, especialmente en zonas de gran densidad de armadura. También usados en muestras de laboratorio.	20 a 40	170 a 250	50 a 180	0 a 15	0,0 a 4
Hormigón blando en muros delgados, columnas, vigas, losas delgadas. También donde existe una alta densidad de armaduras.	30 a 60	150 a 225	140 a 400	13 a 25	5 a 10
Hormigón de consistencia tirando a plástica (menos de 7 cm de asentamiento) en general construcciones como muros, columnas, vigas, pilares, losas y vigas pretensadas. Prefabricados industriales y obras civiles como puentes.....	50 a 90	130 a 200	310 a 090	18 a 36	10 a 20
Hormigón plástico (menos de 5 cm de asentamiento) depositado en cantidades de hasta 3 metros cúbicos en estructuras relativamente abiertas como cimentaciones.	80 a 150	120 a 100	670 a 1000	30 a 60	20 a 30

REGLAS VIBROEXTENDEDORAS ^[3*]



Figura 5.38

Tipo de accionamiento

- Motor de gasolina de dos tiempos
- Motor eléctrico monofásico 220 V

Configuración

- El motor de gasolina transmite el giro a una excéntrica.
- La frecuencia de vibración llega hasta 11000 rpm con motor de gasolina
- Dispone de embrague centrifugo
- Control de la vibración con el acelerador
- Las reglas accionadas eléctricamente disponen de un vibrador externo a 3000 rpm

Tipo do perfil

- Perfil en forma de "L", especialmente pensado para arrastrar el hormigón a la vez que se vibra.
- Perfil de aleación de aluminio de alta resistencia
- Longitud máxima 3 m
- Dispone de dos mangos para manejar el perfil
- Base del perfil 120 mm

Modo de trabajo

- La regla trabaja sobre el hormigón directamente
- La maneja una sola persona

- La vibración se transmite hasta 10 cm de profundidad según el tipo de hormigón
- Indicada para capa de compresión en forjados.
- Muy manejable para repartir uniformemente el hormigón.

REGLAS VIBROEXTENDEDORAS OSCILANTES

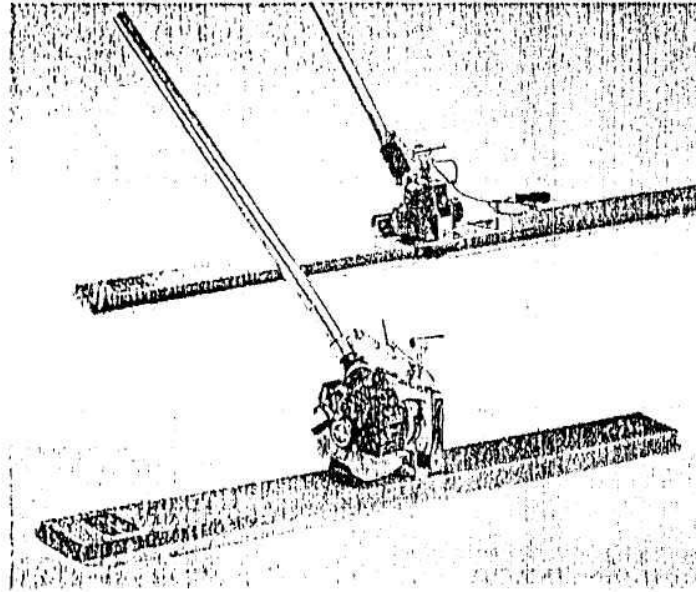


Figura 5.39

Tipo de accionamiento

- Motor de gasolina de dos tiempos
- Motor eléctrico monofásico 220 V

Configuración

- La frecuencia de vibración llega hasta 11000 rpm con motor de gasolina
- Control de la vibración con el acelerador
- Las reglas accionadas eléctricamente disponen de un vibrador externo a 3000 rpm
- El motor está aislado de vibraciones

Tipo de perfil

- Perfil curvo en forma especial diseñado para empujar y arrastrar el hormigón.
- Dispone de un mango para manejar la regla con un sistema de oscilación para inclinar el perfil según interese
- Perfil de aleación de aluminio de alta resistencia
- Longitud máxima 3 m

Modo de trabajo

- La regla trabaja sobre el hormigón directamente

- La maneja una sola persona
- La vibración se transmite hasta 15 cm de profundidad según el tipo de hormigón
- Con la inclinación del perfil permite mover el hormigón en las dos direcciones

Tipo de accionamiento

- Motor eléctrico asíncrono trifásico (400 V o 220 V) o monofásico (220 V o 115 V) giro a 2850 rpm
- Motor de gasolina (de 2,5 CV a 5.5CV) o diesel. Revoluciones reguladas a 3000 rpm.

Sistema de transmisión

- Una sirga dentro de una manguera de goma gira a las revoluciones del motor de accionamiento, sobre 3000 rpm.
- El interior de la manguera esta protegido con un fleje de acero especial.
- Los extremos de la manguera están reforzados para aumentar su duración
- La sirga va engrasada.
- Sistemas de lubricación de sirga
-

Sistema de vibración

- Un péndulo en el interior de la aguja gira en la punta de la aguja describiendo un movimiento epicicloidal.
- Mediante este movimiento las revoluciones se multiplican por un factor mayor de 4 consiguiendo frecuencias por encima de 12000 rpm
- El péndulo nunca se debe engrasar para que no patine

Puntos destacables

- De 25 a 70mm diámetro
- Tecnología simple
- Eléctrico, gasolina o diesel
- Fácil mantenimiento
- Fácil reparación
- Gran amplitud
- Fácil maniobrabilidad

Puntos a considerar

- Sistema de sirga
- Longitud limitada 6m
- Sistema con piezas metálicas en contacto
- Muy importante la fabricación

APLICACIÓN	Diámetro mm	Frecuencia Recomendada en Hz >	Fuerza centrifuga Kg	Radio] de acción cm	I Rendimiento m3/h
Hormigón blando v fluido en lugares	20	170	50	8	0,8
Estrechos y de difícil acceso. Pueden usarse para complementar a vibradores de mayor tamaño, especialmente en zonas de gran densidad de armadura. También usados en muestras de laboratorio.	A 40	a 250	a 180	a 15	a 4
Hormigón blando en muros delgados, columnas, vigas, losas delgadas. También donde existe una alta densidad de armaduras.	30 a 60	150 a 225	140 a 400	13 a 25	5 a 10
Hormigón de consistencia tirando a plástica (menos de 7 cm de asentamiento) en general construcciones como muros, columnas, vigas, pilares, losas y vigas pretensadas. Prefabricados industriales y obras civiles como puentes,....	50 a 90	130 a 200	310 a 090	18 a 36	10 a 20
Hormigón plástico (menos de 5 cm de asentamiento) depositado en cantidades de hasta 3 metros cúbicos en estructuras relativamente abiertas como cimentaciones.	80 a 150	120 a 180	670 a 1800	30 a 60	20 a 30

Recomendación del vibrador según aplicación
Cuadro 5.5



Vibrador interno excéntrico
Figura 5.41

Tipo de accionamiento

- Motor eléctrico universal con escobillas
- Alimentación monofásica a 220 V o 115 V.
- Giro en vacío 18000 rpm.
- Motor montado en carcasa de plástico resistente a golpes.
- Motor muy manejable, reducido peso

Sistema de transmisión

- Una sirga dentro de una manguera de goma gira a las revoluciones del motor de accionamiento, sobre 12000 rpm.
- El interior de la manguera está protegido con un fleje de acero especial y reforzada con malla de acero.
- El extremo de la manguera en el lado de la aguja está reforzado para aumentar su duración
- La sirga va engrasada.

Sistema de vibración

- El giro de la sirga se transmite directamente a una excéntrica.
- La excéntrica está soportada por cuatro rodamientos en baño de aceite.
- La excéntrica desarrolla una gran vibración gracias a su tamaño.
- Las diferentes agujas van roscadas en la transmisión, pudiendo intercambiarse entre diferentes tamaños.

Puntos destacables

- De 25 a 58 mm diámetro
- Sistema muy portable.
- Alta vibración
- Máquina de bajo coste

- Fácil mantenimiento
- Fácil reparación

Puntos a considerar

- Sistema de sirga
- Longitud limitada 5m
- Precisa engrase la sirga
- Desgaste de sirga
- Diámetro máximo do aguja 58mm

APLICACIÓN	Diámetro mm	Frecuencia Recomendada en Hz	Fuerza centrifuga Kg	Radio de acción cm	Rendimiento m3/h
Hormigón blando y fluido en lugares estrechos y de difícil acceso. Pueden usarse para complementar a vibradores de mayor tamaño, especialmente en zonas de gran densidad de armadura También usados en muestras de laboratorio.	20 a 40	170 a 250	50 a 180	8 a 15	0,8 a 4
Hormigón blando en muros delgados, columnas, vigas, losas delgadas. También donde existe una alta densidad de armaduras.	30 a 60	150 a 225	140 a 400	13 a 25	5 a 10
Hormigón de consistencia limado a plástica (menos de 7 cm de asentamiento) en general construcciones como muros; columnas, vigas, pilares, losas y vigas pretensadas. Prefabricados industriales y obras civiles como puentes.	50 a 90	130 a 200	310 a 890	18 a 36	10 a 20

Recomendación del vibrador según aplicación Cuadro 5.6

5.4.3.3 VIBRADORES EXTERNOS ^[7*]

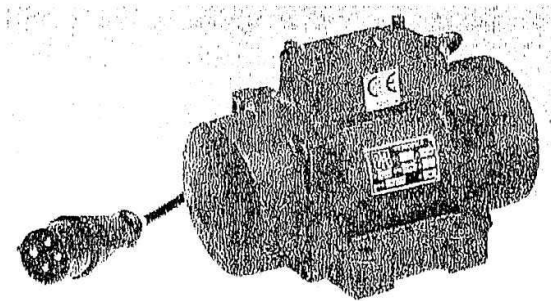


Figura 5.42

Introducción

La vibración externa es aplicada en muchos campos, desde el vibrado de piezas prefabricadas de hormigón hasta el movimiento de material.

No vamos a entrar en detalle sobre el uso de los vibradores externos debido a la gran variedad de afiliados, vamos a hacer unos comentarios sobre las aplicaciones más usuales.

Especificaciones técnicas

ANCHO (mm)A	225	190	165	160	125	165	160	125
LONGITUD (mm) B	365	270	245	215	200	245	215	200
Distancia entre ejes C (mm)	170	160	140	130	106	140	130	106
Distancia entre ejes D (mm)	120	100	90	70	62	90	70	62
DIÁMETRO G (mm)	15	13	11	9	9	11	9	9
PESO (Kg)	29	19	9	6,5	4	9	6,5	4
FRECUENCIA (Tr/mm)	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
FUERZA CENTRÍFUGA (Kp)	0-800	0-600	0-300	0-150	0-60	0-300	-0150	0-60
CONSUMO MAX W.	490	420	180	130	100	240	190	105
VOLTAJE	3-220/380 V					1-220V 50 Hz		

Vibradores externos con motor trifásico (vet) - monofásico (vem)

Cuadro 5.7

Virado de molde

El molde se usa para vibrar vigas, prefabricados de diferentes formas, muros, tubos,.. El molde debe ser una estructura rígida de acero y el vibrador debe quedar rígidamente unido al molde. Si es posible el molde se apoya en una base elástica. Los

vibradores son repartidos por la superficie del molde de forma que se obtenga una aceleración de 1,5g. Se eligen los vibradores con una fuerza centrífuga para obtener esta aceleración. Como idea general se cogen vibradores cuya fuerza centrífuga en Kg sea 1,5 veces el peso del molde. Se recomienda ir a un número mayor de vibradores repartidos aunque con menor número de ellos se pueda conseguir la fuerza centrífuga. La distancia entre vibradores es entre 1,5m a 2,5m.

El efecto de un vibrador llega como máximo hasta 30 cm de profundidad, por ello se deben colocar vibradores a cada lado del molde según el espesor.

Los vibradores se usan regulables y se recomienda regular la fuerza hasta que se consigue la vibración óptima. Siempre se debe elegir el vibrador para que no trabaje a la máxima potencia. Según el tipo de estructura se recomienda combinar la vibración externa con la vibración interna.

Mesas vibrantes

Las mesas vibrantes se componen de una base rígida que descansa sobre un elemento elástico (muelles o amortiguadores). Los vibradores se sujetan de forma rígida a la base. A la mesa se debe aplicar aceleraciones de 2 a 4g según la aplicación. Las mesas vibrantes se usan para la prefabricación de diferentes piezas de hormigón como vigas, pilotes, losas,...

Las mesas vibrantes también pueden usarse para compactar materiales granulares como moldes de fundición y otros materiales pulvulentos. De forma que se consigue eliminar el aire interno.

Para prefabricados de volúmenes manejables y trasladables, por ej., caños de hormigón, columnas premoldeadas, premoldeados livianos en general, etc. Frecuencia 3.000 a 6.000 rpm.

Otra aplicación de las mesas vibrantes es para someter a prueba de fatiga componentes de maquinaria.

Descarga de silos

En la boca de descarga de silos a menudo según las condiciones del material se apelmaza, de forma que se hace necesaria la instalación de vibradores. Se colocan en la parte cónica de forma que produzcan aceleraciones de 0,1 a 0,2g, es decir de una fuerza centrífuga de 0,1 a 0,2 veces el peso del material de la parte cónica. Se recomienda colocarlos a 1/3 de la altura de la parte cónica y se debe fijar sobre un perfil rígido. Cuando la altura de la parte cónica es superior a 4 m se recomienda poner otra fila a 2/3 de la altura.



Vibrador interno neumático
Figura 5.43

Tipo de accionamiento

- Se conecta a un compresor mediante un racord.
- El compresor debe tener el caudal y presión necesaria para el accionamiento del vibrador.

5.4.3.4 LA VIBRADORA ^[4*]

La vibradora es parte del equipo que se utiliza para el trabajo en obras civiles, más específicamente para la "obra" gruesa donde llega a ser parte fundamental para el trabajo con hormigón.

FUNCIÓN.- Su función es exclusivamente lograr una máxima compresión entre los agregados agua y cemento previamente mezclados y dosificados adecuadamente ya sea en un ÍTEM u otro.

Consta de dos partes: La Parte Mecánica y Parte Eléctrica.

Parte Mecánica.:

La parte mecánica es la que está en contacto directo con el hormigón, activa como una "pila" descentrada que vibra ininterrumpidamente y su accionar hace que al vibrar el hormigón se compacte más y tenga una mayor resistencia a la compresión mandando los agregados gruesos (gravas) a lo profundo de la superficie de la mezcla fresca posee una especie de "pila" protegida de un casquillo de mayor diámetro ambas de acero.

Parte Eléctrica:

La parte eléctrica es la que proporciona energía para que funcione la parte mecánica consta de un pequeño motor generalmente de Hp monofásico o trifásico que convierte la energía en movimiento circular.

Posee en la parte superior un agarrador para transportar de un lugar a otro, en la parte posterior una hélice de ventilación y en la parte frontal un engranaje que gira y proporciona la función deseada en un costado, la botonera para el funcionar, este que contiene un cable enchaquetado de alimentación eléctrica.

Estas dos partes son aleadas por medio de una manguera que está unida a la pila de vibración y en su parte terminal posee un engranaje de empalme que la unirá al otro por su parte frontal contando con un seguro para que estos no se separen.

La vibradora es indispensable en varios ítems de construcción como ser :

Vaciado de: Zapatas, Lozas Radier's, Columnas, parapetos, lozas llenas, losas alivianadas, muros de contención, muros de ascensores, muros de piscinas, muros de tanques de agua (sup. e inf), etc.

Precauciones en su uso:

Cuando un obrero se disponga a utilizar una vibradora es importante que utilice guantes de cuero, protectores para los ojos, se fije en el cable de alimentación que esté en perfectas condiciones de aislamiento ya que se trabaja en superficies húmedas, generalmente el cable de alimentación eléctrica del motor es largo, así que es mejor llevarlo por vías aéreas.

En el vibrado hay que evitar el excesivo contacto con la armadura de los fierros porque la vibración perdería fuerza. La vibración tiene que durar 4 horas seguidas máximo y dejar unos 15 minutos descansando para luego seguir trabajando. También es recomendable hacer un mantenimiento general cada 6 meses.

Después de cada vaciado se debe limpiar las inevitables salpicaduras de hormigón que si se secarían al menos en la superficie del motor sería difícil sacar.

La conexión eléctrica debe ser individual y no compartida con otros equipos de construcción. (Disyuntor individual de 60 Amperes).

Finalmente se la guardará en un depósito de seguridad puesto que es un equipo muy caro en nuestro medio su precio asciende a unos 2.000 \$us Aproximadamente.

5.4.3.5 AIRE OCLUIDO EN EL HORMIGÓN

El proceso de batido inevitablemente produce burbujas de aire que quedan atrapadas en el hormigón fresco del orden de 5 al 20% de su volumen -según sea su grado de fluidez- al momento de retirarlo de la hormigonera.

La ineficacia de la compactación manual por varillado, particularmente en hormigones poco fluidos, agrega nuevos vacíos por mala compactación a los procedentes del batido, más el riesgo de que queden peligrosas oquedades ocultas llamadas "nido de abejas".

Por cada 1% de vacíos remanentes dentro del hormigón endurecido, se reduce su resistencia de 4 a un 7%, en los rangos habituales de aire contenido.

5.4.3.6 OBJETIVO DE LA VIBRACIÓN DEL HORMIGÓN RESPECTO DEL AIRE

Lo que se pretende es obtener hormigones de compactación correcta que permita mantener el nivel de aire fluido dentro de los límites previstos cuando se proyectó su dosificación.

Hormigones secos tienden a retener proporciones de aire mayores a los normales, durante su elaboración y compactación, que los de consistencia fluida.

Hormigones secos o de bajo asentamiento, son requeridos especialmente por diversas razones: mayor resistencia a la compresión, mayor impermeabilidad, menor contracción de fraguado, mayor resistencia química o física, etc. En la mayoría de los casos vinculado a bajas relaciones agua/cemento.

5.4.3.7 VIBRACIÓN DEL HORMIGÓN: SUS EFECTOS

Consiste en someter al hormigón fresco, inmediatamente luego de ser vertido en encofrados, a vibraciones de alta frecuencia que, producen en sus partículas una drástica reducción de su fricción interna, imprimiéndoles una rápida y desorganizada movilización en el área de influencia del vibrador. La pasta adquiere una consistencia más fluida aparentando licuarse. Se ha calculado que la fricción interna dentro del hormigón fresco en reposo es de 20 kPa, mientras que durante la vibración ella disminuye a 1 kPa.

Esta movilización de todas las partículas y de la pasta, permite que burbujas de aire asciendan dentro de la masa del hormigón fresco y salgan al exterior.

Burbujas de mayor tamaño son removidas con mayor facilidad por su capacidad de flotar dentro de la masa. El aire cercano a la fuente de vibración es expelido antes que el que se encuentra en los puntos más alejados de su radio de acción.

Durante el proceso, la pasta cementicia se introduce y presiona entre los agregados más gruesos, distribuyéndolos en forma más homogénea.

Estas son entonces las dos funciones de la vibración: expeler el aire excedido sobre lo previsto y distribuir en forma más homogénea las partículas dentro del hormigón. Su aplicación resulta más necesaria cuanto menos fluida se haya proyectado la mezcla. En los casos de hormigones poco plásticos y secos su utilización es imprescindible.

La acción vibratoria debe continuarse hasta que el aire atrapado se haya reducido a límites aceptables, y el hormigón logrado, una densidad compatible con la resistencia u otras condiciones requeridas.

En vibradores de inmersión del tiempo normal de vibrado para hormigones de asentamiento 2,5 a 7,5 cm, en cada introducción, es de 5 a 15 segundos, promedio 10 segundos. El tiempo exacto lo valorará el operador experimentado, cuando observe la disminución de la salida de burbujas hasta cantidades reducidas.

Insistir con más tiempo de vibración pretendiendo remover la totalidad del aire más allá de lo aceptable no resulta práctico, y en hormigones mal dosificados puede causar efectos nocivos como ser la disgregación del material. De todas maneras debe tenerse en cuenta que es menos perjudicial el exceso de vibración que su falta.

En los casos de aire intencionalmente incorporado, limitando la vibración a los tiempos señalados, se expelen las burbujas y se aventan las oquedades grandes, quedando retenido el aire previsto en la medida que la cantidad dosificada responda a un cuidadoso cálculo que haya contemplado la acción vibratoria.

Cuando la vibración se suspende, la fricción interna inmoviliza nuevamente la pasta.

5.4.3.8 RELACIÓN ENTRE VIBRADO Y FLUIDEZ

La fluidez del hormigón fresco se verifica por su asentamiento en centímetros medido por el método del Tronco de Cono (Tronco de Cono de Abrams). Existen otros métodos para medir la fluidez, pero éste es el de uso más habitual. Su rango se extiende entre 0 y 22 cm, correspondiendo estos extremos a hormigón "seco" y hormigón "fluido" respectivamente.

Por encima de 15,5 cm se requiere el uso de aditivos superfluidificantes y excepcionalmente vibración; entre 10 y 15 cm se utilizará el vibrador en forma leve acompañando al varillado manual; entre 5 y 9,5 cm la vibración será normal simultánea con el varillado, y entre 2,5 y 6,5 cm se requieren vibradores más potentes y vertido en capas delgadas. Menos de 2,5 cm de asentamiento se impone el uso de vibradores de encofrado o de superficie, exclusivamente.

5.4.3.9 FRECUENCIAS DE VIBRACIÓN Y TAMAÑO DE PARTÍCULAS

Cada tamaño de partículas responde a una particular cantidad de vibración por unidad de tiempo. La frecuencia es usualmente expresada en vibraciones por minuto (rpm) y más modernamente en Hertz ($1 \text{ Hertz (Hz)} = 1 \text{ vibración/segundo} = 60 \text{ vib/min}$).

Las frecuencias de los vibradores varían de 3.000 a 14.000 rpm. Las frecuencias medianas y altas (7.000 a 12.000 rpm) excitan los granos finos. Las altas frecuencias tienen la ventaja de que movilizan los finos, éstos rodean los agregados más gruesos inmovilizados dando como resultado una buena distribución de los mismos a la vez que, como ya se ha mencionado, facilitan la ascensión y expulsión de las burbujas de aire retenido. Las bajas frecuencias deben ser aplicadas con mucho cuidado pues excitan los agregados gruesos causando excesiva movilidad en la mezcla que puede originar segregación, siendo también menor el grado de compactación alcanzado.

Un cálculo estimativo de la relación entre rpm y tamaño de partículas movilizadas es el siguiente:

De 12.000 a 9.000 rpm, partículas de tamaño entre 0,08 y 2 mm. De 9.000 a 6.000 rpm, tamaños entre 0,5 y 7 mm. De 6.000 a 3.000 rpm tamaños entre 2 y 25 mm

5.4.3.10 TIPOS DE VIBRADORES

Un vibrador transmite al hormigón en forma directa o indirecta un movimiento oscilatorio de alta frecuencia. El órgano pulsante consiste, generalmente, en un árbol giratorio vinculado a una masa excéntrica y alojado dentro de una envoltura hermética.

El accionamiento se efectúa mediante motor eléctrico, aire comprimido o motor a explosión, en cuyo caso la potencia es transmitida al aparato a través de un eje flexible (trenza de acero en vaina espiralada). Existen también equipos vibradores alternativos, accionados por pulsaciones electromagnéticas, otros por aire comprimido y de tipo hidráulico.

Algunos modelos actúan directamente sobre el hormigón a compactar, ya sea sumergidos en su masa (vibración interna) por medio de vibradores de inmersión o bien apoyados en su superficie (vibración superficial) por medio de reglas vibratoras. Otros lo hacen por intermedio de los moldes o encofrados, sujetos a su estructura o sobre mesas vibratoras (vibración indirecta).

Podemos clasificar resumidamente los vibradores en 2 clases y 4 tipos:

- Externos (asentamiento entre 0 y 7,5 cm):

De superficie: Consisten en un motor con vibrador que actúa sobre una regla rígida. Para volúmenes de hormigón de poco espesor relativo y mucha superficie, por ej. pavimentos, losas extensas, etc. Frecuencia 3.000 a 4.500 rpm.

De mesa: Es una mesa metálica con un vibrador solidario. Para prefabricados de volúmenes manejables y trasladables, por ej., caños de hormigón, columnas premoldeadas, premoldeadas livianos en general, etc. Frecuencia 3.000 a 6.000 rpm.

De encofrados: El equipo vibrador se sujeta a soportes robustos del encofrado. Para prefabricados grandes con encofrados suficientemente reforzados, y excepcionalmente en obras "in situ" para zonas donde los vibradores de inmersión no accedan y/o el hormigón sea demasiado "seco". Frecuencia 3.000 a 12.000 rpm.

-Internos (asentamientos de 2,5 cm):

DE inmersión: Vaina vibrante alargada que se sumerge en el hormigón desde su superficie. Es el de uso más frecuente en obras generales y la variación de sus modelos se puede relacionar con la medida del asentamiento según la siguiente subclasificación:

- Con eje flexible: de 2,5 a 15 cm de asentamiento.
- Con motor incorporado: de 5 a 15 cm de asentamiento.
- Neumático o hidráulico: más de 10 cm de asentamiento.

5.4.4 MEZCLADORAS DE HORMIGÓN. ^[2*]

Objetivo del Mezclado.- La finalidad del mezclado es lograr que las superficies de los agregados sean totalmente cubiertas por la pasta de cemento; asimismo, asegurar que la mezcla sea homogénea en cualquier porción de su masa.

Tipo de mezcladoras.- Las mezcladoras son de diversos tipos y tamaños. Con referencia al eje de rotación, las mezcladoras son de dos tipos: las de eje horizontal y las de eje inclinado.

Los sistemas de carga y descarga también diferencian a las mezcladoras y tienen sustancial importancia, tanto en el rendimiento como en el control de la medición. Las mezcladoras de eje horizontal y provistas de tolvas de carga ofrecen mayores ventajas relativas; en efecto, en este tipo de mezcladoras la carga se efectúa con carretillas y, además, mientras se realiza el batido es posible cargar la tolva para la tanda siguiente.

Los tamaños o capacidades de las mezcladoras son de 3 ½ , 6, 11, 16 pies cúbicos y aun mayores. La capacidad de las mezcladoras se refiere al volumen de descarga y la elección depende del volumen de concreto requerido por jornada de trabajo.

No hay que cargar las mezcladoras más allá de su capacidad, ni operarlas a velocidades mayores que las estipuladas por los fabricantes.

Los rendimientos aproximados de las mezcladoras convencionales son:

Capacidad (pies cúbicos)	Volumen por tanda (m ³)	Rendimiento por jornada de 8 horas (m ³)
6	0.15	25
11	0.30	40
16	0.45	60

Cuadro 5.8

Tiempo mínimo de batido

El tiempo de batido depende del tamaño y eficiencia de las mezcladoras. Para mezcladoras convencionales, de 6 a 16 pies cúbicos, el tiempo mínimo es de un minuto y medio.

El tiempo mínimo se cuenta a partir del inicio del batido y cuando todos los materiales se encuentren en el tambor de la mezcladora.

No es conveniente una duración exagerada de batido porque puede ocasionar el descenso de los agregados, en especial en mezcladoras de eje inclinado; igualmente, puede ser causa de pérdida de agua por evaporación y, en consecuencia, de modificación de la consistencia de la mezcla.

Secuencia de carga de la mezcladora

Respecto a la secuencia de carga cabe distinguir entre mezcladoras de eje horizontal con tolva de carga y las de eje inclinado sin tolva de carga.

En las mezcladoras de eje horizontal, la carga de los materiales (cemento, arena, piedra) se efectúa en la tolva. En este caso, primero se depositan en ella parte de la piedra y la arena, luego el cemento y, finalmente, la parte restante de la piedra. Cargada la tolva se procede a introducir en el tambor y se añade la parte restante del agua.

En las mezcladoras de eje inclinado es recomendable introducir en primer termino una parte de la piedra y del agua haciendo girar el tambor, luego se deposita el cemento, el resto del agua y la arena y, finalmente, el resto de la piedra.

Manipulación y transporte

Equipo para transportar concreto

En obra, el concreto es transportado empleando diversos equipos y métodos. La selección del, equipo y procedimientos de transporte depende del volumen del concreto por transportar, de las características de la obra, de las condiciones ambientales previstas, entre otras. En la práctica es usual emplear una combinación de dos o más medios de transporte.

Consideraciones técnicas

El concreto deberá ser transportado, desde la mezcladora hasta su colocación, tan rápido como sea posible y adoptando medidas para mantener la uniformidad u homogeneidad de la masa de la mezcla, es decir, evitar la posibilidad de segregación o separación de sus componentes, especialmente cuando las mezclas son sueltas.

Cuando el concreto es transportado en carretillas debe procurarse que las superficies de tránsito sean indivisibles planas y libres de marcadas ondulaciones a efecto de evitar la separación de los materiales del concreto durante el acarreo.

Respecto al transvase del concreto a tolvas o baldes y aún a las mismas carretillas es conveniente que el material caiga verticalmente y en el centro de la tolva o baldes.



Mezcladoras de Cemento de 320 Litros.
Figura 5.44

MODELO	H-140	H-180	H-320
PRODUCCIÓN (m ³ /hora)	1.5	2.0	3.5
ROTACIÓN (rpm)	32	30	28
MOTOR ELÉCTRICO:	1 Hp.	2 Hp.	3 Hp.
MOTOR A GASOLINA:	-	5 Hp.	10 Hp.
TIPO DE TOLVA:	Carretilla	Basculante	Basculante
PESO APROX. SIN MOTOR (Kg)	95	180	280
DIM. Alto x Ancho x Largo (cm)	110x60x175	115x95x150	160x100x210
PRECIO SIN MOTOR (\$us. Americanos)	495	719	990

Cuadro 5.9.- DATOS TÉCNICOS Y PRECIOS

MEZCLADORA CM6

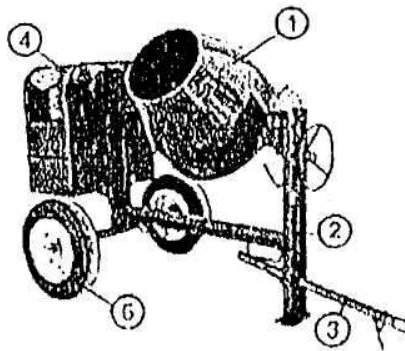


Figura 5.45

Nuevo, fuerte, silencioso

1. Recipiente de acero de alta resistencia.
2. Marco construido de acero de alto calibre.
3. Palanca de remolque retráctil con cadena de seguridad.
4. Protector del motor fuerte y ventilado con tapa articulado que permite el fácil acceso al motor.
5. Ruedas con neumáticos de 64 cm y llantas de 33 cm.

Características técnicas:

- Motor de gasolina de 5.5 caballos de fuerza (Honda).
- Correa, caja de cambios y cadena transmisora.
- 24 revoluciones por minuta.
- Capacidad de amasado: 175 litros.
- Mecanismo de timón de volteo con cierre adaptable a diferentes posiciones.

MEZCLADORA CM6

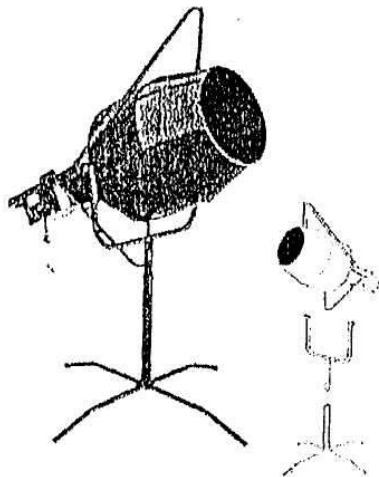


Figura 5.46

Puede ser usada para:

- Concreto
- Mezcla
- Hormigón
- Líquidos

Ventajas:

- 3 secciones de volteo
- Construcción fuerte y resistente
- Fácil de maniobrar y ensamblar
- Mantenimiento gratis

Características técnicas:

- Motor eléctrico de 1/3 caballos de fuerza
- Correa y cadena transmisora
- 24 revoluciones por minuto
- Capacidad de amasado: 85 litros

Mezcladora de Hormigón BIR 500

Características

- Capacidad de llenado por ciclo: 500 Lis. (Material suelto).
- Capacidad de hormigón mezclado y vibrado por ciclo: 330 Lts.
- Tipo móvil, montada sobre chasis de 2 ruedas neumáticas y barra de tiro (para traslado dentro de la obra).
- Accionamiento de motor eléctrico trifásico 300 V Mz, de 5,5 HP.
- Peso de equipo descrito: 1540 Kgs.
- Sistema de dosificación de agua con medidor.

OPCIONAL: Sistema de pesaje de áridos con celdas de carga.

Dimensiones

Alto: 3,10 m.

Largo: 2,90 m (con tolva)

Ancho: 2,10 m,

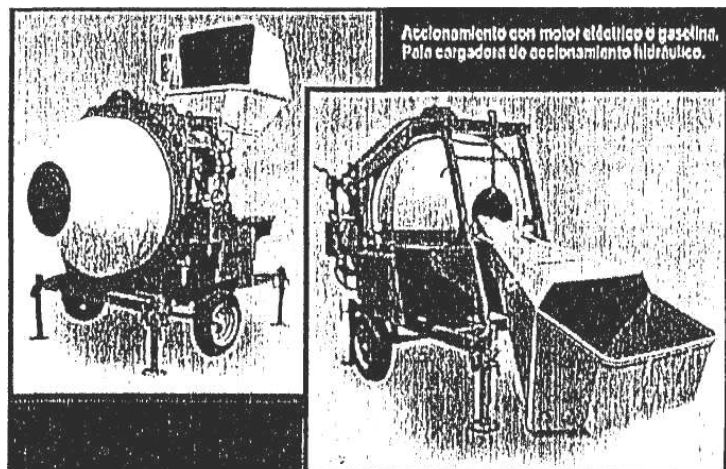


Figura 5.47

Mezcladora de Hormigón HV 750

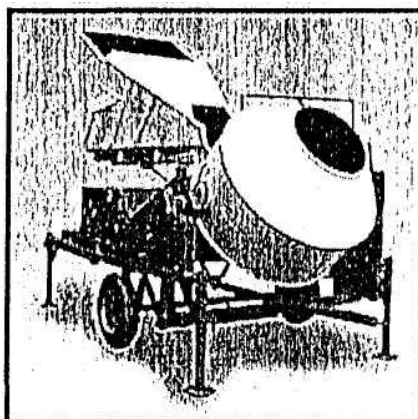


Figura 5.48

Características

- Capacidad de mezcla por ciclo: 750 Lis. (Material suelto).
- Producción por ciclo: 500 Lts.
- Tipo móvil, montada sobre chasis de 2 ruedas.
- Accionamiento con motor eléctrico trifásico 380 V 50 I Iz, de 7,5 HP Pala cargadora de accionamiento hidráulico.
- Reloj dosificador de agua con instalación completa (conexiones, tubería y llave corte rápido).

HORMIGONERA PORTÁTIL L 130 DESMONTABLE

HORMIGONERA PORTÁTIL L-130 D
Totalmente desarmable
Capacidad del Tambor 133 litros
Capacidad de mezclado 80 litros
Producción por hora 1 m ³
Motor eléctrico 220 Volts. 50 Hz 0,65 HP 1500 RPM
Medidas de embalaje: 570 x 570 x 680 mm (0,22 m ³)



Figura 5.49

HORMIGONERA DE VOLTEO L-320

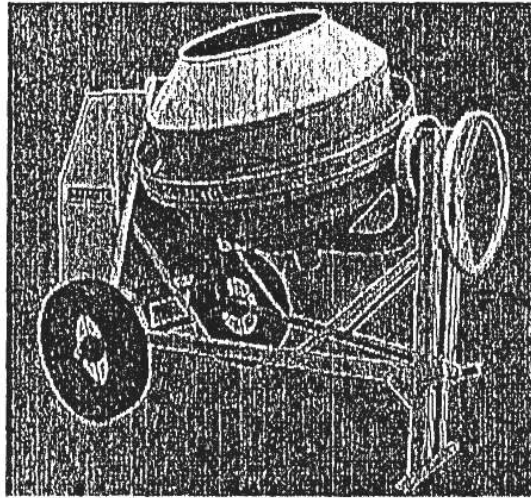


Figura 5.50

Un robusto y resistente modelo que necesitando muy poco mantenimiento garantiza la continuidad de la obra y le asegura máxima producción y fácil manejo.

Fabricada en chapa, tubos y fundición de acero de alta calidad, de fácil transporte, posee dos ruedas de hierro o neumáticos y punta lanza para su tiro. Su diseño es adaptable a motores eléctricos, trifásicos, monofásicos o a explosión, El puente basculante del tambor es TUBULAR de alta rigidez.

La mínima altura del tambor permite cargarla con el menor esfuerzo y descargar la totalidad de la mezcla sobre una carretilla sin dejar residuos de materiales, el puente basculante del tambor perfectamente balanceado y una correcta reducción en los engranajes del volante de volteo, hacen que se descargue con total suavidad y rapidez. Su alta rotación del tambor y las características de su diseño hacen posible un fácil manejo y garantizan una mayor productividad.

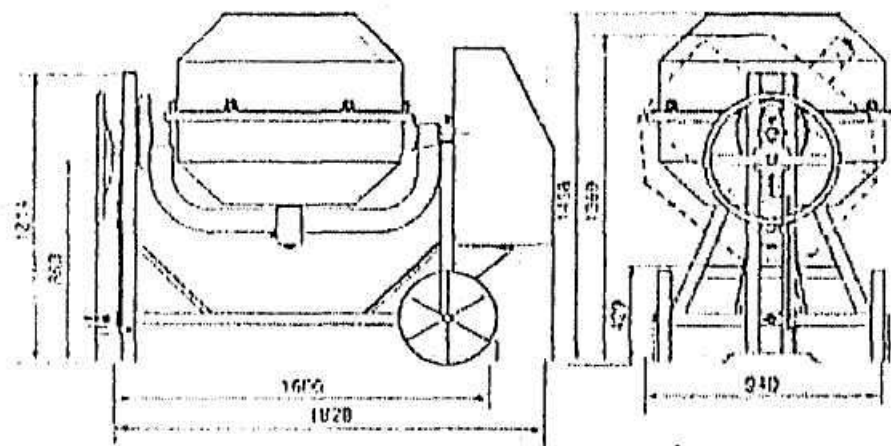


Figura 5.51

HORMIGONERA DE VOLTEO L320
Largo x ancho x alto 1828 mmx940 x 1458 mm
Capacidad del tambor 320 litros
Capacidad e mezclado 220 litros
Ciclos por hora 20
Producción por hora 44 m ³
Motor Eléctrico 2 HP tensión 220 V o 380 V
Motor Explosión 4,5 HP
Rotación del tambor 26 RPM
Peso aproximado, sin motor 215 kgrs.

Hormigonera sobre camión Liebherr de nueva generación:



Figura 5.52

5.4.5 ESCALERAS MECANICAS [3*]



Escaleras mecánicas en edificios.
Figura 5.53

Una **escalera mecánica** es un dispositivo de transporte, que consiste en una escalera inclinada, cuyos escalones se mueven hacia arriba o hacia abajo. Fue inventada en 1897 por Jesse Reno, en Nueva York, Estados Unidos. Charles Seeberger desarrolló aún más las ideas de Wheeler que, juntamente con la Otis Elevator Company, usaron las mejores ideas de Reno y de Seeberger. El resultado fue la creación de la escalera mecánica moderna.

La escalera mecánica transporta personas sin que tengan que moverse, ya que las huellas se mueven mecánicamente. Se usan para transportar con comodidad y rápidamente un gran número de personas entre los pisos de un edificio, especialmente en centros comerciales, aeropuertos, intercambiadores de transporte público (metro, autobuses urbanos), etc.

La dirección del movimiento (hacia arriba o hacia abajo) puede ser la misma permanentemente o bien controlada por empleados de acuerdo con el horario del día o controlada automáticamente, o sea, una persona que llega a la escalera mecánica por el piso de abajo haría que la escalera se moviera para arriba, y viceversa, una persona que llega a la escalera mecánica por el piso de arriba haría que la escalera se moviera para abajo.

En este caso, el sistema es programado para que el sentido de la escalera no pueda ser revertido mientras que una serie de sensores detectan que hay personas usando la escalera mecánica.

Las normas de seguridad actuales son muy rigurosas a fin de evitar accidentes en el uso de éstas máquinas. Para minimizar la posibilidad de atrapamientos, fundamentalmente en la zona de pasamanos y en las salidas al exterior, se instalan mecanismos de seguridad que detienen de forma inmediata el funcionamiento al detectar presencia del usuario.

También el diseño se ha visto influenciado de manera progresiva por las medidas de seguridad y ya se contempla desde el inicio formas y medidas que eviten la accesibilidad de las personas a zonas de peligro. Su gran capacidad las hace imprescindibles en grandes almacenes, aeropuertos, estaciones y muchos otros lugares.

Campo de aplicación de escaleras mecánicas y rampas móviles

Las escaleras mecánicas y rampas móviles permiten un constante flujo de personas, incluso en el caso de altos volúmenes de transporte. En el sector comercial, los clientes deben llegar a conocer todas las plantas del comercio. Las escaleras mecánicas, por tanto, contribuyen al incremento de ventas.

En el transporte público las escaleras mecánicas garantizan un rápido transporte de los usuarios en caso de circulación densa.

Las rampas móviles tienen las mismas ventajas que las escaleras mecánicas, ofreciendo, sin embargo, el atractivo adicional de poder transportar cómodamente maletas, carritos de equipaje o de compra, así como cochecitos de niños.

Capacidad de transporte - Escaleras mecánicas y rampas móviles ^[3*]

Partiendo de la base de unas escaleras mecánicas/rampas móviles a plena carga, resultan las siguientes capacidades de transporte teóricas:

		Escaleras Mecánicas		
		Pers./h con 0,5 m/s	Pers./h con 0,6 m/s	Pers./h con 0,65 m/s
Ancho de peldaño	600 mm	4.500	5.400	5.850
Ancho de peldaño	800 mm	6.750	8.100	8.775
Ancho de peldaño	1000 mm	9.000	10.800	11.700
		Rampas Móviles inclinadas		
		Pers./h con 0,5 m/s	Pers./h con 0,6 m/s	Pers./h con 0,65 m/s
Ancho de tablilla	800 mm	6.750	8.100	8.775
Ancho de tablilla	1.000 mm	9.000	10.800	11.700
		Rampas móviles horizontales		
		Pers./h con 0,5 m/s	Pers./h con 0,65 m/s	Pers./h con 0,75 m/s*
Ancho de tablilla	800 mm	6.750	8.775	10.150
Ancho de tablilla/cinta	1.000 mm	9.000	11.700	13.500
	1.200 mm	10.800	14.040	-
	1.400 mm	12.600	16.380	-

* 0,65 m recomendado

Aspectos a tener en cuenta

- Concepto arquitectónico.

- Lugar de instalación y dirección del flujo de circulación.
- Intensidad de circulación.
- Utilización del edificio (comercial, transporte público).
- Exigencias especiales por parte del cliente.

Las siguientes disposiciones son posibles

Instalación individual:

La instalación individual sirve de unión entre dos plantas. Indicada para edificios con circulación de personas, primordialmente unidireccional. Dicha disposición permite la adaptación al flujo de circulación (por ej. en direcciones ascendente por las mañanas y en dirección descendente por las tardes).

Disposición continua (circulación unidireccional):

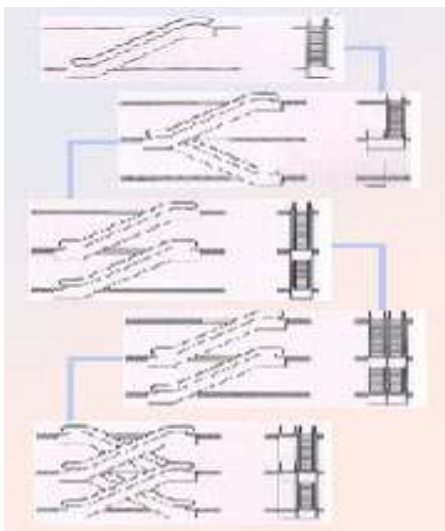
Este tipo de disposición se emplea principalmente en almacenes pequeños para unir tres plantas comerciales. Esta variante requiere más espacio que la disposición interrumpida.

Disposición interrumpida (circulación unidireccional):

Resulta algo incómoda para el usuario, para el propietario de unos grandes almacenes, sin embargo, ofrece la ventaja de poder guiar a los clientes hasta la próxima escalera mecánica o rampa móvil de manera que pasen delante de escaparates publicitarios especialmente dispuestos.

Disposición paralela, interrumpida (circulación en ambas direcciones):

Esta variante se emplea principalmente en almacenes y edificios de transporte público, con



niveles altos de circulación de usuarios. En caso de existir tres o varias escaleras mecánicas/rampas móviles el sentido de marcha debería poder variarse según las necesidades de circulación. Este tipo de instalación constituye una solución económica, ya que permite suprimir los revestimientos laterales interiores

Disposición cruzada, continua (circulación en ambas direcciones):

Esta variante se emplea principalmente para grandes almacenes, edificios públicos y de transporte público, en los que los intervalos de transporte a través de varias plantas deben mantenerse lo más cortos posibles.

La máquina accionadora

Generalmente esta situada en la cabecera, pero también puede estar dentro de la banda de peldaños o, en caso de grandes alturas de transporte, fuera del cuerpo de la escalera, debajo o detrás de la cabecera superior.

Consta de una rueda dentada epicicloidal o helicoidal con motor y freno, que acciona el eje de las ruedas de las cadenas de los peldaños mediante una cadena, un tren de engranajes epicicloidales o una correa trapecial.

La conexión de corriente para la escalera

Las escaleras mecánicas se proveen para conectarlas a corriente trifásica de 380 V (red de 4 conductores). Los conductores de alimentación hasta la escalera o el panel de mando esta fuera de la escalera o el panel de mando, cuando éste esté aparte, debe tenderlos el constructor.

Si el panel de mando esta fuera de la escalera, debe preverse un tubo vacío de unos 10 cm de diámetro como alojamiento de los circuitos de control y fuerza desde el panel hasta la escalera.

En la siguiente tabla se vera valores de referencia de las intensidades de corriente absorbidas por motores para escaleras mecánicas, y, de las secciones de los conductores de alimentación.

Altura de Transporte	Corriente necesaria en		Secc. De los conductores	Tamaño fusibles
	Servicio	Arranque		
m	Amp.	Amp.	mm ²	Amp.
3,0	20	70	6	25
4,0	22	88	6	35
5,0	26,5	100	6	35
6,0	31	115	10	50
7,0	34,5	130	10	50
8,0	39,5	150	10	50
9,0	43	160	16	60
10,0	47	180	16	60

Cuadro 5.10

5.4.6 ASCENSORES. ^[11*]

INTRODUCCION

El transporte vertical tiene sus orígenes con la necesidad del ser humano de facilitar el trabajo de transporte de objetos y personas a posiciones en niveles superiores.

Este tipo de transporte es igual de importante que el transporte horizontal ya que con este también se pueden transportar todo tipo de objetos incluyendo personas con relativa facilidad y poca utilización de trabajo.

Las formas de transporte vertical mas difundidos y cotidianos es el uso del ascensor, escaleras mecánicas y plumas



Figura 5.55

ASCENSORES ^[3]

Los ascensores son elementos de transporte vertical de personas y carga. Debe tomarse muy en cuenta que los ascensores son instalaciones de larga duración ya que la vida útil de estos elementos oscila entre 25 y 40 años por lo que esos deben proyectarse de forma responsable de manera que cubran las necesidades crecientes al cabo de 10 a 20 años. En el caso de ascensores proyectados incorrectamente o demasiado económicos (sin considerar el crecimiento de las necesidades de uso), las modificaciones son generalmente demasiado caras o imposibles de hacer, debido al estrecho ajuste de la instalación con el edificio.

A continuación se muestra un esquema básico y usual de las partes que componen un ascensor:

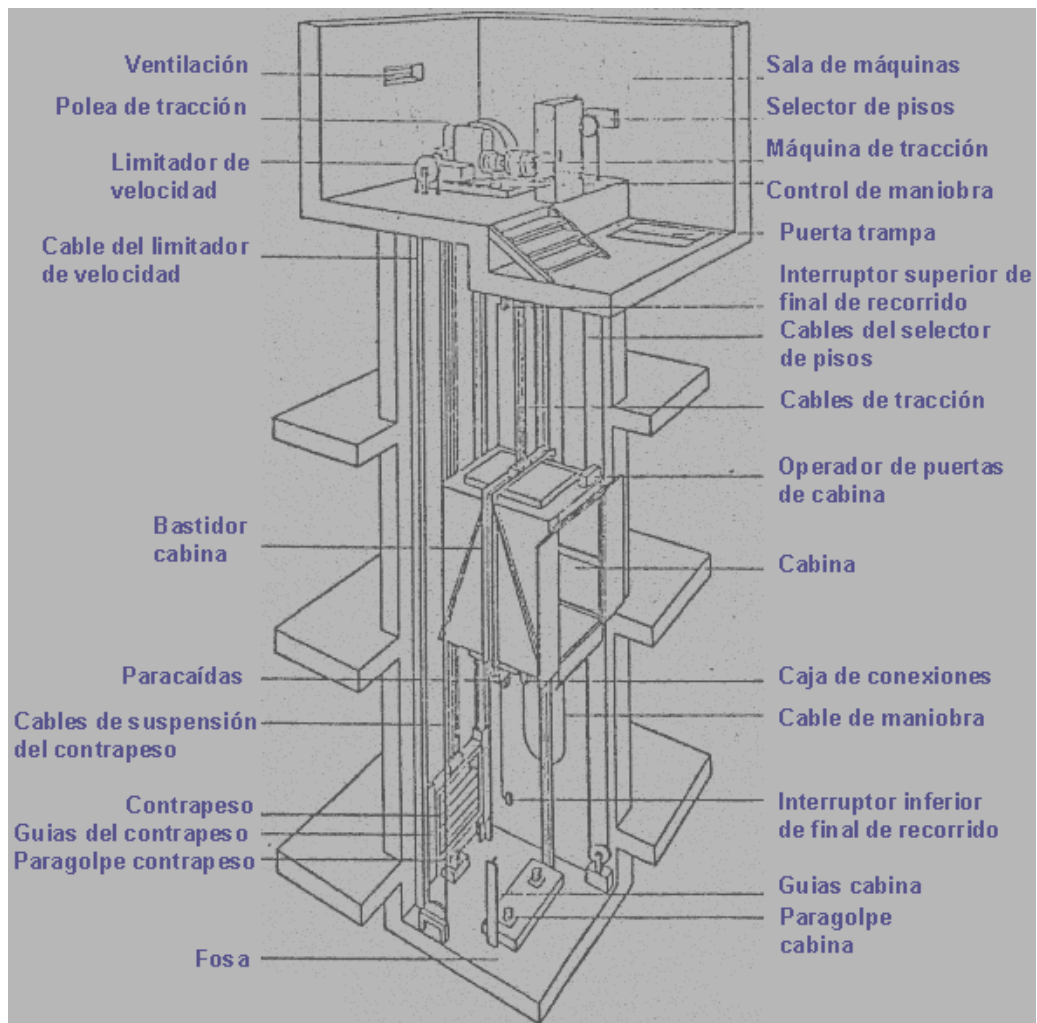


Figura 5.56

Disposición de los ascensores dentro de la construcción

Constitución

Un ascensor moderno consiste en una cabina sujeta por una armadura ó chasis que se mueve verticalmente (o casi verticalmente) por un hueco dispuesto dentro o en la parte exterior de un edificio y movido por un motor, que antiguamente fue de vapor.

En el proyecto se debe tener en cuenta el volumen y las condiciones de tráfico. Los ascensores se reúnen en grupos en la caja principal de escaleras. En las cajas secundarias solo se pone un ascensor para viajes individuales complementados cuando son necesarios por un montacargas. En edificios de gran extensión se puede poner grupos de ascensores separados debe procurarse siempre una repartición simétrica de los puntos de ascensores. En los edificios elevados debería proveerse una distribución por zonas atendiendo a los tiempos de vaciado y llenado de los edificios, en el caso de ascensores para personas el

mayor flujo durante la entrada al edificio se produce en la planta baja, por lo que debe proveerse una antesala suficientemente grande. También debe procurarse que exista un relleno de tamaño adecuado en las restantes paradas sobre todo para montacargas y portacamillas, de manera que puedan sacarse con facilidad tanto las carretillas como las camillas.

Ascensor eléctrico

Consta de una cabina, que se desliza por unas guías muy parecidos a los rieles de trenes, colgada por unos cables de una polea superior y equilibrada con un contrapeso. Se mueve con un motor electrónico. La Normativa impone que el tamaño de la cabina será tal que no quepan en ella más personas de aquéllas cuyo peso es capaz de mover.

El contrapeso no cambia cada vez que se quiere generar un movimiento para arriba o para abajo, por lo cual cuando el ascensor viaja sin carga, es cuando el motor produce el mayor torque (fuerza), de lo contrario cuando abordan pasajero la cabina, se comienzan a equilibrar los pesos entre contrapeso y cabina, esforzando en menor medida el motor del ascensor.

Clases de instalaciones de ascensores para personas

El edificio y su finalidad determina el tipo básico de ascensores que debía instalarse, para ello se tiene:

Para edificios de viviendas con 2 a 5 pisos de utilizan los llamados ascensores de viviendas que tienen una capacidad de carga de 300 kg. (4 personas), velocidad $V = 0.5$ m./seg. ó una capacidad de carga de 450 kg. (6 personas) con una velocidad $V = 0.8$ m./seg. y 0.2 m./seg. Como velocidad de llegada.

Para casas altas de viviendas se usaran ascensores de cabinas en profundidad mínimo 90 cm. de anchura y 2.10 cm. de profundidad (transporte de camillas) con una capacidad de carga de: 900 kg. (12 personas) con una velocidad $V = 0.8$ a 1.5 m./seg. Para exigencias menores hasta una cabina del mismo tamaño pero con capacidad de carga igual a 450 kg. (6 personas) con puerta en la propia cabina y una velocidad máxima de 0.8m./seg. y 0.2 m./seg. como llegada.

Para edificios de oficinas por lo menos un ascensor para discapacitados y personas ancianas o discapacitadas. En edificios de más de dos plantas prever siempre uno o varios ascensores. Cabinas lo más anchas posible para acelerar la entrada y salida.

En rascacielos de oficinas, un ascensor de cabina en profundidad por lo menos, para transporte de mercancías o de una cabina, si existe un intenso tráfico entre las plantas, hay que prever ascensores continuos. Estos solo están permitidos cuando existe en su proximidad inmediata un ascensor para el uso de personas ancianas o delicadas.

Cálculo de tráfico para ascensores de personas:

se debe averiguar el número necesario de ascensores su carga y su velocidad, para una determinada capacidad de transporte.

Para hacer un cálculo exacto del tráfico hay que tener en cuenta todas las variables que determinen la capacidad de transporte, lo cual supone una gran experiencia práctica sobre las necesidades de los distintos tipos de edificios.

Bases del cálculo:

A modo de práctica se desarrolla el siguiente cálculo de tráfico para dar valores orientativos al proyectista.

Datos del edificio:

número de plantas, número de paradas y altura de transporte, además superficie de las plantas para determinar aproximadamente la cantidad de personas que las ocupan (como término medio una persona cada 10 m²)

Otros datos sobre el edificio:

que pueden influir sobre la capacidad de transporte, por ejemplo es el tipo y finalidad, desarrollo del tráfico, número de personas que ocupan el edificio, tráfico de visitantes, atención de la cantina (si es posible solo en la última planta o primera parada, horas de entrada y salida en los edificios, tráfico entre plantas y transportes ocasionales de carga).

Capacidad de transporte necesario.-

Una vez conocido a partir de las averiguaciones hechas, el tráfico de personas en el edificio, el punto de partida para los cálculos es el número de personas durante un periodo de máxima intensidad. Este punto suele durar unos 20 minutos (tiempo de llenado o de vaciado).

El tiempo medio de espera (no superior a 60 seg.) constituye junto con el tiempo de llenado o de vaciado la base para equipar adecuadamente el edificio con ascensores. Esta base debe verificarse mediante cálculos de comprobación posteriores. El tiempo de llenado de vaciado puede mejorarse o fijarse según las exigencias, aumentando la capacidad de transporte o escalonando las horas de comienzo. El tiempo medio de esperar se puede disminuir aumentando el número de ascensores y/o la velocidad de funcionamiento, en el siguiente ejemplo de cálculo simplificado del tráfico se ha tomado como punto de intensidad la totalidad de personas que ocupan el edificio.

Ejemplo:

Edificio de oficinas con 12 plantas, altura de transporte 38.5 m, número de personas 360, tiempo de vaciado 20 minutos.

Determinación de la capacidad de transporte necesaria “F” en personas por minuto

$$F = \frac{\text{personas durante la punta de tráfico}}{\text{tiempo de vaciado en minutos}} \quad (5.40)$$

$$F = \frac{360}{20} = 10 \text{ personas / min.}$$

Elección del tamaño de los ascensores y de la velocidad de funcionamiento.-

Estos valores tan solo son de referencia para la estimación de la capacidad de transporte en personas/min. , para plantas con una altura máxima de 3,5 m y aproximadamente igual numero de personas en todas las plantas.

Numero de planta	P capacidad de carga (personas / ascensor)											
	4 personas			8 personas			10 personas			15 personas		
	v velocidad de funcionamiento (m/s)											
	0,5	0,8	1,0	0,8	1,0	1,5	1,0	1,5	2,5	1,5	2,5	3,5
	F capacidad de transporte (pers. / min.)											
4	3,5	3,8	4,0	5,1	5,3	5,7						
5	3,0	3,3	3,5	4,4	4,7	5,0	7,0					
6	2,6	2,9	3,2	4,0	4,2	4,6	6,3	7,3				
7		2,7	2,9	3,6	3,9	4,3	5,7	6,8	7,5			
8			2,7	3,3	3,6	4,0	5,3	6,3	7,0	8,2		
9				3,1	3,3	3,8	4,9	5,9	6,6	7,7	8,4	
10					3,1	3,6	4,6	5,5	6,3	7,2	8,0	
11					3,0	3,4	4,3	5,2	6,0	6,9	7,7	8,1
12						3,2	4,1	5,0	5,7	6,6	7,3	7,8
13							3,9	4,8	5,5	6,3	7,0	7,5
14							3,7	4,6	5,3	6,0	6,8	7,3
15								4,2	5,1	5,8	6,6	7,1

Cuadro 5.11 ³

Para nuestro ejemplo:

P = 10 personas (750 kg.)

v = 1,5 m/s

F_{total} = 5 pers./min. (calculado)

Determinación del numero de personas necesario “n”

$$n = \frac{\text{capacidad_de_transporte_necesario_}(pers/min)}{\text{capacidad_de_transporte_de_un_escensor_}(pers/min)} \quad (5.41)$$

$$n = \frac{18}{5} = 3,6$$

* Se ponen 3 ascensores con F = 15 pers./min.

Determinación del tiempo efectivo de vaciado “t_e”

$$t_e = \frac{\text{personas_en_la_punta_de_trafico}}{\text{capaciada_de_tyransporte_total_}(pers./min.)} \quad (5.42)$$

$$t_e = \frac{360}{15} = 24 \text{ min.}$$

Determinación del tiempo medio de espera (≤ 60seg) t_w

$$t_w = \frac{\text{capacidad_de_un_ascensor_}(pers.)}{\text{capaciada_de_personas_total_}(pers./min.)} * 60 = \frac{P}{F_{total}} * 60 \quad (5.43)$$

$$t_w = \frac{10}{15} * 60 = 40 \text{ seg.}$$

Nota: se multiplica por 60 para convertir minutos a segundos.

Capacidad de transporte de ascensores continuos (pers./in).-

El ascensor continuo trabaja ininterrumpidamente, por lo cual no existen tiempos muertos de entrada y salida. La capacidad de transporte practica F (75% de la teórica) se calcula de la siguiente manera:

$$F = \frac{\text{personas / cabina} * \text{velocidad_de_funcionamiento}}{\text{dis tan cia_entre_los_suelos_de_dos_cabinas}} * 60 * 0,75 \quad (5.44)$$

Si se toma dos personas por cabina y una velocidad de funcionamiento v = 0,3 m/s se obtiene, para diferentes distancias l (en metros.) entre suelos, las siguientes capacidades de transporte F (pers./min.)

l	3,8	3,9	4	4,1	4,2	4,3	4,4	4,5	4,6	4,7
F	7	6,9	6,75	6,55	6,4	6,25	6,1	6	5,85	5,75

Cuadro 5.12

Como al planificar se conoce la distancia entre pisos del edificio pero no las distancias entre suelos de las cabinas, se calcula en primera aproximación con una capacidad de transporte de 6,5 pers./min.

Elevadores Minusválidos ^[8*]

Los elevadores son una gran ayuda para los minusválidos, ya que les ayudan en gran parte a realizar sus tareas cotidianas. Hay elevadores de minusválidos para escaleras, donde se instalan al lado de la pared del edificio, por lo que hay un espacio especial para poner una silla para poder subir al minusválido, y la otra parte de la escalera deja un espacio libre para poder subir a pie. También existen elevadores para viviendas unifamiliares, que se instalan como si fuera un ascensor normal y corriente.

Hay muchos tipos de elevadores para minusválidos, como plataformas elevadoras, elevadores de escaleras y ascensores verticales.



Los elevadores de sillas de ruedas son una gran ayuda para los minusválidos, ya que ayudan a evitar escaleras y son muy fáciles de instalar.

Además vienen con sistemas de protección para que puedan apoyarse, aunque es un sistema muy seguro. Este es uno de los tipos de elevadores para minusválidos y se pueden instalar en cualquier sitio.

Figura 5.57



Hay muchas empresas que instalan este tipo de elevadores de sillas de ruedas, son muy fáciles de instalar y además ayudan a las personas que lo necesiten.

Este es un tipo de elevador para minusválidos, aunque también hay elevadores para escaleras o elevadores verticales. Puedes elegir entre varios tipos de elevadores ya que depende de tus necesidades, puedes elegir el que mejor se adapte a tu casa.

Figura 5.58

Elige el que más se adapte a tus necesidades y elimina las barreras que te impiden hacer una vida normal.



También existen otros tipos de elevadores para minusválidos, como una plataforma en la cual también se puede acceder con silla de ruedas.

Esta plataforma es muy parecida a la de un ascensor convencional, y se puede instalar, como se ve en la fotografía, fuera de una casa accediendo por una puerta la cual entra en el domicilio.

Figura 5.59



Este tipo de elevador para minusválidos, va protegido contra la lluvia o otros fenómenos atmosféricos, ya que esta cubierto completamente.

Hay otros tipos de plataformas, que también se pueden utilizar en las escaleras. Las hay de dos tipos, para silla de ruedas y sin silla de ruedas.

Figura 5.60

Las plataformas para sillas de ruedas, se instalan en un lado de la escalera, con dos carriles para que se desplace la plataforma; una vez llega a un extremo de la escalera se adapta a ras de suelo para poder salir libremente.

Una de las ventajas que tiene es que se puede plegar para ocupar menos espacio.

Como hemos dicho antes, también hay plataformas para poder ir sentado en un asiento. Este tipo de plataforma es parecido al anterior, aunque los dos se pueden adaptar a escaleras rectas, como escaleras curvas.

Figura 5.61



También tienen dos carriles de sujeción, para ir desplazándose hacia arriba o hacia abajo. La ventaja de esta plataforma, es que se puede ir sentado como en silla de ruedas, ya que el asiento se pliega para poder acceder con silla de ruedas.



Existen también sillas elevadoras, que también hacen esta función.

Este tipo de sillas, hacen la misma función que las plataformas, y se instalan también a un lado de las escaleras. También se pueden plegar para ocupar menos espacio.

Hay muchos tipos de elevadores para minusválidos, y cada uno hace una función diferente. Este tipo de elevadores es lo mejor que puedes tener, para estar a gusto en tu propia casa.

Figura 5.62

Elige el que más se adapte a tus necesidades y elimina las barreras que te impiden hacer una vida normal.

5.4.7 MONTACARGAS.



Figura 5.63

Los montacargas están diseñados para satisfacer necesidades de transporte vertical de mercancías, que pueden ir acompañadas de personas.

Una amplia gama de posibilidades tanto con accionamiento eléctrico como hidráulico y prestaciones técnicas con múltiples posibilidades. Acabados en cabina con materiales de alta resistencia a golpes y rozaduras.

5.4.7.1 CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL MOTOR PARA PLENA CARGA ^[6]

No es un método muy preciso, haciendo una comparación con otros métodos más exactos de determinación de la potencia, se observa que con este método se obtienen valores elevados en aparatos de elevación y algo escasos en vehículos (traslación).

a) Aparatos de elevación sin contrapeso

El problema que se plantea es el de elevar una carga de **Q [Kg.]**, desplazándose con una velocidad de **v [m/seg.]**; la potencia que debe desarrollar la máquina en esta situación es:

$$P = Q * v [\text{Kg m/seg.}] \quad (5.45)$$

Si llamamos η al rendimiento de la máquina, la potencia del motor se puede escribir como:

$$P = \frac{Q * v}{\eta} [\text{Kg} * \text{m} / \text{seg}] \quad (5.46)$$

como 1 [Kg m/seg.] equivale a 9,81 [w.], resulta:

$$P = \frac{Q * v}{102 * \eta} [\text{Kw.}] \quad (5.47)$$

el par motor será igual a:

$$P = M * n \quad (5.48)$$

$$P = M * \frac{2 * \pi}{60} * n$$

$$M = \frac{P}{n * \frac{\pi}{30}} [\text{Nm} * \text{m.}] = \frac{P}{n * \left(\frac{\pi}{30} * 9,81 \right)} [\text{m} * \text{Kg.}]$$

$$M = 975 * \frac{P}{n} [\text{m} * \text{Kg.}] = 9,55 * \frac{Q * v}{n * \eta} [\text{m} * \text{Kg.}] \quad (5.49)$$

donde **P** es la potencia del motor en [Kw.] y **n** es la velocidad de giro en [r.p.m.]

b) Aparatos de elevación con carga equilibrada

Ascensores por ejemplo, en los que la carga aparece equilibrada con otra que se denomina contrapeso.

Potencia del motor:

$$P = \frac{Q * v}{102 * \eta} * (1 - a) \quad (5.50)$$

Par motor:

$$M = 9,55 * \frac{Q * v}{n * \eta} (1 - a) \quad (5.51)$$

Siendo:

$$a = \frac{G_1 - G}{Q} \quad (5.52)$$

factor de equilibrado de la carga.

Donde:

G₁: representa el contrapeso.

G: representa el peso muerto del lado de la carga (en un ascensor, el peso de la cabina + el marco de suspensión).

5.4.7.2 MECANISMO DE TRASLACIÓN.-

Siendo **G** el peso total de las masas en movimiento y **R**= (Kg/Kg) la resistencia de rodamiento, el esfuerzo de tracción necesario, será igual a:

$$F_t = G * R [Kg.] \quad (5.53)$$

Suponiendo una velocidad de desplazamiento **v** [m/seg.], se obtienen las fórmulas siguientes:

Potencia del motor:

$$P = \frac{F_t * v}{102 * \eta} [Kw.] \quad (5.54)$$

Par motor:

$$M = 975 * \frac{P}{n} = 9,55 * \frac{F_t * v}{n * \eta} [m * Kg.] \quad (5.55)$$

Después de calcular la Potencia y el par del motor con las fórmulas anteriores, queda comprobar si la potencia del motor es suficiente para las máximas condiciones de carga; por ejemplo habría que comprobar el par de arranque para una carga de prueba.

Ejemplo

Sea una carga de 1000 Kg. que debe ser elevada con una velocidad $v=1$ [m/seg.]. El rendimiento del mecanismo es $\eta=0,85$ y la velocidad de giro es de $n=850$ r.p.m. Calcular la potencia y el par que desarrollará el motor.

Potencia:

$$P = \frac{Q * v}{102 * \eta} = \frac{1000 * 1}{102 * 0,85} = 11,5.[Kw.]$$

Par motor:

$$M = 9,55 * \frac{Q * v}{n * \eta} = 9,55 * \frac{1000 * 1}{850 * 0,85} = 13,2..[m * Kg.]$$

UNIDAD N° 6

CENTRALES ELECTRICAS

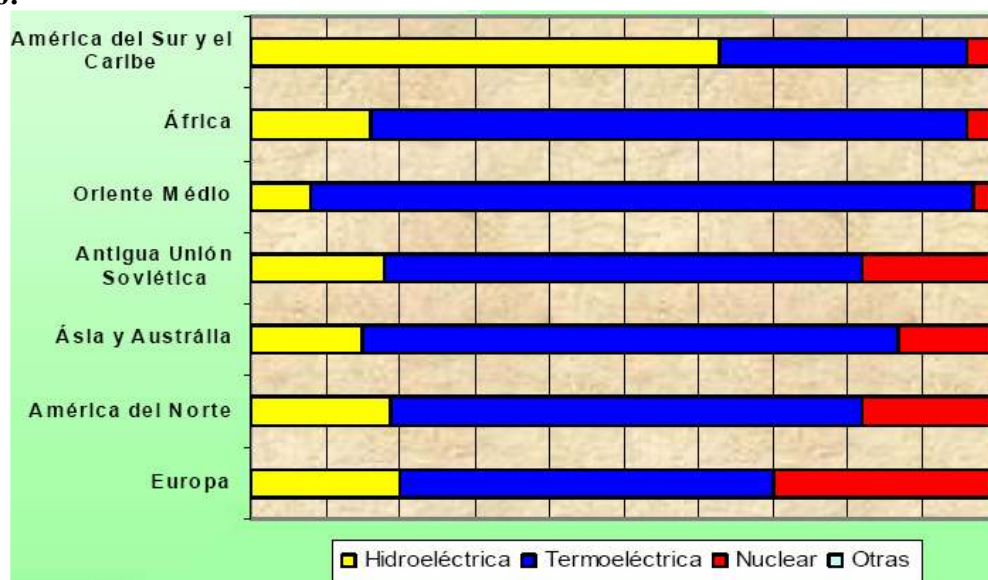
6.1 INTRODUCCION

En un sistema eléctrico existen conjuntos de elementos pasivos y activos que tienen la función de proporcionar:

Energía Eléctrica, industrial y domiciliaria, consta de cuatro partes Generación, transmisión, distribución y utilización

6.2 CENTRALES Y PRODUCCIÓN ELECTRICA ^[2*]

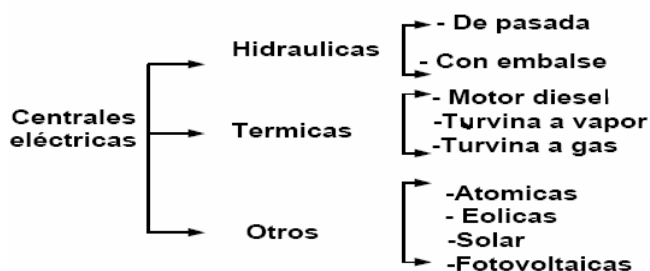
Figura 6.1.- Generación mundial de energía eléctrica en relación al tipo de central usado:



Fuente: Programa Naciones Unidas para el Desarrollo – PNUD 2005

6.2.1 SISTEMAS DE PRODUCCIÓN ELECTRICA

Conjunto de equipos encargados de transformar cualquier tipo de Energía en Energía Eléctrica entre los más importantes tenemos:



6.2.2 CARACTERISTICAS GENERALES DE UNA CENTRAL HIDRÁULICA ^[10]

Altura de Salto aprovechable

En las centrales Hidráulicas no se aprovecha toda la altura del salto; existen pérdidas de altura por diversas causas que estudiaremos seguidamente, de lo que resulta que en todos los casos, la altura disponible no corresponde a la altura total. Llamaremos salto total a la diferencia de las cotas máxima y mínima del salto correspondiente, respectivamente, al sitio donde se inicia el salto y al sitio donde se realiza el desagüe; salto bruto o salto disponible a la diferencia de niveles de agua entre la cámara de presión y el final del tubo de aspiración; salto neto al efectivamente utilizado por las turbinas.

Ante todo, la superficie de las aguas remansadas por la presa no es horizontal, sino que forma una curva cuya pendiente va disminuyendo a medida que nos acercamos a la presa. De manera que, desde la superficie del agua en contacto con la presa, a la superficie de aguas en el enlace de la curva de remanso con la corriente primitiva, hay un desnivel, que se pierde en el total del salto; a este desnivel le llamaremos pérdida debida al remanso que indicaremos por h_1 .

Desde la presa el agua entra en el canal de derivación; y al pasar por todos los elementos constructivos de este, sufre pérdidas de nivel, variables según las circunstancias de pendiente, sección en contacto con el agua, rugosidad de las paredes, etc.... tendremos por lo tanto, una pérdida en el canal, que denominaremos h_2 .

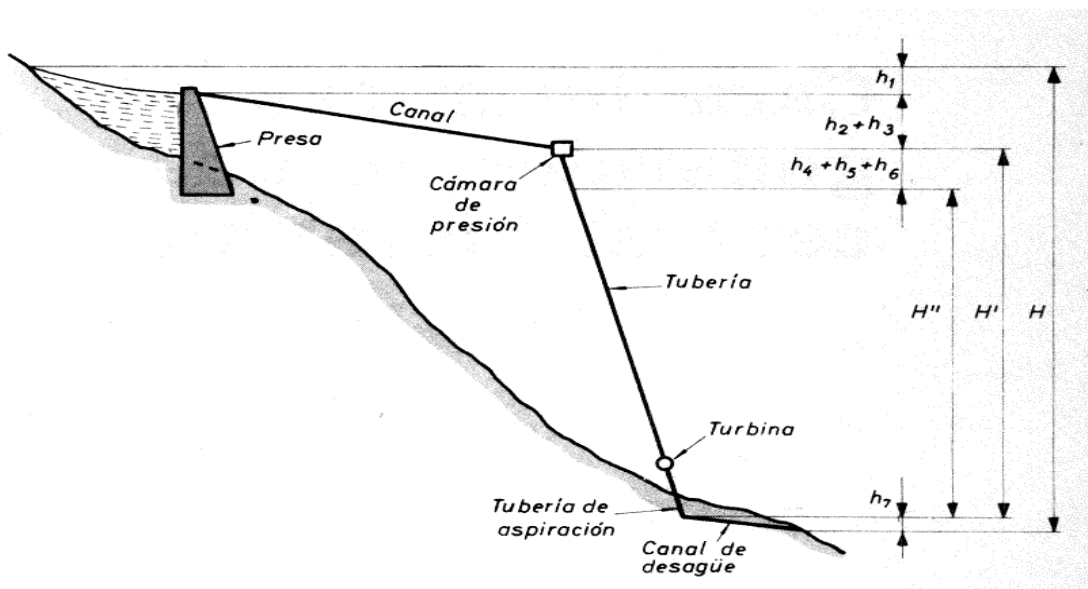


Figura 6.2 Representación esquemática de la altura de salto aprovechable: h_1 -pérdida debida al remanso; h_2 -pérdida en el canal; h_3 -pérdida en la cámara de presión; h_4 -pérdida en la tubería; h_5 -pérdida en la turbina; h_6 -pérdida en el tubo de aspiración; h_7 -pérdida en el canal de desagüe; H -altura de salto total; H' -altura de salto bruto; H'' -altura de salto neto.

En la cámara de presión (o, en su caso, en la chimenea de equilibrio), se dispone una rejilla para detener los cuerpos flotantes e impedir su entrada en la tubería de presión; al atravesar esta rejilla, el agua sufre un rozamiento que equivale a una pérdida de altura y a la que llamaremos pérdida en la cámara de presión, representada por h_3 .

Desde la cámara de presión, el agua entra en la tubería forzada y en esta se producen nuevas pérdidas por rozamiento, cambios de sección, cambios de dirección, etc... englobadas bajo la denominación general de pérdida en la tubería y representada por h_4 .

Al final de la tubería de presión, el agua entra en las tuberías que, como toda máquina motriz, tienen un rendimiento inferior a la unidad, es decir, que en ellas se producen pérdidas de potencia debidas a los rozamientos, mal aprovechamiento de la energía cinética del agua, etc... Englobamos todo ello con el nombre de pérdida en la turbina, representada por h_5 .

También en el tubo de aspiración de la turbina existen pérdidas por rozamientos y otras causas, a las que denominaremos, por h_6 .

Finalmente, en el canal de desagüe y por causas parecidas, hay una pérdida en el canal de desagüe representado por h_7 .

Ahora, llamaremos:

H = altura de salto total

H' = altura de salto bruto

H'' = altura de salto neto

De acuerdo con lo dicho, tendremos:

Altura de salto bruto:

$$H' = H - (h_1 + h_2 + h_3 + h_7)$$

Altura de salto neto:

$$H'' = H - (h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6 + h_7)$$

O bien en función del salto bruto

$$H'' = H' - (h_4 + h_5 + h_6)$$

Potencia de un salto de agua

La potencia de un salto de agua podemos considerarla bajo dos aspectos:

Por una parte, es el trabajo realizado durante un segundo por una masa de agua o caudal que pasa de una posición superior a otra posición inferior.

Por otra parte, es la energía correspondiente a la misma unidad de tiempo, de la velocidad que el agua puede adquirir en las turbinas como consecuencia de la presión a que esta sometida en ellas.

Si llamamos Q al caudal en metros cúbicos por segundo de un salto de agua y H' al salto bruto o salto disponible, la potencia teórica del salto de agua, vendrá expresada por:

$$P_T = 1000 Q H' \text{ kilogrametros / segundo}$$

Para deducir esta formula, recordemos que la energía potencial de una masa de q litros de agua a h metros de altura esta expresada por:

$$e = q h \text{ kilogrametros}$$

y como

$$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ litros}$$

si expresamos la masa o caudal Q en metros cúbicos, esta energía vale

$$e = 1000 Q h \text{ kilogrametros}$$

aplicando a nuestro caso y recordando que la potencia no es mas que el trabajo por segundo, tenemos finalmente

$$P_T = 1000 Q H' \text{ kilogrametros / segundo}$$

y, si expresamos la potencia en CV

$$P_T = \frac{1000 * Q * H'}{75} [CV]$$

6.2.2.1. ELEMENTOS DE UNA CENTRAL HIDRÁULICA ^[10]

Los elementos constructivos que constituyen una central hidráulica; son :

1. Presa.
2. Canal de derivación.
3. Cámara de presión o chimenea de equilibrio.
4. Tubería de presión.
5. Cámara de turbinas.
6. Canal de desagüe.
7. Casa de maquinas.

Presa

Se llama presa, en general, a una construcción que se levanta en el lecho del río para atajar el agua, produciendo una elevación de su nivel que permite la derivación de ella, o bien para almacenar el agua regulando el caudal del río.

El criterio utilizado para clasificar las presas, desde un punto de vista electricista será por el material de que están construidas. De acuerdo con este criterio, las presas pueden clasificarse como sigue:

I Presas constituidas por materiales incoherentes que se mantienen unidos por su peso, consiguiéndose la impermeabilidad por apelmazamiento del material mediante apisonamiento, sedimentación, etc..., o por una pantalla de fabrica dispuesta junto al paramento de aguas arriba o en el interior de la presa. En este grupo están comprendidas.

- a) presas de tierra
- b) presas de escollera
- c) presas mixtas de tierra y escollera

II Presas constituidas por materiales coherentes que, a la vez, proporcionan impermeabilidad y resistencia al conjunto. En este grupo, se comprenden:

- a) presas de sillería
- b) presas de mampostería
- c) presas de hormigón armado

Presas de tierra y escollera

Generalmente para aprovechamientos hidroeléctricos se utilizan las presas mixtas, constituidas por tierra, escollera y una capa impermeabilizada situada en el paramento de aguas arriba.

La escollera constituye el macizo estabilizador de la presa. La capa impermeabilizadora esta constituida generalmente por una pantalla de hormigón en masa o armada situada, en el paramento de aguas arriba o, en otros casos, situada en la parte central del macizo. Otras veces se emplea la arcilla apisonada.

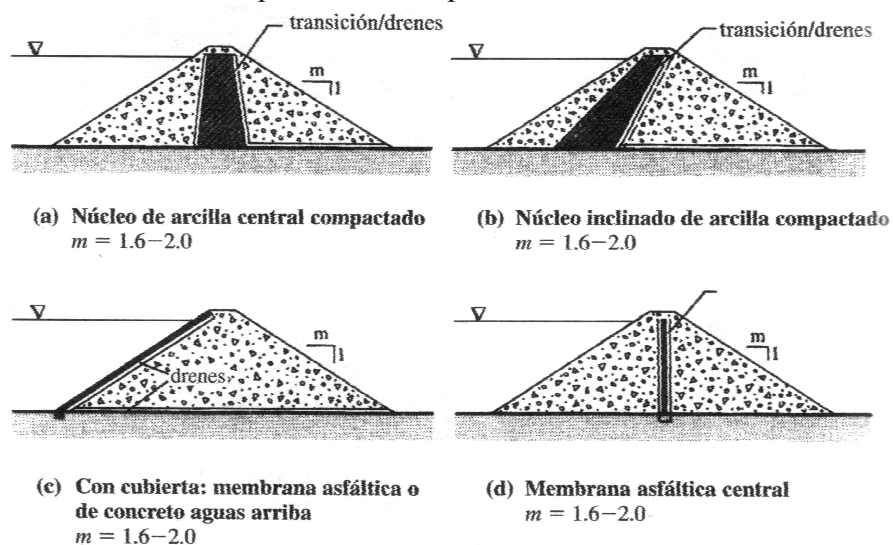


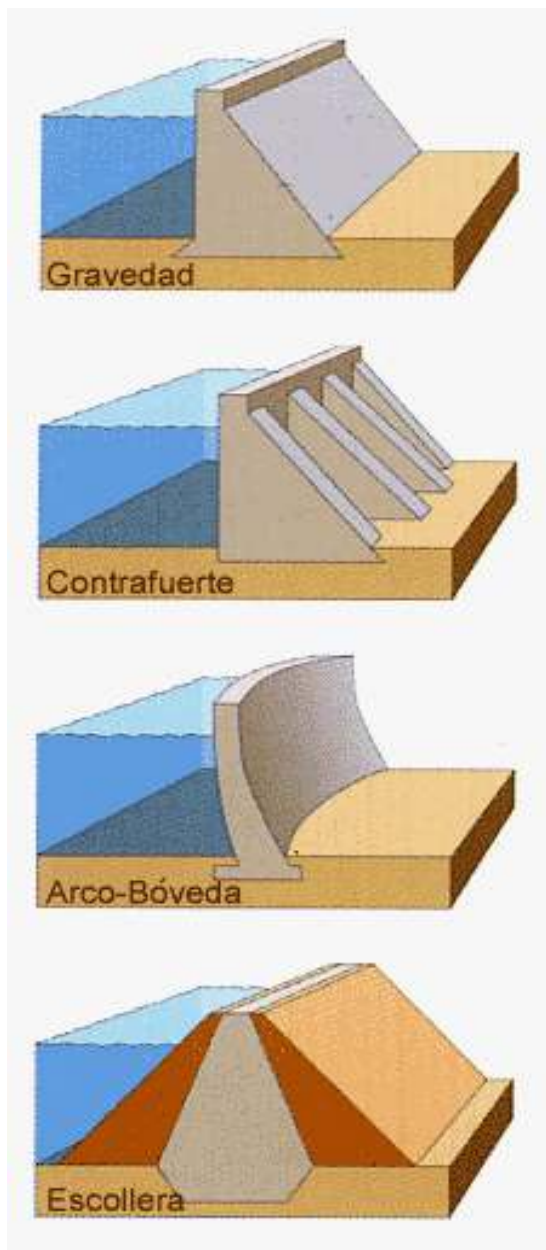
Figura 6.3

Presas de hormigón armado

Son las mas frecuentemente empleadas en los aprovechamientos hidroeléctricos, ya sea como presas de derivación o como presas de embalse.

Estas presas requieren una cimentación sobre roca sana, resistente e impermeable;

la falta de alguna de estas circunstancias o el precio de su coste, superior en muchos casos al de otros tipos de presas, es lo que determina la elección de otra clase de presas; para alturas inferiores a unos 40 m suelen resultar mas económicas las presas de tierra y escollera pero, para mayores alturas, las presas de hormigón pueden resultar mas económicas debido a que los taludes que hay que dar a las presas de tierra y escollera, aumentan mucho su volumen y, por lo tanto, su precio.



Presas de hormigón armado:

1. Presas de gravedad.
2. Presas de arco sencillo.
3. Presas de arcos múltiples.
4. Presas de contrafuertes.

Figura 6.4 Tipos de presas.

De gravedad, que retienen el agua gracias al tipo de materiales empleados, como mampostería u hormigones.

De contrafuerte, formadas por una pared impermeable situada aguas arriba, y contrafuertes resistentes para su estabilidad, situados aguas abajo.

De arco-bóveda, que aprovechan el efecto transmisor del arco para transferir los empujes del agua al terreno.

De tierra o escollera, con un núcleo de material arcilloso, que a veces es tratado químicamente o con inyecciones de cemento.

Canal de derivación ^[10]

El canal de derivación se utiliza para conducir el agua desde la presa de derivación hasta las turbinas de la central. Cuando el salto es superior a unos 15 m conviene dar entrada a las aguas en la sala de turbinas por medio de tuberías forzadas, para ello, debe preverse una cámara de presión donde termina el canal y comienza la tubería.

En muchos casos, se suprime el canal de derivación y las tuberías forzadas, aplicando directamente a las tomas de agua de la presa.

Por lo general, y para evitar filtraciones en el terreno, los canales de derivación están revestidos interiormente de mampostería, hormigón en masa u hormigón armado. Los canales pueden realizarse e desmonte, es decir excavando el terreno, o a media ladera, o sea excavando la ladera por un lado y disponiendo un terraplén al otro lado.

En algunas ocasiones se recurre al canal en túnel, que no debe confundirse con la galería de presión, es decir el agua se desplaza por el propio desnivel del terreno, sin carga hidráulica.

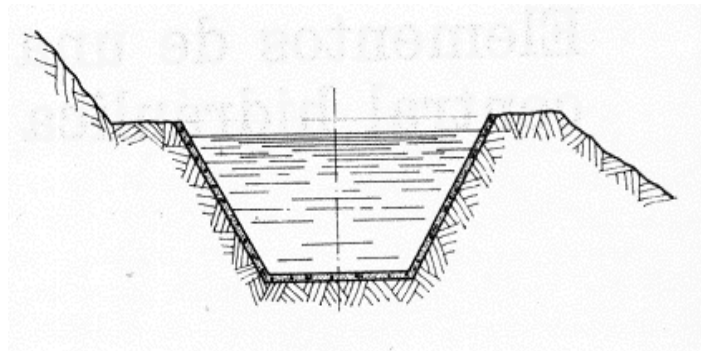
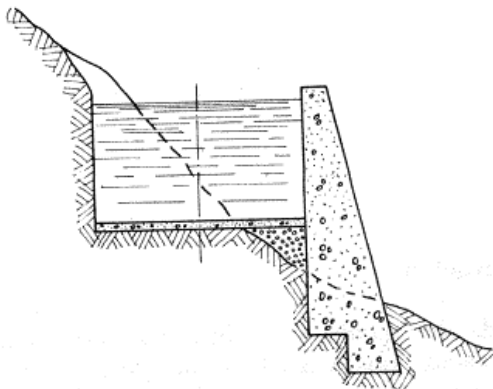
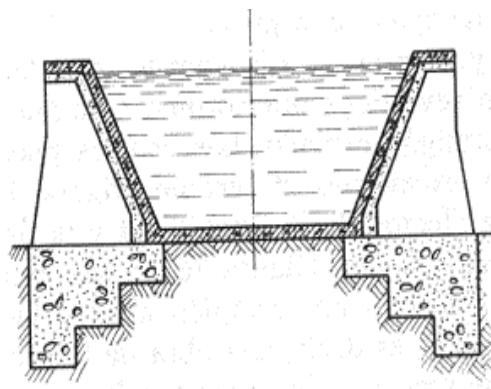


Figura 6.5 Sección de un canal de derivación en desmonte.



Sección de un canal de derivación a media ladera



Sección de un canal de derivación en terraplén

Figura 6.6

Figura 6.7

CALCULO DE SECCIÓN DE CANAL RECTANGULAR

Progresiva: 2+020 2+700

Diseño de canal Rectangular para: 500 l/seg.

DATOS

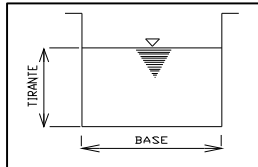
Cot inicial = 2633 Cota final = 2614

Q = 0,5 m3/seg.

Largo canal = 680 m

s = 0,0279 (m/m)

n = 0,013 (Concreto)



Formula de manning:

$$V = (1/n) * R^{2/3} * s^{1/2}$$

$$Q = (A/n) * R^{2/3} * s^{1/2}$$

Datos:

Q=Caudal m3/seg

R=Radio hidraulico

n=Coef. de rugosidad

A=Area Mojado

s=Pendiente

P =Perímetro Mojado

$$\text{Base} = 2\text{Tirante}$$

ITERACION N°	BASE (m)	TIRANTE (m)	A (m)²	P (m)	R (A/P)	Vel. (m/s)	Q (m³/s)
1	0,40	0,2	0,080	0,800	0,1000	2,7702	0,222
2	0,80	0,4	0,320	1,600	0,2000	4,3974	1,407
3	0,60	0,3	0,180	1,200	0,1500	3,6300	0,653

Nota.- El Q calculado debe aproximarse al Q inicial

N° froud: 0,67 (SUBCRITICO)

La sección optima del canal rectangular es de: Base (m): 0,6 Tirante (m): 0,3

OBSERVACIONES: Canal abierto con revestimiento (Hormigón)

RESUMEN DE SECCIÓN DE CANAL

Borde Libre:	0,12	m	Altura de rebose h':	0,2	m
Tirante:	0,30	m	Altura total:	0,42	m
Base:	0,60	m			

Construcción: Base (m): 0,60 Alt. Total (m): 0,45

OBSERVACIONES: El calculo del borde libre se calcula con la figura 6.2 (Libro Obras Hidraulicas 1)

Valores del coeficiente de Manning (n)

MATERIAL	CALIDAD DEL MATERIAL	
	BUENO	REGULAR
Concreto vaciado con formaleta(encofrado metálico)	0,013	0,017
Concreto con short créete(Hºlanzado)	0,018	0,022
Canal de fondo de grava con lados de concreto	0,017	0,02
Grava con paredes de piedra	0,02	0,023
Piedra sin cementar	0,023	0,033
Ladrillo	0,014	0,017
Madera limpia cepillada	0,011	0,013
Tierra	0,016	0,018
Tierra con grava en el fondo	0,022	0,025
Roca no dentada	0,035	0,04
Roca dentada (túneles)	0,04	0,045
Con maleza a la altura del agua *	0,08	0,12
Fondo limpio con maleza a los costados *	0,05	0,08
Maleza densa *	0,1	0,14

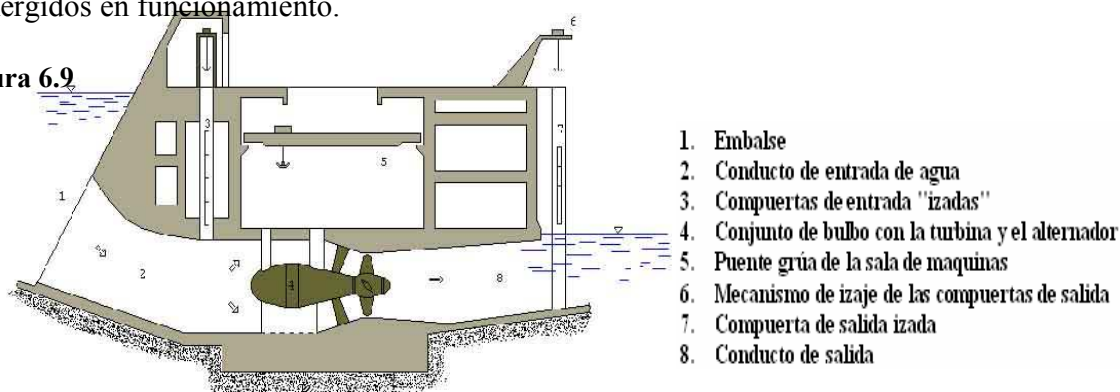
* Canales sin mantenimiento, con maleza, vegetación, etc.



Figura 6.8 CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE CORANI

En la figura siguiente mostramos el croquis de una central de baja caída y alto caudal, como la anterior, pero con grupos generadores denominados "a bulbo", que están totalmente sumergidos en funcionamiento.

Figura 6.9



Golpe de ariete ^[10]

Se denomina golpe de ariete a la variación de presión en una tubería, por encima o por debajo de la presión normal, ocasionada por bruscas fluctuaciones del caudal. Cuando la carga de trabajo que sirve la turbina cierra la admisión de agua, y los efectos de inercia de esta provocan un golpe de ariete positivo, es decir, una sobrepresión brusca, especialmente en la parte de la tubería situada junto a la cámara de presión de la turbina. Cuando aumenta la carga de la turbina, esta demanda mas agua y el regulador abre la admisión, provocando un golpe de inercia negativo o sea, una depresión brusca en la tubería, sobre todo, cerca de la cámara de presión de la turbina.

En las tuberías a presión de gran longitud, los efectos del golpe de ariete pueden ser importantes y, además, en estas tuberías, el agua tarda mas tiempo que en las de corta longitud en acelerarse o desacelerarse lo necesario para acoplar la velocidad del agua al nuevo régimen de carga que precisan las turbinas.

Para evitar estos inconvenientes se disponen en estas tuberías depósitos de compensación, llamados generalmente chimeneas de equilibrio, que en esencia es, un pozo vertical o inclinado, abierto por la parte superior situado en el trayecto de la tubería lo mas cerca posible de las turbinas. La chimenea de equilibrio actúa como un muelle mecánico, evitando las variaciones bruscas de presión, o como un condensador en un circuito eléctrico, que impide las variaciones bruscas de tensión en dicho circuito.

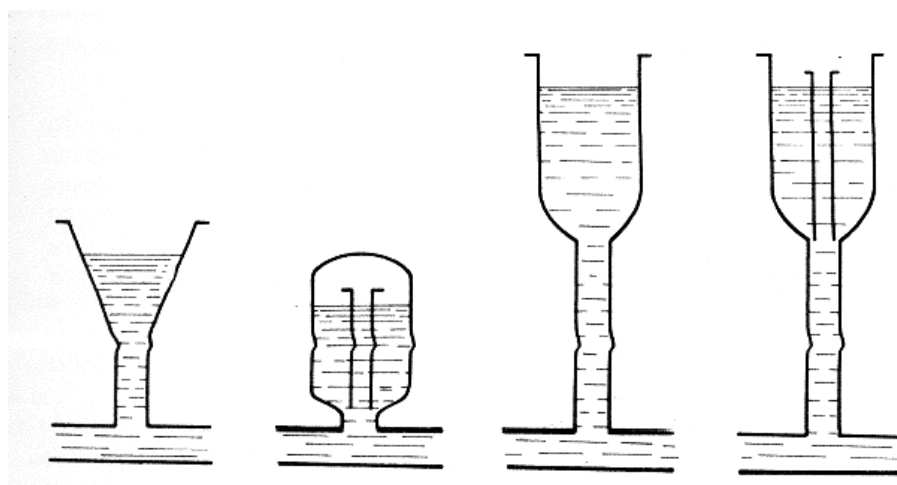


Figura 6.10 Distintas disposiciones de las chimeneas de equilibrio

Tuberías de presión

En las instalaciones hidroeléctricas, las tuberías de presión o tuberías forzadas, tienen por objeto conducir el agua desde la cámara de presión a las turbinas cuando, por causa de la altura del salto, se precisa tal disposición para transformar la energía potencial de posición que tiene el agua en la cámara de presión, en energía potencial de presión, que tiene junto a la turbina y al final de la conducción forzada.

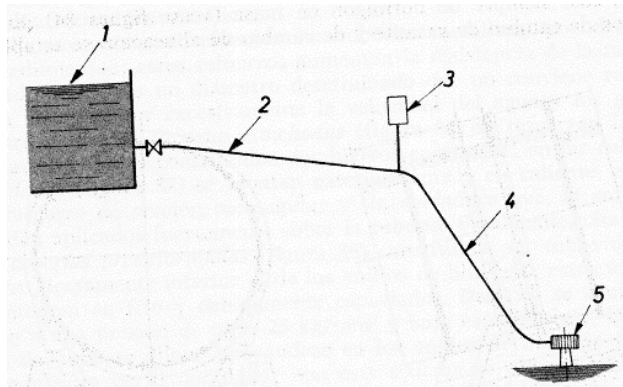


Figura 6.11 Representación esquemática de un salto de agua con chimenea de equilibrio: 1- Cámara de presión; 2-Tramo de tubería de presión de escasa pendiente; 3-Chimenea de equilibrio; 4-Tramo de tubería de presión con gran pendiente; 5-Turbina.

Compuertas

Las compuertas se utilizan para cerrar las conducciones de agua (canales y tuberías), así como para regular el caudal de agua en dichas conducciones. En los aprovechamientos hidroeléctricos, las compuertas se sitúan, en las tomas de agua, en los desagües de fondo, en los canales de derivación, etc... Las compuertas utilizadas en todos los sitios indicados, son de las mismas características constructivas; únicamente hay que tener en cuenta que las compuertas sometidas a grandes presiones (por ejemplo en las tomas de agua) habrán de ser de construcción mas robusta que las compuertas que han de resistir pequeñas presiones (por ejemplo en los canales de derivación abiertos).

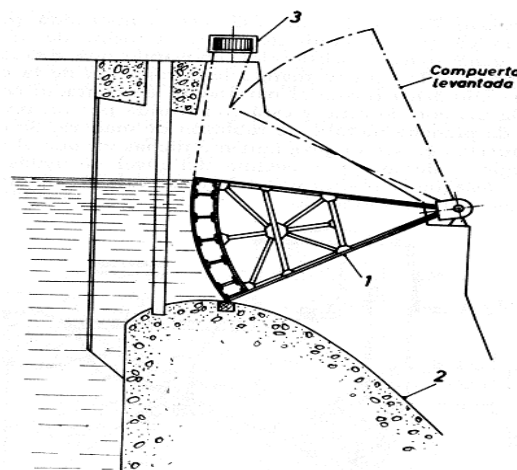


Figura 6.12 Sección de una compuerta Taintor; 1-Compuerta; 2-Presa; 3-Mecanismo de elevación de la compuerta.

Cámara de turbinas

Se denomina cámara de turbinas al espacio destinado en una central hidroeléctrica para el alojamiento de las turbinas hidráulicas.

La cámara de turbinas puede ser abierta, si esta en comunicación con el exterior, o cerrada, en el caso contrario.

La cámara abierta solamente se utiliza en saltos de pequeña altura (hasta unos 15 m), cuando es posible hacer llegar directamente al distribuidor de la turbina, el agua procedente del canal de derivación; en estos casos, la cámara de turbina hace las veces también de cámara de presión. En las cámaras abiertas, se utilizan turbinas de eje vertical y turbinas de eje horizontal. En el primer caso, la cámara queda por debajo de la sala de maquinas y el nivel de aguas arriba queda también por debajo del piso de aquella. En el segundo caso, la cámara queda situada contigua a la sala de maquinas y al nivel de aguas arriba, por encima del piso de la sala de maquinas.

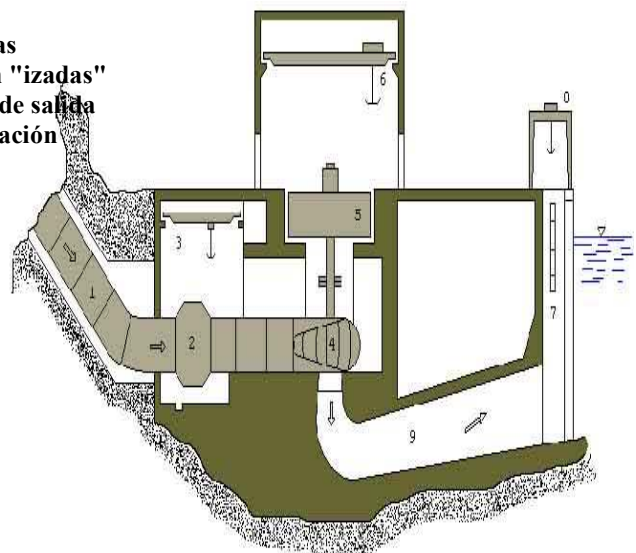
En cámara abierta, se utiliza la turbina de eje vertical cuando el salto es pequeño, inferior a unos 6 m, y, por lo tanto, no hay suficiente altura para instalar turbinas de eje horizontal, pues el piso quedaría muy cerca del nivel de aguas abajo y expuesto a quedar inundado.

Actualmente, en casi todos los saltos de agua, se utilizan turbinas en cámara cerrada, a la que afluye el agua procedente de las tuberías forzadas. Esta disposición, tiene la gran ventaja de que las turbinas pueden situarse en el lugar mas conveniente, a los efectos de cimentación, canal de desagüe, etc... ya que a la tubería de presión, que une la cámara de presión con las turbinas puede dársele el trazado y longitud mas adecuados.

Generalmente en casi todas las instalaciones modernas con turbinas Francis o Kaplan; se adoptan las turbinas de eje vertical con generador eléctrico directamente acoplado.

1. Conducto forzado desde la chimenea de equilibrio
2. Válvula de regulación y cierre
3. Puente grúa de sala de válvulas
4. Turbina
5. Alternador
6. Puente grúa de la sala de máquinas
7. Compuertas de salida, en posición "izadas"
8. Puente grúa para las compuertas de salida
9. Conducto de salida (tubo de aspiración)

Figura 6.13



En la figura tenemos el esquema de una central de alta presión y bajo caudal similar al esquema utilizado en el proyecto "Misicuni". Este tipo de sala de máquinas se construye alejadas de la presa.

Tubo de aspiración

El tubo de aspiración sirve de enlace entre la turbina y el desagüe y para aprovechar, además, el salto entre ambos elementos. Se construye de hormigón o de chapa de acero y ha de tener una sección variable para conseguir la máxima recuperación de la energía cinética del agua a la salida del rodete de la turbina.

Canal de desagüe

Llamado también socaz, recoge el agua a la salida de la turbina para devolverla nuevamente al río en el punto conveniente. A la salida de las turbinas, el agua tiene todavía una velocidad importante y, por lo tanto, bastante poder erosivo y para evitar socavaciones del piso o paredes hay que revestir cuidadosamente el desemboque del agua de las turbinas.

Casa de maquinas

En la casa de maquinas de una central hidroeléctrica, se montan los grupos eléctricos para la producción de la energía eléctrica, así como la maquinaria auxiliar necesaria para su funcionamiento.

Como instalaciones complementarias de la casa de maquinas podemos citar:

- a) Iluminación
- b) Ventilación
- c) transporte de maquinaria

Para una buena inspección y revisión de la maquinaria instalada, la sala de maquinas ha de estar muy bien iluminada; estas exigencias de iluminación son aun mas severas en lo que se refiere a los cuadros de mando y pupitres de control.

La maquinaria instalada en una central hidroeléctrica, desarrolla mucho calor que irradia a la sala y que debe evacuarse por medio de una enérgica ventilación. Esta ventilación puede ser natural, aprovechando el tiro producido por chimeneas o aberturas convenientemente dispuestas, o forzada por ventiladores, calculados según el volumen de aire que hay que remover para evitar la excesiva elevación de temperatura.

Para el montaje de la maquinaria dentro de la sala de maquinas, no solo en primera instalación sino también en caso de reparación o de reposición, hay que instalar en esta sala de maquinas un puente grúa del tipo utilizado en los talleres de construcción de maquinaria pesada, que permiten la elevación y transporte de la carga, ya que el carro se mueve perpendicularmente a la sala de maquinas. Es conveniente que la grúa pueda elevar un peso 10 % mayor del necesario, por si presentaran circunstancias imprevistas.

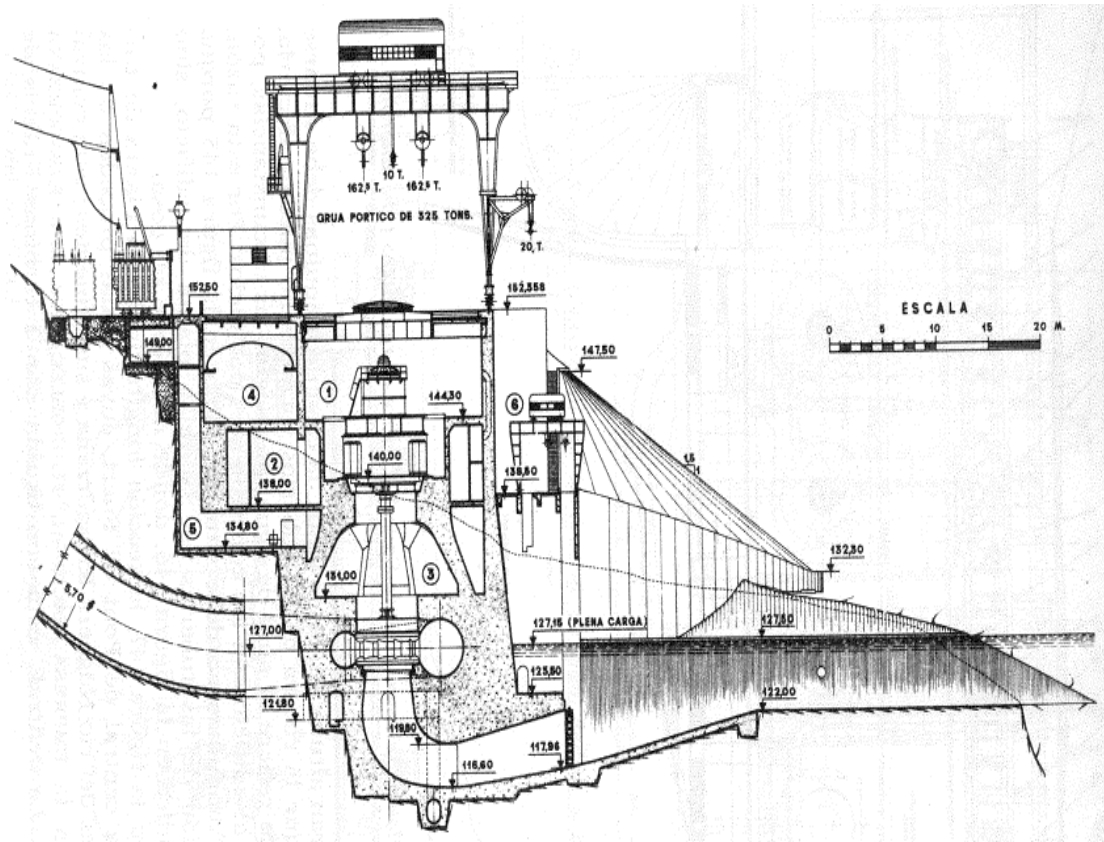


Figura 6.14 Sección transversal de una central hidroeléctrica; 1-Nave de alternadores; 2-Piso intermedio; 3-Piso de turbinas; 4-Cuadro, celdas, servicios auxiliares; 5-Salida de barras; 6-Grúa pórtico para ataguía.

6.2.3 CENTRALES ELECTRICAS TÉRMICAS ^[10]

El alimento de estas centrales está constituido por los distintos combustibles sólidos (carbón mineral), líquidos (gas-oil y fuel-oil, originados en la refinación del petróleo crudo); y gaseosos (gas natural).

La energía eléctrica surge como consecuencia de la energía térmica de combustión. La proximidad a un yacimiento de carbón, o a una refinería de petróleo o a un grupo industrial son algunos de los condicionantes del lugar donde estas centrales pueden ubicarse.

El vapor de agua producido en una caldera posibilita el funcionamiento de las turbinas de vapor(máquinas motrices) al hacer girar el eje de dichas máquinas.

En el caso de que las turbinas sean accionadas por gas proveniente de la combustión del gas natural, gas de altos hornos o aceite de petróleo destilado, se trata de turbinas de gas.

Turbinas a Gas ^[10]

La idea de la turbina a gas recientemente ha adquirido importancia práctica. Durante la primera década de este siglo Holzwarth en Mulheim construyó una primitiva turbina que disponía en la periferia de varias cámaras de combustión, las cuales actuaban a través de un sistema de válvulas.

Estas lograron desarrollarse hasta alcanzar su completa madurez, logrando rendimientos térmicos totales del 20% aproximadamente.

Más tarde, con la aplicación de la tecnología utilizada en turbosoplantes de motores de aviación, turbo carga con gases de escape y los avances utilizados en las calderas Velox, arribamos a las modernas turbinas de gas, las cuales se basan en el siguiente esquema:

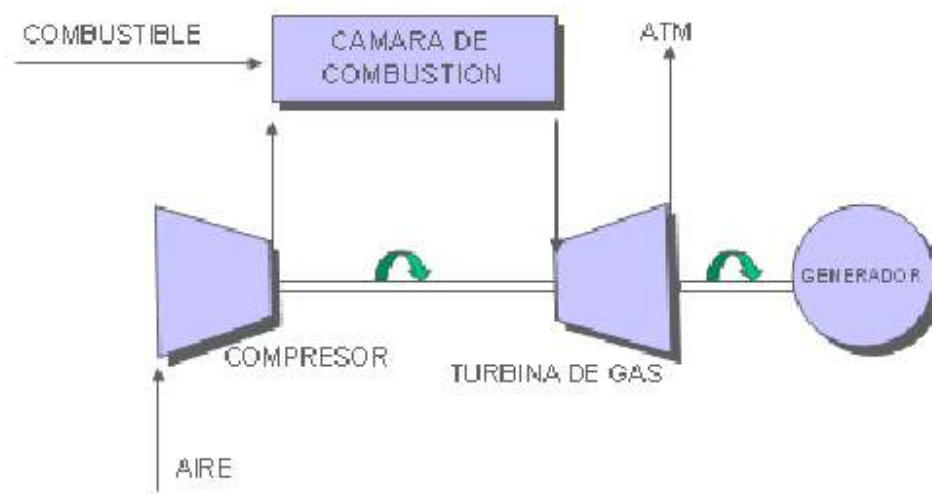


Figura 6.15

El compresor comprime aire desde la presión atmosférica hasta 4.6 ata (llegando hasta 30 ata). En la cámara de combustión se quema gas o combustible líquido pulverizado, de similar forma que en el hogar de una caldera, de forma continua y a presión constante. De esta forma se genera un incremento de la capacidad de trabajo del aire en la relación de las temperaturas absolutas antes y después de la combustión. Por lo expuesto, la turbina es capaz de generar más potencia que la necesaria, siendo el exceso potencia útil cedida al generador.

El rendimiento del proceso escala con la temperatura de la combustión, la cual se ve limitada por la sollicitación térmica de los álabes de la turbina; esta es la causa por la que la construcción de turbinas de gas está directamente vinculada al desarrollo de los materiales.

Según lo expresado, en el compresor el aire es comprimido hasta la presión de combustión, usándose luego en la cámara para quemar combustible (gas o líquido). Una porción del aire es utilizado para enfriamiento y control de la estabilidad de la temperatura, como de la propia llama.

Los gases que se generan por la combustión son distribuidos por la totalidad de la periferia de la primera fila de paletas y difundidos a lo largo de la turbina. Usualmente, esta primera etapa de expansión es conocida como turbina de alta presión; obteniéndose a través de las mismas el trabajo necesario para accionar el compresor. La siguiente etapa, llamada turbina de potencia, acciona el generador eléctrico.

Las unidades TG contienen como característica sobresaliente el tiempo de arranque, llegando a alcanzar la carga plena en 10-20 minutos.

Las mejoras implementadas en el diseño de materiales y componentes han permitido elevar la eficiencia y potencia térmica, lo cual adicionalmente al crecimiento a escala de las proporciones (dentro de ciertos límites), permitieron la utilización de la experiencia para construir diseños similares de mayor potencia.

En el diseño, el objetivo es alcanzar la mayor eficiencia a través de la utilización de combustibles de alta calidad y la reducción al mayor nivel posible de la contaminación.

Se valió así de la experiencia derivada de la tecnología de turbinas de aviones sumada a la desarrollada para turbinas de trabajo pesado.

Por otro lado, se ha implementado el concepto de múltiples combustores anulares, en función de la instalación, capacidad para quemar varios combustibles (gaseosos y líquidos), incluyendo líquidos de baja calidad, inclusive petróleo crudo o subproductos. Dicha variabilidad no se da en las turbinas mas modernas, los cuales demandan combustibles de alta calidad para restringir el ataque químico a los alabes de la rueda motriz.

El sistema de combustible dual, permite el rápido cambio, bajo carga, de un combustible a otro, de manera automática o semiautomática.

Las turbinas más actuales poseen una temperatura de salida de los gases procedentes de los combustores de alrededor de 1200 °C, en comparación con los 1100°C de las turbinas relativamente más viejas; determinando de esta manera, un crecimiento de la eficiencia térmica del 10% aproximadamente.

El material de los álabes es tan aleado que apenas pueden ser considerados como aceros. Los componentes de las aleaciones son: Ni, Cr, Mo, Mn, Va, Ta, Ti y Nb, sin embargo en la actualidad se utilizan materiales cerámicos.

**Turbina
A gas
De gran
Porte**



Figura 6.16

La progresiva privatización del suministro eléctrico y la apertura del mercado de energía eléctrica en muchos países, se ha constituido en el motor de los importantes transformaciones tecnológicas.

En la actualidad, alrededor del 35% de la potencia habilitada anualmente corresponde a TG.

La creciente disponibilidad de reservas de gas ha estimulado una evolución atractiva de los precios.

Las turbinas a gas frecuentemente son utilizadas en combinación con turbinas a vapor en centrales de ciclo combinado, fundamentalmente por motivos económicos y ecológicos.

Las mismas permiten además la utilización de la importante energía comprendida en los gases de escape liberados a altísimas temperaturas, que de otra manera se verían dispersas en la atmósfera con la inclusión de una caldera de recuperación.

La combustión de la turbina trabaja en un combustible líquido o un gas.

Anteriormente, esto ha significado que las plantas de energía de ciclo combinado utilizaban solo petróleo o gas natural. No obstante, en la actualidad pueden operar con gas producido a través del carbón u otros combustibles sólidos.

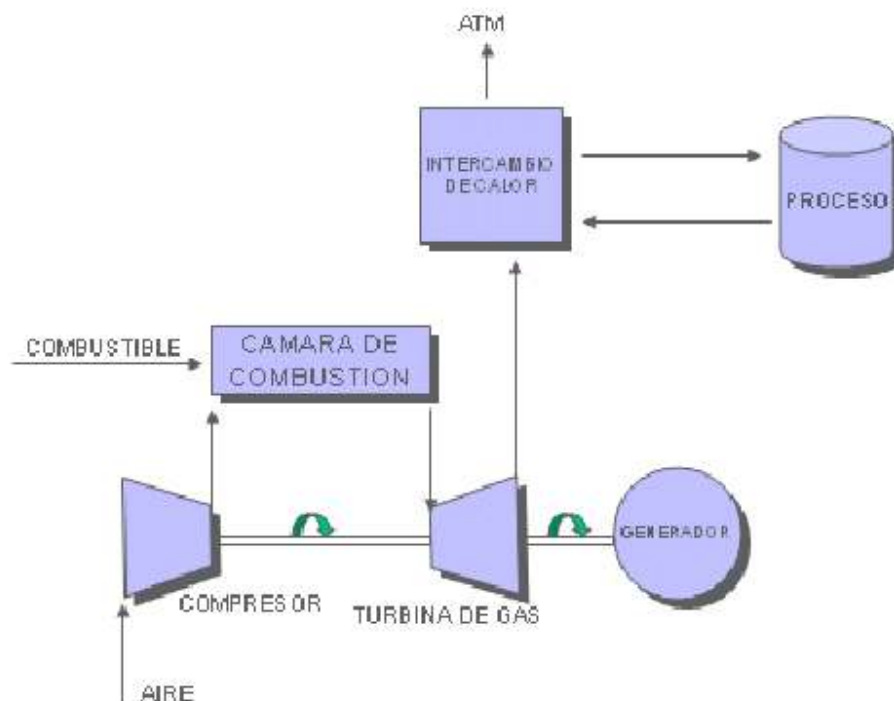


Figura 6.17

Ciclo Simple (Caldera Recuperación)

Las plantas más actuales que usan turbina a gas, aprovechan los gases de salida de la turbina en una caldera de recuperación y producen el valor necesario por las turbinas de vapor para producción eléctrica adicional, obteniendo de esta manera el ciclo combinado. De forma complementaria, la caldera puede ser proyectada para quemar combustible adicional, disminuyendo relativamente su eficiencia, pero logrando un incremento de potencia.

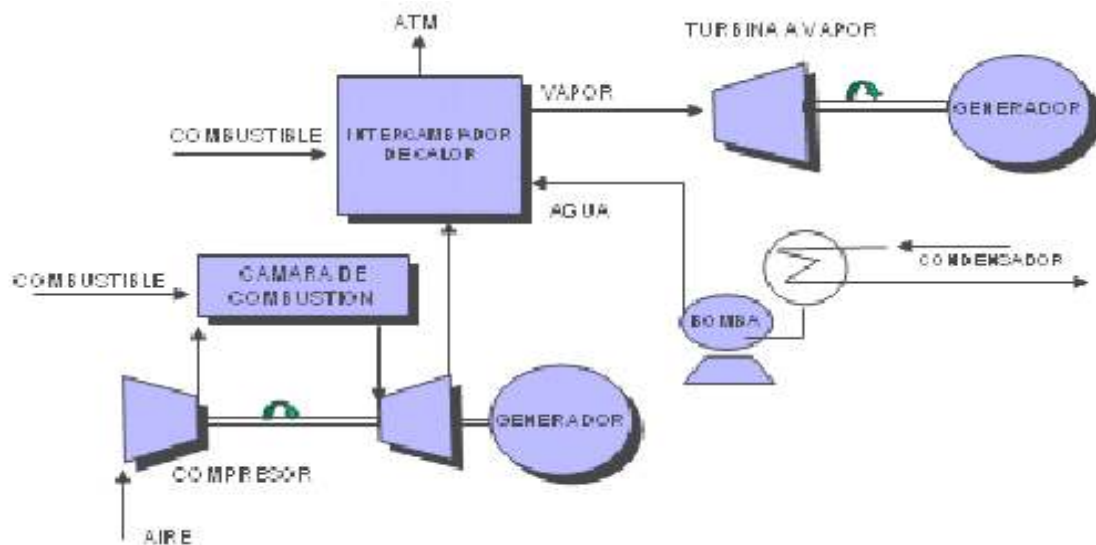


Figura 6.18

Ciclo Combinado

Es una de las tecnologías más prometedoras que hay disponibles para producir energía eléctrica de manera económica, limpia para el ambiente y eficiente, mediante la utilización de cualquier combustible fósil económicamente disponible: gas natural, carbón o petróleo.

Una planta de energía de ciclo combinado, adopta una turbina de combustión con una turbina de vapor, operando ambas en una sola instalación para una eficiencia máxima.

Los gases calientes de escape procedentes de la turbina de combustión en vez de ser ventilados a la atmósfera, se canalizan por un intercambiador de calor llamado generador a vapor recuperador de calor HRSG. El vapor generado en el HRSG arriba a la turbina a vapor a producir energía adicional.

La operación en ciclo combinado puede generar alrededor del 50% de potencia adicional e incrementar de 6 a 15% la eficiencia al ser comparada con plantas térmicas convencionales de combustible fósil y del orden de aproximadamente +20% en relación a las turbinas de gas a ciclo abierto.

Generalmente, por cada dos megawatts de energía producida por la combustión del generador TG, resulta factible obtener un megawatt por la turbina de vapor, utilizando fundamentalmente la energía del escape de la turbina de gas.

Características de los equipos de cogeneración

La cogeneración es un proceso de transformación de energía de un combustible en más de una forma de energía útil.

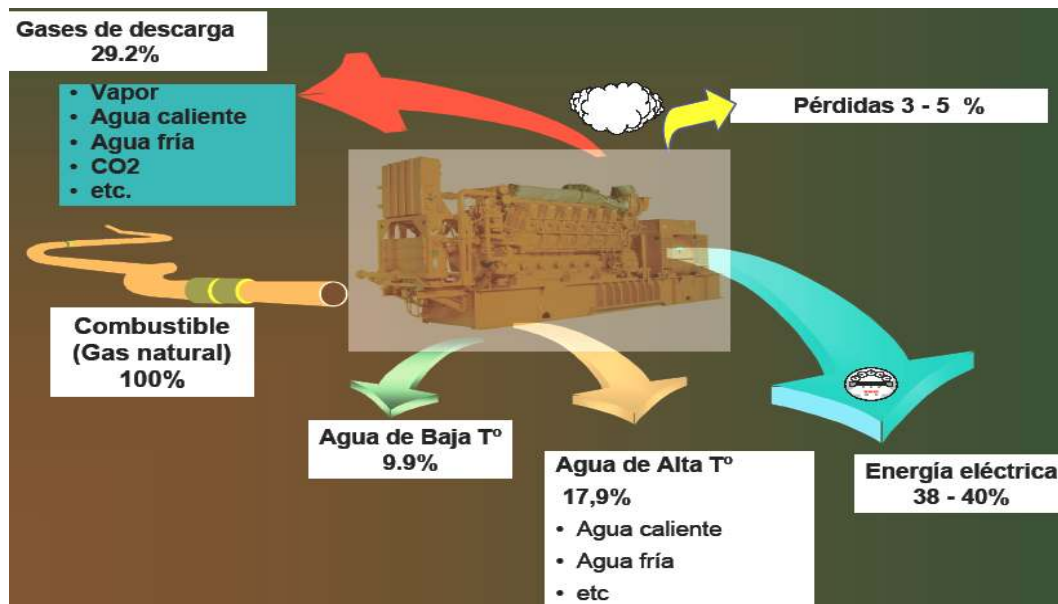


Figura 6.19 Balance de energía típico de un sistema de cogeneración

Además, se puede emplear parte de la energía térmica incluida en el vapor de extracción de la turbina de vapor del ciclo combinado, para alimentar las exigencias de un proceso industrial, en una instalación de cogeneración.

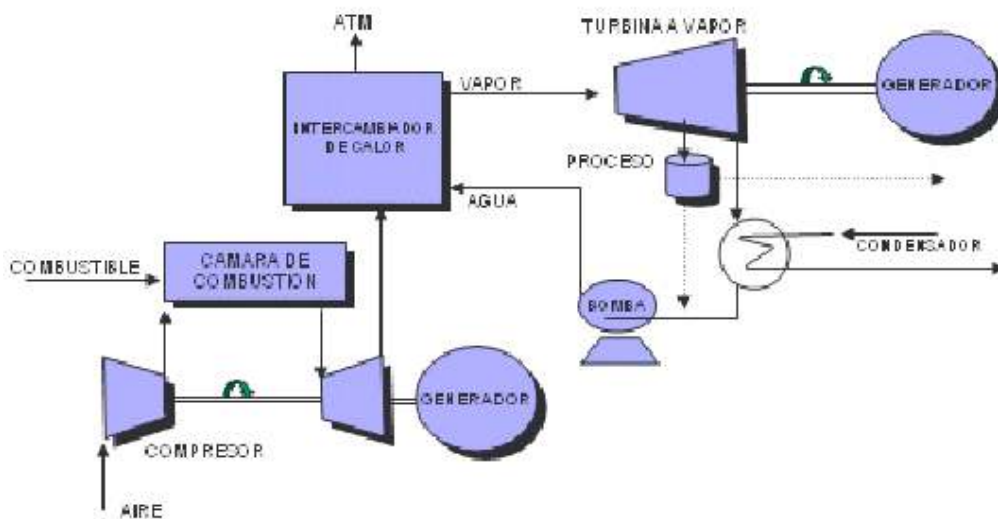


Figura 6.20

Ciclo Combinado (Turbina Ext.)

Las instalaciones de cogeneración a pesar de su baja flexibilidad operativa y dependencia del proceso industrial asociado a ellas, muestran un bajo consumo determinado, inferior al correspondiente a instalaciones similares cuyo destino exclusivo es la generación de electricidad. Resultando muy favorables para el suministro de energía a la red.

Su utilización abarca una conservación de recursos primarios, mayormente no renovables, variable según la instalación, y que puede ser por ejemplo del 30%; lo cual implica una reducción de la emisión de elementos contaminantes al medio ambiente.

Turbinas a Gas

Actualmente, la sobrecapacidad de los fabricantes de turbinas gas, junto a la fuerte competencia por mercados nuevos (especialmente en Asia y Europa) han conseguido un derrumbamiento de los precios de las turbinas de gas y de las centrales de ciclo combinado (alrededor de un 50% en los últimos cinco años).

Los fabricantes se encuentran exigidos por el mercado al cumplimiento de los siguientes objetivos:

- Incremento de la potencia unitaria y de la potencia específica.
- Incremento de la disponibilidad y prolongación de la vida útil.
- Menores inversiones iniciales y reducción en los costos de mantenimiento.
- Mejoras de rendimiento global
- Disminución de la carga medioambiental
- Bajos costos de capital.

A dichos requerimientos los fabricantes respondieron con instalaciones que muestran:

- Elevados rendimientos en ciclos combinados, del orden del 54 al 58%.
- Elevados valores de confiabilidad y disponibilidad (alrededor del 95% de disponibilidad y 98% de confiabilidad)
- Reducido impacto ambiental. Los avances en el diseño del sistema han bajado las emisiones de Nox a 25 ppm para las nuevas temperaturas y este nivel puede disminuir 15ppm en un futuro cercano.
- Posibilidades de llevar a cabo el ciclo combinado en etapas, empezando por las turbinas de gas con sus alternadores, y en una etapa siguiente los generadores de vapor y la turbina a vapor con su alternador.

El aumento de la potencia unitaria y del rendimiento se logra operando sobre el proceso mismo de la turbina a gas y sobre los parámetros del mismo. En el proceso clásico de las turbinas a gas, éste se logra a través del flujo másico, de la temperatura de admisión y de las correspondientes presiones.

Para lograr una turbina a gas un rendimiento térmico del 38% o del 58% en una central de ciclo combinado, es condición necesaria aumentar la temperatura de combustión ajustando la refrigeración de los componentes que conducen los gases de combustión. El

incremento de consumo de aire de refrigeración conlleva el riesgo de NOx dado que se reduce el factor aire en la combustión primaria.

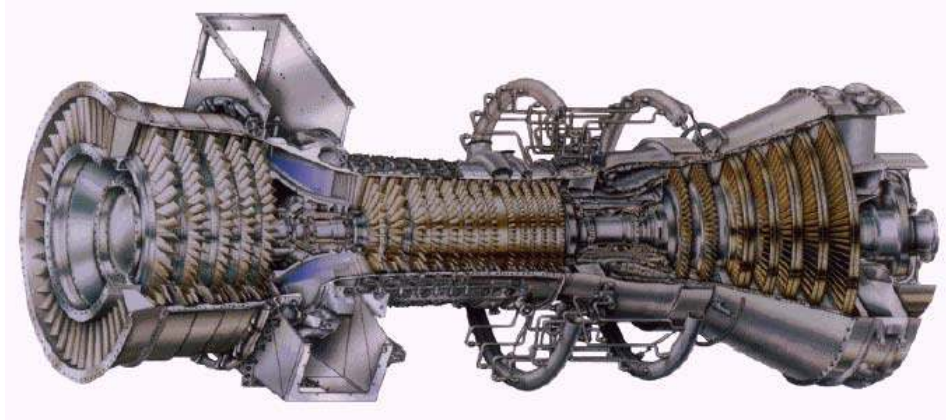


Figura 6.21 Turbina a gas de gran porte

Gran parte de la tecnología utilizada para estos avances, es la aplicada en turbinas de aviación; la cual se basa en tres elementos fundamentales:

Algoritmos de computación para cálculos aerodinámicos muy eficaces que admiten analizar y diseñar configuraciones de alabes y otras partes de la turbina en el corto plazo, alcanzando diseños superiores.

Materiales altamente sofisticados que resisten temperaturas elevadas (de 2580 °F, 1417°C).

Efectivas técnicas de refrigeración de alabes.

Con el objetivo de alcanzar mayores rendimientos, se ha incrementado el diámetro de las fases de la turbina, obteniéndose acrecentamientos en el flujo del 25% en relación a modelos anteriores. El diseño de los alabes del compresor, desarrollado por las herramientas de computación, ha logrado minimizar pérdidas, maximizar el flujo y obtener mejores relaciones de compresión; disminuyendo por lo tanto las necesidades de refrigeración.

Un fabricante ha implantado un esquema de combustión secuencial, con dos cámaras de combustión, en una misma turbina; utilizando el aire comprimido en el ciclo dos veces antes de su descarga, plasmando de esta manera un ciclo de gas con recalentamiento; lo que lleva a una mayor eficiencia.

El mayor rendimiento recae en el aumento de la presión de compresión y en el uso de una combustión secuencial y no únicamente a través del incremento de la temperatura de entrada de los gases de combustión. Lo expuesto permite limitar dicha temperatura, solicitando materiales y diseños no tan sofisticados y por consiguiente un mantenimiento más económico.

Desde 1990 el costo de las centrales de ciclo combinado ha disminuido, en función de ciertas razones que contienen:

Estandarización y mejoras en el diseño de las centrales por parte de los fabricantes.

Turbinas a gas con temperaturas superiores de quemado, y por lo tanto potencias mayores han derivado en una disminución de costos específicos.

Competencia del mercado; razón primaria de la búsqueda de mayores eficiencias

Distintos fabricantes provén turbinas de gas que trabajando en ciclo combinado logran eficiencias netas de 58%; siendo la tendencia en un futuro cercano, el alcance del rendimientos del orden del 60% (1430 kcal/kwh).



Figura 6.22 Termoelectricidad- Ciclo combinado

Actualmente existen desarrollos que permitirán lograr dichas eficiencias en turbinas de trabajo pasado operando en ciclo combinado. Este avance se fundamenta en la optimización del diseño del compresor, sistema de combustión y turbina, utilizando la experiencia desarrollada en turbinas de avión.

El compresor es construido a escala, con un factor de valor similar a 3, en relación a un compresor de turbina de avión de desempeño altamente comprobado.

El sistema de combustión se basa en un diseño modificado respecto de los combustores. Se incrementó el diámetro del mismo, en aproximadamente un 20%, con la finalidad de lograr los requerimientos de elevación de caudal.

La turbina es una construcción de última tecnología; habiéndose empleado en la primera fase álabes de aleación monocristalina y un novísimo desarrollo de recubrimiento de barrera térmica. La primera y segunda fase se refrigeran con vapor, la tercera con aire y la cuarta no se refrigera.

Al usar aire para enfriamiento de las turbinas y ser inyectado en el flujo de gases calientes, ocasiona turbulencias, las cuales implican pérdida de eficiencia y de potencia de

salida. Mediante la utilización de vapor como elemento de refrigeración, ocasiona una disminución de perturbaciones en el flujo de gases calientes, que junto a la mejoría de materiales (aleaciones) y a los recubrimientos usados como barreras térmicas, admitirá lograr esas temperaturas de trabajo.

El vapor empleado se toma de la salida de la fase de alta presión de la turbina de vapor, se implanta en las partes fijas y móviles de la turbina a gas (en las móviles mediante los sellos del eje y el rotor), siendo luego recuperado y devuelto al ciclo de vapor.

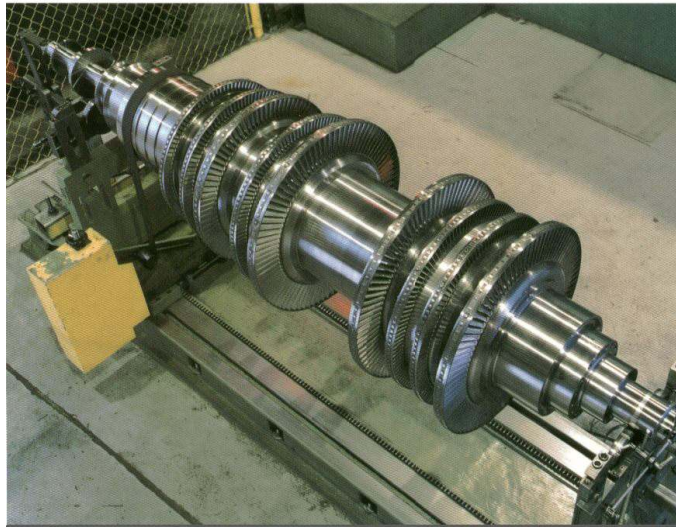


Figura 6.23 Turbina a vapor

Muchos expertos consideran que los grandes avances tecnológicos de turbinas de gas no se darán en el futuro, siendo una de las razones expuestas, que el aumento de la temperatura de los gases que llegan a la turbina podrían estar alcanzando un límite, dado que los materiales requeridos para soportar dichas temperaturas se encuentran en el límite de lo alcanzable. Por lo que resulta indispensable lograr una solución entre resistencia a la corrosión, fatiga mecánica y térmica.

Generalmente, las superaleaciones están basadas en níquel o cobalto, junto a otros materiales como cromo, molibdeno, tungsteno, titanio y aluminio.

Los fabricantes señalan que alguno de estos metales poseen capacidad para operar de manera confiable a temperaturas de algunos cientos de grados por debajo de su punto de fusión; no obstante la experiencia operativa con algunos modelos últimos de turbina de gas demuestra que muchos de los componentes de la misma que se encuentran en la vía de los gases de combustión, no logran el tiempo esperado de vida útil.

Algunos señalan que es factible reemplazar en sus turbinas álabes de rotores y vanos con el rotor colocado; otros ofrecen la inspección de la traza de gases de combustión sin recurrir a la apertura de la turbina; lo señalado permite inferir que las labores de mantenimiento de estas partes de la turbina serán mayores en la turbinas modernas.

Dada las limitaciones de la metalurgia, muchos fabricantes confían en mejorar los rendimientos de sus equipos a través del uso de materiales cerámicos, ya que admiten el trabajo con temperaturas superiores, permitiendo elevar la eficiencia y performance.

No obstante, antes que dichos materiales puedan ser utilizados como alabes de turbinas, es necesario mejorar su confiabilidad y su resistencia; como también se debe lograr una mejor comprensión de su comportamiento frente a la corrosión y una disminución de sus costos de fabricación. Por consiguiente, gran parte de los expertos admite que la producción en serie de componentes cerámicos no se dará a la brevedad.

Sumado a los nuevos materiales, el rendimiento de las turbinas a gas ha mejorado a través de las nuevas técnicas de fabricación. Específicamente, con el proceso de “solidificación direccional”, utilizado en el fundido y moldeado del material vacío, se mejora la elasticidad longitudinal de las palas y su resistencia a la fatiga, admitiendo operar con temperaturas más elevadas, si bien será necesario que transcurra un largo período de operación a fin de comprobar dichas suposiciones.

Aún es posible conseguir un mayor aumento en la temperatura de trabajo y mejorar la resistencia a la fatiga, a través del uso de materiales monocristalinos; los cuales junto con el agregado de tratamiento térmico, obtienen una homogeneidad superior y una estructura específica de material mejor. Dicho procedimiento se ha utilizado en las turbinas de aviación.

Su utilización en turbinas de gas estáticas solicita de mayores desarrollos (dado el tamaño, peso, menor pureza del combustible y el requerimiento de una mayor vida útil de las mismas).

Conjuntamente, fueron desarrolladas cubiertas protectoras de alabes y vanos de los ineludibles procesos de oxidación y corrosión generados a altas temperaturas de combustión; asegurando de este modo la integridad del material.

Las capas protectoras se han utilizado durante años en las turbinas de aviación de alto rendimiento, y generalmente poseen dos capas: la externa de cerámica, que por baja capacidad de conducción térmica, disminuye el flujo de calor al metal de la pala; y una capa interna de unión de la cerámica con el metal.

Los dos dispositivos de falla de éstas son: el escamado, producido como consecuencia del shock térmico provocado por esfuerzos momentáneos incompatibles entre las superficies interna y externa del material cerámico, y el descascarado que se produce por el crecimiento de óxido en la capa de unión con el metal de base; el cual se origina por la difusión de oxígeno a través de la capa cerámica.

Como consecuencia de las restricciones referidas a la contaminación ambiental, los combustores de medida emisión de NO_x se han convertido en uno de los fundamentales avances tecnológicos de turbina de gas; teniendo no obstante negativos impactos en el desempeño de éstas.

Se evidencian también problemas de inestabilidad de la llama causados por la necesidad de emplear mezclas aire-combustible más pobres que con los combustores de difusión convencionales. Por ello, se utilizan controles por computadora para obtener un control preciso de la mezcla aire-combustible. El premezclado representa un importante adelanto en lo que respecta a un eficiente quemado de combustible.

Lo expuesto, impone una mayor rigidez en la utilización de diferentes variantes de combustibles, dado que el diseño resulta óptimo para el uso de gas natural. Además, los recubrimientos protectores térmicos pueden ser susceptibles a las mínimas impurezas del combustible usado.

Esto provoca dudas respecto a la reputación de confiabilidad que han obtenido las modernas turbinas de gas.

El ciclado de las centrales exige mayores esfuerzos térmicos que la operación en régimen permanente, dado que los momentáneos de temperatura que surgen de los arranques y paradas, perjudican a los componentes del camino de los gases en combustión, originando fatiga termomecánica de los metales base.

Mientras que algunos fabricantes examinan avances tecnológicos de las turbinas a gas y ciclos combinados referentes con el incremento de la temperatura de combustión y el perfeccionamiento de los elementos de la turbina; otros utilizan enfoques diversos referidos a combinaciones de nuevos y sofisticados ciclos de combustión, tales como refrigeración intermedia del aire del compresor, precalentamiento de mezcla de combustible antes de ingresar a los combustores y ciclos que usan recuperación química.

En la turbina de aire húmedo, se combina vapor de agua con aire comprimido, el cual es llevado a los combustores y expandido con los gases de combustión, generando vapor que incrementa la masa que fluye por la turbina.

Este ciclo ha resultado moderadamente modificado para construir la avanzada turbina humidificada en cascada, en la cual la expansión del fluido humidificado se da a través de un sistema de cascada en dos fases de turbo expansores.

En estos momentos la potencia de las unidades de TG y CC se ha incrementado significativamente oscilando en valores de 55.16% (1560 kcal/KWh) en centrales de 660 MW en una configuración de dos TG, dos calderas de recuperación y una TV.

En lo que respecta a ciclos abiertos, si bien la tendencia son rendimientos aproximados de 39.5% (2180 Kcal/Kwh) y dada la competencia por obtener rendimientos menores requeridos para competir en mercados con precios cada vez menores, no se considera posible la aplicación de TG a ciclo abierto.

Máquinas de Combustión Externa

Estas unidades usan como medio de trabajo, circulación de agua o de vapor de agua.

El agua estimulada por bombas centrífugas se vaporiza a una elevada presión en un generador de vapor. Simultáneamente, dentro del generador, el vapor se recalienta a una alta temperatura.

Posteriormente, este vapor se expande en una turbina en la cual se obtiene trabajo para accionar el generador eléctrico; el vapor ya expandido se precipita en un condensador.

Luego el líquido condensado es inducido a través de bombas hacia los depósitos de agua de alimentación, del cual pasa nuevamente al generador de vapor.

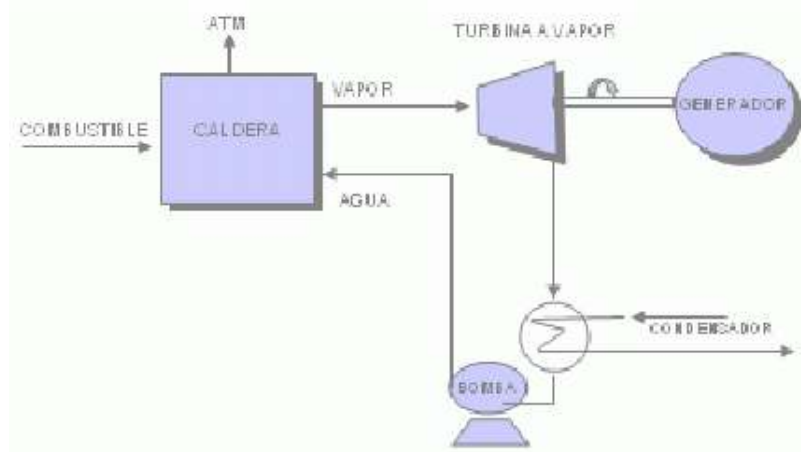


Figura 6.24

Rendimiento

El proceso de operaciones en las centrales térmicas es de carácter cíclico, o sea, que la energía se adquiere por alteraciones de estado periódicas del medio de trabajo. Resulta indistinto que las mismas moléculas participen siempre en el ciclo y en el proceso dinámico del vapor; o que nuevas moléculas intervengan en el mismo, como en el proceso abierto de las turbinas o en el motor de combustión.

Es relevante alcanzar sin interrupciones los mismos puntos de partida y final del proceso.

La Termodinámica se apoya en tres principios básicos, cuya validez es general.

Primer principio: Conservación de la energía

La energía es inalterable, solo se deja convertir en otras formas de energía. Se da una relación de transformación fija entre dos formas de energía. En un principio cíclico, la suma de todas las energías es nula.

Segundo principio: Irreversibilidad de las transformaciones energéticas

Una máquina que opera periódicamente no puede hacerlo sin diferencia de temperatura.

Si en un proceso cíclico, a la temperatura absoluta T_1 se mide la cantidad de calor aportada Q_1 , y a la temperatura T_2 la cantidad de calor aportada Q_2 , tenemos:

$$Q_1/T_1 + Q_2/T_2 + \dots = 0$$

Este principio es válido definitivamente para todos los procesos naturales, no obstante en la forma expuesta, se utiliza únicamente para procesos alterables.

Tercer principio

Si se lleva a cabo a través de cualquier sistema un proceso cíclico entre las temperaturas T_1 y T_2 y se brinda a la temperatura T_1 la cantidad de calor Q_1 , únicamente una fracción de la misma puede convertirse en trabajo mecánico. Otra cantidad de vapor Q_2 ha de desprenderse pasando por ejemplo a un condensador. Dado que esto es una necesidad física, no tiene sentido hablar de pérdidas. El proceso cíclico capaz de brindar el máximo aprovechamiento de la cantidad de calor aportada ha sido descrito por Carnot. El mismo se compone de dos isotermas y dos isobaras.

La fracción de calor aprovechado es:

$$N = 1 - Q_2/Q_1 = 1 - T_2/T_1$$

Este proceso no es utilizado en la práctica, dado que para potencias mecánicas frecuentes determinaría poner en acción masas desproporcionadamente grandes. Sólo es empleado como término de comparación, dado que a través de él es capaz de alcanzar el máximo rendimiento entre dos temperaturas.

El segundo principio contiene un concepto destacable: la valencia del calor. Una caloría es tanto más valiosa cuanto más elevada es la temperatura a la que podemos utilizarla.

El ciclo de Carnot cede la cantidad de calor a la máxima temperatura y la extrae a la mínima.

En todo proceso que se aparte de éste, disminuye la proporción de calor transformado en energía mecánica.

El proceso dinámico del vapor responde al ciclo ideal cuando la extracción de calor es realizada en el extremo frío, no obstante no resulta de esta manera durante la aportación de calor, la cual se extiende sobre un amplio campo de temperaturas. Esto preside también en el proceso de turbinas de gas, pero en éstas la extracción de calor se expande de forma similar en un amplio campo de temperaturas.

Lo expuesto resulta más fácilmente comprensible al representar el proceso en diagramas.

El vapor de agua, en las condiciones usuales de funcionamiento de la técnica, no admite ser considerado como gas perfecto; no siguiendo por lo tanto las ecuaciones con las que opera la termodinámica.

La mejor representación del proceso se obtiene a través del diagrama T, s (T = temperatura absoluta, s = entropía). La magnitud Q/T reflejada en el segundo principio adquiere una gran importancia termodinámica en función de la cual ha recibido la designación específica de entropía, que establece una magnitud de estado para todas las sustancias.

Para representar la capacidad de trabajo del vapor es conveniente utilizar el diagrama i, s , en el cual i es la entalpía, similar a la cantidad de calor aportada para modificaciones de estado isobáricas; llamado también contenido térmico.

6.3 GENERADORES ^[8*]

6.3.1 DINAMO

Una **dinamo** (o generador eléctrico) es un aparato que transforma la energía de movimiento en una corriente eléctrica. También se puede decir que una dinamo es un generador electromecánico de corriente continua.

El concepto se debe a Michael Faraday (1791-1867). Hijo de un pobre herrero, Faraday fue aprendiz de un encuadernador y se instruyó el mismo leyendo los libros que le traían para encuadernar. Se convirtió en el mayor científico británico, famoso por sus brillantes intuiciones y por sus populares discursos.

Faraday descubrió que moviendo un imán cerca de un circuito eléctrico cerrado, o cambiando el campo magnético que pasa a su través, **era posible "inducir" una corriente eléctrica** que fluyera dentro de él. Esa "inducción electromagnética" quedó como principio de los generadores eléctricos, transformadores y muchos otros aparatos.

Faraday mostró que otra forma de inducir la corriente era **moviendo el conductor eléctrico** mientras la fuente magnética permanecía estacionaria. Este fue el principio de la **dinamo de disco**, que presentaba un disco conductor girando dentro de un campo magnético (ver el dibujo) movido mediante una correa y una polea en la izquierda. El circuito eléctrico se completaba con hilos estacionarios que tocan el disco en su borde y en su eje, como se muestra en la parte derecha del dibujo. No era un diseño muy práctico de la dinamo (a menos que buscásemos generar enormes corrientes a muy bajo voltaje), pero en el universo a gran escala, la mayoría de las corrientes son producidas, aparentemente, mediante movimientos semejantes.

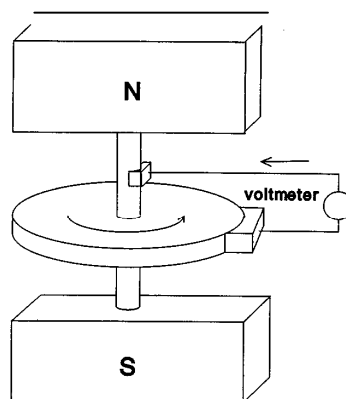


Figura 6.25 Dinamo de disco de Faraday

El conductor de la electricidad en movimiento de Faraday era sólido (p.e. un disco de cobre), pero un fluido en circulación también puede crear tales corrientes.

Faraday era consciente de la posibilidad de tales "dinamos fluidas", y en consecuencia, intentó medir la corriente eléctrica creada por el flujo del río Támesis de Londres a través del flujo magnético terrestre. Estiró un hilo a través del puente de Waterloo (dibujo), sumergiendo sus extremos dentro del río e intentó medir el flujo de electricidad inducida (línea curva de pequeñas flechas). Pequeños voltajes debidos a procesos químicos le impidieron observar el efecto, pero la idea era acertada.

Faraday incluso especuló (incorrectamente) que el flujo de la Corriente del Golfo en el Océano Atlántico estaba conectado de algún modo con la alta atmósfera, suministrando allí una descarga eléctrica que (bajo su punto de vista) era la aurora polar.

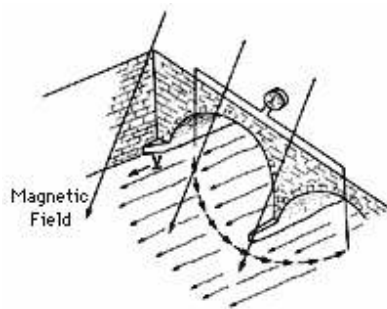


Figura 6.26 El experimento del Puente de Waterloo

La dinamo de disco de Faraday **necesita un campo magnético** para producir una corriente eléctrica.

Para producir una corriente se necesita un campo magnético, pero para producir un campo magnético se necesita una corriente. Luego, ¿quién fue el primero? Realmente, siempre están presentes débiles campos magnéticos y se podrán ampliar gradualmente por el proceso, por lo que no plantean obstáculos.

El funcionamiento de una dinamo se basa en el giro dentro de un campo magnético de una espira (lazo) metálica, por lo general de cobre, aunque para aumentar el rendimiento, se recurre al uso de varias espiras en forma de bobina. Debido a los fenómenos de inducción electromagnética en la bobina aparece una corriente eléctrica que se recoge mediante unas *escobillas* también metálicas o de carbón en el llamado *colector*.

El colector es una pieza importante dentro de las dinamos puesto que es el dispositivo que permite ofrecer corriente continua, ya que debido a su giro, el sentido de la corriente cambia en la bobina. Pese a esto se trata de un mecanismo muy sencillo, ya que es un simple anillo con incrustaciones metálicas aisladas entre si a las que se conectan los extremos de la bobina. En cada giro la incrustación metálica que corresponda al polo

positivo de la bobina siempre estará en contacto con la escobilla que haga las veces de polo positivo de la dinamo, cosa que ocurre de igual modo con el polo negativo.

Como la corriente ofrecida por una sola bobina tendría una componente ondulatoria muy elevada (es decir, que el voltaje suministrado variaría continuamente dentro de unos límites en ocasiones muy poco admisibles) se recurre a añadir más bobinas hasta llegar a montajes de gran complejidad.

6.3.2 GENERADOR DE CORRIENTE ALTERNA ^[4*]

El generador de corriente alterna es un dispositivo que convierte la energía mecánica en energía eléctrica. El generador más simple consta de una espira rectangular que gira en un campo magnético uniforme.

El movimiento de rotación de las espiras es producido por el movimiento de una turbina accionada por una corriente de agua en una central hidroeléctrica, o por un chorro de vapor en una central térmica. En el primer caso, una parte de la energía potencial agua embalsada se transforma en energía eléctrica; en el segundo caso, una parte de la energía química se transforma en energía eléctrica al quemar carbón u otro combustible fósil.

Cuando la espira gira, el flujo del campo magnético a través de la espira cambia con el tiempo. Se produce una fem. Los extremos de la espira se conectan a dos anillos que giran con la espira, tal como se ve en la figura. Las conexiones al circuito externo se hacen mediante escobillas estacionarias en contacto con los anillos.

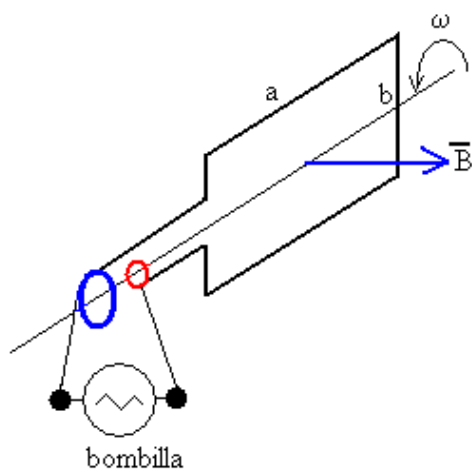


Figura 6.27

Si conectamos una bombilla al generador veremos que por el filamento de la bombilla circula una corriente que hace que se ponga incandescente, y emite tanta más luz cuanto mayor sea la velocidad con que gira la espira en el campo magnético.

Un generador simple sin conmutador producirá una corriente eléctrica que cambia de dirección a medida que gira la armadura. Este tipo de corriente alterna es ventajosa para la transmisión de potencia eléctrica, por lo que la mayoría de los generadores eléctricos son de este tipo. En su forma más simple, un generador de corriente alterna se diferencia de uno de corriente continua en sólo dos aspectos: los extremos de la bobina de su armadura están sacados a los anillos colectores sólidos sin segmentos del árbol del generador en lugar de los conmutadores, y las bobinas de campo se excitan mediante una fuente externa de corriente continua más que con el generador en sí.

Los generadores de corriente alterna de baja velocidad se fabrican con hasta 100 polos, para mejorar su eficiencia y para lograr con más facilidad la frecuencia deseada. Los alternadores accionados por turbinas de alta velocidad, sin embargo, son a menudo máquinas de dos polos. La frecuencia de la corriente que suministra un generador de corriente alterna es igual a la mitad del producto del número de polos y el número de revoluciones por segundo de la armadura.

6.3.3 SUBESTACION ELECTRICA



Figura 6.28 Subestación eléctrica elevadora (Quillacollo).

Instalación industrial empleada para la transformación del voltaje de la corriente eléctrica. Las subestaciones eléctricas elevadoras se ubican en las inmediaciones de las centrales eléctricas para elevar el voltaje a la salida de sus generadores y en las cercanías de las poblaciones y los consumidores, para bajarlo de nuevo. La razón técnica para realizar esta operación es la conveniencia de realizar el transporte de energía eléctrica a larga distancia a voltajes elevados para reducir las pérdidas resistivas, que dependen de la intensidad de corriente.

6.4. TRANSPORTE Y DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA ^[19*]

6.4.1 INTRODUCCION

Una vez fabricada, la electricidad se debe transportar desde las centrales de producción hasta los centros de consumo. De esta labor se encarga una red de conducciones que cubre todo el país.

También debemos tener en cuenta las actividades de transporte que implica la producción de electricidad: buena parte de los combustibles utilizados en la producción térmica o de electricidad proceden de lejanos países. Y no podemos olvidar que parte de la electricidad producida puede viajar a otros países, pues la red de transporte está interconectada, de país en país, a escala mundial.

Cuando apretamos el interruptor para encender una lámpara, damos fin a un proceso de transporte de energía de miles de kilómetros de longitud.

La electricidad producida desde las centrales a los centros de consumo se distribuye y transporta: desde las autopistas de la energía hasta el enchufe de nuestras casas.

No es fácil almacenar la energía eléctrica, pero existen métodos para hacerlo de manera más o menos indirecta.

6.4.2 CANALIZACIONES ELECTRICAS

Los principales sistemas de instalación de los conductores que puedan formar parte de una canalización fija son:

- Conductores aislados colocados sobre aisladores
- Conductores aislados en tubos protectores
- Conductores aislados instalados en zanjias
- Conductores aislados instalados en bandejas
- Conductores aislados tendidos en electroductos
- Conductores aislados enterrados
- Instalaciones preformadas

Las canalizaciones movibles y amovibles, pueden estar constituidas por:

- Conductores aislados sin fijación alguna
- Conductores aislados fijados por medio de ataduras aislantes.

6.4.2.1 CANALIZACIONES CON CONDUCTORES AISLADOS SOBRE AISLADORES

Estas instalaciones se utilizarán únicamente cuando los conductores no estén expuestos a deterioros por riesgo mecánico, debiendo situarse a una distancia del suelo no inferior a 2.5 metros.

Los conductores utilizados serán de tensión nominal de aislamiento no inferior a 600 voltios

Para su instalación se tendrán en cuenta las siguientes prescripciones:

- a) Los conductores se tensarán en forma que el coeficiente de seguridad no sea inferior a 3, no considerando el aislamiento, a estos efectos, como elemento resistente.
- b) La distancia entre aisladores consecutivos, será tal que los conductores no puedan entrar en contacto entre sí, con las paredes, muros, techos o cualquier otro objeto próximo a ellos.

Estas distancias serán, como máximo de: 2.0 metros para conductores de cobre colocados horizontalmente o verticalmente.

Pueden admitirse, en caso necesario, distancias mayores de las indicadas cuando, sin inconveniente alguno, pueda aumentarse la flecha alcanzada por los conductores.

c) La distancia entre conductores de polaridades diferentes será, como mínimo, de 1.5 centímetros en locales o emplazamientos secos, y de 3 centímetros en otros locales o emplazamientos.

d) La distancia entre los conductores y las paredes, muros o cualquier otro objeto próximo, no será inferior a 1 centímetro en locales o emplazamientos secos y de 5 centímetros cuando se trate de otros locales o emplazamientos.

e) Las derivaciones se efectuarán en la proximidad inmediata a uno de los soportes de la canalización y no originarán tracción mecánica sobre la misma.

f) Todos los empalmes o derivaciones deberán aislarse. El aislamiento se efectuará disponiendo sobre las mismas varias capas de cinta aislante adecuadas al aislamiento de los conductores, y que ofrezcan en conjunto un espesor equivalente al de este aislamiento.

6.4.2.2 CANALIZACIONES CON CONDUCTORES AISLADOS EN TUBOS PROTECTORES

a) Tubos metálicos rígidos blindados, normalmente de acero, de aleación de aluminio y magnesio, de zinc o de sus aleaciones. Estos tubos son estancos y no propagadores de la llama. Según su resistencia mecánica se clasifican en pesados, semipesados y livianos.

b) Tubos aislantes rígidos normales curvables en caliente, fabricados con un material aislante, generalmente policloruro de vinilo o polietileno. Estos tubos son estancos y no propagadores de la llama. Según su resistencia mecánica se clasifican en pesados y livianos.

c) Tubos aislantes flexibles normales, que pueden curvarse con las manos.

d) Tubos metálicos flexibles constituidos por una cubierta metálica con un fileteado especial para poder curvar el tubo con las manos. Pueden ser normales o estancos.

Los tubos deberán soportar, como mínimo, sin deformación alguna. 60 grados centígrados para los tubos aislantes constituidos por policloruro de vinilo o polietileno.

Este tipo de canalización podrá colocarse directamente sobre las paredes o techos, en montaje superficial, o bien empotrada en los mismos.

Los conductores utilizados, serán de tensión nominal no inferior a 600 voltios.

Los tubos se elegirán, en cada caso teniendo en cuenta las acciones a que han de estar sometidos, las condiciones de su puesta en obra y las características del local donde la instalación se efectúe.

Dentro de los tubos protectores sólo deben ser instalados cables aislados.

El diámetro externo de los tubos protectores debe ser igual o superior a 16 mm.

Los tubos protectores deben ser firmemente fijados a una distancia de máximo 1 metro de cada caja de derivación o dispositivo.

6.4.2.3 CONDUCTORES AISLADOS INSTALADOS EN ZANJAS

6.4.2.3.1 Zanjas propiamente dichas

Se aceptarán instalaciones en zanjas de hormigón para aplicaciones industriales y de edificios, cuando el proyectista considere necesario llevar buen número de conductores sin necesidad de protegerlos individualmente contra daños mecánicos.

Este tipo de instalaciones será aceptable bajo las siguientes condiciones:

- a)** La zanja deberá dimensionarse, considerando que los conductores deben ir instalados en su interior en forma ordenada y tal que permita su fácil identificación y acceso.
- b)** Sólo se aceptarán zanjas en lugares no sujetos a lavado, inundación o donde no se manipulen, trabajen o transporten líquidos, gases corrosivos o polvos de granos, de madera o de minerales que en mezclas o combinaciones de oxígeno y temperatura adecuada se hagan explosivos; o lugares considerados no peligrosos.
- c)** En todo caso, las zanjas deben ser diseñadas considerando paredes y pisos a prueba de filtraciones, con una pendiente de drenaje adecuada hacia un colector que garantice que no habrá alimentación inversa.
- d)** Las tapas de las zanjas deberán ser diseñadas de hormigón o hierro, pero en ningún caso de materiales combustibles, quebradizos o astillables; con la suficiente capacidad como para soportar cargas mecánicas estáticas y dinámicas dependiendo del lugar de su instalación.
- e)** Dependiendo del tamaño de la zanja y del número y tipo de conductores a instalarse, se aceptarán zanjas con bandejas metálicas montadas en las paredes de la zanja.
- f)** En ningún caso se deberán instalar en una misma zanja, conductores de fuerza y distribución con conductores de señales, medida, comando o protección a menos que se tomen las correspondientes medidas de blindaje y protección contra cortocircuitos y corrientes inducidas.

Se recomienda en estos casos 2 zanjas y otros métodos.

- g)** Todos los conductores de una zanja deberán ser individualmente identificados, al menos en sus extremos y en lugares de acceso.

6.4.2.3.2 Shafts (o columnas de servicio técnico)

Para el caso de edificios de más de 2 plantas, se considerará como variante de este método la utilización de conductos verticales de hormigón, previstos en la misma construcción, comúnmente llamados “Shafts” o “Columnas de Servicios Técnicos”.

Para la aplicación de este método, serán aplicables los requerimientos mencionados en el punto 4.2.4.3.1 además de los siguientes:

- a) Los conductos verticales de servicio eléctrico serán exclusivos para estos fines y deberán estar perfectamente separados de otros servicios, tales como bajantes pluviales, de alcantarillado, agua potable, de recolección de basuras, chimeneas, etc.
- b) Los conductores deberán asegurarse por lo menos cada piso o cada 2.5 a 3 m. en forma independiente uno de otro. Se recomienda que estas instalaciones sean ejecutadas en ductos verticales con cajas de inspección, jalado, derivación y fijación, según sea necesario, de manera tal, que el peso de los conductores que se transmita a los ductos no sea soportado por las cajas, ni transmitido a los elementos que se encuentran a niveles inferiores.

6.4.2.4 CONDUCTORES AISLADOS COLOCADOS EN BANDEJAS

Estas instalaciones consistirán en soportes de sección transversal rectangular, con base y paredes llenas, o ranuradas, construidas de materiales metálicos (aluminio o hierro esmaltado o acero galvanizado, según el lugar de instalación), descolgados o soportados de cielos rasos, cielos falsos o estructuras de modo que lleven en su interior conductores en un tendido aéreo expuesto.

6.4.2.5 CONDUCTORES AISLADOS TENDIDOS EN ELECTRODUCTOS

Consisten en canaletas metálicas con tapas para permitir el tendido de conductores sueltos que se instalen después de que el cableado ha sido tendido. Se aplicarán los siguientes requisitos:

- a) Serán aceptables para instalaciones hasta 600 V.
- b) Se admitirán derivaciones hacia ductos metálicos o de PVC siempre que se asegure la continuidad metálica de la puesta a tierra.
- c) No se deberán prever más de 30 conductores por cableducto y ninguno será de más de 250 mm².
- d) El montaje mecánico podrá ser adosado a paredes o losas, o descolgado de ellas o estructuras rígidas.

- e) No se admitirán estas instalaciones en lugares peligrosos o lugares con presencia de líquidos o gases corrosivos.

6.4.2.6 CONDUCTORES EN MOLDURAS

Estas canalizaciones están constituidas por conductores alojados en ranuras bajo molduras.

Solamente podrán utilizarse en locales o emplazamientos polvorientos, secos o temporalmente húmedos.

Los conductores rígidos y flexibles serán de tensión nominal no inferior a 600 voltios.

Las molduras, podrán ser reemplazadas por guarniciones de puertas, astrágalos o zócalos ranurados, siempre que cumplan las condiciones impuestas por las primeras.

6.4.2.7 PASO A TRAVES DE ELEMENTOS DE LA CONSTRUCCION

El paso de las canalizaciones a través de elementos de la construcción, tales como muros, tabiques y techos, se realizarán de acuerdo con las siguientes prescripciones:

- a) En toda la longitud de los pasos de canalizaciones, no se dispondrán empalmes o derivaciones de conductores.
- b) Las canalizaciones estarán suficientemente protegidas contra los deterioros mecánicos, las acciones químicas y los efectos de la humedad. Esta protección se exigirá de forma continúa en toda la longitud del paso.
- c) Si se utilizan tubos no obturados para atravesar un elemento constructivo que separe dos locales de humedades marcadamente diferentes, se dispondrán de modo que se impida la entrada y acumulación de agua en el local más húmedo.

Cuando los pasos desemboquen al exterior se instalará el tubo de modo que el paso exterior-interior de los conductores se efectúe en sentido ascendente.

- d) En el caso que las canalizaciones sean de naturaleza distinta a uno y otro lado del paso, éste se efectuará por la canalización utilizada en el local cuyas prescripciones de instalación sean más severas.
- e) Los extremos de los tubos metálicos estarán provistos de boquillas de bordes redondeados o de dispositivo equivalente.

6.4.2.8 INSTALACIONES ENTERRADAS

Se admitirán como instalaciones directamente enterradas:

- a) Conductores con armadura y con una protección hermética sobre la armadura.
- b) Conductores sin armadura pero con una protección espesa, donde deben considerarse las precauciones siguientes:
 - Prever una protección mecánica independiente contra choques con elementos metálicos.
 - En terrenos no estabilizados, la sección del conductor debe ser igual o superior a 6 mm².
 - En terrenos frecuentemente inundados o con presencia de humedad los conductores deben prever una capa de plomo.

6.4.2.9 INSTALACIONES PRE-FABRICADAS (“BUS - WAY”)

Las instalaciones pre-fabricadas deben ser fijadas, conforme las instrucciones del fabricante, sobre elementos estables de los predios de suficiente solidez, a intervalos no máximos de 5 mts.

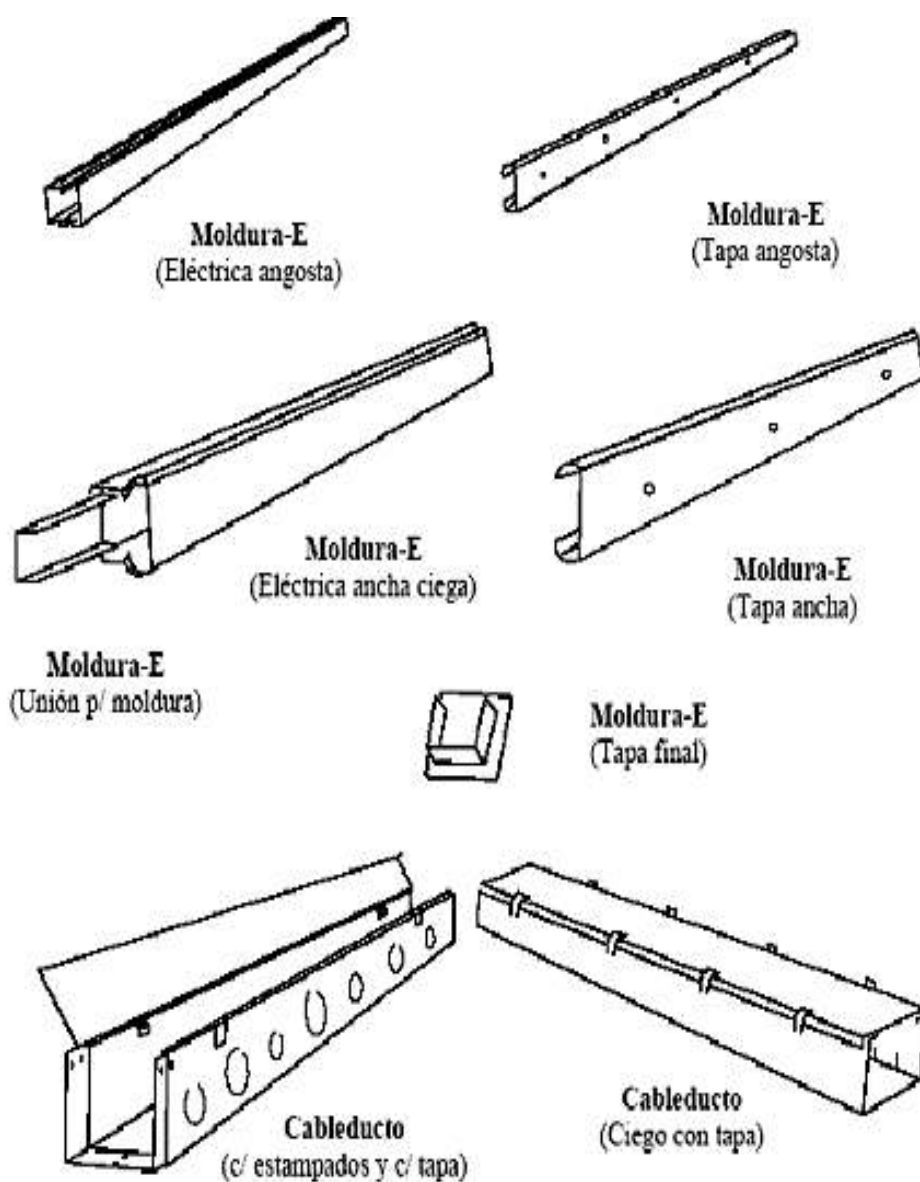
Cuando las instalaciones pre-fabricadas contemplen cubiertas metálicas, éstas por regla general debe ser aterradas y aseguradas la continuidad de la cubierta metálica en todos los empalmes de forma de garantizar la misma capacidad de conducción de corriente de la cubierta metálica.

Las cubiertas metálicas de las instalaciones pre-fabricadas, pueden ser utilizadas como conductores de protección.

Cuando los elementos de las instalaciones pre-fabricadas constituyen o soportan aparatos de utilización, como lámparas de iluminación y éstas poseen masa, se debe asegurar la conexión eléctrica efectiva de la masa de los aparatos con la envoltura metálica de la instalación. Esta conexión debe satisfacer las condiciones establecidas en el punto anterior.

Durante las operaciones de mantenimiento o de sustitución de elementos, tales como lámparas, accesorios, éstas conexiones deben ser mantenidas, o se interrumpirán después del accionamiento de los conductores vivos y deben ser restablecidas antes de los conductores vivos.

Figura 6.29 Tipo de molduras y cableductos (Ejemplo FEMCO)



GLOSARIO

Los términos que se dan a continuación, tienen el significado que se indica:

Angulo de fase

Es el ángulo que existe entre dos magnitudes periódicas simples.

Reactancia inductiva.-

Sirve para retardar el aumento o disminución de la corriente

Reactancia capacitiva.-

Sirve para retardar el aumento o disminución de la tensión, pero en ningún caso previene ni limita el cambio.

Impedancia.-

Es la relación entre la tensión aplicada a un circuito y la intensidad que produce.

Es la oposición que presenta un elemento al paso de la CA.

Sistema trifásico.-

Es un conjunto de tres corrientes alternas monofásicas de la misma amplitud y periodo, y desfasadas entre si un ángulo que corresponde a un tercio del periodo.

Fasor.-

Es un vector giratorio (OA), en la que el punto A recorre la circunferencia de radio r con un movimiento circular uniforme de velocidad angular (ω), ángulo descrito en la unidad de tiempo.

Decimos que una senoide se engendra por la proyección sobre cualquier eje fijo de un fasor.

Intensidad de campo.-

Es el valor del campo eléctrico en un punto del espacio.

Circuito eléctrico.-

Es un conjunto de elementos conductores que forman un camino cerrado (malla), por el que circula una corriente eléctrica.

Corriente eléctrica.-

Es el flujo de electrones a través de un conductor, sigue el camino cerrado o malla y es de igual valor en cualquier punto del mismo.

Caída de tensión.-

Se produce en la resistencia interna del generador, en los conductores y en las conexiones.

Nodo.-

Punto de un circuito o red, donde concurren dos o mas conductores.

Malla.-

Conjunto de ramas que forman un camino cerrado en un circuito y que no puede subdividirse en otros, ni pasar dos veces por la misma rama.

Kirchoff.-

La suma algebraica de todas las intensidades que llegan a un nodo es igual a la suma algebraica de todas las intensidades que se alejan del nodo.

Voltaje.-

Es una unidad geométrica, se considera voltaje a la diferencia de potencial eléctrico entre 2 alturas o puntos.

Resistencia.-

Oposición al paso de la corriente

Capacitor.-

Acumula la corriente en forma de campo eléctrico.

Fem.-

Es producida en una fuente de tensión y proviene de la generación de electricidad por cualquier procedimiento.

Acometida

Conjunto de conductores y accesorios utilizados para conectar los equipos de protección y/o medida de una instalación interior a una red de distribución.

Baja tensión

Circuitos con una diferencia de potencial entre conductores, igual o menor a 600 V.
Nivel de tensión igual o inferior a 1000 V.

Canalización

Medio para el tendido, instalación, conducción y protección mecánica de conductores eléctricos.

Canalización a la vista

Canalizaciones observables a simple vista.

Canalización empotradas o embutida

Canalizaciones empotradas en perforaciones o calados hechos en los muros, losas, vigas, columnas, entrepisos o entretechos de una construcción, recubiertas por las terminaciones o enlucidos.

Canalización oculta

Canalizaciones colocadas en lugares que no permiten su visualización directa, pero que son accesibles en toda su extensión.

Conductor activo

Se consideran como conductores activos en toda instalación los destinados normalmente a la transmisión de energía eléctrica, ésta consideración se aplica a los conductores de fase y al conductor neutro en corriente alterna.

Conector

Dispositivo destinado a establecer una conexión eléctrica entre dos o más conductores por medio de presión mecánica.

Contactos directos

Contactos de personas con partes activas de los materiales y equipos

Contactos indirectos

Contactos de personas o animales con masas puestas accidentalmente bajo tensión.

Corriente de contacto

Es la corriente que pasa a través del cuerpo humano cuando está sometido a una tensión.

Cortocircuito

Conexión accidental de impedancia despreciable entre 2 puntos a distintos potenciales.

Dispositivo

Elementos de un sistema eléctrico por los cuales circula corriente pero no la consume como ser:

Interruptores, enchufes, fusibles.

Empalme

Forma de unir dos o más conductores.

Factor de demanda

Es la relación entre la demanda máxima y la potencia total instalada siendo esta última referida a la carga o demanda (no se debe confundir con potencia total instalada para satisfacer la demanda), es válido en un determinado punto y periodo de tiempo..

Factor de carga

El factor de carga es la relación entre la demanda media y la demanda máxima, es válido en un determinado punto y período de tiempo.

Factor de instalación

Es la relación entre la potencia total instalada en la fuente y la potencia total instalada en la carga, es válido en un determinado punto y período de tiempo.

Factor de reserva

Es la relación entre la potencia total instalada (en la fuente) y la demanda máxima. Es la relación inversa del factor de utilización. Es válido en un determinado punto y período de tiempo.

Instalación interior

Instalación eléctrica construida en el interior de una propiedad particular, ubicada tanto en el interior de los edificios como en la intemperie.

Interruptor

Elemento de una instalación, destinado a conectar o desconectar un circuito y/o su respectiva carga, ya sea en vacío o con carga. Su capacidad nominal se fijará en función de su tensión nominal y de las corrientes nominales de carga y/o de interrupción.

Interruptor automático (Disyuntor)

Dispositivo de protección y maniobra cuya función es desconectar automáticamente una instalación o parte de ella, por la acción de un elemento bimetálico y/o elemento electromagnético, cuando la corriente que circule por él, exceda un valor pre-establecido en un tiempo dado. Se define por el número de polos, tensión nominal, corriente nominal permanente y corriente nominal de apertura en kiloamperios simétricos y eventualmente el tipo de chasis, montaje o instalación.

Luminaria

Aparato que sirve para repartir, filtrar, o transformar la luz de las lámparas y que incluye todas las piezas necesarias para fijar y proteger las lámparas y para conectarlas al circuito de alimentación.

Tomacorrientes

Es el dispositivo por donde se toma corriente para alimentar artefactos eléctricos, mediante clavijas, espigas y sin necesidad de unión mecánica alguna.

Circuito de protección

Es el circuito formado por conductores, derivaciones y empalmes que forman las diferentes partes de la puesta a tierra de un edificio.

Circuito eléctrico

Conjunto de materiales eléctricos de una instalación, alimentados a partir de un mismo origen y protegidos contra sobrintensidades por un mismo o varios dispositivos de protección.

Conductividad

Es una característica intrínseca de los materiales que favorece el paso de la corriente eléctrica.

Conductor

Genéricamente, es todo material capaz de conducir corriente eléctrica.

Corriente de cortocircuito

Sobrintensidad producida por un fallo de impedancia despreciable entre dos conductores activos que presentan una diferencia de potencial en servicio normal.

Instalación eléctrica

Toda combinación de materiales eléctricos interconectados dentro de un espacio determinado.

Circuito eléctrico (circuito)

Conjunto de medios a través de los cuales puede circular la corriente eléctrica.

Tierra

Masa conductora de tierra, o todo conductor de impedancia muy pequeña, propositadamente conectada a tierra con objeto de establecer continuidad eléctrica y mejorar la dispersión de corrientes de tierra.

Elemento conductor ajeno a la instalación, (elemento conductor)

Elemento que no forma parte de la instalación eléctrica y que es susceptible de propagar un potencial.

Nota: Pueden ser elementos conductores:

- Elementos metálicos utilizados en la construcción del edificio.
- Cañerías metálicas de gas, agua, calefacción, etc., y los aparatos no eléctricos que se encuentran conectados a ellas (radiadores, lavaplatos, etc.).
- Pisos y paredes no aislados.

Toma de tierra

Una o varias piezas conductoras enterradas en el suelo y destinadas a asegurar un contacto eléctrico eficiente con la masa general de la tierra.

Corriente admisible de un conductor

Valor constante de la intensidad de corriente que un conductor puede soportar en condiciones dadas sin que su temperatura en régimen permanente sea superior al valor especificado.

Corriente de cortocircuito

Sobrecorriente causada por contacto directo de impedancia despreciable, entre dos puntos que en condiciones normales de servicio presentan una diferencia de potencial.

Nota: La intensidad de la corriente de “shock” depende de las circunstancias y de los individuos.

Demanda máxima

Mayor demanda que se presenta en una instalación o parte de ella. Es válida en un determinado punto y periodo de tiempo

Demanda media

Valor promedio de los valores de demanda que se presentan en una instalación o parte de ella. Es

válida en un punto y periodo determinado. Se interpreta como la demanda que siendo constante en el

tiempo, consume la misma energía que si la demanda fuese variable.

- Conectados a ella (radiadores, lavaplatos, etc.)

- Pisos y paredes no aislados.

Estanco

Material que no permite el paso o ingreso de un determinado agente. Por ejemplo: Un material

estanco al agua, es aquel que no permite la entrada de agua.

Potencia total instalada en carga

Es la suma de las potencias nominales de los equipos o puntos conectados a un circuito, es válida en

un determinado punto y periodo de tiempo.

Potencia total instalada en fuente

Es la suma de las potencias nominales de los equipos destinados a satisfacer una demanda, es válida

en un determinado punto y período de tiempo.

Tensión nominal de un conductor

Tensión a la que el conductor debe poder funcionar permanentemente en condiciones normales de servicio.

Tensión nominal

Valor convencional de la tensión con la que se denomina un sistema o instalación y para los que ha

sido previsto su funcionamiento y aislamiento

Tensión de servicio

Valor convencional de la tensión de suministro de energía eléctrica a los abonados o consumidores,

puede variar en límites establecidos por ley.

Rangos de tensión

Se definen los siguientes rangos de tensión para frecuencia ≤ 60 Hz y voltaje ≤ 1000 V:

La unidad de corriente eléctrica es el amperio (A) en honor a Andre Ampere, y

$$1 \text{ Amperio} = \frac{1 \text{ Coulomb}}{1 \text{ Segundo}}$$

para intensidades más pequeñas se usan los submúltiplos:

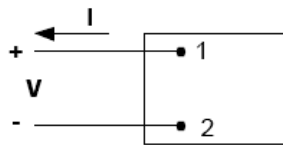
$$\begin{aligned} 1 \text{ miliamperio} &= 1 \text{ mA} = 0,001 \text{ A} = 1 \times 10^{-3} \text{ A} \\ 1 \text{ microampere} &= 0,000001 \text{ A} = 1 \times 10^{-6} \text{ A} \end{aligned}$$

Coulomb (C) Establece que un electrón tiene una carga negativa de 1.6021×10^{-19} coulomb. Dicho de otra manera un coulomb es el conjunto de cargas de aproximadamente 6.24×10^{18} electrones.

EJERCICIOS RESUELTOS

1.- Potencia y Energía.

$$I = 4 \text{ A} \quad V = -10 \text{ V}$$

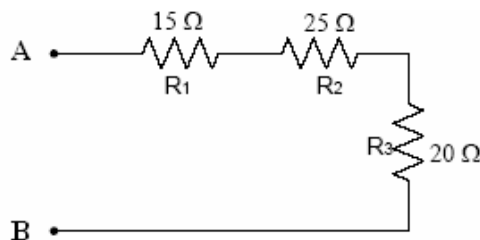


$$P = -V * I$$

$$P = -(-10) * (4) = 40 \text{ W}$$

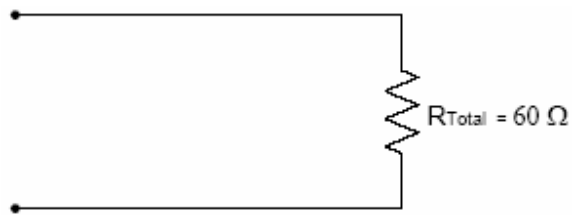
2.- Hallar la resistencia total del circuito entre los extremos A y B.

Solución:



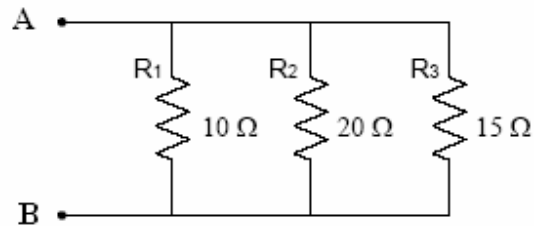
Solución:

$$\begin{aligned} R_{Total} &= R_1 + R_2 + R_3 \\ R_{Total} &= 15[\Omega] + 25[\Omega] + 20[\Omega] \\ R_{Total} &= 60[\Omega] \end{aligned}$$

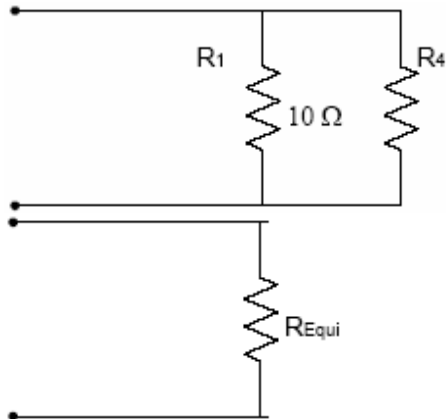


3.- Del siguiente circuito hallar la resistencia equivalente entre los extremos A y B.

Solución:



Solución:



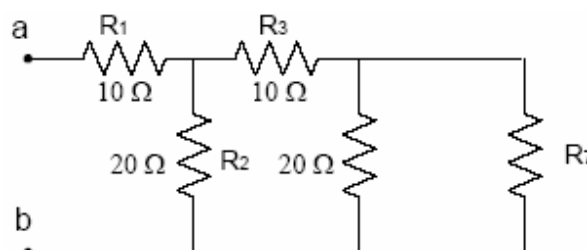
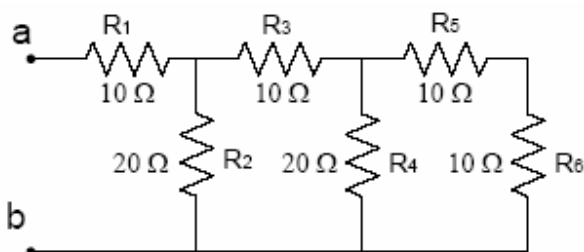
$$R_4 = \frac{R_2 * R_3}{R_2 + R_3} = \frac{20 * 15}{20 + 15} = 8.6[\Omega]$$

$$R_{Equi} = \frac{R_1 * R_4}{R_1 + R_4} = \frac{10 * 8.6}{10 + 8.6} = 4.6[\Omega]$$

$$R_{Equi} = 4.6[\Omega]$$

4.- Encuentre la resistencia equivalente del siguiente circuito Rab..

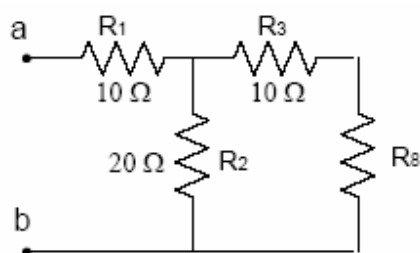
Solución:



$$R_7 = R_5 + R_6$$

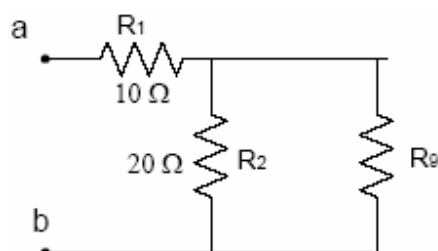
$$R_7 = 10 + 10$$

$$R_7 = 20[\Omega]$$



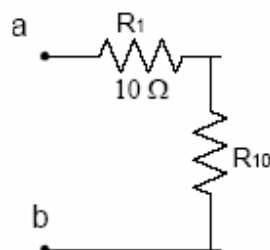
$$R_8 = \frac{R_7 * R_4}{R_7 + R_4} = \frac{20 * 20}{20 + 20} =$$

$$R_8 = 10[\Omega]$$



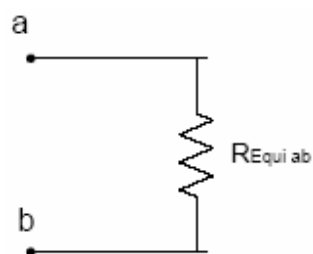
$$R_9 = R_3 + R_8 = 10 + 10 =$$

$$R_9 = 20[\Omega]$$



$$R_{10} = \frac{R_2 * R_9}{R_2 + R_9} = \frac{20 * 20}{20 + 20} =$$

$$R_{10} = 10[\Omega]$$



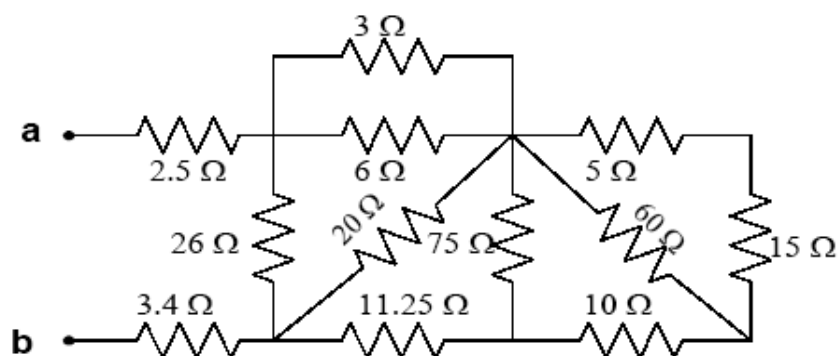
$$R_{Equiab} = R_1 + R_{10}$$

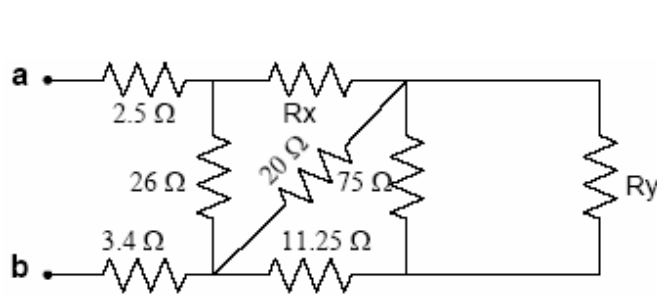
$$R_{Equiab} = 10 + 10$$

$$R_{Equiab} = 20[\Omega]$$

5.- Encuentre las resistencias equivalentes $[R_{ab}]$ del siguiente circuito.

Solución:



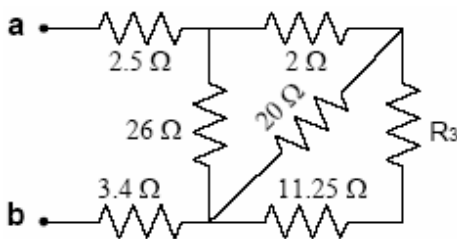


$$R_x = \frac{3 \cdot 6}{3 + 6} = 2[\Omega]$$

$$R_1 = 5 + 15 = 20[\Omega]$$

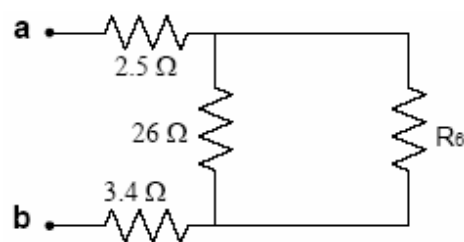
$$R_2 = \frac{20 \cdot 60}{20 + 60} = 15[\Omega]$$

$$R_y = 15 + 10 = 25[\Omega]$$



$$R_3 = \frac{75 \cdot R_y}{75 + R_y} = \frac{75 \cdot 25}{100}$$

$$R_3 = 18.75[\Omega]$$

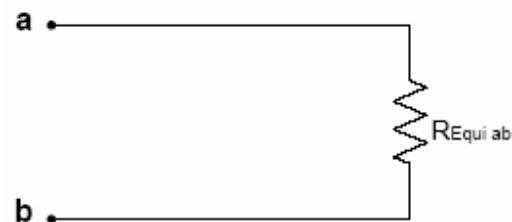


$$R_4 = R_3 + 11.25 = 18.75 + 11.25$$

$$R_4 = 30[\Omega]$$

$$R_5 = \frac{30 \cdot 20}{30 + 20} = 12[\Omega]$$

$$R_6 = R_5 + 2 = 12 + 2 = 14[\Omega]$$



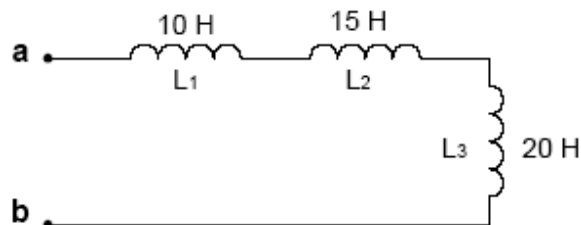
$$R_7 = \frac{14 \cdot 26}{14 + 26} = 9.1[\Omega]$$

$$R_{Equiab} = 2.5 + 9.1 + 3.4$$

$$R_{Equiab} = 15[\Omega]$$

6.- Encontrar el valor equivalente de todas las inductancias que se encuentran en el siguiente circuito.

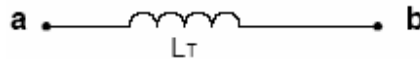
Solución:



$$L_T = L_1 + L_2 + L_3$$

$$L_T = 10 + 15 + 20$$

$$L_T = 45[H]$$



7.- Se dispone de 5 bobinas cada una de ellas con los siguientes valores $L_1=10[H]$, $L_2=15[H]$, $L_3=20[H]$, $L_4=5[H]$ y $L_5=12[H]$, si se desea reemplazar por un inductor, que valor debiera tener. Cuando los 5 inductores se encuentran conectados en serie como en paralelo.

Solución:

- Conexión serie:

$$L_{equi.} = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5$$

$$L_{equi.} = 10 + 15 + 20 + 5 + 12$$

$$L_{equi.} = 62[H]$$

- Conexión paralelo:

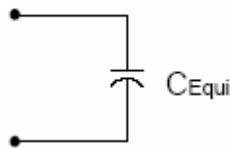
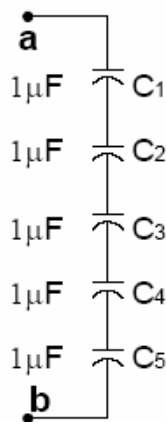
$$\frac{1}{L_{equi.}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \frac{1}{L_4} + \frac{1}{L_5}$$

$$\frac{1}{L_{equi.}} = \frac{1}{10} + \frac{1}{15} + \frac{1}{20} + \frac{1}{5} + \frac{1}{12}$$

$$L_{equi.} = 2[H]$$

8.- En el siguiente gráfico se encuentran 5 condensadores conectados en serie, hallar el valor equivalente de los 5 condensadores.

Solución:



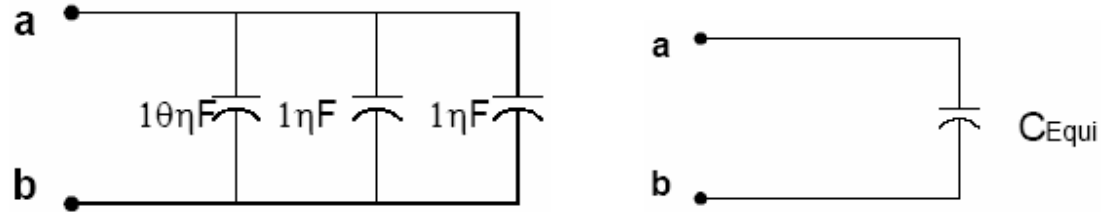
$$\frac{1}{C_{Equi}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4} + \frac{1}{C_5}$$

$$\frac{1}{C_{Equi}} = \frac{1}{1*10^{-6}} + \frac{1}{1*10^{-6}} + \frac{1}{1*10^{-6}} + \frac{1}{1*10^{-6}} + \frac{1}{1*10^{-6}}$$

$$C_{Equi} = 0.2 \mu F$$

9.- En el gráfico que se muestra a continuación se desea reemplazar los 3 condensadores que se encuentran en paralelo por una sola, ¿qué valor tendrá ese capacitor?.

Solución:



$$C_{Equi.} = C_1 + C_2 + C_3$$

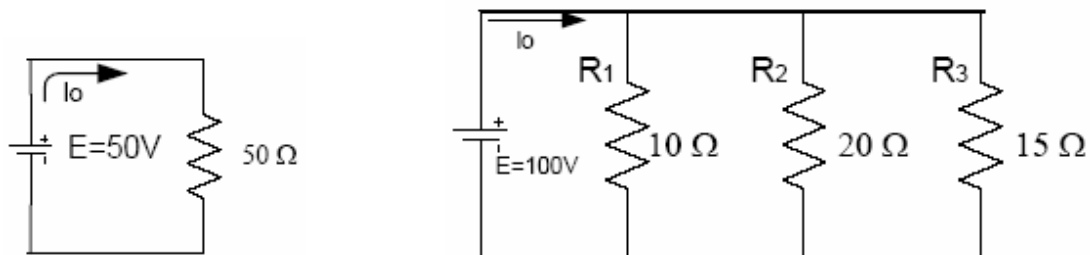
$$C_{Equi.} = 1\eta F + 1\eta F + 1\eta F$$

$$C_{Equi.} = 3\eta F$$

$$C_{Equi.} = 0.003\mu F$$

10.- En cada circuito de la figura se desconoce se desconoce el valor de la corriente.

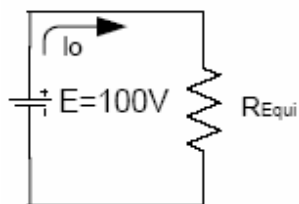
- Calcule los valores de la corriente.
- Determine la potencia que disipa cada resistor.



- La corriente I_o en el resistor de 50Ω de la figura 1 va en la dirección del voltaje a través del resistor.

$$I_o = \frac{50V}{50\Omega} = 1[A]$$

en la figura 2, para hallar la corriente primeramente se calcula la resistencia equivalente.



$$\frac{1}{R_{Equi}} = \frac{1}{10} + \frac{1}{20} + \frac{1}{20}$$

$$\frac{1}{R_{Equi}} = 5[\Omega]$$

$$I_o = \frac{100V}{5\Omega} = 20[A]$$

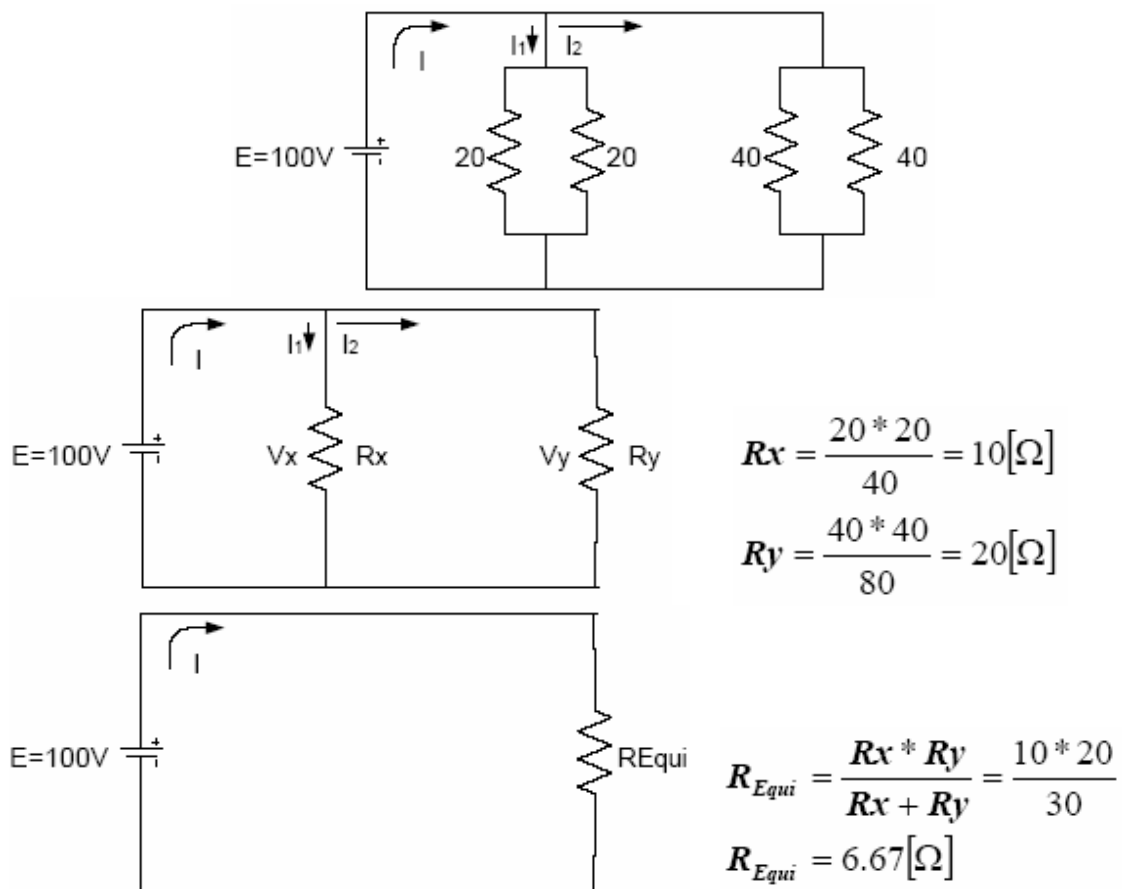
- La potencia que disipa cada uno de las resistencias es:

$$P_{50\Omega} = \frac{V^2}{R} = \frac{(50)^2}{50} = 50[W]$$

$$P_{10\Omega} = \frac{V^2}{R} = \frac{(100)^2}{10} = 1000[W]$$

$$P_{20\Omega} = \frac{V^2}{R} = \frac{(100)^2}{20} = 500[W]$$

11.- Hallar los valores de I, I₁ e I₂ del siguiente circuito:



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

Por la ley de Ohm:

$$I = \frac{100}{6.67} = 15[A]$$

$$I = 15[A]$$

$$E = V_x = V_y$$

Por estar en paralelo:

$$I_1 = \frac{Vx}{R} = \frac{100}{10} = 10[A]$$

$$I_2 = \frac{Vy}{R} = \frac{100}{20} = 5[A]$$

$$I = I_1 + I_2$$

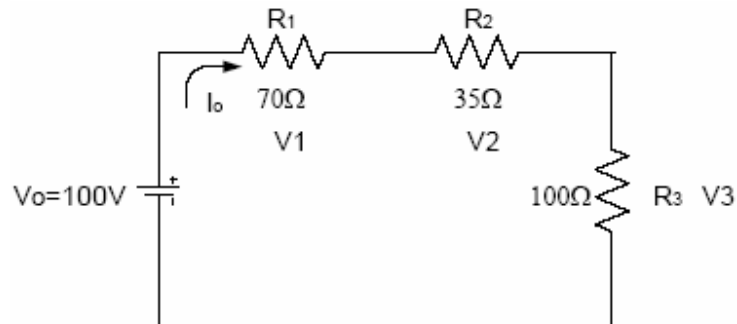
$$15 = 10 + 5$$

$$15 = 15$$

Se demuestra que: $I = I_1 + I_2$

12.- Use las leyes de Kirchhoff para encontrar I_o , V_1 , V_2 , V_3 y las potencias disipadas por cada resistencia.

Solución:



$$R_{Equi} = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R_{Equi} = 70 + 35 + 100$$

$$R_{Equi} = 205[\Omega]$$

Utilizando la ley de ohm.:

$$V = R * I$$

$$I_o = \frac{Vo}{R} = \frac{100}{205} = 0.49[A]$$

$$I_o = 0.488[A]$$

Por encontrarse las 3 resistencias en serie la corriente que circula a través de ellas es la misma que entra a la fuente de 100V.

$$I_0 = I_1 = I_2 = I_3$$

$$V_1 = R * I_1 = 70 * 0.488$$

$$V_1 = 34.2[V]$$

$$V_2 = R * I_2 = 35 * 0.488$$

$$V_2 = 17[V]$$

$$V_3 = R * I_3 = 100 * 0.488$$

$$V_3 = 48.8[V]$$

y las potencias disipadas por cada resistencia es:

$$P_{R1} = V_1 * I_0$$

$$P_{R1} = 34.2 * 0.488$$

$$P_{R1} = 16.7[W]$$

$$P_{R2} = V_2 * I_2$$

$$P_{R2} = 17 * 0.488$$

$$P_{R2} = 8.3[W]$$

$$P_{R3} = V_3 * I_3$$

$$P_{R3} = 48.8 * 0.488$$

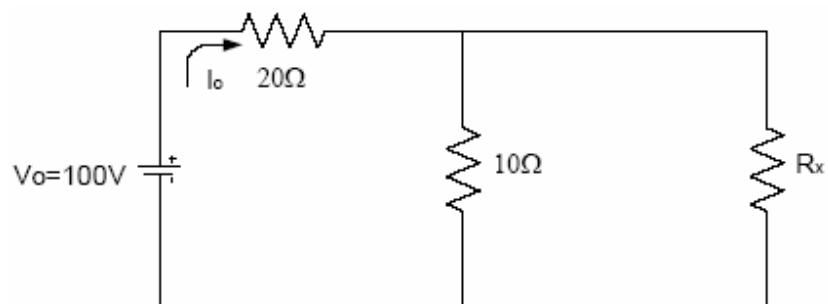
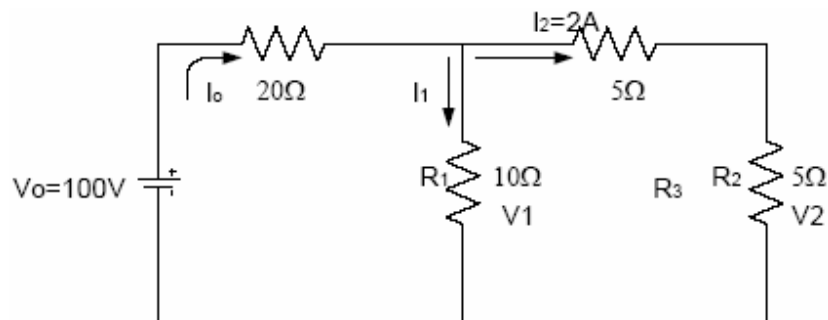
$$P_{R3} = 23.8[W]$$

La potencia disipada es igual a la potencia entregada por la fuente de alimentación.

13.- se tiene el siguiente circuito, calcular:

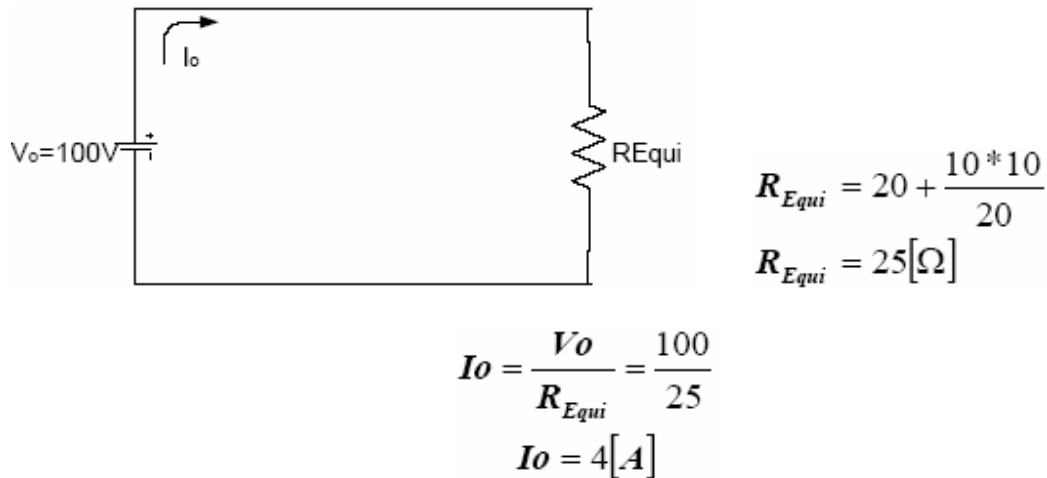
Solución:

- el voltaje que circula por la resistencia de 20Ω
- la corriente que circula por el resistor de 10Ω
- los voltajes V_1 y V_2 .



$$R_x = R_2 + 5$$

$$R_x = 10[\Omega]$$



La corriente circula por la resistencia de 20Ω es I_o .

$$V_{20\Omega} = R * I_o = 20 * 4$$

$$V_{20\Omega} = 80[V]$$

Sabemos que:

$$I_o = I_1 + I_2$$

$$I_1 = I_o - I_2 = 4 - 2$$

$$I_1 = 2[A]$$

$$I_1 = I_{R1} = 2[A]$$

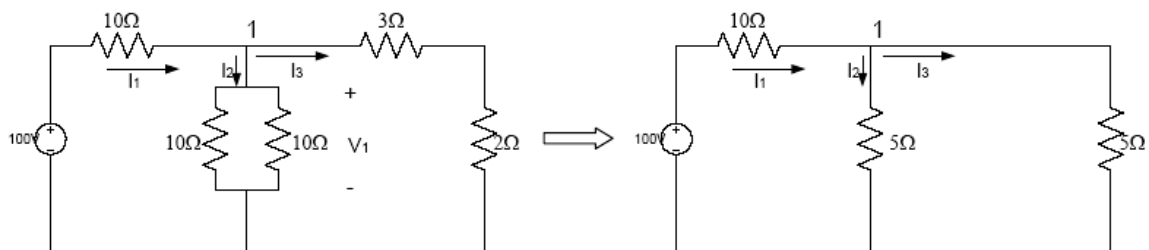
$$V_{R1} = R * I_{R1} = 10 * 2 = 20[V] \Rightarrow V_1 = 20[V]$$

$$V_{R2} = R * I_{R2} = 5 * 2 = 10[V] \Rightarrow V_2 = 10[V]$$

14.- a) Use el método de voltajes de nodo del análisis de circuitos para calcular las corrientes de las ramas I_1 , I_2 , I_3 .

Solución:

b) Calcular la potencia que disipa cada resistor.



a)

$$\frac{V_1 - 100}{10} + \frac{V_1}{5} + \frac{V_1}{5} = 0$$

$$\frac{V_1}{10} + \frac{V_1}{5} + \frac{V_1}{5} = \frac{100}{10}$$

$$V_1 = 20[V]$$

$$V = R * I_2$$

$$I_2 = \frac{V}{R} = \frac{20}{5}$$

$$I_2 = 4[A]$$

$$I_3 = \frac{V_1}{R} = \frac{20}{5}$$

$$I_3 = 4[A]$$

$$I_1 = I_2 + I_3$$

$$I_1 = 4 + 4$$

$$I_1 = 8[A]$$

b)

$$P_{10\Omega} = R * I^2$$

$$P_{10\Omega} = 10 * 8^2$$

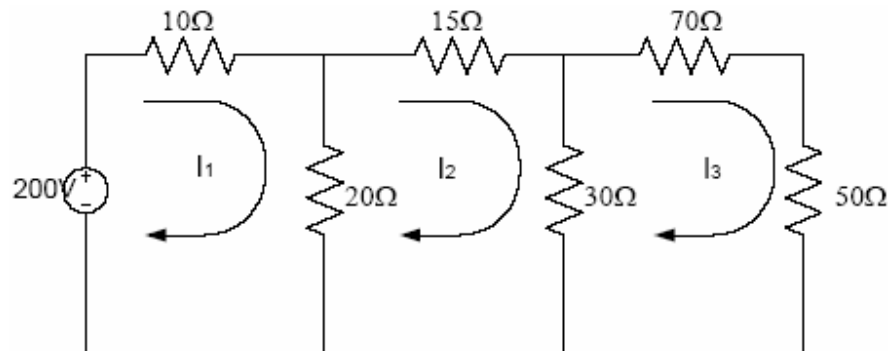
$$P_{10\Omega} = 640[W]$$

$$P_{5\Omega} = 5 * 4^2$$

$$P_{5\Omega} = 80[W]$$

15.- Use el método de corrientes de malla para determinar las corrientes de malla y redibuje el circuito con los verdaderos sentidos.

Solución:



$$\sum R_{\text{Propias}} * I_{\text{Propias}} - \sum R_{\text{ady}} * I_{\text{ady}} = \sum V_{\text{propias}}$$

$$(10 + 20) * I_1 - 20 * I_2 + 0 * I_3 = 0$$

$$- 20 * I_1 + (20 + 15 + 30) * I_2 + 30 * I_3 = 0$$

$$0 * I_1 - 30 * I_2 + (30 + 70 + 50) * I_3 = 0$$

$$\begin{aligned}30I_1 - 20I_2 + 0I_3 &= 0 \\-20I_1 + 65I_2 - 30I_3 &= 0 \\0I_1 - 30I_2 + 150I_3 &= 0\end{aligned}$$

16.-Para una superficie total de 70 m² para un salón de fiestas. Determinar la potencia a instalar, considerando iluminación incandescente.

Solución:

$$A = 70 \text{ m}^2$$

De la Tabla 4.28 determinamos el nivel de consumo, que resulta ser: mínimo y de la tabla 4.29 la densidad de carga = 10 W/m²

Entonces:

70 x 10 = 700 W necesarios para la iluminación
Podemos instalar 7 puntos de 100 W, aproximadamente.

17.-Para un ambiente de 17 m. de largo y 9 m. de ancho. Determinar la potencia a instalar, considerando iluminación fluorescente.

Solución:

$$A = 17 \times 9 = 153 \text{ m}^2$$

De la tabla 4.28 determinamos el nivel de consumo como: **elevado** y de la Tabla 4.29 la densidad de carga = 8 W/m²

Entonces:

$$153 \times 8 = 1224 \text{ W necesarios para la iluminación.}$$

18.-Se tiene un ambiente de 6 m. de largo y 5 m. de ancho, Determinar la mayor cantidad de tomacorrientes a partir del área o perímetro.

Solución:

$$\text{el área} = 6 \times 5 = 30 \text{ m}^2$$

Según la norma se podrá colocar 1 tomacorrientes por cada 10 m² de área o 5 toma cada 5 m de perímetro.

Entonces:

Según el Area
 $30/10 = 3$ Tomacorrientes

Según el perímetro:
 $6 \times 2 + 5 \times 2 = 22 \text{ m.}$

$$22/5 = 4.4 \cong 5 \text{ Tomacorrientes}$$

Nota: Comparando ambos resultados tomamos el que conduce al número mayor, y en este caso es 5 tomacorrientes este es un número mínimo, es posible incrementar la cantidad en el diseño de una instalación.

19.-Determinar la Demanda máxima de iluminación y tomacorriente, sobre la base de los siguientes datos:

Potencia instalada en iluminación = 8000 W (iluminación)

Potencia instalada en tomacorrientes = 7000 W (tomacorrientes)

Entonces:

$$D_{Max-I-T} = (PI_{Iluminacion} + PI_{Tomas}) * FD$$

$$D_{Max-I-T} = (8000 + 7000) * FD$$

$$(8000 + 7000) * FD = 15000 * FD$$

Los primeros 3000 W tiene un FD de 100%

$$3000 * FD = 3000 * 1 = 3000W$$

Como $12000 > 8001$ los restantes 12000 tendrá un FD del 25%

$$1200 * FD = 1200 * 0.25 = 3000W$$

La demanda máxima será:

$$D_{Max-I-T} = 3000 + 3000 = 6000W$$

BIBLIOGRAFIA:

1. IBNORCA: **Diseño y Construcción de las Instalaciones eléctricas interiores en baja tensión - Norma Boliviana NB 777**
 2. Juan C. Callón – Pedro C. Rodríguez: **Curso Básico de Instalaciones Eléctricas (1º Edición)**
 3. Konrad Sage: **Instalaciones Técnicas en Edificios** Editorial Gustavo Gili S.A.
 4. Jose Roldán Vitoria: **Seguridad en las Instalaciones Eléctricas**
 5. Fernando Gunar Zapata Achá: **Instalaciones Eléctricas I ELC – 261**
 6. Woligang Muller: **Electrotecnia de Potencia “Curso Superior”**
 7. Agustín Castejon Oliva: **Tecnología Eléctrica**, McGraw-Hill, España, 1993
 8. Orlando S. Lobosco: **Selección y Aplicación de Motores Eléctricos**
 9. Enriquez Harper: **Transformadores y Motores de Inducción**
 10. William Hart Jr. – Jack Kemerly: **Análisis de Circuitos en Ingeniería**, 5º Edición., Ed. Mc. Graw Hill, 1995.
 11. ROGHUR S.A.: **Manual de Bombas y Válvulas KSB – “Dimensionado de bombas centrifugas” 2000**
 12. Simón Arocha R.: **Abastecimientos de Agua, Teoría y Diseño**, editorial Vega. Madrit, 1980
 13. Raymond A. Serway :**Física Tomo II**, Editorial: McGraw-Hill
 14. Joseph A. Edminister: **Circuitos eléctricos**, Schawm
 15. **Enciclopedia Encarta 2002**
 16. **Diccionario enciclopédico Larousse 2006**
 17. Comité Español de Iluminación (CEI) (IDEA): **Aplicaciones eficientes de lámparas I.** (1996).
 18. Comité Español de Iluminación (CEI) (IDEA): **Aplicaciones eficientes de lámparas II.** (1996).
-

19. Enríquez Harper, G.: **El ABC del alumbrado y las instalaciones eléctricas de baja tensión**. Editorial Limusa., 1987.
20. Ramírez Vázquez, J.: **Manual de alumbrado PHILIPS**, Editorial Paraninfo, 1990.
21. **Luminotecnia. Enciclopedia CEAC de electricidad**, 7ª ed. Ediciones CEAC., 1990

DIRECCIONES DE INTERNET:

- 1*. <http://edison.upc.es/curs/llum/fotometr>
- 2*. <http://www.monografias.com/trabajos14/trmnpot/trmnpot2.shtml#POTENC>
- 3*. http://es.wikipedia.org/wiki/Diferencia_de_potencial
- 4*. http://www.asifunciona.com/electrotecnia/ke_corriente_electrica/ke_corriente_electrica
- 5*. <http://apuntes.rincondelvago.com/resistencias-electricas-en-serie-y-en-paralelo.html>
- 6*. <http://edison.upc.edu/curs/llum/lamparas/lamp0.html>
- 7*. <http://www.bombas-ideal.com>http://www.asifunciona.com/electrotecnia/ke_potencia/
- 8*. http://www.asifunciona.com/electrotecnia/ke_potencia/
- 9*. <http://edison.upc.es/curs/llum/indice0.html>
- 10*. <http://www.mailxmail.com>
- 11*. http://es.wikipedia.org/wiki/Gabriel_Cramer
- 12*. <http://endrino.cnice.mecd.es>

ANEXO

ALUMBRADO DE AREAS EXTERIORES

SELECCIÓN DE LUMINARIAS

Desde el menú principal **Cálculo**, se ingresa a esta ventana activando "**Alumbrado de Áreas Exteriores**", para comenzar el cálculo. Información para el Ingreso de Datos:

- a) Luminarias Disponibles
- b) Información de la Luminaria
- c) Elección de la Lámpara
- d) Luminarias Seleccionadas

a) Luminarias Disponibles

En el cuadro de lista aparecen los modelos de las luminarias disponibles para este tipo de cálculo.

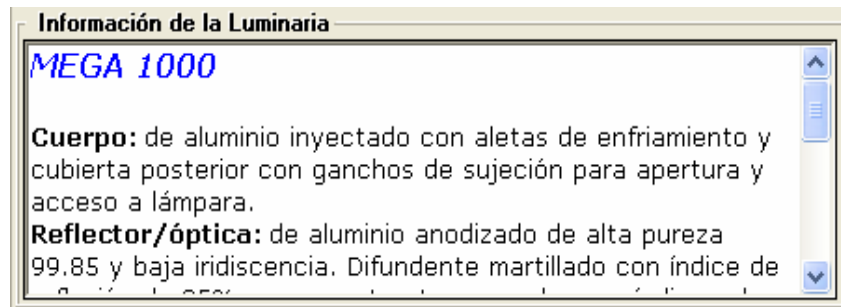


Con el cuadro de texto desplegable "Ordenamiento de Luminarias", es posible determinar el ordenamiento de las luminarias en la lista. Por ejemplo podemos seleccionar ordenamiento alfabético, por tipo de lámpara, sólo un tipo de lámpara, etc. Al hacer click con el mouse en el cuadro de lista sobre uno de los modelos de luminarias, puede verse a la derecha del mismo una imagen de la luminaria.

b) Información de la Luminaria:

En esta ventana de texto se encuentra la información técnica del modelo elegido, en el cuadro de lista "Luminarias Disponibles".

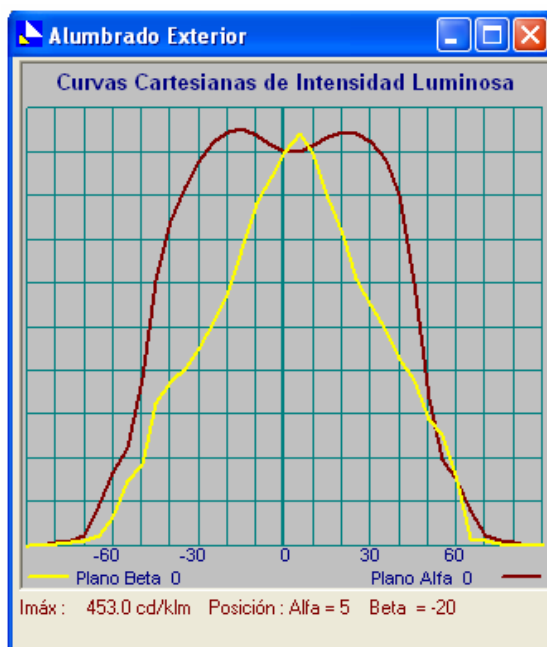
Contiene información relativa a las características constructivas. No obstante, se dispone de información adicional relativa a dimensiones, tipos de lámparas y potencias de cada modelo incorporado en la base de datos, activando el Comando "**Mas Información**".



El Comando "**Curvas**" permite visualizar una representación cartesiana de la distribución luminosa en los Planos Principales Vertical y Horizontal (Goniofotometría Tipo B) de la luminaria seleccionada en el cuadro de lista.

El análisis de la distribución luminosa permite evaluar la conveniencia de incorporar el modelo en el proyecto. El gráfico se cierra con click del mouse sobre él, o utilizando el Comando de Windows para cerrar ventanas, devolviendo el control a la ventana de selección de luminarias.

El usuario puede definir si realizará el cálculo con valores fotométricos iniciales (lámpara y equipo nuevos, y luminaria limpia), o bien con valores fotométricos mantenidos en el tiempo (luminaria con cierto grado de ensuciamiento y flujo luminoso depreciado de lámpara).



Es necesario definir si el cálculo se realizará con valores fotométricos iniciales (lámpara y equipo nuevos y luminaria limpia) o bien con valores fotométricos mantenidos en el tiempo (luminaria con cierto grado de ensuciamiento y flujo luminoso depreciado de lámpara).

El Coeficiente de Mantenimiento, será función del ambiente en que se realizará la instalación, del estado de la luminaria, lámpara y equipo auxiliar.

Esta elección, se expresa en valores porcentuales respecto al valor inicial. Es decir que para calcular valores iniciales de iluminación se considera un "Coeficiente de Mantenimiento" igual a 100 %; análogamente para calcular valores mantenidos o depreciados de iluminación, se toman coeficientes de mantenimiento que reflejen tal situación. Puede solicitarse Ayuda presionando el Botón "**Coef. Mantenimiento**".

c) Elección de Lámpara:

El programa permite elegir la fuente luminosa adecuada y compatible con el proyector y su distribución fotométrica.

Seleccionando un modelo, automáticamente se carga la siguiente información de las lámparas:

- Potencia Nominal (watt),
- Flujo Nominal (lumen),
- Reproducción cromática,
- Tono de luz.

Potencia Nominal	Flujo Nominal	Reproducción Cromática
1000 (W)	80000 (lm)	1 A

Tono de Luz
Luz Día

LumenLux asume en forma automática la potencia de pérdidas del balasto, ese valor se tendrá en cuenta para el cálculo del consumo energético de la instalación.

Como indicador, se verá en la ventana "Potencia Eléctrica Total por Lámpara", la potencia de línea absorbida por cada conjunto individual balasto-lámpara de la luminaria.

Factor de Balasto %	100
Potencia eléctrica Total por Lámpara (W)	1070
Flujo Luminoso de Cálculo (lm)	80000

LumenLUX permite ajustar el flujo luminoso de cálculo, este ajuste se realiza mediante el "Factor de Balasto" que se expresa en forma porcentual, (0 a 100% del valor nominal).

Así por ejemplo un valor de 100% indica que el cálculo de alumbrado se realizará tomando en cuenta el flujo luminoso nominal. Valores menores, por ejemplo 80%, permitirá realizar los cálculos estimando que la lámpara entregará un 80% de su flujo luminoso, esta reducción se verá reflejada en el "Flujo Luminoso de Cálculo".

Es posible asignar un factor de balasto diferente a cada modelo seleccionado para el cálculo, para simular reducciones selectivas de flujo luminoso debido a cualquiera de las siguientes causas:

- caídas de tensión de línea,
- efectos de dimerizado de lámparas,
- bajo rendimiento del equipo auxiliar (balasto, capacitor, etc.),
- diferencia entre los parámetros de diseño de los componentes (lámpara – equipo auxiliar)

Al guardar los datos del proyecto, cada modelo se almacenará con el factor de balasto determinado por el usuario.

d) Luminarias Seleccionadas:

Una vez completada la elección del modelo de proyector y lámpara, se activa el ingreso efectivo de estos datos para el cálculo, mediante el Comando "**Agregar**".

Luminarias Seleccionadas		Luminarias		Proyecto
Descripción	Lámpara	Agregar	Eliminar	Blanquear
MAX 2 400 W SAP DIFUNDENTE	NAV T 400			
MAX 2 250 W SAP DIFUNDENTE	NAV T 250			
MEGA 1 DIFUNDENTE	HQI T 1000/D			

Ayuda	Volver	Aceptar
-------	--------	---------

Esta habilitación se confirma en el cuadro de lista "**Luminarias Seleccionadas**". El mismo procedimiento se puede repetir para elegir hasta cuatro (4) modelos de proyectores distintos en una misma área de cálculo.

Para "limpiar" todas las variables de cálculo se sugiere utilizar el Comando "**Blanquear**".

Para quitar algún modelo de proyector, se marca en la ventana "Luminarias Seleccionadas" y se borra de la lista mediante el Comando "**Eliminar**". El programa mostrará el siguiente cuadro de instrucciones, y se debe elegir la opción "No".

Para cambiar proyectores incorporados al cálculo, se marca el modelo a reemplazar en la ventana "Luminarias Seleccionadas" y se activa también el Botón "Eliminar". Esta vez, se debe elegir la opción "Si" en el cuadro anterior.

Entonces se podrá elegir libremente entre los modelos disponibles como ya se describió en los Ítems a) y c). Al activar el Botón "Agregar", el modelo ingresado mantendrá las mismas posiciones y enfoques que el anterior. Una vez completada la carga de información mediante "**Aceptar**" se habilita la siguiente ventana y etapa de cálculo:

DATOS DEL AREA DE CÁLCULO Y SIMETRÍAS

Esta ventana de trabajo, permite definir: las "**Dimensiones del Área de Cálculo**", la distancia máxima de las columnas con respecto al borde del área, y establecer las condiciones de "**Simetrías del Proyecto**". Se definen los siguientes datos:

- **Largo del Area de Cálculo (m).**
- **Ancho del Area de Cálculo (m).**
- **Altura Estandar de Columnas (m).**
- **Distancia Máxima de Columnas (m),** con respecto al borde del Area.
- **Simetría en la Distribución de Luminarias** con 4 condiciones de Simetría:

- Sin Simetría**
- Simetría según el eje X1**

c) Simetría según el eje Y1

d) Simetría según ambos ejes, X1-Y1

a) Sin Simetría:

LumenLux sólo utiliza para el cálculo la información ingresada de las columnas, proyectores y enfoques.

b) Simetría según el eje X1:

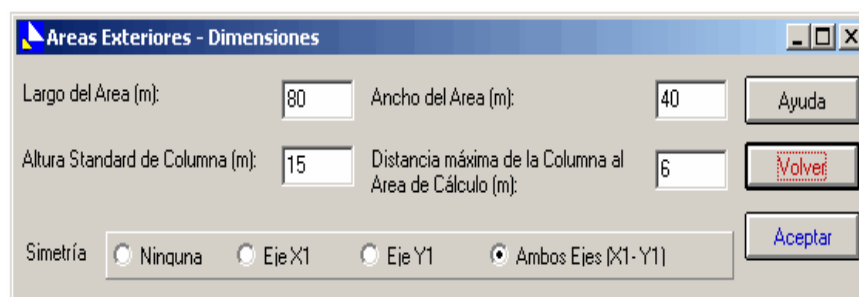
LumenLux utiliza para el cálculo la información ingresada de las columnas, proyectores y enfoques y los simétricos con respecto al Eje X1.

c) Simetría según el eje Y1:

LumenLux utiliza para el cálculo la información ingresada de las columnas, proyectores y enfoques y los simétricos con respecto al eje Y1.

d) Simetría según ambos ejes, X1-Y1:

LumenLux utiliza para el cálculo la información ingresada en el cuadrante X1-Y1 de columnas, proyectores y enfoques, simetrizando esas posiciones con respecto a ambos Ejes (X1-Y1).



Los Botones de Comando “Volver”, “Ayuda” y “Aceptar”, nos permiten respectivamente: regresar a la ventana anterior, acceder a la Ayuda del Programa, confirmar los datos ingresados y habilitar la siguiente ventana del Programa: **distribución de columnas y luminarias**

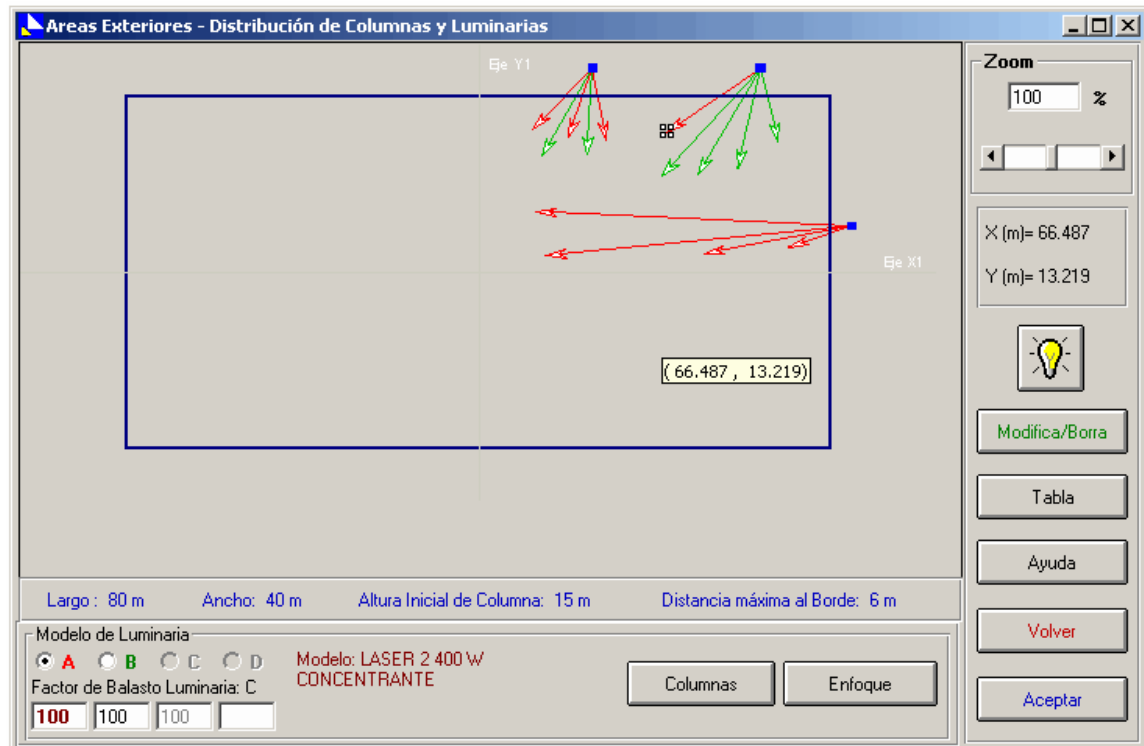
DISTRIBUCION DE COLUMNAS Y LUMINARIAS

FUNCIONES DEL ENTORNO GRÁFICO

En esta ventana se definen y/o modifican los parámetros de la instalación de alumbrado:

- 1. Ingreso y Posición de las Columnas**
- 2. Tabla de Variables del Proyecto**
- 3. Ajuste de las Alturas de Montaje**
- 4. Enfoque de los Proyectores**
- 5. Modificaciones del Enfoque**
- 6. Reducir el Flujo Luminoso de los Proyectores**

7. Apagar Proyectores Instalados
8. Quitar Proyectores Instalados
9. Sobre las Columnas Pasivas
10. Función ZOOM del Área de Cálculo
11. Simular Condiciones de Alumbrado



1- Ingreso y Posición de las Columnas:

Para establecer la posición de columnas con respecto al área de cálculo, se activa el Botón "**Columnas**" con el mouse, y luego se ubica el cursor en las posiciones deseadas, haciendo click para ingresar y graficar la/s columna/s. A tal efecto, se debe seguir el siguiente criterio:

Si eligió la opción **a) "Sin Simetría"**, ingresará la cantidad total de columnas necesarias para realizar el cálculo.

Si eligió la opción **b) "Simetría según el eje X1"**, solo ingresará la cantidad de columnas que ha previsto instalar a un lado del eje X1. En este caso, la cantidad total de columnas será "el doble" a las ingresadas manualmente (a un lado del eje X1), como resultado de la simetrización.

Si eligió la opción **c) "Simetría según el eje Y1"**, solo ingresará la cantidad de columnas que ha previsto instalar a un lado del eje Y1. En este caso, la cantidad total de

columnas será "el doble" a las ingresadas manualmente (a un lado del eje Y1), como resultado de la simetrización.

O bien, mediante **d) "Simetría según ambos ejes X1-Y1"**, solo ingresará la cantidad de columnas que se desea instalar en un solo cuadrante, respecto a los ejes de simetría X1-Y1.

La cantidad total de columnas será "el cuádruple" a las ingresadas manualmente (en el cuadrante elegido), como resultado de la simetrización automática.

El programa ajustará la posición de las columnas (y los puntos de enfoque) a la "distancia máxima al borde del area" ingresada en la pantalla anterior, si en algún caso se supera dicho límite.

2 - Tabla de Variables del Proyecto:

Todas las columnas y proyectores que se ingresan para el cálculo, sus coordenadas de posición, puntos de enfoque sobre el área de cálculo y estados de encendido individual, se encuentran en la "Tabla de Variables" del proyecto.

Areas Exteriores - Coordenadas de Luminarias y Columnas								
Orden	Coordenadas de la Columna			Coordenadas del Enfoque			Luminaria	Encendido
	Xc (m)	Yc (m)	Zc (m)	Xe (m)	Ye (m)	Ze (m)		
1	65.47	30.41	10	54.01	23.15	0	A	S
2	65.47	30.41	10	53.14	30.85	0	A	S
3	65.47	30.41	10	43.34	24.2	0	A	S
4	64.73	43.53	10	35.99	25.07	0	A	S
5	64.73	43.53	10	46.84	38.72	0	A	S
6	64.73	43.53	10	51.39	31.72	0	A	S
7	44.3	44.93	10	34.6	32.77	0	A	S
8	44.3	44.93	10	41.94	34.52	0	A	S
9	44.3	44.93	10	32.5	38.19	0	A	S

Se accede fácilmente mediante el Comando "**Tabla**" y permite modificar cualquier valor ingresado, con doble click (o "**Enter**") en la celda elegida. Así mismo, se puede modificar el estado encendido-apagado de cualquier proyector, con la misma acción.

3 - Ajuste de las Alturas de Montaje:

En principio, el programa valida (por defecto) la altura de montaje estándar ingresada en la pantalla anterior, para todas las columnas y proyectores. Antes de realizar ajustes selectivos de la altura de montaje, se deben enfocar los proyectores sobre el área de cálculo.

4 - Enfoque de los Proyectores:

Con los Comandos “**Columnas**” y “**Enfoque**” desactivados, se elige la columna para ubicar los proyectores a enfocar, pulsando sobre ella el botón izquierdo del mouse. Luego se activa el Comando “**Enfoque**” (cambia su color a verde). Una vez elegido el modelo de proyector, se ubica el cursor del mouse en los puntos a enfocar, pulsando el botón izquierdo para definir el enfoque.

En cada enfoque, LumenLUX genera una flecha con origen en la posición del proyector y extremo en el punto enfocado. La flecha tendrá el mismo color que la identificación del modelo elegido (**A - B - C - D**).

5 - Modificaciones del Enfoque:

Una vez realizado el cálculo, se pueden modificar los enfoques en forma selectiva. Para llevar un punto de enfoque hasta su nueva posición, se activa BORRAR/MODIFICAR. Luego se marca el punto enfocado pulsando el botón izquierdo del mouse y se lo arrastra manteniendo apretado el botón, hasta alcanzar la nueva coordenada de enfoque.

Importante: Se puede enfocar cualquier punto del área de cálculo, "evitando superponerlos" con el trazado (flecha) de otros puntos de enfoque ya definidos. Para lograr una óptima ubicación de coordenadas de enfoque, se recomienda utilizar la función gráfica de “**Zoom**” y el “**paneo**” (desplazamiento del área de cálculo apretando sobre ella el botón derecho del mouse y arrastrando hasta la posición deseada).

Una vez enfocados los proyectores, mediante “**tabla**” se puede realizar ajustes finos de posición de columnas, de altura individual de proyectores y posición de los puntos de enfoque.

Para desplazar columnas de su posición inicial, se activa “**borrar/modificar**” y se arrastra la columna elegida manteniendo apretado el botón izquierdo del mouse.

En muchas aplicaciones, unificar la altura de montaje por columna, simplifica notablemente el ingreso de datos, brindando practicidad con buena performance de cálculo.



6 - Reducción del Flujo Luminoso por Modelo de Proyector:

En esta pantalla de trabajo, se pueden ajustar los factores de balasto "por modelo" para simular reducciones selectivas de potencia, según lo expresado en "Selección de Luminarias para el Cálculo". Es decir que pueden simularse efectos de atenuación del flujo de lámparas por modelo de proyector, y evaluar los resultados según la posición física de los artefactos.

7 - Apagar Proyectores Instalados:

LumenLUX permite simular el Apagado Selectivo de proyectores. Esto significa que se mantienen en su posición física, pero no emiten flujo luminoso.

Esto se lo puede lograr utilizando los iconos:

- Icono de lámpara encendida(ON) 
- Icono de lámpara apagada (OFF) 

Para apagar proyectores, se pulsa el "Icono de lámpara" apagando la misma: (función "Apagar" activada).

A partir de entonces, todo punto de enfoque marcado con el botón izquierdo del mouse, se apagará cambiando la flecha a color negro. Para volver al modo normal de encendido (por defecto), se pulsa nuevamente el "Icono de lámpara", encendiendo la misma.

También se puede "Apagar" activando “**Tabla**” que editará la planilla de posición y encendido de todos los proyectores ubicados en el área de cálculo.

La columna "Encendido" de la Tabla, cambiará su condición "Encendido o Apagado" haciendo doble Click (o "Enter") sobre la celda elegida. Los cambios se reflejarán en el área de cálculo.

8 - Quitar Proyectores Instalados:

Para quitar proyectores del cálculo, se activa “**Modificar/borrar**” Luego, con el botón izquierdo del mouse se marca el punto de enfoque elegido, y pulsando el botón derecho se quita el proyector del cálculo.

9 - Sobre las Columnas Pasivas:

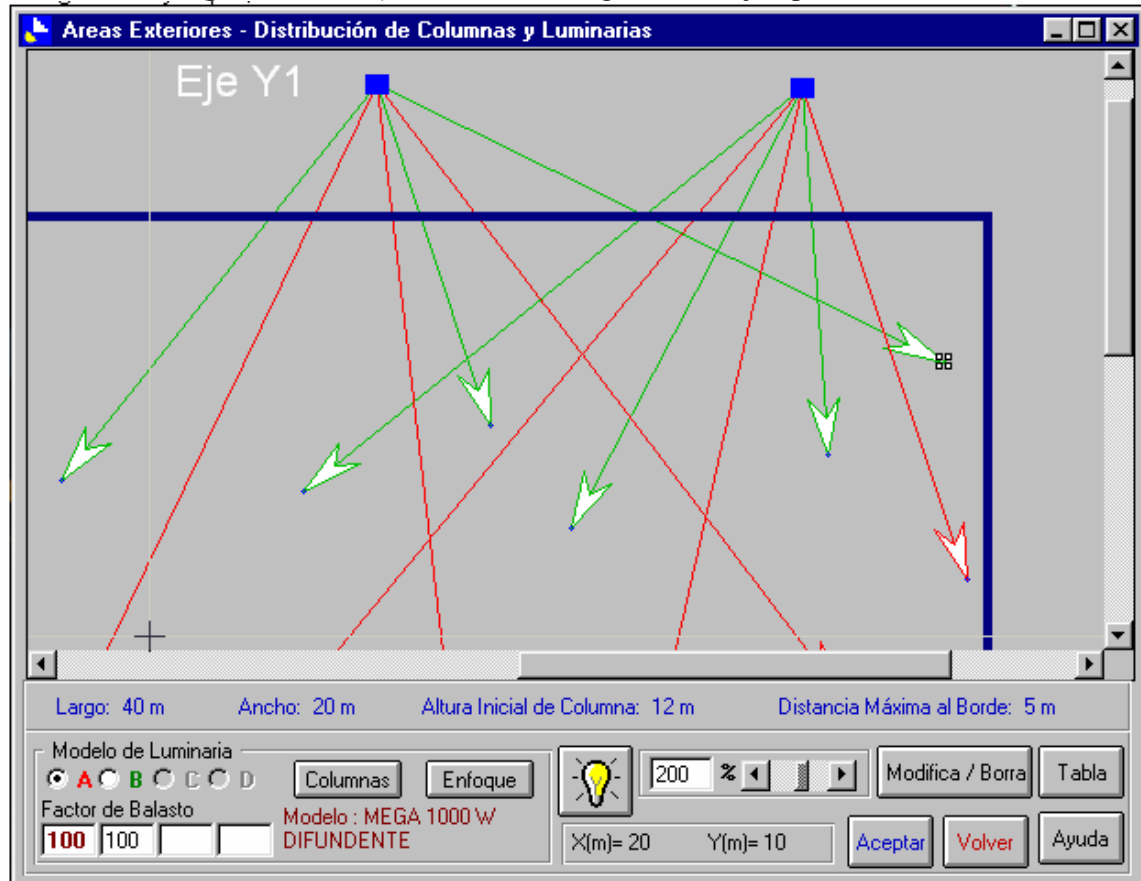
Las columnas ingresadas en el cálculo que no tengan asociada la instalación de uno o mas proyectores, no son registradas ni computadas a los efectos del cálculo. Esto se verifica en la "Tabla de Variables" del proyecto.

En cambio si una columna tiene asociado un proyector y se encuentra "Apagado", dicha columna (pasiva) es registrada y forma parte del proyecto.

Las columnas se pueden borrar utilizando la misma rutina que permite quitar proyectores del cálculo: se activa “**modificar/borrar**” Luego con el botón izquierdo del mouse se marca la columna elegida, y pulsando el botón derecho se quita la columna del proyecto. Para habilitar el borrado de columnas, no deben tener proyectores asociados.

10 - Función ZOOM del Area de Cálculo:

Permite adaptar la visualización del área de cálculo, con las ubicaciones de columnas y enfoque de los proyectores ingresados. Por defecto, ZOOM = 100%, y magnifica la imagen en pasos de 50%. También la reduce en pasos del 5%, a partir del valor 100 (por defecto). En el siguiente ejemplo, ZOOM = 200%.



Se puede modificar el tamaño del área de cálculo, desplazando la barra de scroll del ZOOM aplicando el cursor del mouse en las flechas de la barra. También se puede modificar cambiando el valor del casillero numérico.

11 - Simular Condiciones de Alumbrado:

LumenLUX ofrece adecuada flexibilidad para ingresar datos y luego modificarlos. Esta propiedad puede utilizarse para simular diversas situaciones de alumbrado. Por ejemplo, en instalaciones sujetas a distintos usos como ocurre en alumbrado deportivo con los requisitos luminotécnicos para torneo y entrenamiento.

En efecto se pueden establecer los modelos, cantidad de proyectores y condiciones de montaje para obtener el mejor alumbrado posible sobre el área de cálculo.

Simultáneamente, LumenLUX permite analizar el apagado selectivo para emular otra situación de alumbrado y definir la distribución de proyectores por circuito, caracterizando la instalación en cada variante de uso.

Una vez completa la carga de proyectores y variables de montaje, ingresar a la siguiente ventana con "**Aceptar**".

GRILLAS DE CALCULO

En esta ventana, se define(n) la(s) grilla(s) de cálculo del Proyecto:

- a) Grillas Predefinidas**
- b) Puntos de Cálculo**
- c) Convención de Signos**
- d) Iluminancias Verticales**

a) Grillas Predefinidas:

Se describen las alternativas disponibles para definir la distribución de puntos de cálculo, sobre los cuales LumenLUX determinará los niveles de iluminación. Los valores calculados en cada punto, es la suma de aportes de todos los proyectores instalados, de acuerdo con la pantalla anterior "**Áreas Exteriores - Distribución de Columnas y Luminarias**".

Descripción de las Grillas de Cálculo:

- **EH en un Plano:**

Se considera una grilla horizontal sobre el Área de Cálculo, elevada según la coordenada Z respecto al plano de referencia (piso). En cada punto de la grilla, se calcula la iluminancia horizontal.

- **EV en un Plano:(4 direcciones de observación)**

Se considera una grilla elevada según la coordenada Z respecto al plano de referencia (piso). En cada punto de la grilla, se calculan las iluminancias verticales orientadas en 4 direcciones ortogonales.

LumenLUX permite elegir una dirección de observación que actúa como dirección de referencia, a partir de la cual quedan definidas las otras direcciones en cuadratura.

-

- **EV en un Plano: (1 dirección de observación)**

Análogamente al caso anterior, se considera una grilla elevada según la coordenada Z respecto al plano de referencia (piso). En cada punto de la grilla, se

calcula una iluminancia vertical "orientada en una Dirección de Observación elegida por el usuario".

- **EH y EV en un Plano: (4 direcciones de observación)**

Se considera una grilla horizontal sobre el área de cálculo, elevada según la coordenada Z respecto al plano de referencia (piso). En cada punto de la grilla se calcula la iluminancia horizontal y las iluminancias verticales "orientadas en 4 Direcciones Ortogonales de Observación".

Nota: Las iluminancias verticales se pueden calcular a una altura (Z) diferente a la utilizada para definir el plano de cálculo de las iluminancias horizontales.

- **EH y EV en un Plano: (1 dirección de observación),**

Se considera una grilla horizontal sobre el área de cálculo, elevada según la coordenada Z respecto al plano de referencia (piso). En cada punto de la grilla, se calcula una iluminancia horizontal y una iluminancia vertical "orientada en una Dirección de Observación elegida por el usuario".

Igual al caso anterior, las iluminancias verticales se pueden calcular a una altura (Z) diferente a la utilizada para definir el plano de cálculo de las iluminancias horizontales.

b) Puntos de Cálculo:

Una vez elegida la grilla y tipo de cálculo, se define su posición con respecto al área de proyecto, mediante el sector de pantalla "Puntos de Cálculo".

En primer lugar se ingresan las coordenadas (**Xo,Yo**) correspondientes al vértice

inicial de la grilla, y punto a partir del cual se establece la longitud en la dirección del eje X y en la dirección del eje Y. Dichas longitudes se definen ingresando:

- **DX (m)** - Incremento entre puntos consecutivos en la dirección del eje X,
- Puntos en X - Cantidad de puntos de cálculo en la dirección del eje X,
- **DY (m)** - Incremento entre puntos consecutivos en la dirección del eje Y.
- Puntos en Y - Cantidad de puntos de cálculo en la dirección del eje Y.

Genéricamente:

- Longitud de la grilla en la dirección del eje X = **DX** x (Puntos en X-1).
- Longitud de la grilla en la dirección del eje Y = **DY** x (Puntos en Y-1).
Se considera un máximo de 41 puntos de cálculo en la dirección del eje X, y 32 puntos en la dirección del eje Y. Proporciona un límite adecuado a los fines del procesamiento e impresión de resultados.

c) Convención de Signos:

Considerando X_0 , el punto inicial de X sobre el extremo izquierdo de la grilla, y que X crece hacia la derecha en la dirección del eje X, "los incrementos DX se toman positivos".

Si Y_0 es el punto inicial de Y sobre el extremo inferior de la grilla, e Y crece hacia arriba en la dirección del eje Y, "los incrementos DY se toman positivos".

Para completar los datos de pantalla, se ingresará la longitud del área de cálculo en la dirección del eje X, y en la dirección del eje Y.

Cabe destacar que el "Área de Proyecto" o área a iluminar, puede o no coincidir con la grilla de cálculo. En efecto, la grilla puede tomarse equivalente a $\frac{1}{4}$ del área a iluminar, eligiendo la opción de simetría doble (respecto a ambos ejes), dado que es cómodo definir solamente las columnas ubicadas en un cuadrante del área.

Análogamente, la grilla de cálculo puede tomarse equivalente a $\frac{1}{2}$ del área a iluminar, cuando se elige una opción de simetría respecto a uno de los ejes (X_1 o Y_1).

El programa realizará la simetrización automática de las columnas ingresadas, si el usuario eligió opción de simetría "Según ambos ejes" o "Según un eje" en la pantalla **"Áreas Exteriores - Datos del Área de Cálculo y Simetrías"**.

Para completar los datos necesarios, se ingresará la altura Z del plano de cálculo con respecto al plano de referencia (Piso: $Z=0$), para determinar iluminancias horizontales.

d) Iluminancias Verticales:

Para calcular iluminancias sobre planos verticales, es necesario definir la dirección

de observación bajo la cual se calcularán dichas iluminancias. La dirección de observación de referencia, es coincidente con el eje X positivo.

Direcciones de observación positivas, se obtienen desplazándose en el sentido antihorario con respecto al eje X.

En consecuencia "el plano vertical principal" ubicado en cada punto de la grilla de cálculo, es perpendicular a la dirección de observación. Análogamente, pueden determinarse iluminancias verticales en planos verticales en cuadratura con el plano principal, en los mismos puntos de cálculo, (Ver Descripción de las Grillas de Cálculo).

Mediante el Comando **CALCULAR** LumenLUX determinará la distribución de iluminancias (horizontales y verticales) sobre la grilla de cálculo, e informará el valor de los parámetros característicos del Proyecto, desplegados en la siguiente pantalla de Datos y Resultados.

DATOS Y RESULTADOS DEL PROYECTO

En esta ventana se informan los resultados obtenidos del Proyecto:

- **Tipos de Luminarias,**
- **Coefficiente de Mantenimiento,**
- **Flujo Luminoso de Lámparas,**
- **Altura de Montaje.**

Se selecciona una de las opciones de cálculo (si se solicitó más de una) desde el menú desplegable ubicado en la parte superior derecha de la ventana. En él se han cargado las opciones disponibles a partir de los datos ingresados.

Seguidamente se informan los valores de iluminancias obtenidas, expresadas en (lux):

Iluminancia Media, [Emed]

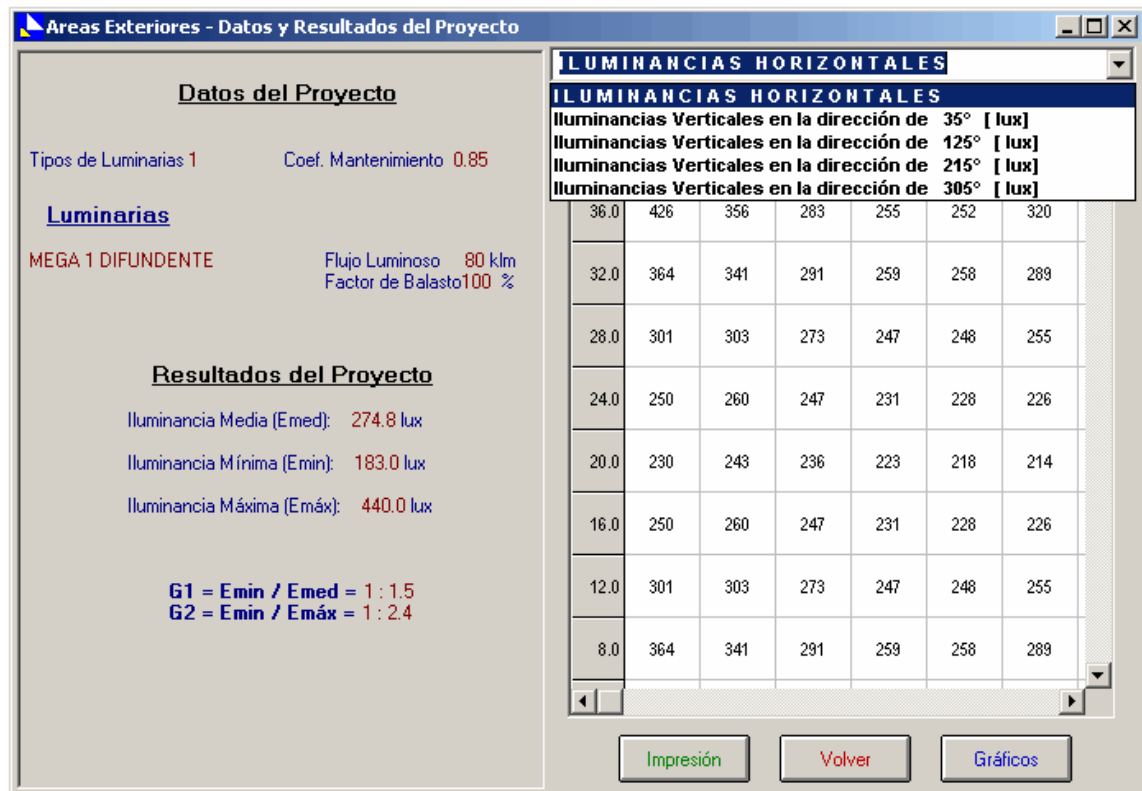
Iluminancia Mínima, [Emin]

Iluminancia Máxima, [Emax]

Se informan los índices característicos de uniformidad **G1, G2**:

G1 = Emin / Emed: Relación entre el valor de iluminación mínima obtenido, y el valor medio en el área de cálculo.

G2 = Emin / Emax: Relación entre el valor de iluminación mínima obtenido, y el valor de iluminación máxima encontrado en el área de cálculo.



En la parte derecha de la pantalla se representa la distribución de iluminancias obtenidas en cada punto de la grilla de cálculo para cada opción de cálculo definida.

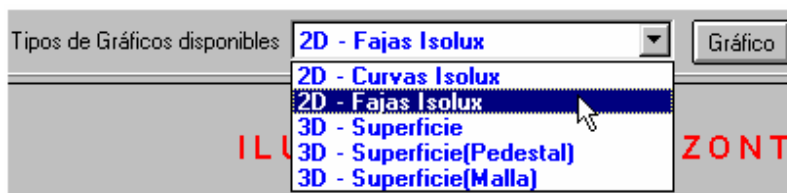
Se identifican las iluminancias máxima (color rojo) y mínima (color azul) en la distribución de iluminancias obtenidas.

Los Comandos “Volver”, “Gráficos” e “Imprimir”, permiten respectivamente: regresar a la ventana anterior, acceder a ventana de Representaciones Gráficas, imprimir los datos presentados.

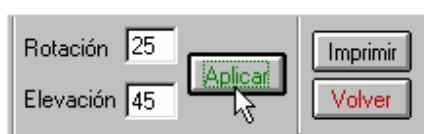
REPRESENTACIONES GRAFICAS

LumenLUX permite elegir entre dos tipos de gráficos en dos dimensiones (2D) y tres alternativas similares en tres dimensiones (3D), utilizando el cuadro de texto desplegable “Tipos de Gráficos Disponibles”.

Así mismo, activando repetidas veces “Grafico” se puede pasar de una representación gráfica a otra, visualizándolas en un orden establecido.



En la parte superior derecha de la pantalla, se encuentran dos comandos que permiten modificar el ángulo y dirección de observación de los gráficos habilitados en tres dimensiones (3D):



"**Rotación**", modifica la dirección de observación. "**Elevación**", modifica el ángulo de observación.

Pulsando "**Aplicar**" se obtiene el desplazamiento. Igual que en las pantallas anteriores, se avanza de una ventana a la otra con el cursor del mouse, o bien mediante la tecla "Tab".

Se puede habilitar la impresión del gráfico, con **IMPRIMIR**

ALUMBRADO DE INTERIORES

SELECCIÓN DE LUMINARIAS

Desde el menú principal **Cálculo**, se elige esta opción activando "**Alumbrado de Interiores**".

Información para el Ingreso de Datos: (haga click en la opción elegida)

a) Luminarias Disponibles

b) Información de la Luminaria

c) Elección de la Lámpara

d) Luminarias Seleccionadas

a) Luminarias Disponibles:



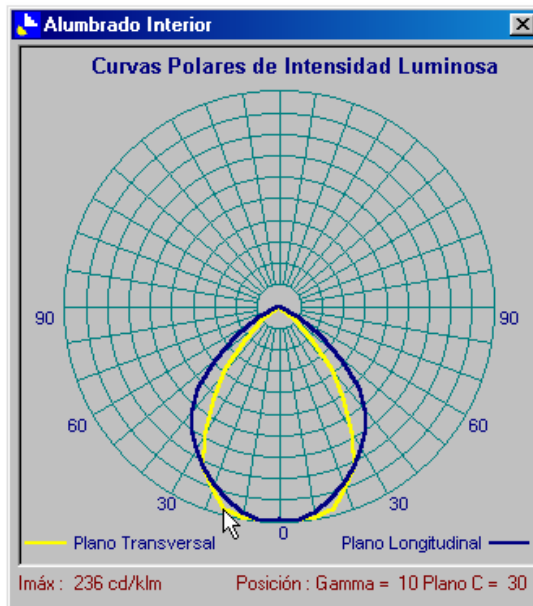
En el cuadro de lista aparecen los modelos de las luminarias disponibles para este tipo de cálculo.

Mediante el cuadro de texto desplegable "Ordenamiento de Luminarias", es posible determinar el ordenamiento de las luminarias en la lista. Así por ejemplo podemos seleccionar ordenamiento alfabético, por tipo de lámpara, sólo un tipo de lámpara, etc.

Al hacer click con el mouse en el cuadro de lista sobre uno de los modelos de luminarias, puede verse a la derecha del mismo una imagen de la luminaria.

b) Información de la Luminaria:

En esta ventana de texto se encuentra la información técnica del modelo elegido en el cuadro "Luminarias Disponibles".



Contiene información relativa a las características constructivas, se dispone de información adicional relativa a dimensiones, tipos de lámpara y potencias de cada modelo activando el botón "Mas Información".

El Botón "Curvas" abre una representación polar de la distribución luminosa en los planos principales Transversal y Longitudinal, (Goniofotometría tipo C).

El análisis de la distribución luminosa permite evaluar la conveniencia de incorporar el modelo en el proyecto. El gráfico se cierra con click del mouse sobre él, o utilizando el Comando de Windows para cerrar ventanas, de volviendo el control a la ventana de

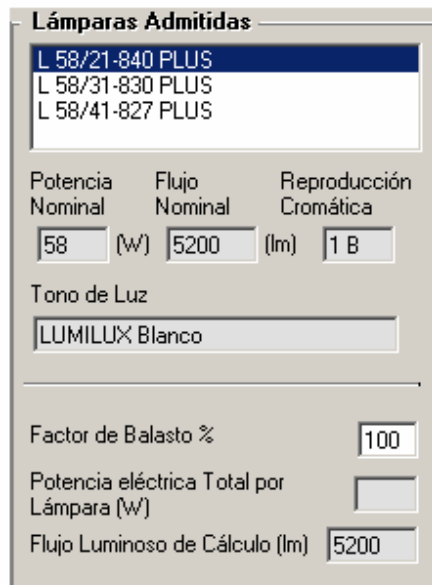
selección de luminarias.

Es necesario definir si el cálculo se realizará con valores fotométricos iniciales (lámpara y equipo nuevos y luminaria limpia) o bien con valores fotométricos mantenidos en el tiempo (luminaria con cierto grado de ensuciamiento y flujo luminoso depreciado de lámpara).

El Coeficiente de Mantenimiento, será función del ambiente en que se realizará la instalación, del estado de la luminaria, lámpara y equipo auxiliar. Esta elección, se expresa en valores porcentuales respecto al valor inicial. Es decir que para calcular valores iniciales de iluminación se considera un "Coeficiente de Mantenimiento" igual a 100 %; análogamente para calcular valores mantenidos o depreciados de iluminación, se toman coeficientes de mantenimiento que reflejen tal situación. Puede solicitarse Ayuda presionando el Botón "**Coef. Mantenimiento**".

c) Elección de Lámpara:

LumenLux permite definir la fuente luminosa adecuada y compatible con la luminaria y su distribución fotométrica. Seleccionando un modelo, automáticamente se carga la siguiente información de lámparas:



Potencia Nominal	Flujo Nominal	Reproducción Cromática
58 (W)	5200 (lm)	1 B

Tono de Luz
LUMILUX Blanco

Factor de Balasto % 100

Potencia eléctrica Total por Lámpara (W)

Flujo Luminoso de Cálculo (lm) 5200

Potencia Nominal (watt), Flujo Nominal (lumen), Reproducción cromática, Tono de luz.

LumenLux asume en forma automática la potencia de pérdidas del balasto, ese valor se tendrá en cuenta para el cálculo del consumo energético de la instalación.

Como indicador, se verá en la ventana "Potencia Eléctrica Total por Lámpara", la potencia de línea absorbida por cada conjunto individual balasto-lámpara de la luminaria.

LumenLUX permite ajustar el flujo luminoso de cálculo, este ajuste se realiza mediante el "Factor de Balasto" que se expresa en forma porcentual , (0 a

100% del valor nominal).

Así por ejemplo un valor de 100% indica que el cálculo de alumbrado se realizará tomando en cuenta el flujo luminoso nominal. Valores menores, por ejemplo 80%, permitirá realizar los cálculos estimando que la lámpara entregará un 80% de su flujo luminoso, esta reducción se verá reflejada en el "Flujo Luminoso de Cálculo".

Es posible asignar un factor de balasto diferente a cada modelo seleccionado para el cálculo, para simular reducciones selectivas de flujo luminoso debido a cualquiera de las siguientes causas:

- caídas de tensión de línea,
- efectos de dimerizado de lámparas,
- bajo rendimiento del equipo auxiliar (balasto, capacitor, etc.),
- diferencia entre los parámetros de diseño de los componentes (lámpara – equipo auxiliar)

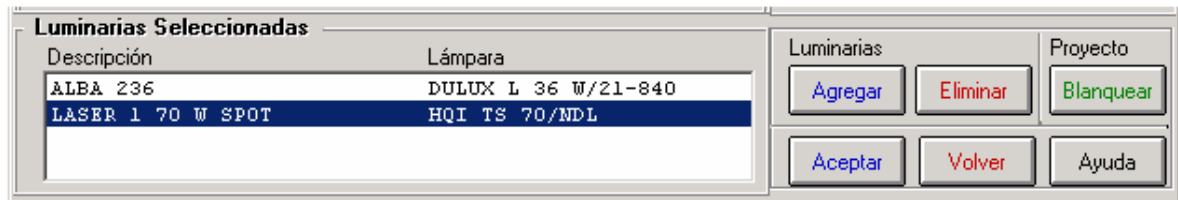
Al guardar los datos del proyecto, cada modelo se almacenará con el factor de balasto determinado por el usuario.

d) Luminarias Seleccionadas:

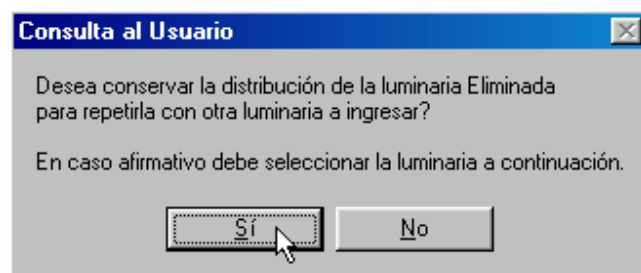
Una vez seleccionado un modelo de luminaria y el tipo de lámpara, se ingresa para el cálculo mediante el Botón "Agregar".

Esta habilitación se confirma en el cuadro de lista "Luminarias Seleccionadas". Se

puede repetir el procedimiento para elegir hasta cuatro (4) modelos de luminarias (iguales o distintos) en un mismo cálculo.



Para cambiar luminarias incorporadas al cálculo, se marca el modelo a reemplazar en la ventana "Luminarias Seleccionadas" y se activa el Botón "Eliminar". El programa mostrará el siguiente Cuadro Diálogo:



Para quitar la luminaria del cálculo y también las posiciones que ocupaba, pulsar el Botón "No" en el cuadro. En caso de reemplazarla por otro modelo pero conservando las posiciones de la luminaria anterior en el área de cálculo, se puede elegirlo libremente como se describió en los Items a) y c). Al activar el Botón "Agregar", el nuevo modelo ingresado mantendrá las mismas posiciones que el anterior en el área de cálculo. Una vez finalizado el proceso de selección de luminarias debe presionarse el Botón "si" para habilitar la siguiente ventana y etapa de cálculo:

DATOS DEL LOCAL

Esta ventana se compone con las siguientes áreas de trabajo:

a) Dimensiones

b) Reflectancias (%)

c) Estimador de Luminarias y Niveles de Iluminación

a) Dimensiones:

En este cuadro se ingresan los parámetros del local: Largo, Ancho, Altura y Altura del "Plano de Trabajo", que es la altura respecto al nivel del piso de un plano horizontal en el que se desea calcular la distribución luminosa (en algunos casos puede coincidir con la

altura de escritorios, mostradores, mesas de trabajo o cualquier otra superficie paralela al piso en la que se desarrollará una actividad característica del ambiente).

En la parte superior derecha de la ventana, se representa un esquema del recinto de cálculo.

Dimensiones	
Largo (m)	12
Ancho (m)	4.5
Alto (m)	2.8
Plano de Trabajo (m)	0.8

b) Reflectancias (%):

Reflectancias (%)	
Cielorraso	70
Piso	20
Pared Frente	50
Pared Fondo	50
Pared Izquierda	50
Pared Derecha	50

La reflectancia media de una superficie, representa la capacidad de esa superficie para reflejar la luz que proviene desde las luminarias instaladas y desde las otras superficies del local (no se consideran los aportes externos).

Por ello el flujo luminoso emitido por las luminarias y reflejado en las superficies del local, permitirá incrementar el nivel de iluminación sobre todas las superficies del mismo incluido el "Plano de Trabajo".

Por lo dicho la Iluminación de una superficie será la suma del flujo luminoso que incide directamente sobre la misma (Componente Directa) y el Flujo Reflejado en las otras superficies del local (Componente Reflejada ó Indirecta).

Se deben ingresar los valores estimados de reflectancia, de las superficies límite del recinto a iluminar. Para ello, se usan los cuadros de Texto Numérico del cuadro "Reflectancias". Como orientación una superficie con:

Colores muy claros se deberá representar con reflectancias elevadas (**mayores o iguales al 70%**).

Colores intermedios se representarán con reflectancias medias (**entre 40% y 70%**).

Colores oscuros se representarán con reflectancias bajas (**entre 0% y 40%**).

Algunas cartas de colores provistas por fábricas de pinturas, contienen información de reflectancia estimada correspondiente a superficies lisas y de acuerdo al acabado superficial de la pintura, (en general acabado mate). Ir a Carta de Colores y Coeficientes de Reflectancia

b) Estimador de Luminarias o Niveles Medios de Iluminación.

Con LumenLUX es posible realizar dos tipos de estimaciones:

- 1.- Cantidad necesaria de luminarias en el área de cálculo, para un nivel de iluminación determinado.
- 2.- Nivel de iluminación, para una cantidad de luminarias dada.

Se selecciona el modelo de luminaria con el que se desea realizar la estimación, se ingresan los datos incluyendo la altura de montaje y se obtiene el resultado con el Botón de Comando Estimar.

El cálculo puede repetirse tantas veces como se desee, cambiando de luminaria en el cuadro de lista desplegable "Modelo" y pudiendo modificar la altura de montaje en cada caso.

El valor calculado será Nivel de Iluminación **aproximado** que producirá la cantidad de luminarias ingresada para ese modelo exclusivamente o viceversa para un Nivel de Iluminación dado se estimará la cantidad de luminarias de ese modelo que se requieren para alcanzarlo.

En la ventana los Botones de Comando **Volver**, **Ayuda** y **Aceptar**, permiten respectivamente: regresar a la ventana anterior, acceder a la Ayuda del Programa, confirmar los datos ingresados y habilitar la siguiente ventana del Programa:

GRILLAS DE CALCULO

En esta ventana se definen la ubicación y cantidad de los puntos en los planos horizontales (piso, plano de trabajo y techo) en los cuales el programa calculará las iluminancias. Al abrirse la ventana LumenLux asigna en forma automática una cantidad de puntos a lo Largo del Local y a lo Ancho del Local. Esas cantidades variarán en función de las dimensiones del local.

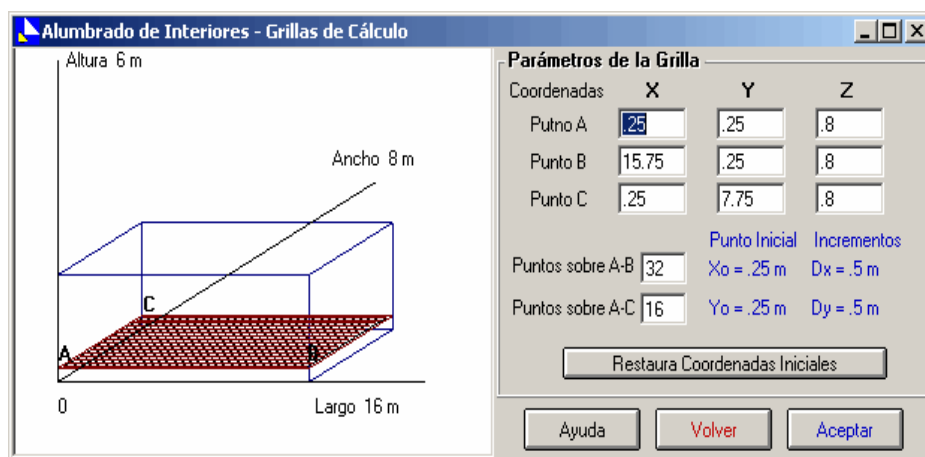
Parámetros de la Grilla:

Se presentan 9 cuadros para ingresar las coordenadas **X, Y, Z** de los puntos A, B y C.

A .- Origen de la Grilla de cálculo.

B .- Punto final de la Grilla de Cálculo en la dirección del eje X (largo del local).

C .- Punto final de la Grilla de Cálculo en la dirección del eje Y (ancho del local).



Luego de ingresar las coordenadas de los puntos A, B y C, se definen la cantidad de puntos de cálculo en las direcciones: A-B (eje X) y A-C (eje Y), pudiendo utilizarse la cantidad sugerida por LumenLux o ingresar otros valores.

Se indican además las coordenadas del Origen de la Grilla (punto A - Xo, Yo) y los incrementos en ambos ejes (Dx, Dy). En el cuadro puede verse un esquema del local y la grilla sobre el Plano de Trabajo.

El Botón de Comando **"Restaura Coordenadas Iniciales"**, restaura los parámetros de la ventana a sus valores iniciales.

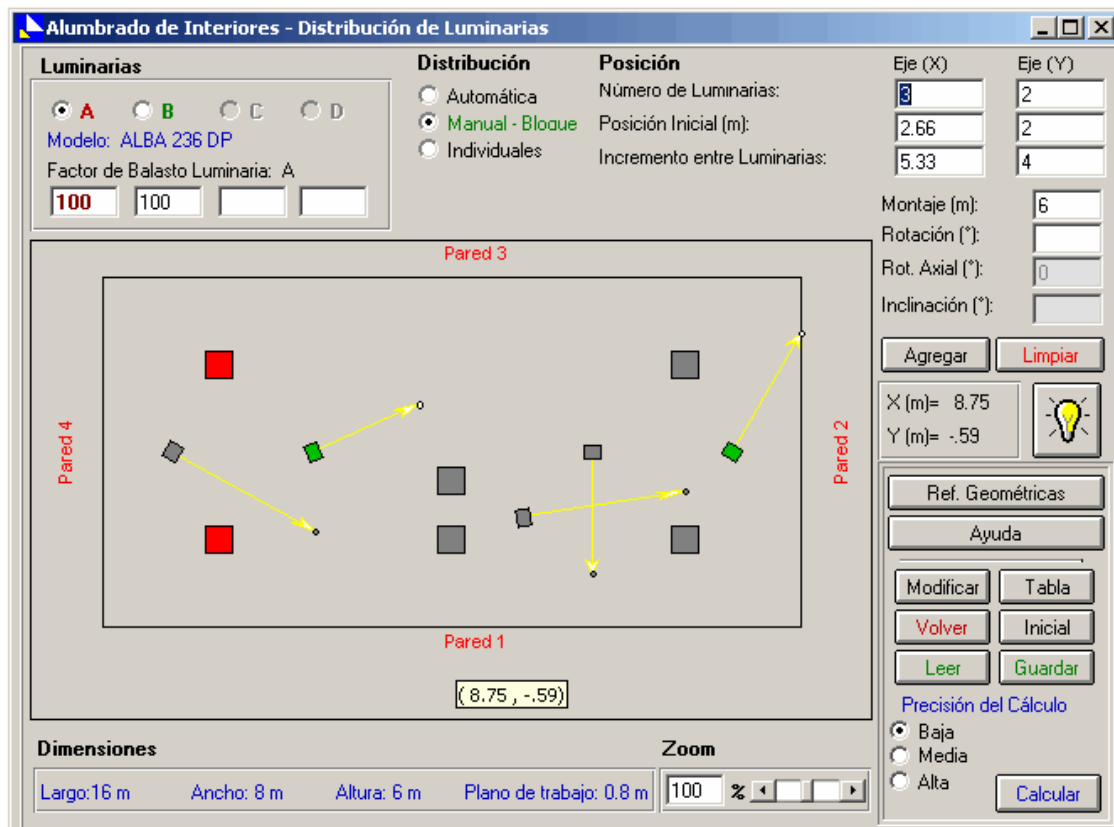
En la ventana los Botones de Comando **Volver**, **Ayuda** y **Aceptar**, permiten respectivamente: regresar a la ventana anterior, acceder a la Ayuda del Programa, confirmar los datos ingresados y habilitar la siguiente ventana del Programa:

DISTRIBUCION DE LUMINARIAS

Esta ventana permite definir la distribución de luminarias en el área de cálculo. En el sector de ventana "**Luminarias**", se selecciona uno de los modelos ingresados previamente. en el cuadro de texto puede modificarse el "Factor de Balasto" de la luminaria seleccionada; luego se define el tipo de Distribución que se adoptará para ese Modelo preseleccionado.

a) Automática

b) Manual-Bloque



c) Manual-Individual

a) Automática:

Activando la opción "**Automática**", el programa determinará en forma automática la distribución de las luminarias calculando los parámetros indicados a la derecha de esta opción. Sólo es necesario ingresar la cantidad de luminarias deseadas a lo largo y ancho del local.

Si no se ingresa un valor para la altura de montaje se asumirá que la misma coincide con la altura del local. Para modificar ese valor, ingresar la altura deseada en el cuadro de texto "**montaje (m)**", antes de ingresar las luminarias.

Las luminarias ingresadas, se muestran en la Vista en Planta del área de cálculo, activando el Botón "**Agrega**" (o bien usando "Enter" al ingresar la cantidad de luminarias a lo largo y lo ancho del local).

La posición de las luminarias en la ventana y su orientación, se representan con un esquema similar a la forma real y la orientación deseada, permitiendo verificar las preferencias del usuario.

Si en particular la luminaria ingresada permite Rotación Axial el cuadro de texto "Rot. Axial" quedará habilitado pudiendo ingresarse valores desde 0 a 180 grados (**medidos desde la vertical a la luminaria al plano del piso**). El Punto de Enfoque de las luminarias se calcula automáticamente a partir de los valores ingresados hasta la superficie del local que se encuentre en esa dirección.

c) Manual-Bloque:

Mediante la opción "Manual-Bloque", el programa solicita definir la "Posición Inicial (Xo,Yo)" del bloque en el área de cálculo. A continuación se ingresan la cantidad de luminarias deseadas a lo largo y ancho del recinto, a partir de la "Posición Inicial" que se ha ingresado.

Se ingresa la altura de montaje y orientación de las luminarias en los cuadros correspondientes.

Se define como 0° la **dirección del eje longitudinal del local** (Dirección X), los **ángulos de orientación (medidos en grados) se consideran positivos en el sentido antihorario**.

La "Vista en Planta" del área de cálculo, mostrará la posición de las luminarias ingresadas, pulsando el Botón "**Agrega**".

En caso de haberse elegido más de un modelo de luminaria para el proyecto, se

podrá repetir este procedimiento eligiendo otro modelo en el sector de ventana "Luminarias".

Esto permite definir otros bloques de luminarias (uno por cada modelo). Una vez completada esta secuencia de carga de luminarias en bloque, se realiza el cálculo como resultante de todo el conjunto de luminarias, sumando los aportes sobre el Plano de Trabajo (plano de cálculo).

Las consideraciones para las luminarias con Enfoque son las mismas que en el ítem a).

c) Manual-Individual:

La distribución individual se hace a voluntad ingresando la posición, orientación y altura deseada de las luminarias, en los cuadros correspondientes. Luego se ubica el cursor del mouse en la posición elegida para el centro de la luminaria y se presiona el botón izquierdo del mouse. Se pueden distribuir luminarias en forma individual aun cuando el modelo elegido ya se haya utilizado para realizar una distribución automática o manual-bloque.

Las consideraciones para las luminarias con Enfoque son las mismas que en el ítem a).

d) FUNCIONES DEL ENTORNO GRAFICO

- d1) Modificar la Posición de las Luminarias**
- d2) Activar la Ventana Parámetros de la Luminaria**
- d3) Apagar Luminarias del Área de Cálculo**
- d4) Reducción Selectiva del Flujo Luminoso**
- d5) Quitar Luminarias del Área de Cálculo**
- d6) Función ZOOM del Área de Cálculo**
- d7) Otros Botones de Comando**

d1) Modificar la Posición de las Luminarias:

- **Procedimiento Gráfico:** Para cambiar la posición de cualquier luminaria, se activa el Botón **modificar** y se marca la luminaria con el botón izquierdo del mouse. Luego se la puede arrastrar manteniendo apretado dicho botón.

En la luminarias con Enfoque, es posible modificar el Punto de Enfoque del mismo modo, solo que la arrastrar el vértice de la flecha que representa el Enfoque solo se modificarán las coordenadas X en e Y en. Para modificar la Cota de Enfoque se debe proceder de la siguiente manera:

- 1) Botón Modifica presionado.
- 2) Tecla Control (Ctrl) presionada.
- 3) presionar el botón izquierdo del mouse sobre la luminaria en la que deseamos modificar el enfoque

Aparecerá un cuadro de diálogo solicitando que se ingrese la nueva cota de enfoque.

- **Procedimiento Numérico:** Mediante el Botón **tabla** se puede modificar la posición y orientación de todas las luminarias incluidas en el proyecto. Se despliega una planilla con todas las variables de posición ingresadas, pudiéndose modificar el valor de cualquier variable geométrica, con doble Click (o "Enter") sobre la celda elegida e ingresando el cambio. Al cerrar la Tabla (control X en vértice superior derecho), los cambios se reflejarán en las luminarias del área de cálculo.

En la misma tabla se indican los parámetros del enfoque, y para las luminarias que lo admiten es posible cambiarlos del mismo modo. Para comodidad del usuario se indican además de las coordenadas angulares del enfoque las coordenadas Cartesianas (X - Y - Z) pudiendo modificarse cualquiera de esos valores

Alumbrado de Interiores - Parámetros de Luminarias											
Orden	Montaje (m)			Enfoque (°)			Enfoque (m)			Luminaria	Encendido
	X	Y	Z	Rotación	Rot. Axial	Inclinac.	X	Y	Z		
1	14.390	4.010	6.000	60.0	35.0	----	15.970	6.746	1.487	B	S
2	11.190	4.010	6.000	270.0	25.0	----	11.190	1.212	0.000	B	N
3	9.620	2.510	6.000	358.0	41.0	----	14.832	2.327	-0.000	B	S
4	4.810	4.010	6.000	0.0	59.0	----	14.795	4.010	-0.000	B	S
5	1.590	4.010	6.000	60.0	35.0	----	3.690	7.648	0.000	B	N
6	2.670	1.990	6.000	0	-----	-----	-----	-----	-----	A	S
7	2.670	5.990	6.000	0	-----	-----	-----	-----	-----	A	S
8	7.980	1.990	6.000	0	-----	-----	-----	-----	-----	A	S
9	7.980	3.340	6.000	0	-----	-----	-----	-----	-----	A	S
10	13.330	1.990	6.000	0	-----	-----	-----	-----	-----	A	S
11	13.330	5.990	6.000	0	-----	-----	-----	-----	-----	A	S

Este procedimiento es de utilidad para ajustar coordenadas y alinear luminarias, una vez que se realizaron modificaciones gráficamente mediante las funciones "marcar y arrastrar", y se obtuvieron resultados satisfactorios en los cálculos preliminares.

d2) Activarla Ventana Parámetros de la Luminaria: Con el Botón **modificar** desactivado (color negro), puede activarse la Ventana "Parámetros de la Luminaria" con los datos de cualquiera de ellas. Sólo es necesario ubicar el cursor del mouse sobre la misma y pulsar luego el botón derecho del mouse.

Interiores - Parámetros de la Luminaria

LASER 1 70 W SPOT

Luminaria: ☒ B Encendido: ☒ S

Coordenadas de la Luminaria Xl (m): Yl (m): Zl (m):

Coordenadas del Enfoque Rotación (°): Rotación Axial (°):



Xe (m): Ye (m): Ze (m):

Cancelar Aplicar

Una vez en ventana, el usuario puede modificar cualquiera de las variables geométricas (debe validarse el dato ingresado presionando la tecla <Enter> (Intro o Entrar, según la configuración del teclado). Los cambios se habilitan con el Botón "Aplicar". El estado "Encendido (S)" o "Apagado (N)" de la luminaria, se cambia con doble click en la ventana "Encendido" de la Tabla.

Para cerrar la Tabla con modificaciones, utilizar el Botón "Aplicar". De lo contrario, cerrar mediante "Cancelar".

d3) Apagar Luminarias del Área de Cálculo: LumenLUX permite simular el Apagado Selectivo de luminarias. Esto significa que las luminarias se mantienen en su posición física, pero no emiten flujo luminoso que aporte al resultado del cálculo.

Para apagar luminarias, se pulsa el Botón de Encendido - Apagado (tiene la imagen de una lámpara "Icono de lámpara")  apagando la misma:  Esto activa la función "Apagar". A partir de entonces, toda luminaria que se toque pulsando el botón izquierdo del mouse sobre ella o sobre su enfoque si lo posee, se apagará mostrando un color gris.

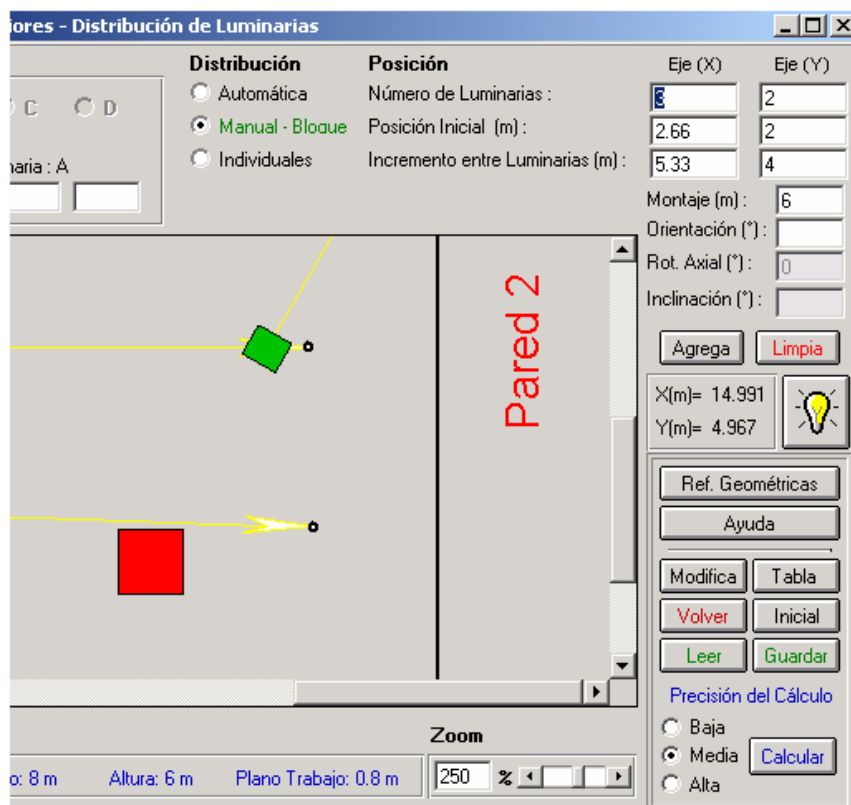
Puede verificarse el cambio, activando la ventana "Parámetros de la Luminaria", que indicará "Encendido: N". (Las luminarias encendidas indican "Encendido: S"). Para volver al modo normal de encendido (default), se pulsa nuevamente el "Icono de lámpara".

También se puede "Apagar" activando el Botón **tabla** que editará la planilla de posición y encendido de todas las luminarias ubicadas en el área de cálculo. La columna "Encendido" de la Tabla, cambiará su condición "S - Encendido o N - Apagado" haciendo doble Click sobre la celda elegida o presionando la tecla Enter. Al cerrar la Tabla, los cambios se reflejarán en las luminarias del área de cálculo.

d4) Reducción Selectiva del Flujo Luminoso por Modelo: En esta ventana de trabajo, el usuario puede ajustar los factores de balasto "por modelo" para simular reducciones selectivas del flujo luminoso, según lo expresado en "Selección de Luminarias para el Cálculo". En consecuencia pueden simularse efectos de dimerizado de lámparas por modelo de artefacto, y evaluar los resultados según la posición física de las luminarias dimerizadas.

d5) Quitar Luminarias del Área de Cálculo: el Botón limpia borra todas las luminarias del modelo activado en ese momento en el sector de ventana "Luminarias". También es posible quitar luminarias en forma individual, activando primero el Botón "Modifica" (cambia su color a Verde): Se marca la luminaria con el botón izquierdo del mouse, y luego se borra presionando el botón derecho

d6) Función ZOOM: Permite adaptar la visualización del área de cálculo y luminarias ingresadas. Por default, ZOOM = 100%, y magnifica la imagen en pasos de 50%. También la reduce en pasos del 5%, a partir del valor 100 (default). En el siguiente ejemplo, ZOOM = 250%.



Puede modificarse el tamaño del área de cálculo, desplazando la barra de scroll del ZOOM mediante el cursor del mouse aplicado en las flechas de la barra, o bien cambiando el valor del cuadro de numérico.

d7) Otros Botones de Comando:

inicial Regresa a la ventana "Selección de Luminarias", para realizar cambios de modelo/s manteniendo el resto de las variables geométricas ingresadas, o bien iniciar un nuevo cálculo.

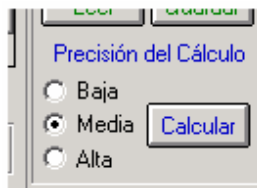
leer Conduce al Explorador, mostrando (por default) la Carpeta:

"Lumenlux\Datos\Cabecera" para leer archivos guardados de proyecto. El Usuario buscará el archivo, en la Carpeta elegida oportunamente.

guardar Conduce al Explorador, mostrando (por default) la Carpeta:

"Lumenlux\Datos\Cabecera" para guardar los datos ingresados del proyecto. El Usuario podrá guardar los datos, en la Carpeta de su preferencia.

Para proceder con el cálculo es necesario definir la precisión que se empleará en el mismo. En forma predeterminada LumenLux selecciona un valor Medio. Cuanto mayor sea la



precisión mayor será el número de puntos utilizados para el cálculo y por lo tanto mayor será la exactitud del mismo por ende, el Tiempo empleado para el cálculo también será mayor..

Presionando el Botón **calcular** se procederá con el cálculo, luego de lo cual se ingresará a la ventana "**Datos y Resultados del Proyecto**".

DATOS Y RESULTADOS DEL PROYECTO

En esta ventana de LumenLux, se encuentra la información característica del Proyecto de Alumbrado:

Tipo(s) de Luminaria(s) elegida(s),

Coefficiente de Mantenimiento,

Flujo Luminoso de Lámparas,

Altura(s) de Montaje.

Se informan los valores de iluminancias obtenidas, expresadas en (lux):

Iluminancia Media, [Emed]

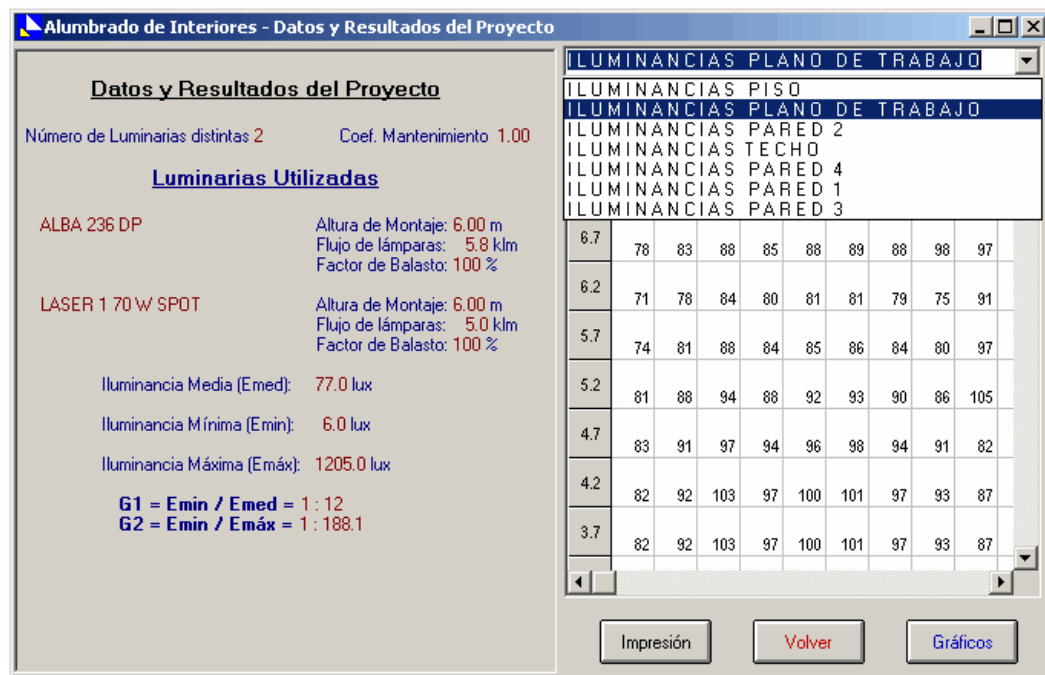
Iluminancia Mínima, [Emin]

Iluminancia Máxima, [Emax]

y los índices característicos de Uniformidad **G1**, **G2**:

G1 = Emin / Emed: Establece la relación entre el valor de iluminación mínima obtenido, y el valor medio en el área de cálculo.

G2 = Emin / Emax: Establece la relación entre el valor de iluminación mínima obtenido, y el valor de iluminación máxima encontrado en el área de cálculo.



El análisis de **Emed**, **Emin**, **Emax**, **G1** y **G2**, permite realizar una primera evaluación del proyecto. Además:

En el sector derecho de la ventana se representa la distribución de iluminancias obtenidas en cada punto de las superficies del local. Estas pueden seleccionarse utilizando el cuadro de lista desplegable que se encuentra en el área superior derecha de la ventana.

Para cada superficie se calculan los 5 valores característicos ya mencionados. También se identifican las iluminancias máxima (color rojo) y mínima (color azul) en la distribución de iluminancias obtenidas.

Mediante el Botón "Volver" se accede a cualquiera de las pantallas anteriores, con el objeto de modificar variables ingresadas y manteniendo el resto de la información para realizar un nuevo cálculo, evitando repetir la carga completa de datos. Usando el Botón "Inicio", se regresa al menú principal de LumenLUX.

Representaciones Gráficas:

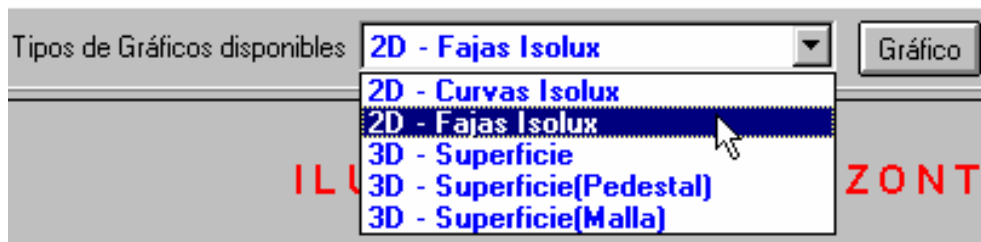
Una vez ejecutado el cálculo, el usuario puede visualizar una gama de representaciones gráficas asociadas con el mismo, activando la tecla "Gráficos".

Para continuar con Ayuda, haga click en el siguiente Tema:

REPRESENTACIONES GRAFICAS

LumenLUX permite elegir entre dos tipos de gráficos en dos dimensiones (2D) y tres alternativas similares en tres dimensiones (3D), utilizando la ventana: "**Tipos de Gráficos Disponibles**".

Así mismo, activando repetidas veces **grafico** se puede pasar de una representación gráfica a otra, visualizándolas en un orden establecido.



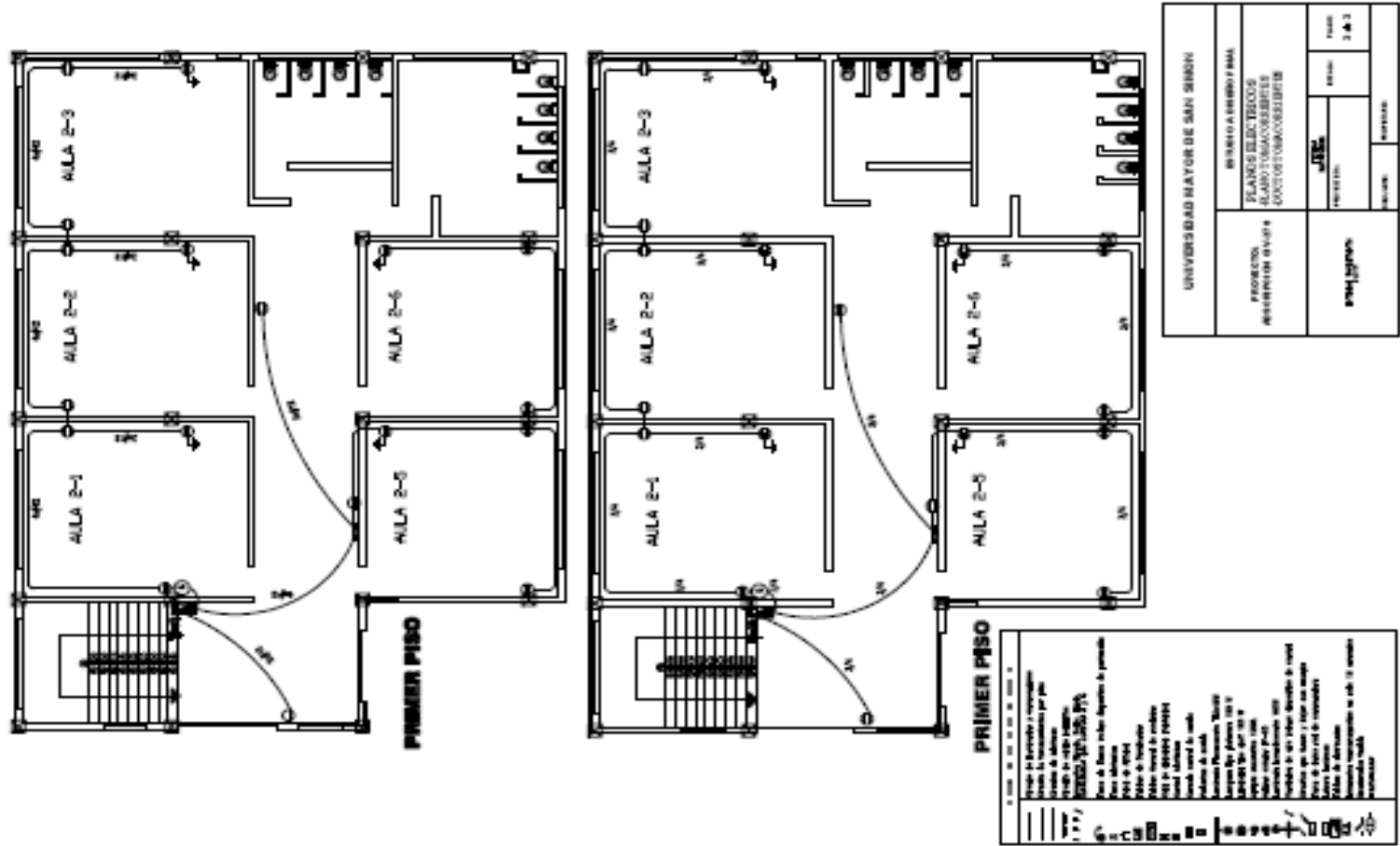
En la parte superior derecha de la pantalla, se encuentran dos comandos que permiten modificar el ángulo y dirección de observación de los gráficos habilitados en tres dimensiones (3D):

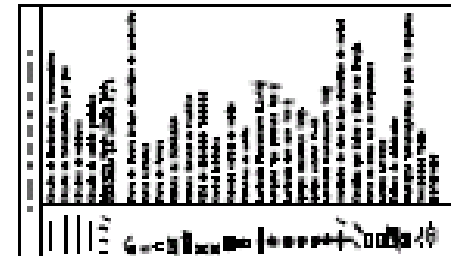


"**Rotación**", modifica la dirección de observación.
"**Elevación**", modifica el ángulo de observación.
Pulsando la tecla **aplicar** se obtiene el desplazamiento. Igual que en las pantallas anteriores, se avanza de una ventana a la otra con el cursor del mouse, o bien

mediante la tecla "Tab".

Se puede habilitar la impresión del gráfico, con **imprimir** o regresar a la pantalla anterior con **volver**





1. 姓名: 张三 2. 性别: 男 3. 年龄: 25 4. 职业: 教师 5. 住址: 北京市朝阳区	6. 联系电话: 13800138000 7. 电子邮箱: zhangsan@example.com 8. 身份证号: 110101199801010001	9. 婚姻状况: 未婚 10. 教育程度: 本科 11. 工作单位: 北京市第一中学	12. 健康状况: 良好 13. 血型: O型 14. 过敏史: 无	15. 其他信息: 无
--	--	--	--	-------------