

INSTALACIONES ELECTRICAS INDUSTRIALES

TECSUP - PFR

ÍNDICE

Unidad I: “SISTEMAS ELÉCTRICOS”

1.	Introducción a los sistemas eléctricos	1
1.1.	Sistema de generación	3
1.2.	Sistema de transmisión	4
1.3.	Sistema de distribución	5
1.4.	Sistema de utilización	6
2.	Tensiones de distribución secundaria	7
3.	Instalaciones eléctricas	9
3.1.	Generalidades	9
3.2.	Definición	9
3.3.	Clasificación	9
3.3.1.	Instalaciones residenciales	10
3.3.2.	Instalaciones de talleres	10
3.4.	Tipos de instalaciones eléctricas	11
3.4.1.	Instalaciones eléctricas de exteriores	11
3.4.2.	Instalaciones eléctricas de Interiores	11

Unidad II: “COMPONENTES DE UNA INSTALACIÓN ELÉCTRICA INDUSTRIAL”

1.	Introducción	15
2.	Canalizaciones eléctricas	15
3.	Conductores	15
4.	Clasificación de los conductores eléctricos	17
4.1.	Se dividen en unipolares y multipolares	18
4.2.	Por su aislamiento	18
4.3.	Por su aislamiento los conductores se pueden clasificar en	18
4.3.1.	Conductores de uso general	18
4.4.	Cables de energía	19
5.	Calibre de los conductores	20
5.1.	Sistema Métrico Decimal	20
5.2.	Sistema AWG	20
5.3.	Sistema MCM	21
6.	Características de algunos tipos de conductores	23
6.1.	Alambres y cables tipo TW	23
6.2.	Alambres y cables tipo THW	24
6.3.	Alambres y cables tipo THHW	25
6.4.	Alambres y cables Plastotene tipo CPI o Indolene tipo WP	25
6.5.	Cables Biplasto tipo TWT o Indopreme tipo TM	26
6.6.	Cordones portátiles tipos NLT, NMT y NPT o, biplastoflex tipos SJT, SJTO, ST y STO	26
6.7.	Cable flexible tipo pesado	26
6.8.	Cables tipo NYY unipolares, dúplex y triplex	27

6.9.	Cables tipo NYY bipolares, tripolares y tetrapolares	27
6.10.	Cables tipo NKY	28
7.	Bandejas o charolas	28
8.	Canaletas o ductos aéreos	29
9.	Zanjas	30
10.	Tuberías	32
10.1.	Tubos Metálicos	32
10.2.	Tubo Metálico Pesado	32
10.3.	Tubo Metálico Liviano	32
10.4.	Tubo Metálico Flexible	32
10.5.	Tubos Plásticos (PVC)	33
10.6.	Tubos PVC – SAP	33
10.7.	Tubo PVC – SEL	33
11.	Dispositivos de protección y maniobra	35
11.1.	Función de los Dispositivos de Maniobra	35
11.2.	Seccionar	35
11.3.	Conectar en vacío	36
11.4.	Conectar bajo carga	36
11.5.	Conectar componentes de instalaciones	37
11.6.	Desconectar bajo condiciones de cortocircuito	37
12.	Función de los dispositivos de protección	38
12.1.	Protección contra sobrecargas	38
12.2.	Protección contra cortocircuitos	38
13.	Ductos subterráneos	39
14.	Canales subterráneos	40
15.	Elementos que componen una instalación eléctrica interior	41
15.1.	Interruptores	41
15.2.	Tomacorrientes	42
15.3.	Portalámparas	42
15.4.	Aparatos Combinados	42
15.5.	Ubicación de Dispositivos	42
15.6.	Tomacorrientes	42
15.7.	Interruptores	43
15.8.	Interruptores de control múltiple	43
15.9.	Salidas de doble función	43
15.10.	Ambiente de doble Propósito	43
16.	Símbolos electrotécnicos	44
16.1.	Símbolo gráfico	44
16.2.	Símbolos Electrotécnicos	44
16.3.	Normas Internacionales	44
17.	Elementos que conforman las instalaciones eléctricas	45
17.1.	Interruptores	45
18.	Criterios que se deben tener en cuenta para la elección de estos interruptores.	49

Unidad III: “REPRESENTACIÓN DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS”

1.	Esquemas eléctricos	51
1.1.	Definición	51
1.2.	Finalidad	51

1.3.	Clasificación	51
1.3.1.	Esquemas Explicativos	51
1.3.2.	Esquemas de Realización	51
1.3.3.	Esquemas Mixtos	52
1.4.	Modos de Representación	52
1.5.	Elementos de un Esquema	52
1.6.	Esquema Explicativo	52
1.6.1.	Funcional	52
1.6.2.	Emplazamiento.....	54
1.6.3.	Principio.....	56
1.6.4.	Planos.....	57
1.7.	Esquemas de Realización	60
1.7.1.	Esquema General de Conexiones	60
1.7.2.	Esquema de Canalizaciones.....	61
1.8.	Esquemas mixtos.....	62
2.	Símbolos electrotécnicos.....	70
2.1.	Código Nacional de Electricidad	70
2.1.1.	Instalaciones Interiores.....	70

Unidad IV: "CÁLCULO ELÉCTRICO DE UNA INSTALACIÓN INTERIOR"

1.	Dimensionamiento de una instalación	75
2.	Cálculo de la sección del conductor alimentador	77
3.	Cálculos de la sección de los conductores para los circuitos especiales para la cocina eléctrica.	79

Unidad V: "PROTECCIÓN DIFERENCIAL"

1.	Interruptor diferencial.....	93
1.1.	Intensidad de la corriente eléctrica y su relación con el efecto producido.....	93
1.2.	Empleo de interruptores diferenciales	94
1.3.	Principio de disparo del diferencial	95
1.4.	Simbología	97
1.5.	Ubicación	97
2.	Protección diferencial en instalaciones industriales	98
2.1.	Captador o sensor	98
2.2.	Relé.....	98
2.3.	Elemento de corte	99
3.	Protección diferencial inmunizada.....	99
3.1.	Cargas sin condensadores a tierra	99
3.2.	Cargas con condensadores a tierra	100
3.2.1.	Fugas Permanentes	101
3.2.2.	Fugas Transitorias	101
4.	Criterios de selección de falla diferencial en interruptores diferenciales.	102
4.1.	Medida en TRMS y clase A	102
4.1.1.	Clase AC	103
4.1.2.	Clase A	103
4.2.	Corriente de alta frecuencia	104
4.3.	Ajustes de $I\Delta N$	106
4.4.	Curva inversa	107

Unidad VI: "DIMENSIONAMIENTO DEL CONDUCTOR PRINCIPAL PARA MOTOR"

1.	Conductores para alimentar a cargas concentradas.....	109
2.	Cálculo de conductores para alimentar a cargas distribuidas.....	111
3.	Dispositivos de protección	112
4.	Intensidad nominal mínima admisible en un fusible AM	113
5.	Interruptores magnéticos	114
5.1.	Interruptores térmicos.....	115
5.2.	Interruptores Magneto-Térmicos.....	117
5.3.	Criterio para la elección de la protección en arranques de motores.....	120
5.3.1.	Arranque directo	120
5.3.2.	Arranque en estrella triangulo.....	120
5.3.3.	Reactor	121

Unidad VII: "SELECCIÓN DE TABLEROS ELÉCTRICOS"

1.	Introducción	123
2.	Objetivos.....	123
3.	Contenido.....	123
3.1.	Definición	123
3.2.	Características	124
3.3.	Información a suministrar	125
3.4.	Condiciones de empleo de los tableros	126
3.4.1.	Condiciones normales de empleo	126
3.4.2.	Condiciones especiales de empleo.....	127
3.5.	Clasificación.....	128
3.5.1.	Tableros de baja tensión	128
3.5.2.	Tableros de alta tensión	136
3.6.	Funciones de los tableros.....	138
3.6.1.	Para baja tensión	138
3.6.2.	Para alta tensión	139
3.7.	Selección de tableros.....	140
3.8.	Consideraciones constructivas.....	141
3.9.	Instalación de los tableros	142
3.10.	Mantenimiento de tableros.....	142
4.	Resumen.....	143
5.	Glosario.....	145

Unidad VIII: "COMPENSACIÓN DE ENERGÍA REACTIVA"

1.	Factor de potencia de cargas.....	147
2.	Ahorro.....	148
3.	¿Por qué usar capacitores?	148
4.	Campo magnético	148
5.	Principios.....	148
6.	El triángulo de potencia.....	149
7.	¿Qué es el factor de potencia?.....	149
8.	¿Por qué instalamos capacitores?.....	150

9.	Tamaño del banco.....	151
10.	Tipos de compensación.....	153
10.1.	Compensación Global.....	153
10.2.	Compensación Parcial	153
10.3.	Compensación Individual	154
11.	Otros tipos de compensación	155
11.1.	Bancos Fijos	155
11.2.	Bancos automáticos	156

Unidad IX: "CORRECCIÓN DE FACTOR POTENCIA"

1.	Introducción	157
2.	Objetivos	158
3.	Principios básicos	158
3.1.	Factor de potencia.....	159
4.	Ventajas de la corrección del factor de potencia.....	160
4.1.	Reducción de las caídas de tensión.....	160
4.2.	Reducción de la sección de los conductores.....	160
4.3.	Disminución de las pérdidas	160
4.4.	Reducción del costo de electricidad evitando el pago por consumo de energía reactiva.....	161
4.5.	Aumento de la capacidad del transformador para entregar potencia activa.....	161
5.	Cálculo del factor de potencia de una instalación.....	163
6.	Instalación de condensadores	166
6.1.	Compensación global	167
6.2.	Compensación grupal.....	168
6.3.	Compensación individual o local	169
7.	Elección de un banco de condensadores	171
7.1.	Compensación fija	171
7.2.	Compensación automática.....	172
8.	Cálculo práctico de la potencia de un banco de condensadores	173

Unidad X: "PROTECCIÓN DE SISTEMAS ELÉCTRICOS"

1.	Generalidades	175
2.	Tensión de efecto (UF)	176
3.	Tensión de contacto Un	177
4.	Resistencia de emplazamiento.....	178
5.	Resistencia de defecto	181
6.	Resistencia de la persona.....	181
7.	Determinación de la tensión de contacto	183
8.	Protección de los animales	186
9.	Medición de la tensión de defecto	189
10.	Tensiones a tierra por paso de corriente a tierra en la red de baja tensión.....	189
10.1.	Tensión a tierra UE.....	189
10.2.	Medición de la tensión de puesta a tierra	191
10.3.	Tierra de referencia	191
11.	Protección contra accidentes eléctricos	194
11.1.	Riesgos eléctricos	194

11.2.	Protecciones contra los contactos eléctricos	197
11.3.	Empleo de tensiones de seguridad	200
11.4.	Protección de la instalación	201
11.5.	Reglas de oro de la seguridad	202
12.	En caso de electrocución	204

Unidad XI: “PUESTA A TIERRA DE LAS INSTALACIONES”

1.	Finalidad de las puestas a tierra	205
1.1.	El control de los potenciales anormales	205
1.2.	La evacuación de corrientes eléctricas	205
2.	Comportamiento eléctrico del suelo	205
3.	Algunas Fórmulas Prácticas para los Cálculos de Resistencia de una Puesta a Tierra	206
3.1.	Electrodo o Pica vertical	206
3.2.	Plancha o Placa Vertical U/O Horizontal	207
3.3.	Anillo o Cable Único Horizontal	207
3.4.	Malla Simple de Cable Horizontal	207
4.	Características de los electrodos y su ubicación en el terreno	210
5.	Medida de la resistividad del terreno	211
5.1.	Advertencias	212
6.	Medición de la impedancia de electrodos de tierra	212
6.1.	Efecto de incremento de la profundidad de enterramiento de una barra vertical en suelo uniforme	215
6.2.	Efecto de un incremento de longitud de un conductor horizontal	216
6.3.	Efecto de incremento de la longitud del lado de una malla de tierra cuadrada	217
6.4.	Efecto de aumento del radio de un electrodo de sección circular	218
6.5.	Efecto de profundidad de enterramiento	218
6.6.	Efecto de proximidad de electrodos	218
7.	Método de la caída de tensión	219
7.1.	Notas prácticas	219
7.2.	Advertencias	220
8.	Dosis electrolíticas e higroscópicas no corrosivas para la reproducción de la resistencia óhmica de tierra	220
9.	Rendimiento de una dosis de Thor – Gel de 5 Kg.	221
9.1.	Otras formas de aplicación	222

Unidad XII: “SISTEMAS DE ILUMINACIÓN”

1.	Magnitudes fotométricas	223
1.1.	Flujo luminoso	223
1.2.	Intensidad luminosa	224
1.3.	Luminancia	225
1.4.	Iluminación	226
1.5.	Eficiencia luminosa	227
2.	Poder reflectante de los materiales y de las superficies	231
2.1.	Método de Cálculo para la Iluminación de Interiores	232
2.2.	Niveles de Iluminación aconsejados para interiores	235
2.3.	Factor de utilización (u) de algunas luminaria	236

3.	Fuentes luminosas.....	236
3.1.	Clasificación y características.....	236
3.2.	Ejemplos de cálculo	238

Unidad XIII: “ATENUACIÓN DE ARMÓNICOS Y COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA”

1.	Introducción	247
2.	Definiciones básicas.....	248
2.1.	Compatibilidad electromagnética	248
2.2.	Nivel de inmunidad	248
2.3.	Disturbio electromagnético.....	248
3.	Carga lineal.....	248
4.	Carga no lineal	249
4.1.	Teorema de JOSEPH FOURIER	249
4.2.	Espectro de FOURIER	250
4.3.	Armónicos.....	250
4.4.	Distorsión armónica	251
4.5.	Factores importantes	251
5.	Definiciones básicas.....	252
5.1.	El FLICKER.....	252
6.	Objetivos de las normas de calidad de energía	252
6.1.	Propósito de las normas de calidad de la energía.....	252
6.2.	Normatividad en el Perú.....	254
7.	Armónicos.....	255
7.1.	Introducción.....	255
7.2.	Generación de armónicos.....	255
7.3.	Origen de los armónicos.....	256
7.3.1.	Cargas no lineales	256
7.3.2.	Cargas no lineales asimétricas.....	257
7.3.3.	Cargas monofásicas.....	257
7.3.4.	Tipos de cargas que originan armónicos.....	258
7.4.	Fuentes generadoras de armónicos.....	259
7.4.1.	Convertidores de hornos de arco	259
7.4.2.	Hornos de arco.....	260
7.4.3.	Armónicos causados por lámparas de arco	261
7.4.4.	Los convertidores estáticos en la red trifásica	262
7.4.5.	Variador de velocidad	262
7.4.6.	variador de velocidad de 6 pulsos.....	263
7.4.7.	Las inductancias saturables	264
7.5.	Efectos de los armónicos.....	265
7.5.1.	Calentamientos en conductores, neutros y otros equipos	265
7.5.2.	Resonancia	266
7.5.3.	Deterioro de la forma de onda de la tensión.....	266
7.5.4.	Motores asincronos.....	267
7.5.5.	Computadoras.....	267
7.6.	Propagación de los armónicos	268
7.7.	Soluciones tradicionales	269
7.7.1.	Bloqueo de corrientes armónicas	269
7.7.2.	Modificaciones de las instalaciones	269

7.7.3.	Encerrando armónicos.....	270
7.7.4.	Filtro de orden 3 en el neutro	270
7.7.5.	Sobredimensionamiento de los conductores.....	271

Unidad XIV: “INSTALACIONES ELÉCTRICAS A PRUEBA DE EXPLOSIÓN”

1.	Introducción	273
2.	Normatividad	273
3.	Clasificación de lugares peligrosos	273
3.1.	Lugares Clase I	274
3.2.	Clase I, División 1	274
3.3.	Clase I, División 2	274
3.4.	Lugares Clase II.....	277
3.5.	Clase II, División 1	277
3.6.	Clase II, División 2	277
3.7.	Lugares Clase III.....	278
3.7.1.	Clase III, División 1	278
3.7.2.	Clase III, División 2	278
4.	Clasificación de equipos y material eléctrico según el lugar de instalación.....	278
5.	Distancias mínimas de seguridad	281

Unidad I**SISTEMAS ELÉCTRICOS****1. INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS**

Es el conjunto de los elementos de producción, transporte y distribución, que unen los centros de producción con los puntos de consumo.

El sistema eléctrico se divide en los siguientes sistemas:

- Generación
- Transmisión
- Distribución
- Utilización

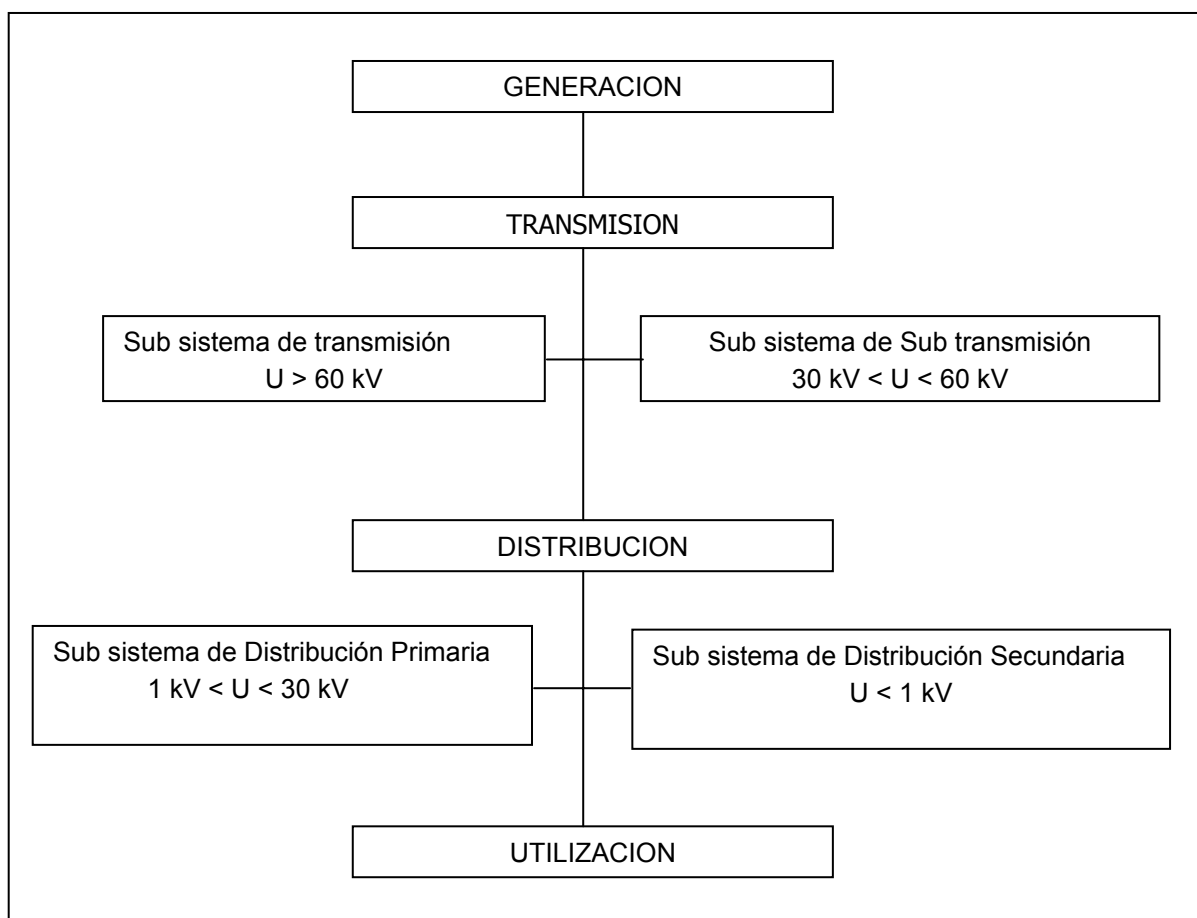


Figura 1.1

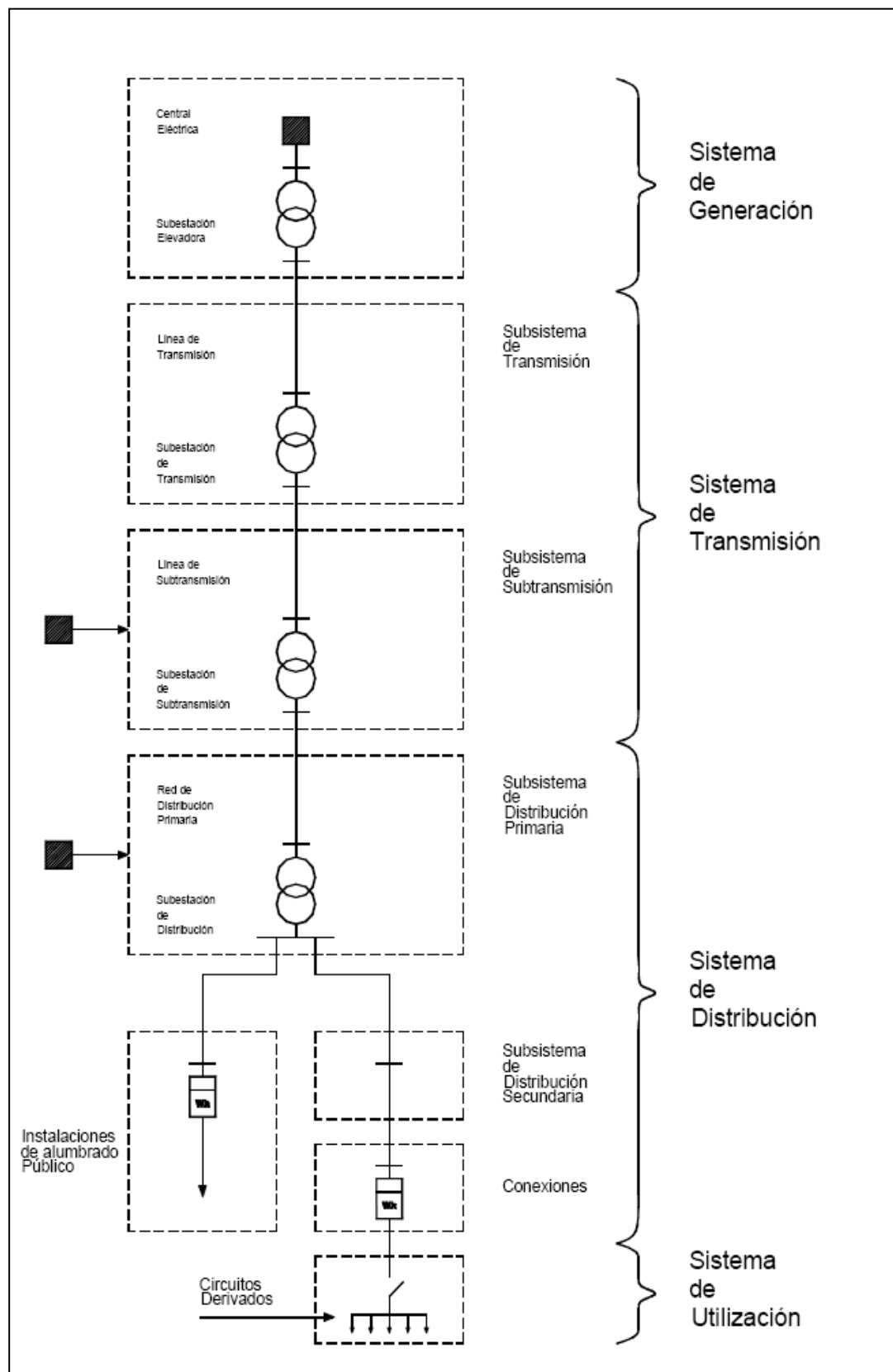


Figura 1.2 Partes de un sistema eléctrico.

1.1. SISTEMA DE GENERACIÓN

Están representados por las centrales eléctricas que albergan unidades de generación, transformadores, máquinas primas, e instalaciones adicionales que producen energía eléctrica a partir de la cuál se puede llevar hasta los centros de consumo.

Según el accionamiento mecánico del alternador, las centrales de generación pueden ser:

- Hidráulicas
- Térmicas
- Nucleares
- Eólicas
- Solares
- Geotérmicas
- Biomasa, etc.

Los niveles de tensión de generación son en media y alta tensión, pudiendo llegar a los 25 KV en centrales de gran potencia, por ejemplo el; el consorcio binacional (Paraguayo-Brasileño), tiene 18 unidades de generación que producen 737 MVA en 18 KV cada uno, representando la central hidroeléctrica más grande del mundo.

Los sistemas de generación también incluyen las subestaciones elevadoras, si están en la misma central, donde se eleva la tensión hasta las altas tensiones de transporte.



Figura 1.3 Rotor de generador (central hidroeléctrica de Itaipu).

1.2. SISTEMA DE TRANSMISIÓN

Es un arreglo de cables, aisladores y estructuras que tienen el objetivo de transportar la energía eléctrica, producida por el sistema de generación a grandes distancias. La energía es transmitida en alta tensión, en corriente continua o alterna, el sistema de transmisión se divide a su vez en 2 sub-sistemas:

- Sub sistema de transmisión

Transporta la energía eléctrica suministrada a Alta Tensión por un sistema de generación a altas distancias hasta un sub sistema de sub transmisión [$U \geq 60 \text{ kV}$]

- Sub sistema de sub transmisión

Transporta la energía eléctrica suministrada a alta tensión por un sistema de generación a grandes distancias hasta un sub sistema de sub transmisión a un sistema de distribución [$30 \text{ kV} \leq U < 60 \text{ kV}$]



Figura 1.4 Subestación de sub-transmisión (alta tensión).

1.3. SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

Instalaciones de entrega de energía eléctrica a los usuarios en niveles de media y baja tensión. Este sistema se subdivide a su vez en dos subsistemas:

- Sub sistema de distribución primaria

Transporta y distribuye la energía eléctrica desde las subestaciones de sub-transmisión hasta las subestaciones de distribución en niveles de media tensión [$1 \text{ kV} \leq U < 30 \text{ kV}$], siendo los más empleados en nuestro medio 10 KV y 13.2 KV.

Las subestaciones de distribución operan en conjunto con estas redes, se encargan de la interrupción, maniobra, protección tanto en el lado primario como en el secundario, destinados a la transformación de una tensión nominal de distribución primaria a una secundaria.

- Sub sistema de distribución secundaria

Transporta y distribuye energía eléctrica en baja tensión a abonados de la empresa concesionaria de electricidad, pequeñas industrias, instalaciones de alumbrado publico y otros usuarios. [$U < 1 \text{ kV}$]



Figura 1.5a. Red de distribución primaria y secundaria



Figura 1.5b. Red de distribución primaria (armado para cambio de dirección)

1.4. SISTEMA DE UTILIZACIÓN

Instalaciones que llevan la energía eléctrica desde el punto de entrega (medidor de energía), al tablero de distribución y los diferentes circuitos derivados que forman parte de las instalaciones interiores.

- Conexiones

Elementos para la alimentación de los suministros de la energía eléctrica, destinados a los usuarios.

- Acometida domiciliaria

Parte de la instalación de una conexión, comprendida desde la red de distribución secundaria hasta las bornes de entrada de la caja del medidor de energía.

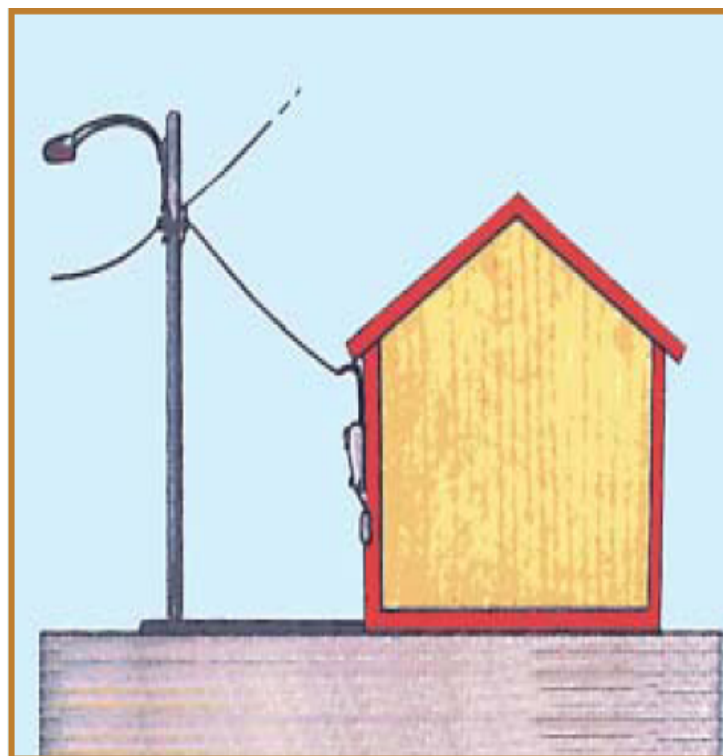


Figura 1.6 Acometida domiciliaria.

2. TENSIONES DE DISTRIBUCIÓN SECUNDARIA

Los niveles de tensión aprobados para los sistemas de distribución secundaria que abastecen servicios públicos, son los indicados en la Tabla 4- I

TABLA 4-I	
Tensión Nominal V	Tensión Máxima del Sistema V
220 380	230 400

Las tensiones que se emplearán serán tales que permitan adoptar los sistemas de corriente alterna trifásica de 60 Hz, con cuatro conductores a la tensión nominal 380/220 V, con neutro a tierra, o con tres conductores a la tensión nominal 220V.

Tensión trifásica 380/220V

Si se tienen tres conductores de igual o diferente calibre, tal como se muestra en la figura:

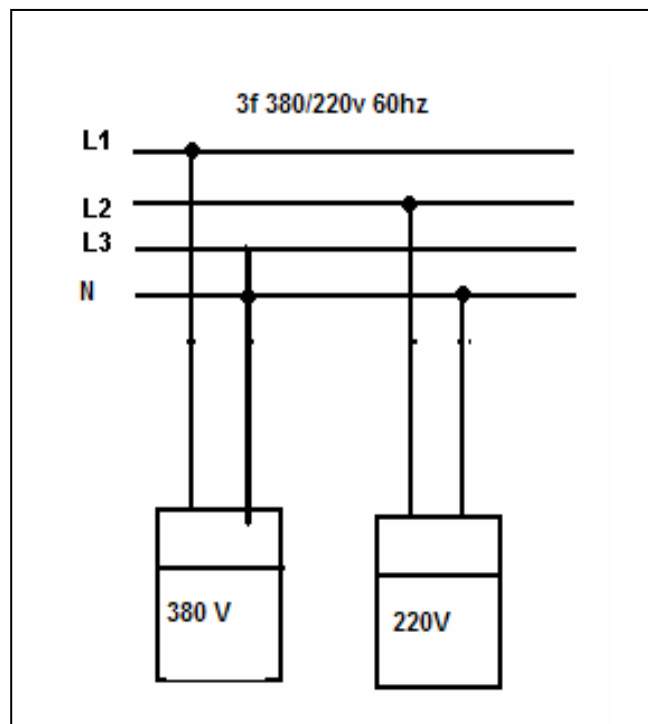


Figura 1.7

Se dice así, a aquella tensión que se obtiene directamente de una fase viva y otra fase viva (380V) o entre una fase y neutro (220V) .

Tratamiento del neutro

Según el CNE Utilización tenemos que:

Para el tratamiento del neutro debemos referirnos al Código Utilización

Conductor neutro: Conductor conectado a un punto neutro de un sistema y capaz de contribuir con la transmisión de la energía eléctrica.

Tensiones

020-500 Alimentación Desde Redes de Servicio Público de Electricidad

(1) De acuerdo a lo indicado en el Código Nacional de Electricidad Suministro, en las redes de servicio público de baja tensión se podrá continuar utilizando los niveles de tensión existentes y las tensiones recomendadas de 380/220 V, trifásico de 4 hilos, con neutro efectivamente puesto a tierra.

(2) La alimentación en baja tensión desde las redes de servicio público de electricidad a instalaciones de carácter público o privado, para cualquier tipo de uso, ya sea residencial, comercial, industrial u otros, debe ser trifásico de 380/220 V - 4 hilos, monofásico de 220 V - 2 hilos o trifásico de 220 V- 3 hilos (para los sistemas aislados de 220 V).

(3) No obstante las Subreglas (1) y (2), para usos no residenciales se permite cualquier otro tipo de sistema en las instalaciones privadas, preferentemente 480/277 V, trifásico, 4 hilos con neutro a tierra, previo permiso especial emitido por Autoridad competente, según lo requerido por la Regla 020-030.

3. INSTALACIONES ELÉCTRICAS

3.1. GENERALIDADES

Toda instalación eléctrica debe permitir la EFICAZ, CONDUCCIÓN, CONEXIÓN Y PROTECCIÓN de un determinado equipo o aparato eléctrico o electrónico, por lo que se deberá examinar cuidadosamente los medios de conducción de la energía eléctrica, determinándose y dimensionándose el conductor y los componentes a utilizar. Además se debe tener en cuenta los medios mecánicos que posibiliten esta conducción.

3.2. DEFINICIÓN

Conjunto de elementos y dispositivos, conectados en forma ordenada para cumplir una determinada función eléctrica.

3.3. CLASIFICACIÓN

Según el sistema de utilización en baja tensión (<1000 voltios hasta 1.0 KV.)

1. Vivienda y/o Residencial
 - Unifamiliar
 - Bifamiliar
 - Multifamiliar
2. Comercial
 - Bancos
 - Edificios
 - Hostales
 - Hoteles

3. Industriales
 - Panaderías
 - Microempresas
 - Grandes consorcios
4. Alumbrado Publico

3.3.1. INSTALACIONES RESIDENCIALES

1. Electrificación Mínima.-
Como mínimo un circuito para puntos fijos de luz y un circuito para tomas de corriente.
Potencia a instalar 1500 watts.
2. Electrificación Media.-
Como mínimo un circuito para puntos fijos de luz y dos circuitos para tomas de corriente.
Potencia a Instalar: 3000 Watts.
3. Electrificación Elevada.-
Como mínimo dos circuitos para puntos fijos de luz; un circuito para maquinas de lavar, calentador de agua y secadora; un circuito para cocina eléctrica y un circuito para toma de corriente.
Potencia a instalar: 8000 Watts.
4. Electrificación Especial.-
De viviendas dotadas de potencia Unitaria Elevada.

3.3.2. INSTALACIONES DE TALLERES

El abastecimiento de energía eléctrica y elección del equipo eléctrico, dependerá del tipo de fabricación de las maquinas eléctricas a instalarse, se debe considerar la tensión de utilización y si es monofásico, bifásico, trifásico o trifásico con neutro corrido.

CARGA SUPERFICIAL ESPECIFICA MEDIA: (CARGA UNITARIA)

Grupo 01:

Entre 50 y 100 W/m²; pequeños y grandes receptores uniformemente distribuidos con cargas constantes: tornos autoformáticos, hilanderías, etc.

Grupo 02

Entre 70 y 300 W/m²; receptores con grandes diferencias de potencia y crestas de carga variables: prensas, soldadura, etc.

Grupo 03

Entre 200 y 500 w/m²; receptores de gran potencia como hornos y grandes maquinas, talladores de temple, siderúrgicas, de laminación, etc.

3.4. TIPOS DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS

Existen dos tipos de instalaciones eléctricas

- Exteriores
- Interiores

3.4.1. INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE EXTERIORES

En la instalación eléctrica que se desarrolle en las redes de distribución tanto en red de distribución primaria como en red de distribución secundaria, utilizando conductores de aislamiento WP y conductores especial de subterráneo.

3.4.2. INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE INTERIORES

Insolación eléctrica que cumple su función dentro de ambientales, ya sean viviendas, residencias, comercio y la industria en general.

DEFINICIONES BÁSICAS

1. **Alimentador.-** Conductores de un circuito, que transmiten la energía eléctrica, desde un centro de suministro, tal como un transformador, tablero de distribución, centro de distribución, generador u otra forma de suministro al dispositivo de sobrecorriente y al medidor de energía.

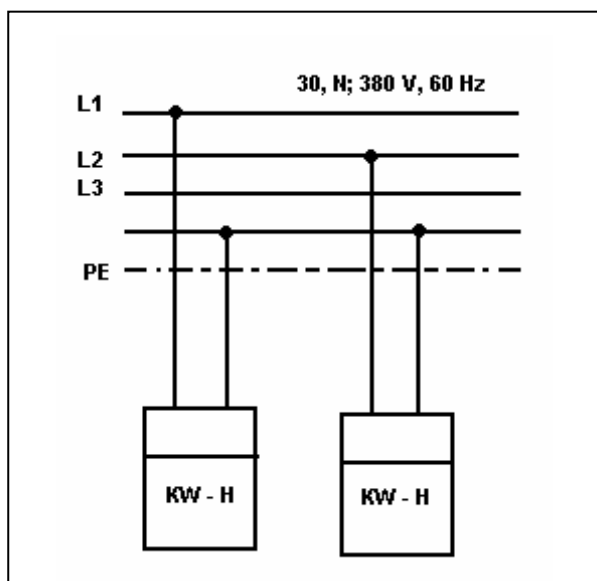


Figura 1.8

2. **Acometida.-** Parte de la instalación eléctrica comprendida entre la red de distribución y el contador de energía.
3. **Artefacto.-** Equipo de utilización fijo o portátil, generalmente de tipo no industrial, construido en tipos o tamaños normalizados y que se instala o conecta como una unidad.
4. **Carga eléctrica.-** Régimen al que se realiza el trabajo eléctrico, en términos generales dentro del calculo de la energía eléctrica. Esta definida como la potencia activa nominal consumida o absorbida por una red, una maquina o un dispositivo eléctrico.
5. **Carga continua.-** Carga, cuyo consumo de energía eléctrica, se espera que consuma constantemente durante 3 horas o mas. Estas cargas no deben exceder del 80% de la capacidad nominal del circuito derivado de carga.
6. **Carga instalada.-** denominada potencia instalada. Es la suma de las potencias nominales de los receptores de energía eléctrica conectadas a la red.

$$P.I. = \sum P_N$$

$$= P1 + P2 + P3 + P4 +Pn$$

7. **Carga Contratada.-** Magnitud de la carga solicitada por el abonado a la empresa de servicio publico de electricidad y que figura en el contrato de suministro de energía eléctrica.
8. **Circuito Derivado.-** circuito comprendido entre un dispositivo de protección y los puntos de utilización.
9. **Circuito de Fuerza.-** circuito deseado para la conexión de maquinas eléctricas.
10. **Demanda.-** Es la carga promedio que se obtiene durante un intervalo de tiempo especificado.
11. Este intervalo de tiempo depende del uso que se quiere dar al valor de demanda correspondiente, siendo generalmente igual a ¼, ½ , ó 1 hora.
12. **Demanda Máxima.-** Demanda instantánea mayor que se presenta durante un periodo de trabajo establecido, expresado en KW, KVA, etc.
13. **Densidad de Carga.-** Denominada también, como carga unitaria, la cual representa la relación entre la potencia instalada y el área de la zona en proyecto. Se expresa en W/m² ó KW/m².
14. **Panel de Distribución.-** Panel estructura o ensamblaje de paneles, en los cuales se montan los dispositivos de maniobra, control y protección, barras, conexiones e instrumentos de medición. Son generalmente accesibles por la parte frontal y posterior.
15. **Tablero. -** Panel o equipo de paneles. Para construir un solo panel, incluye barras, dispositivos automáticos de sobrecorrientes con o sin interruptores para el control de circuitos de alumbrado y fuerza, diseñado para su

colocación en una cabina, adosada o empotrada en la pared o accesible solo por un frente.

16. **Puesta a tierra.-** Comprende a toda la ligazón metálica directa sin fusible de protección alguna, de sección suficiente, entre determinados elementos o partes de una instalación y un electrodo o grupo de electrodos enterrados en el suelo, con el objeto de conseguir que el conjunto de instalaciones, edificios y superficie próxima del terreno no tenga diferencias de potencial peligrosas y que al mismo tiempo permita el paso a tierra de las corrientes de falla o la descarga de origen atmosférico (rayos).
17. **Tensión a Tierra.-** En los circuitos puestos a tierra es la tensión eficaz entre un conductor dado y el punto ó el conductor que esta puesto a tierra.
18. En los circuitos no puestos a tierra, es la mayor diferencia de tensión entre un conductor dado y cualquiera de los otros conductores del circuito.
19. **Resistencia a Tierra.-** Valor de la resistencia entre un punto cualquiera de una instalación, sea esta parte activa desenergizada o no activa y la masa terrestre.

Unidad II**COMPONENTES DE UNA INSTALACIÓN ELÉCTRICA INDUSTRIAL****1. INTRODUCCIÓN**

Dado que se está tratando el tema de las instalaciones eléctricas industriales, se hará mención a los elementos que intervienen en este tipo de instalación.

En una instalación eléctrica industrial intervienen como elementos principales para conducir, proteger y controlar la energía eléctrica y los dispositivos receptores, los siguientes elementos:

- Las canalizaciones eléctricas.
- Los conductores eléctricos.
- Los dispositivos de protección y maniobra.

2. CANALIZACIONES ELÉCTRICAS

Se entiende por canalizaciones eléctricas a los medios que se emplean en las instalaciones eléctricas para contener a los conductores, de manera que queden protegidos contra el deterioro mecánico y contaminación.

Los medios de canalización más comunes que se emplean en las instalaciones eléctricas son:

Las tuberías, las bandejas o charolas, las canaletas o ductos aéreos, las zanjias, los ductos subterráneos y los canales subterráneos.

3. CONDUCTORES

El mercado destinado a la fabricación de conductores eléctricos ofrece una gran variedad de estos, sus cualidades específicas difieren tanto en la característica de los materiales empleados como en los aislamientos, construcción y protección del propio conductor.

Por tanto, es fácil fijar, a priori, las ventajas técnicas y económicas de un determinado conductor sin conocer las peculiaridades del tipo e instalación eléctrica a realizar.

Materiales utilizados para conductores eléctricos:

La mayor parte de los conductores empleados en las instalaciones eléctricas están hechos de cobre o aluminio (Fig. 2.1) por ser materiales con mayor conductividad y con un costo lo suficientemente bajo como para que resulten económicos.

Comparativamente el aluminio es 16% menos conductor que el cobre, pero mucho más liviano.

En el cobre usado en conductores eléctricos se distinguen tres temples o grados de suavidad del metal: blando o recocido, semiduro y duro, con propiedades algo diferentes, siendo el cobre blando el de mayor conductividad eléctrica y el cobre duro el de mayor resistencia a la tracción.

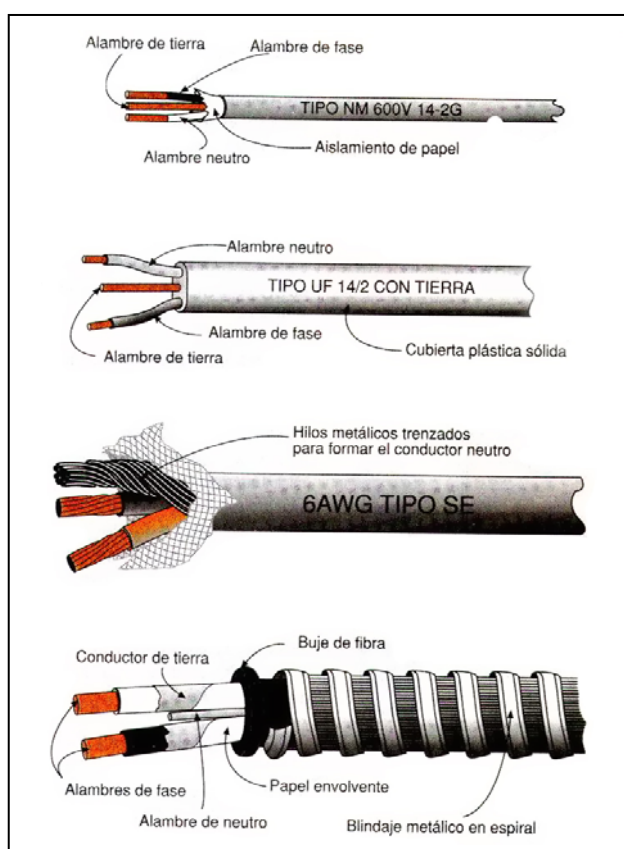


Figura 2.1. Partes de un conductor.



Figura 2.2 Conductores de cobre y aluminio.

4. CLASIFICACIÓN DE LOS CONDUCTORES ELÉCTRICOS

Por lo general, los conductores eléctricos se fabrican de sección circular sólido o cableado, dependiendo de la cantidad de corriente que vayan a conducir y del lugar donde se les instalará; aunque en algunos casos se fabrican de secciones rectangulares para altas corrientes.

Los conductores se pueden clasificar: por su constitución, por el número de polos y por su aislamiento.

Por su constitución:

Se dividen en hilos (alambres), cordones y cables.

Por el hilo se entiende el conductor formado por una sola alma (alambre) de cobre o aluminio.

El cordón es un conductor flexible formado por varios hilos de sección delgada y unidos eléctricamente.

El cable es un conductor formado por hilos más gruesos que los cordones, los cuales pueden ser de forma redonda.

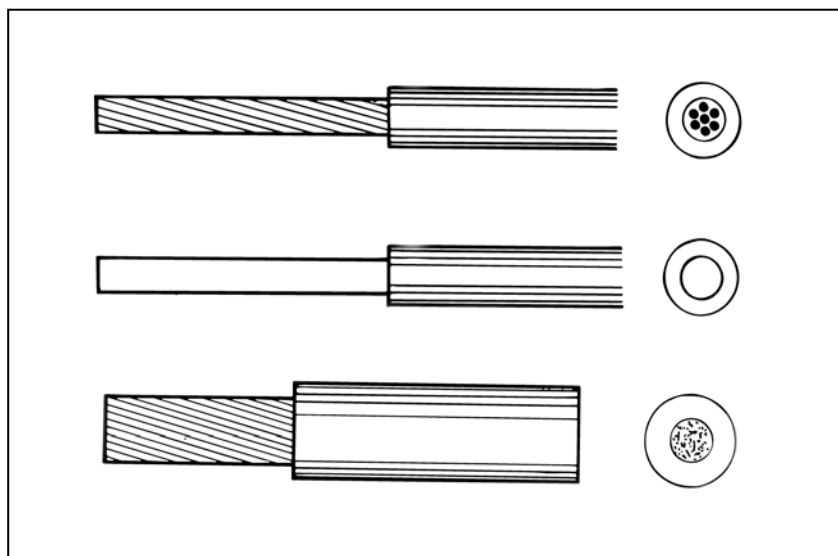


Figura 2.3. Cable, alambre y cordón.

Por el número de polos:

4.1. SE DIVIDEN EN UNIPOLARES Y MULTIPOLARES

Los conductores unipolares son aquellos que están constituidos por un solo hilo, cordón o cable, mientras que los multipolares son aquellos que están constituidos por varios hilos, cordones o cables aislados entre sí.

4.2. POR SU AISLAMIENTO

Un conductor eléctrico se considera aislado cuando está protegida por algún tipo de material aislante. Los productos utilizados en el aislamiento de los conductores son principalmente materiales termoplásticos (cloruro de polivinilo, polietileno, poliestireno) o el papel impregnado en aceite.

4.3. POR SU AISLAMIENTO LOS CONDUCTORES SE PUEDEN CLASIFICAR EN

4.3.1. CONDUCTORES DE USO GENERAL

Son aquellos que están constituidos por el conductor, el aislamiento y en algunos tipos por una chaqueta o cubierta.

Principalmente se utilizan para circuitos de alumbrado, tomacorrientes, tableros de distribución, tableros de control, circuitos alimentadores de motores eléctricos, alimentación de

cargas móviles, redes aéreas de distribución primaria o secundaria, etc.



Figura 3.4. Conductores de uso general.

4.4. CABLES DE ENERGÍA

Son aquellos que están constituidos por el conductor, la pantalla semiconductora para permitir que los esfuerzos eléctricos en el aislamiento sea de forma radial y simétrica, el aislamiento que soporta la tensión aplicada, la armadura metálica para proteger al cable contra agentes externos y/o esfuerzos de tensión extraordinarios y la cubierta o chaqueta que proporciona protección contra el ataque del tiempo y los agentes externos.

Principalmente se utilizan en redes de distribución aéreas, redes de distribución subterráneas, circuitos alimentadores y circuitos derivados en instalaciones del tipo industrial.



Figura 3.5. Cables de energía.

5. CALIBRE DE LOS CONDUCTORES

Para la fabricación de los conductores eléctricos se emplean tres sistemas de medida para el calibre de los conductores: métrico decimal, AWG y MCM.

5.1. SISTEMA MÉTRICO DECIMAL

El calibre de los conductores según la "Internacional Electrotechnical Commission" (IEC) se mide de acuerdo a su área transversal en milímetros cuadrados; así tenemos las siguientes secciones normalizadas: 1,5 mm², 2,5; 4; 6; 10; 16; 25; 35; 50; 70; 95; 120; 150; 185; 240; 300; 400; 500 mm², etc.

5.2. SISTEMA AWG

El calibre de los conductores según la "American Wire Gage" (AWG) se designa mediante números que representan aproximadamente los pases sucesivos del proceso de estirado del alambre durante su fabricación. Este sistema tiene las siguientes características:

La relación entre los diámetros de dos calibres AWG consecutivos de mayor a menor es 1,123

Ejemplo:

$$\begin{aligned} 15 \text{ AWG} &= 1,450 \text{ mm } \varnothing \\ 14 \text{ AWG} &= 1,450 \text{ mm} \times 1,123 = 1,628 \text{ mm } \varnothing \end{aligned}$$

La relación a nivel de sección es de 1,26

Ejemplo:

$$\begin{aligned} 17 \text{ AWG} &= 1,038 \text{ mm}^2 \\ 16 \text{ AWG} &= 1,038 \text{ mm}^2 \times 1,26 = 1,309 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

A un número mayor le corresponde un hilo de menor diámetro

Ejemplo:

$$\begin{aligned} 24 \text{ AWG} &= 0,515 \text{ mm } \varnothing \\ 12 \text{ AWG} &= 2,053 \text{ mm } \varnothing \end{aligned}$$

5.3. SISTEMA MCM

En las tablas de conductores inglesas y americanas se emplea el "mil circular mil" (MCM) como unidad normal para el calibre de los conductores.

El "circular mil" (CM) es un círculo que tiene un diámetro de 0,001" (una milésima de pulgada); luego se tendrá:

$$\begin{aligned} 1 \text{ C.M.} &= 25,4 \times 0,001; (1" = 25,4 \text{ mm}) \\ &= 0,0254 \text{ mm} \end{aligned}$$

El área del C.M. será:

$$\text{Area C.M.} = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi(0,0254)^2}{4} = 0,005 \text{ mm}^2$$

Como:

$$\text{Area MCM} = 0,5 \text{ mm}^2$$

Las medidas normalizadas para los calibres de los conductores en MCM son: 250 MCM, 300 MCM, 350 MCM, 400 MCM, 500 MCM.

Calibre del Conductor AWG -MCM	Sección Transversal mm²	INSTALACION EN TUBO (A)		INSTALACIÓN AL AIRE LIBRE (A)	
		TEMPERATURA MÁXIMA DE OPERACIÓN DEL CONDUCTOR			
		60° C TW	75° C THW	60° C TW - TWT	75° C THW
22	0,324	3		5	
20	0,517	5		8	
18	0,821	7		10	
16	1,310	10		15	
14	2,080	15	15	20	22
12	3,310	20	20	25	28
10	5,260	30	30	40	45
8	8,370	40	45	55	65
6	13,300	55	65	80	90
4	21,150	70	85	105	120
2	33,630	95	115	140	160
1	42,410	110	125	165	195
1/0	53,510	125	150	195	230
2/0	67,440	145	175	225	265
3/0	85,020	165	200	260	310
4/0	107,200	195	230	300	360
250	126,700	215	255	340	400
300	152,000	240	285	375	445
350	177,400	260	310	420	505
400	202,700	280	335	455	545
500	253,400	320	380	515	615
600	304,000	355	420	575	690
750	380,000	400	490	655	780
1000	506,700	490	580	790	950

Capacidad de corriente en conductores (sistema AWG).

SECCION NOMINAL mm ²	INSTALACION EN TUBO (A)				INSTALACION AL AIRE LIBRE (A)			
	TEMPERATURA MAXIMA DE OPERACION DEL CONDUCTOR							
	60°C TW-MTW	75°C THW	90°C THW-90	105°C THHW	60°C TW-TWT MTW	75°C THW	90°C THW-90	105°C THHW
0,50	4	---	---	---	7	---	---	---
0,75	6	---	---	---	9	---	---	---
1,0	8	---	---	---	11	---	---	---
1,5	10	12	22	10	16	18	27	16
2,5	18	20	27	17	22	25	34	22
4	25	27	34	25	32	37	46	32
6	35	38	42	33	45	52	60	45
10	46	50	60	46	67	78	83	67
16	62	75	---	---	90	105	---	---
25	80	95	---	---	120	140	---	---
35	100	120	---	---	150	175	---	---
50	125	145	---	---	185	220	---	---
70	150	180	---	---	230	270	---	---
95	180	215	---	---	275	330	---	---
120	210	245	---	---	320	380	---	---
150	240	285	---	---	375	445	---	---
185	275	320	---	---	430	515	---	---
240	320	375	---	---	500	595	---	---
300	355	420	---	---	575	690	---	---
400	430	490	---	---	695	825	---	---
500	490	580	---	---	790	950	---	---

Capacidad de corriente en conductores (sistema métrico decimal).

6. CARACTERÍSTICAS DE ALGUNOS TIPOS DE CONDUCTORES

6.1. ALAMBRES Y CABLES TIPO TW

Conductor de cobre electrolítico blando, sólido o cableado concéntrico; con aislamiento de cloruro de polivinilo (PVC). Pueden operar hasta 60°C y su tensión de servicio, dependiendo de la marca, puede ser de 600 V ó 750 V.

Se utiliza en instalaciones en el interior de locales con ambiente seco o húmedo, conexiones de tableros de control, etc.

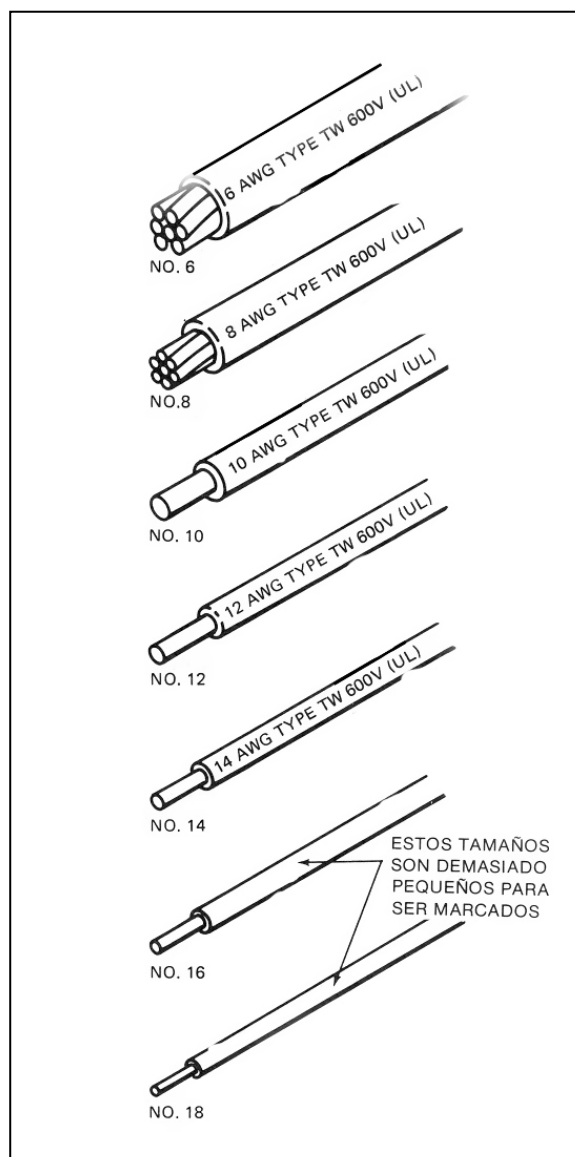


Figura 2.6 Cables y alambres TW.

6.2. ALAMBRES Y CABLES TIPO THW

Conductor de cobre electrolítico blando, sólido o cableado concéntrico; con aislamiento de cloruro de polivinilo (PVC) especial, resistente al calor, humedad, aceites y agentes químicos. Pueden operar hasta 75°C y su tensión de servicio, dependiendo de la marca, puede ser de 600 V ó 750 V.

Se utiliza en edificios públicos, hoteles, almacenes, industrias, conexión de tableros de control y, en general, en todas las instalaciones donde se requieran características superiores al TW. Especialmente se aplica en instalaciones donde se producen sobrecargas frecuentes.

El conductor THW – 90 puede operar hasta 90°C y se utiliza principalmente dentro de aparatos de alumbrado con lámparas de descarga.

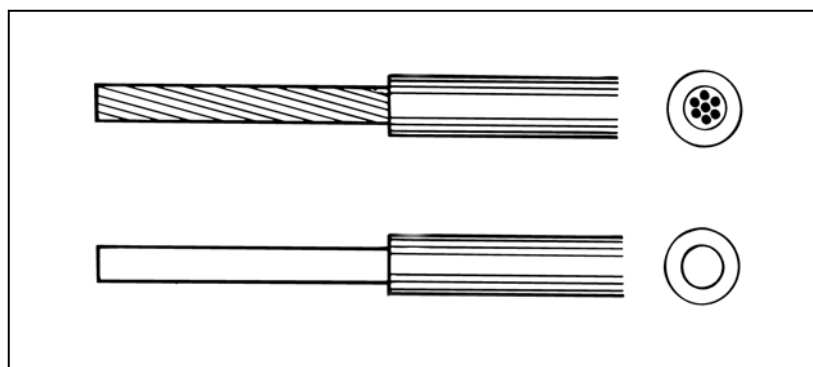


Figura 2.7 Cable y alambre THW.

6.3. ALAMBRES Y CABLES TIPO THHW

Conductor de cobre electrolítico blando, sólido o cableado concéntrico; con aislamiento de cloruro de polivinilo (PVC) especial, resistente al calor y humedad. Pueden operar hasta 105°C y su tensión de servicio, dependiendo de la marca, puede ser de 600 V ó 750 V.

Se utilizan principalmente dentro de aparatos de alumbrado con lámparas de descarga, con temperatura ambiente máxima de 70°C.

6.4. ALAMBRES Y CABLES PLASTOTENE TIPO CPI O INDOLENE TIPO WP

Conductor de cobre electrolítico duro, sólido o cableado concéntrico, con aislamiento de polietileno negro apropiada para su exposición a la luz solar y otras exigencias del medio ambiente. Pueden operar entre – 15°C a 75°C y su tensión de servicio depende de los aisladores que se usen en su instalación.

Se utilizan en redes de distribución primaria y secundaria, distribución al aire libre en plantas industriales, minas, etc. Es indispensable su uso cuando las redes cruzan zonas arboladas.

6.5. CABLES BIPLASTO TIPO TWT O INDOPREME TIPO TM

Formados por 2 ó 3 conductores de cobre electrolítico blando, sólido o cableado; aislados individualmente con cloruro de polivinilo (PVC) y reunidos en paralelo en un mismo plano con una chaqueta exterior también de PVC. Pueden operar hasta 60°C y su tensión de servicio, dependiendo de la marca, puede ser de 600 V ó 750 V.

Se utiliza en instalaciones interiores, visibles o empotradas directamente en el interior de muros o paredes; sobre armaduras metálicas y de madera o a través de ellas; empleándose como conductores de circuitos alimentadores o derivados.

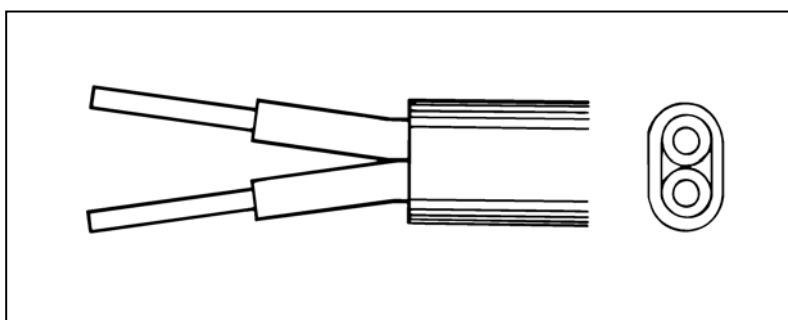


Figura 2.8. Cables biplasto tipo TWT.

6.6. CORDONES PORTÁTILES TIPOS NLT, NMT Y NPT O, BIPLASTOFLEX TIPOS SJT, SJTO, ST Y STO

Formados por 2 ó 3 conductores de cobre electrolítico blando, flexibles, con aislamiento de cloruro de polivinilo (PVC) flexible, con relleno de PVC y cubierta de PVC. Pueden operar hasta 60°C y su tensión de servicios es de 300 V para los tipos SJT, SJTO, 380 V para los tipos NLT y 600 V para los tipos ST, STO, NMT y NPT.

Se les utiliza principalmente para conexiones de aparatos electrodomésticos, alimentación de máquinas industriales portátiles de uso liviano y de servicio pesado, conexiones para equipos eléctricos en minas, etc.

6.7. CABLE FLEXIBLE TIPO PESADO

Formado por tres conductores flexibles de cobre electrolítico blando, cableados en haces de 7, con aislamiento de cloruro de polivinilo (PVC) flexible, reunidos con relleno de PVC y cubierta exterior de compuesto

termoplástico especial flexible. Puede operar hasta 60°C y su tensión de servicio es de 600 V.

Se le utiliza principalmente en circuitos donde, además de seguridad, se requiere flexibilidad de los conductores para absorber vibraciones y/o movimientos durante la operación del cable. Este tipo de conductor encuentra especial aplicación en circuitos de alimentación a electrobombas sumergibles.

6.8. CABLES TIPO NYY UNIPOLARES, DÚPLEX Y TRIPLEX

Conductor de cobre electrolítico blando, sólidos o cableados concéntricos; aislados y con cubierta exterior individual con cloruro de polivinilo (PVC). Pueden operar hasta 80°C y su tensión de servicio es hasta 1 000 V.

Se les utiliza en redes de distribución en baja tensión y en circuitos alimentadores en instalaciones del tipo industrial.

6.9. CABLES TIPO NYY BIPOLARES, TRIPOLARES Y TETRAPOLARES

Conductor de cobre electrolítico blando, sólido o cableado; con aislamiento de cloruro de polivinilo (PVC) reunidos con material de relleno de PVC y cubierta exterior de PVC. Pueden operar hasta 80°C y su tensión de servicio es hasta 1 000 V.

Se les utiliza en redes de distribución en baja tensión y en circuitos alimentadores en instalaciones del tipo industrial.

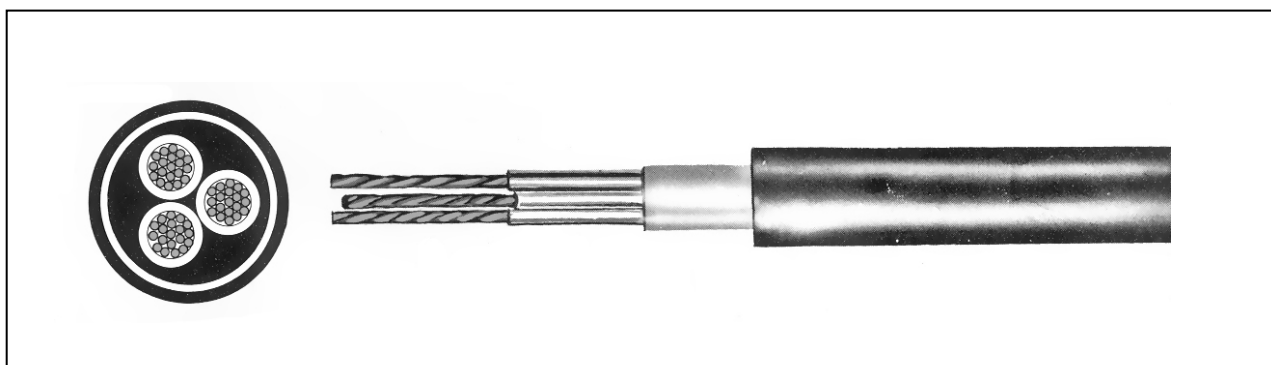


Figura 2.9 Cable tipo NYY.

6.10. CABLES TIPO NKY

Conductor de cobre electrolítico blando, sólido o cableado; con aislamiento de cinta de papel, reunión de las tres fases con cinta de papel, el conjunto impregnado con aceite "no migrante" con cubierta interior de aleación de plomo y cubierta exterior de cloruro de plomo y cubierta exterior de cloruro de polivinilo (PVC).

Los cables de baja tensión operan hasta 80°C, 100 V y tienen la cubierta exterior de color negro.

Los cables de media tensión operan hasta 55°C, 10 000 V y tienen la cubierta exterior de color rojo.

Se les utiliza en redes de distribución en baja o media tensión.

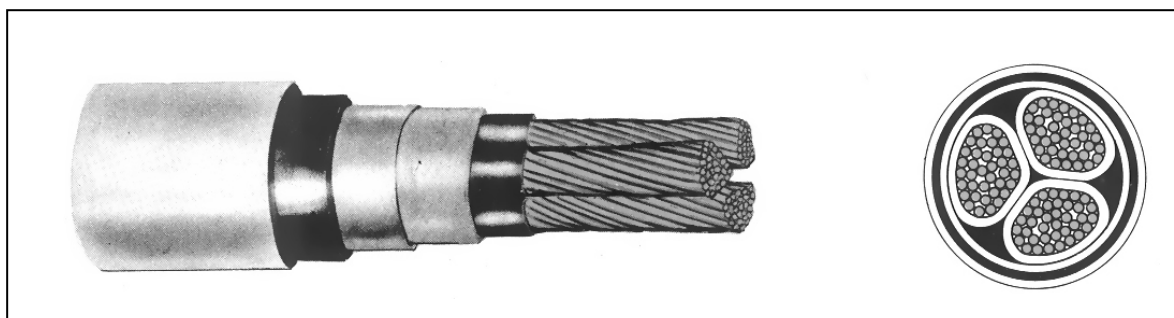


Figura 2.10 Cable tipo NKY.

7. BANDEJAS O CHAROLAS

Es una estructura rígida y continua especialmente construida para soportar cables eléctricos; se utilizan en lugares donde no es posible abrir zanjas dentro de locales o en exteriores donde el espacio no es una limitación.

Los materiales más usuales en la fabricación de charolas son el acero galvanizado y el aluminio, si el medio ambiente es muy corrosivo, es conveniente recubrir las charolas con resina epóxica o con materiales plásticos.

El montaje de las charolas se realiza en forma colgante o empotrada sobre muros.

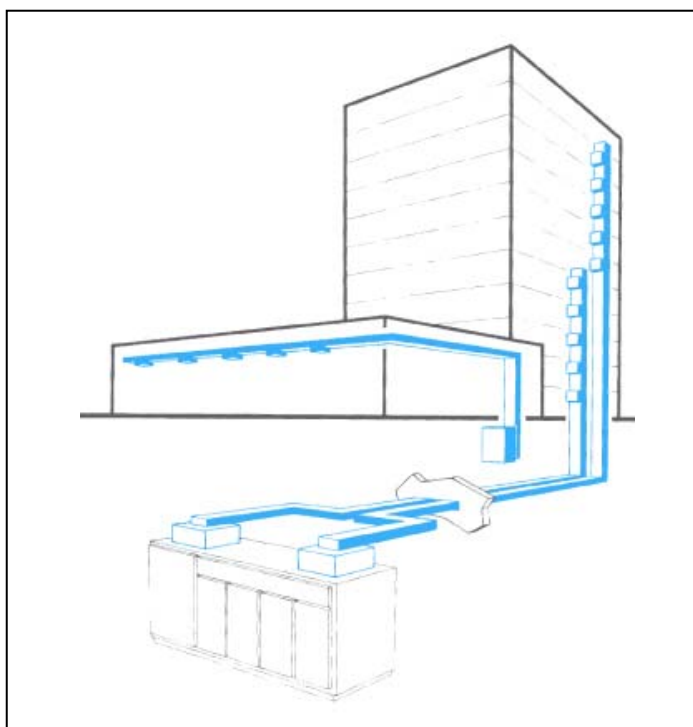


Figura 2.11 Bandeja o charola.

Para hacer la instalación de los conductores, se sigue el siguiente procedimiento:

Primero se hace un recorrido por la trayectoria de la charola para determinar la forma de la instalación de los conductores.

Si la trayectoria no presenta obstáculos el carrete del cable se colocará en una base desenrolladora, la cual se pueda desplegar a lo largo de toda la trayectoria para de esta forma ir desenrollando el cable y colocarlo sobre la charola.

Cuando no es posible ejecutar la instalación del cable depositándolo directamente sobre la charola, debido a obstáculos, cambios de dirección o nivel, se recomienda usar rodillos y poleas.

8. CANALETAS O DUCTOS AÉREOS

Es una estructura rígida y continua, construida para soportar conductores de uso general y cables de calibre no muy grueso.

Los ductos se fabrican con planchas de acero galvanizado en secciones cuadradas o rectangulares con tapas atornilladas.

Al igual que las charolas, el montaje de los ductos se puede realizar en forma colgante o empotrada sobre muros.

Para hacer la instalación de los conductores, se hace un recorrido por la trayectoria de los ductos y luego se les coloca en forma similar a los charolas.

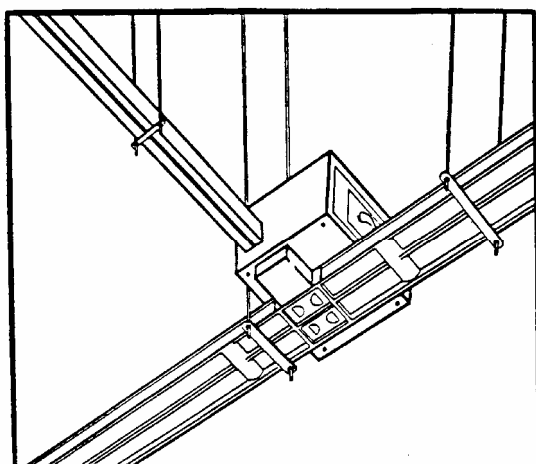


Figura 2.12 Canaleta o ducto aéreo.

9. ZANJAS

Es un tipo de canalización en el cual los cables van directamente enterrados; se emplea en lugares donde no se tiene enterrados, se emplea en lugares donde no se tienen construcciones o donde haya la posibilidad de abrir zanjas posteriormente para el cambio de cables, la reparación o aumento de circuitos.

La trayectoria debe ser rectilínea, en lo posible, para que la cantidad del cable sea mínima.

La profundidad mínima de la escarificación es de 0,70 m y el ancho varía de acuerdo al número de cables a instalar.

Cuando ha sido alcanzada la profundidad de la zanja, se limpiará el fondo, de tal manera que quede libre de piedras o cualquier objeto que pueda dañar el cable durante el relleno y compactación final. El lecho de la zanja deberá quedar perfectamente nivelado y compactado, para lo cual se pueda utilizar un pistón o vibrador.

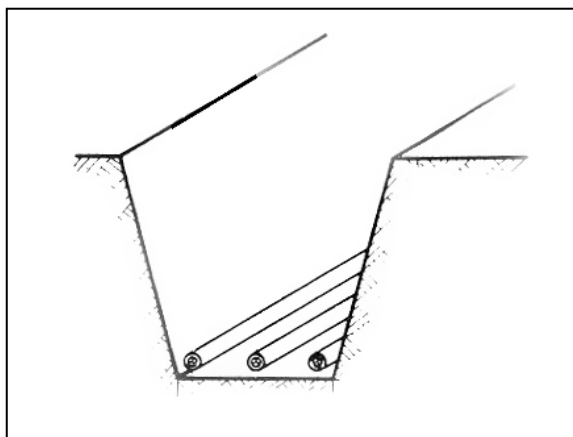


Figura 2.13 Zanja.

Una vez que la excavación de la zanja se ha terminado se procede a instalar los cables de acuerdo al método predeterminado, el cual puede realizarse de las siguientes formas:

Depositando el cable directamente sobre la zanja desde un vehículo en movimiento.

Colocando rodillos y poleas a lo largo de la trayectoria y jalando el cable de un desenrollador.

Distribuyendo personal a lo largo de la trayectoria y depositando el cable manualmente.

Una vez que se ha instalado el cable y acomodado según el arreglo seleccionado, se coloca una capa de arena o tierra cernida con una distancia no menor de 0,10 m por encima del cable.

Encima de la capa de arena se colocará una cinta de señalización que evite que excavaciones posteriores puedan dañar a personas o cables.

Sobre la señalización se rellena la zanja con el mismo material producto de la excavación, procurando ir compactando cada 0,20 m.

10. TUBERÍAS

En las instalaciones eléctricas se emplean tubos metálicos y tubos plásticos conjuntamente con cajas, conectores y dispositivos de fijación.

10.1. TUBOS METÁLICOS

Pueden ser de aluminio, acero o aleaciones especiales.

Los tubos de acero a su vez se fabrican en los tipos pesado y liviano distinguiéndose uno de otro por el espesor de la pared.

10.2. TUBO METÁLICO PESADO

Se encuentran en el mercado en forma galvanizada o con recubrimiento negro esmaltado, su superficie interior es lisa para evitar daños al aislamiento o a la cubierta de los conductores.

Se fabrican en tramos de 3,05 m y con diámetros que van de 13 mm (½ ") a 152,4 mm (6"). Vienen roscados en ambos extremos y para unir uno con otro se utilizan acoples.

10.3. TUBO METÁLICO LIVIANO

El diámetro máximo recomendable para estos tubos es de 51 mm (2") y debido a que son de pared delgada en estos tubos no se puede hacer roscado, de modo que los tramos se pueden unir por medio de accesorios de unión especial. No deben ser instalados en lugares expuestos a daños mecánicos, en lugares húmedos o mojados, ni en lugares clasificados como peligrosos.

10.4. TUBO METÁLICO FLEXIBLE

Se fabrica con cinta metálica engargolada (en forma helicoidal) sin recubrimiento para ser usado en lugares secos, o con recubrimiento de PVC para ser usado en lugares húmedos.

Se usa principalmente como último tramo para la conexión de motores eléctricos.

Al usar tubo flexible, el acoplamiento a caja, ductos y gabinetes se debe hacer utilizando accesorios apropiados para tal objeto.

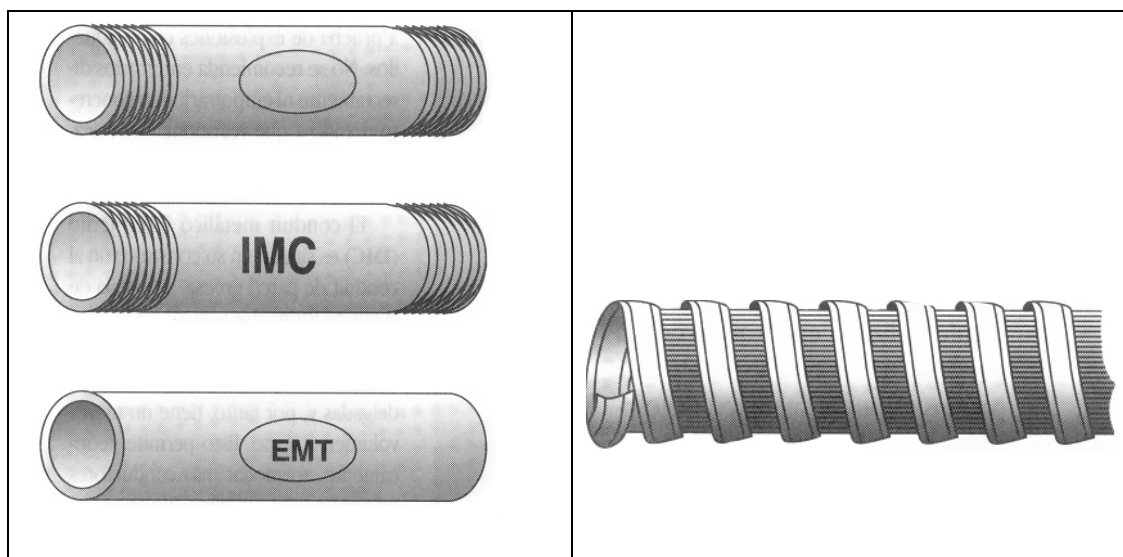


Figura 2.14 Tipos de tubos metálicos.

10.5. TUBOS PLÁSTICOS (PVC)

PVC es la designación comercial que se da al tubo rígido o flexible de policloruro de vinilo, se fabrican en dos tipos, pesado y liviano, en tramos de 3 m.

10.6. TUBOS PVC – SAP

Son tubos pesados de pared gruesa, se constituyen en diámetros que van de 15 mm a 100 mm.

10.7. TUBO PVC – SEL

Son tubos, se constituyen en diámetros que van de 13 mm a 20 mm.

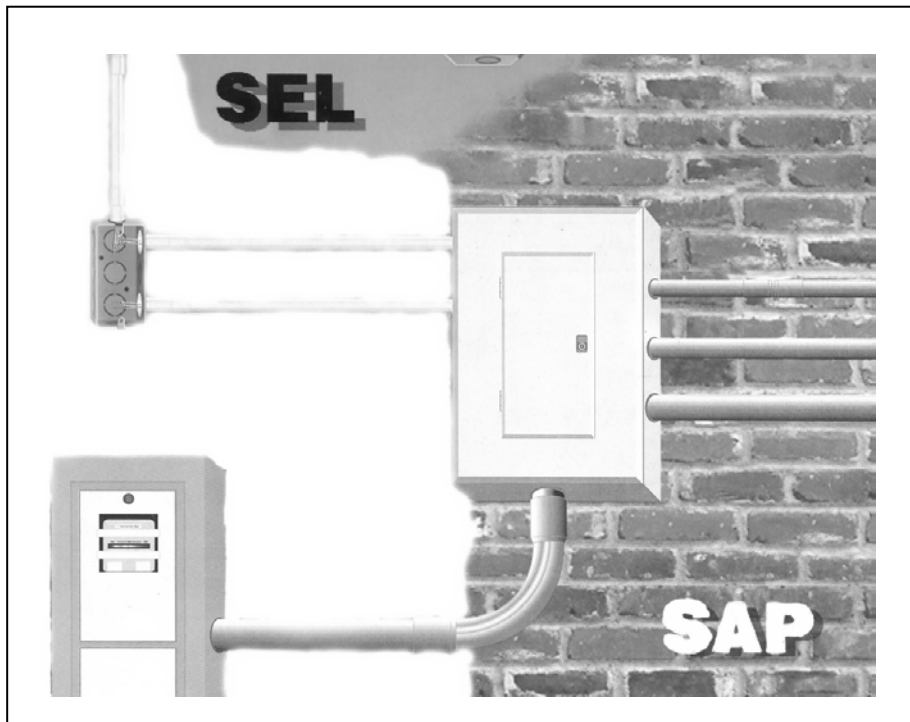


Figura 2.15 Tuberías de PVC.

Cuando se utilizan tuberías en las instalaciones eléctricas, todas las conexiones de conductos o uniones entre conductores se deben realizar en cajas apropiadas para tal fin; por otra parte todos los interruptores, tomacorrientes y salidas para lámparas se deben encontrar alojados en cajas. Dichas cajas pueden ser: metálicas o plásticas, pesadas o livianas.

Las cajas metálicas se construyen de acero galvanizado en cuatro formas principalmente: cuadradas, octogonales, rectangulares y circulares; se fabrican de varios anchos, profundidades y perforaciones para el acceso a tuberías.

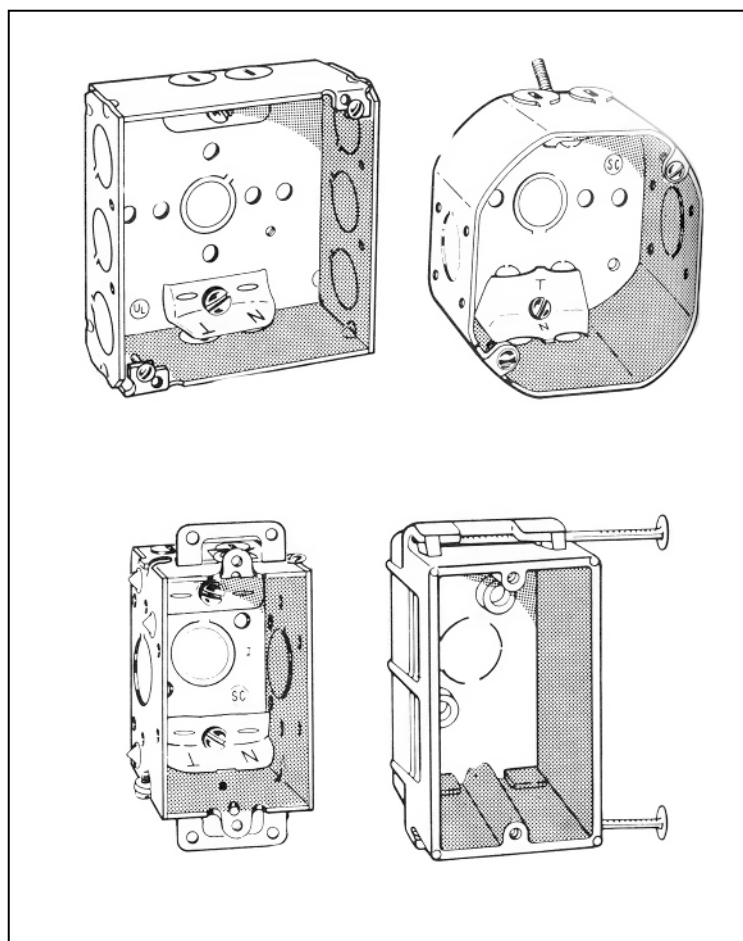


Figura 2.16 Cajas metálicas.

11. DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN Y MANIOBRA

11.1. FUNCIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DE MANIOBRA

En una instalación eléctrica, los dispositivos de maniobra, cumplen la función de ejecutar las siguientes maniobras: seccionar, conectar y desconectar en vacío, conectar y desconectar bajo carga, conectar y desconectar motores y desconectar en caso de cortocircuito.

11.2. SECCIONAR

Seccionadores son interruptores, los cuales separan un circuito eléctrico en todas sus vías de corriente, los seccionadores tienen una indicación fiable de la posición de maniobra.

Antes de efectuar algún trabajo de mantenimiento o reparación de partes activas en las instalaciones, los componentes afectados deben separarse

de la red; mientras se efectúan dichos trabajos, debe estar asegurado el aislamiento eléctrico y físico de la red.

11.3. CONECTAR EN VACÍO

En este tipo de maniobra la conexión y desconexión de circuitos eléctricos se efectúa cuando no circula corriente o cuando la tensión entre el contacto fijo y el contacto móvil en cada uno de los polos sea sumamente baja durante la maniobra.

La utilización de interruptores para conectar en vacío presupone que en ningún caso, debido a medidas previamente tomadas, sea posible conectar bajo carga. Si esto llegase a ocurrir, tendría como consecuencia la destrucción del dispositivo y de parte de la instalación y lo que es peor, pondría en peligro al personal de servicio a causa del arco que se produciría durante la desconexión.



Figura 2.17 Seccionador

11.4. CONECTAR BAJO CARGA

Con los interruptores bajo carga se pueden conectar y desconectar aparatos y partes de las instalaciones cuando prestan servicio normal con intensidad nominal. La capacidad de ruptura de los interruptores bajo carga es normalmente un múltiplo de su intensidad nominal y por tanto, pueden conectar y desconectar todas las sobreintensidades que ocurren en un servicio normal; además de esto, con ello se maniobra sin peligro

cuando se conectan involuntariamente cortocircuitos, ya que poseen una capacidad de conexión sumamente alta.



Figura 2.18 Interruptor automático.

11.5. CONECTAR COMPONENTES DE INSTALACIONES

La capacidad de ruptura de los dispositivos de maniobra para conectar componentes de instalaciones debe estar en concordancia con los esfuerzos que se presentan cuando los diversos tipos de componentes son conectados o desconectados.

Los principales componentes que se conectan en las instalaciones son:

- Motores de baja tensión.
- Motores de alta tensión.
- Condensadores.
- Aparatos para calefacción.
- Luminarias.
- Transformadores, etc.

11.6. DESCONECTAR BAJO CONDICIONES DE CORTOCIRCUITO

Los interruptores de potencia son aparatos de maniobra capaces no solamente de conectar y desconectar componentes de una instalación con sobrecargas, sino también con corrientes de cortocircuito.

12. FUNCIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN

La función de los dispositivos de protección es proteger a los componentes de las instalaciones contra sobreintensidades, los cuales se manifiestan como sobrecargas o cortocircuito.

12.1. PROTECCIÓN CONTRA SOBRECARGAS

Los componentes de las instalaciones pueden ser sobrecargadas cuando sobreintensidades correspondientes a un servicio normal permanecen por un tiempo muy largo o cuando los aparatos u otros materiales, como por ejemplo los motores o conductores, han sido mal dimensionados, es decir, son muy débiles para la función que desempeñan. Estas corrientes de sobrecarga calientan el devanado de los motores y los conductores a temperaturas no admisibles y disminuyen su vida útil.

La función de la protección contra sobrecarga es permitir las sobrecargas correspondientes a un servicio normal y desconectarlas antes que el tiempo de carga admisible sea sobrepasado.

12.2. PROTECCIÓN CONTRA CORTOCIRCUITOS

Los orígenes de un cortocircuito pueden estar en una falla de aislamiento o en una conexión incorrecta.

Los cortocircuitos casi siempre están acompañados de arcos voltaicos, los cuales pueden destruir las instalaciones y poner en peligro al personal. Los cortocircuitos provocan esfuerzos térmicos y dinámicos en los conductores y demás componentes de la instalación por los cuales circulan.

La función de la protección contra cortocircuitos es limitar los efectos y las consecuencias de éstos al mínimo posible su interrupción para lo cual, una iluminación de la corriente es provechosa.

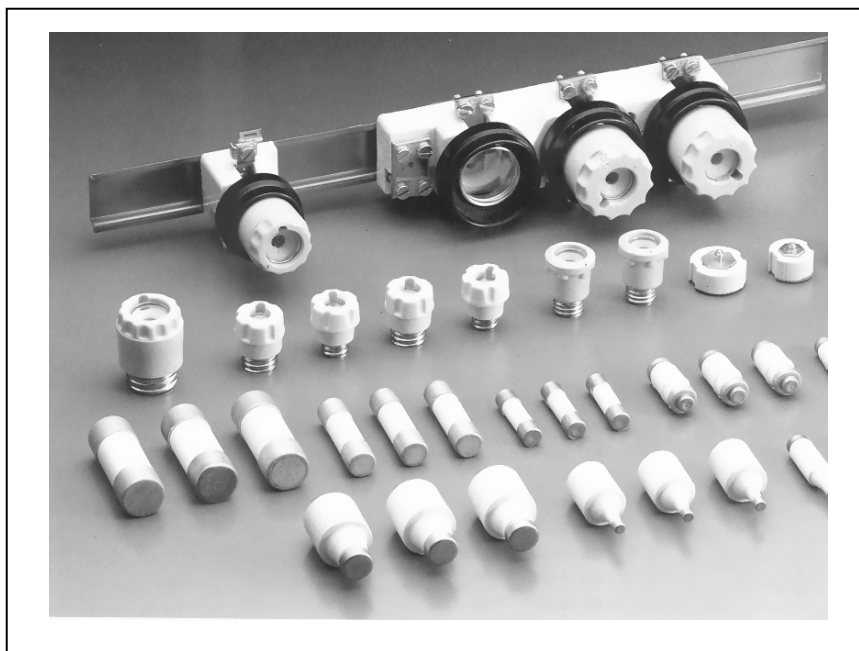


Figura 2.19 Fusible.

13. DUCTOS SUBTERRÁNEOS

Es un tipo de canalización utilizado para cruzar calles o para hacer reparaciones en zonas de difícil acceso, sustituciones o ampliaciones en el futuro.

Los materiales más utilizados en la construcción de los ductos subterráneos son el asbesto – cemento y el PVC grado eléctrico, su interior no tiene asperezas o filos que puedan dañar a los cables. Las dimensiones dependen del número de cables que se alojarán dentro de ellos y del diámetro externo de cada cable.

Para la instalación de los ductos subterráneos se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

El sistema de ductos subterráneos debe seguir en lo posible, una trayectoria recta entre sus extremos.

Los cambios de dirección en el plano horizontal y vertical se realizarán por medio de pozos de registro y la distancia entre registros en tramos rectos no debe ser mayor a 100 m.

Los ductos deben tener una pendiente mínima de 1% para facilitar que el agua drene hacia los registros.

El extremo de los ductos dentro de los pozos de registro debe tener los bordes redondeados y lisos para evitar daños a los cables.

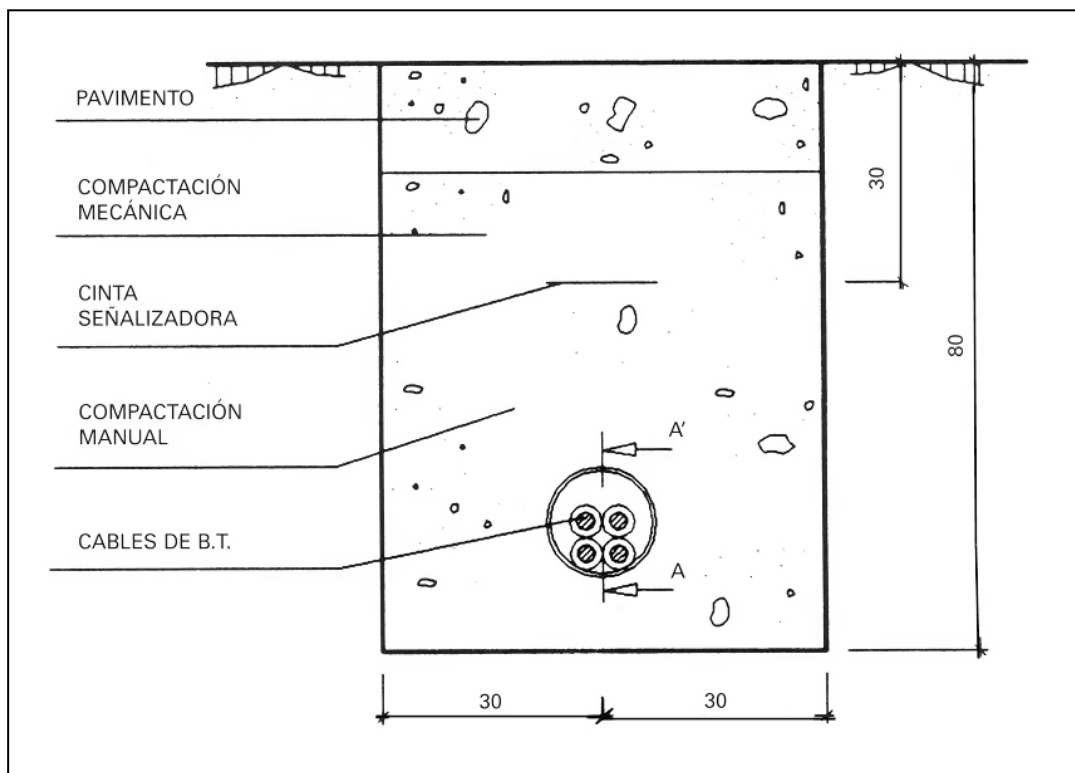


Figura 2.20 Ducto subterráneo.

Los ductos deben quedar fijos por el material de relleno, en tal forma que se mantengan en su posición original bajo los esfuerzos impuestos durante la instalación de los cables.

En los pozos de registro se deben colocar ondas para el jalado de los cables, así como también soportes para descansar los cables y empalmes.

Todo pozo de visita deberá dar facilidad para drenar el agua que en él se acumule.

14. CANALES SUBTERRÁNEOS

Son canalizaciones que se utilizan principalmente en subestaciones eléctricas donde se tiene un gran número de conductores de corta longitud y en naves industriales debido a la facilidad de cambio o incremento de conductores, ya sea por falla o crecimiento de carga.

El material que se utiliza para su construcción es el concreto vaciado o placas de concreto armado y deberá tener una pendiente mínima del 1%.

Las tapas pueden ser de concreto, fierro o fibra de vidrio, dependiendo de la carga mecánica que se imponga sobre la misma.

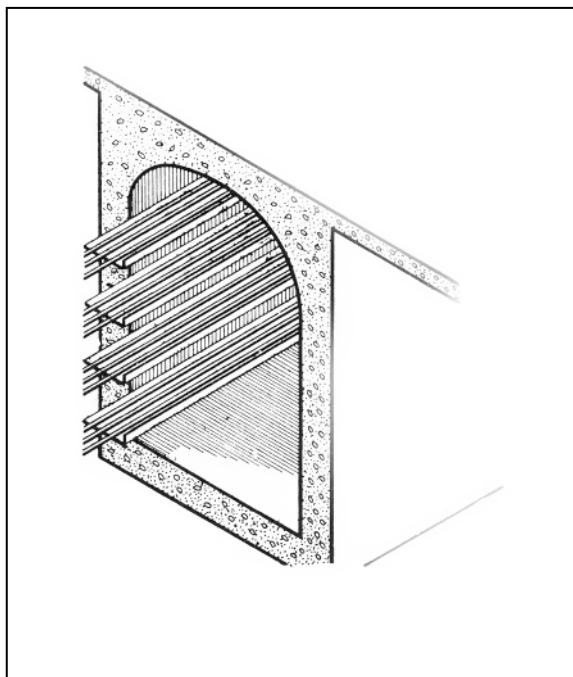


Figura 2.21 Canal subterráneo.

La dimensión del canal depende de la cantidad de conductores que se vayan a colocar. Los conductores pueden quedar instalados directamente sobre el piso en un lado o ambos lados del canal soportados mediante ménsulas, bandejas, etc.

Para la instalación de los conductores se puede seguir los métodos de instalación de cables en zanjas directamente enterrados.

15. ELEMENTOS QUE COMPONEN UNA INSTALACIÓN ELÉCTRICA INTERIOR

15.1. INTERRUPTORES

Son dispositivos eléctricos, que cierra, abre o cambia conexiones en un circuito eléctrico bajo condiciones de carga nominal.

Un factor importante, es la capacidad máxima de corriente admitida por el aparato, lo que no deberá ser sobrepasada, pues se acortara su vida.

15.2. TOMACORRIENTES

Son: dispositivos eléctricos, que sirven para proveer un medio convenientemente y seguro de conectar equipos portátiles a un circuito eléctrico.

En su elección hay que tener cuidado, pues el contacto con el enchufe deberán ser seguro, tanto eléctrico (para evitar, el calentamiento), como mecánicamente (para que soporte el enchufe).

15.3. PORTALÁMPARAS

Son dispositivos eléctricos, en las cuales van colocadas las lámparas, siendo imprescindibles en toda instalación, su elección debe ser cuidadosa.

Hay que tener en cuenta la potencia de la lámpara que soportara y el calor a que se someterá, pues esto es determinante en la construcción de estos aparatos.

15.4. APARATOS COMBINADOS

Merecen especial atención la combinación de tomacorrientes e interruptor en una sola placa. También existe la combinación de conmutador – tomacorriente.

15.5. UBICACIÓN DE DISPOSITIVOS

Se tendrá en cuenta al proyectarse las instalaciones eléctricas interiores en viviendas habitaciones y residenciales los siguientes:

Alumbrado. A menos que se establezca una ubicación específica, la ubicación de los centros de luz en los techos de cada habitación se halla el centro geométrico de las áreas útiles.

15.6. TOMACORRIENTES

Se ubican preferentemente cerca de los extremos de cada pared en vez del centro para evitar ser cubiertos por muebles grandes. De no especificar otra forma, se instalaran a 30 ó 40 cm s.n.p.t..

15.7. INTERRUPTORES

Normalmente se ubican al lado en que va el cerrojo de la puerta o en el lado del arco por el que se trafica y debe estar siempre dentro del área del cuarto cuya luz se va a controlar.

15.8. INTERRUPTORES DE CONTROL MÚLTIPLE

Todo ambiente que tenga mas de una entrada o requieran este tipo de control, se equiparan con interruptores de control múltiple de 3 y 4 vías, en cada entrada principal.

15.9. SALIDAS DE DOBLE FUNCIÓN

Donde las salidas satisfagan dos previsiones solo se necesita instalar en esa ubicación una salida.

15.10. AMBIENTE DE DOBLE PROPÓSITO

Sala - comedor ó comedor – lavandería; se aplicaran separadamente a las respectivas áreas se considerara iluminación general y local, según el caso, por ubicación de pasivo y otros.

RESUMEN

	METRO
<i>Alumbrado</i>	<i>2.40</i>
<i>Tomacorrientes:</i>	
<i>Cocina eléctrica</i>	<i>0.90 – 1.20</i>
<i>General</i>	<i>0.30 - 0.40</i>
<i>Interruptores</i>	
<i>General</i>	<i>1.20 – 1.50</i>
<i>Cocina eléctrica</i>	<i>1.10 – 1.20</i>
<i>Caja de paso</i>	<i>2.20</i>
<i>Braquet</i>	<i>2.00</i>
<i>Tablero de distribución</i>	<i>1.20 – 1.50</i>

16. SÍMBOLOS ELECTROTÉCNICOS

16.1. SÍMBOLO GRÁFICO

Es una figura óptimamente perceptible, producida por la escritura, diseño, impresión de otras técnicas.

Se utilizan para transmitir un mensaje y representa un objeto o concepto en forma clara sencilla independiente de cualquier idioma, de tal manera que no induzcan a errores de interpretación de lectura del esquema.

En lo posible, el símbolo debe ser lo suficientemente parecido al dispositivo al cual representa.

Ejemplos:

- Transformador.
- Fusible.
- Relé térmico.
- Interruptor.

16.2. SÍMBOLOS ELECTROTÉCNICOS

Cada uno de los dispositivos y aparatos con que consta una instalación eléctrica se representa por medio de un símbolo.

Ejemplos:

- Relés de sobrecorriente:
- Contador de energía:
- Voltímetros:
- Vatímetro:
- NC
- NO

16.3. NORMAS INTERNACIONALES

Los países fabricantes de dispositivos eléctricos y diseñadores, han determinado normas de símbolos los cuales han efectuado su propio patrón y estas son:

IEC = Comisión electrotécnica Internacional

DIN = Normas Alemanas para la Industria
UNE = Norma Nacional Española
VDE = Asociación Electrotécnica Alemana
NEMA = Asociación de fabricantes de productos eléctricos de Estados Unidos
BS = Estándar de prescripciones británicas.
CEI = Comité electrotécnico italiano
CNE = Código Nacional de electricidad del Perú.

17. ELEMENTOS QUE CONFORMAN LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS

17.1. INTERRUPTORES

Son aparatos de maniobra que tiene por finalidad, cerrar, abrir o cambiar conexiones en un circuito eléctrico bajo condiciones de carga normal o nominal y no bajo cortocircuito.

Clasificación de los interruptores

Se clasifican en:

Según el número de polos

1. Unipolar
2. Bipolar
3. Tripolar
 - Normal (Standard)
 - Neutro sólido
4. Tetrapolar
 - Normal
 - Neutro sólido
5. Pentapolar
 - Normal
 - Neutro sólido

Según el número de posiciones de cierre

1. De una fila – de cuchilla
2. De doble fila: A tope
 - De una línea
 - De líneas múltiples
 - De superficie.

- De mercurio.

Según el número de aperturas de circuitos

1. Apertura simple
2. Apertura doble.

Según el método de operación

1. Fuerza de operación:
 - Magnética
 - Manual
 - Motor ó solenoide

Mecanismos de operación

1. Palanca
2. Dial
3. Tambor
4. Frotación:
 - Digitación alternada
 - Rotativo
 - Botón de presión

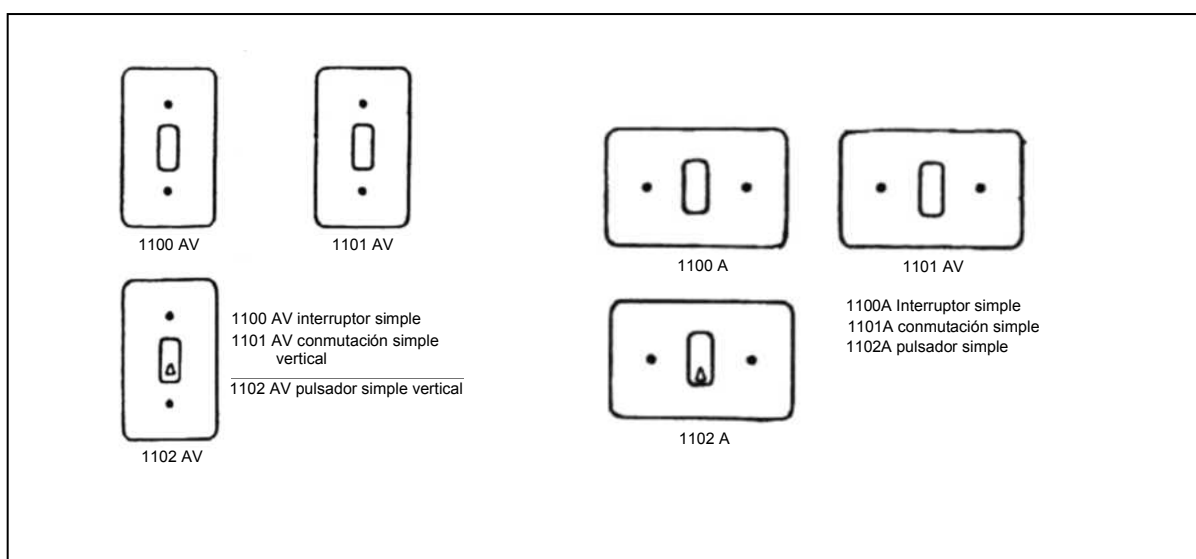


Figura 2.22

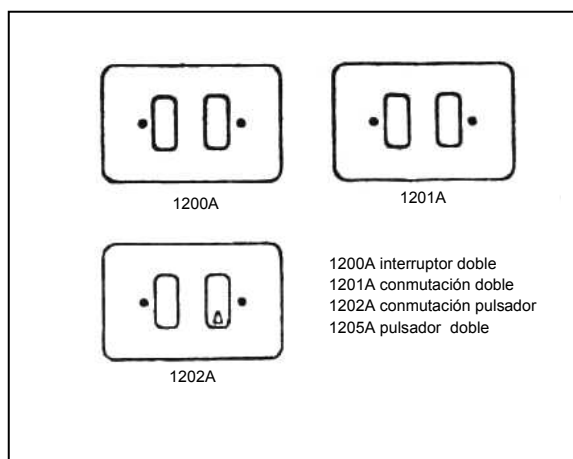


Figura 2.23

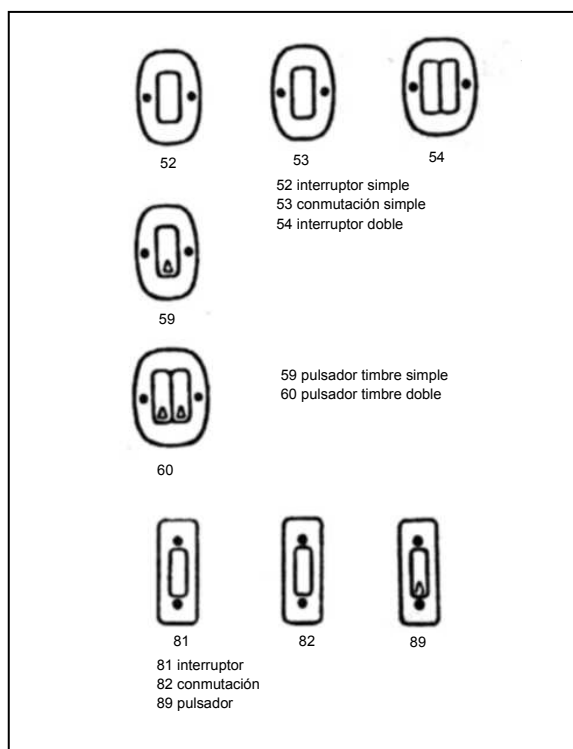


Figura 2.24

Según el tipo de servicio

- Interruptor de potencia
- Para propósitos generales
- Abiertos
- De seguridad
- Para seccionadores.
- Para circuitos de motor.
- Para arranque de motor.
- Interruptor de campo.
- De entrada de servicio.
- Interruptor de alumbrado
- Según el método de instalación
- Para montaje empotrado.
- Normal Estándar
- Intercambiable
- De combinación
- De superficie.
- Colgante.
- Para cordón.
- Para puerta.
- De canopla.
- De utensilio.
- Para exposición especial.
- Según su función
- De propósitos generales
- Unipolar
- Bipolar
- De tres vías (conmutación)
- De cuatro vías
- De 3 ó 4 polos.
- De circuitos múltiples.
- De contactos momentáneos.
- De calefactor.

18. CRITERIOS QUE SE DEBEN TENER EN CUENTA PARA LA ELECCIÓN DE ESTOS INTERRUPTORES.

Hay que tener en cuenta que para elegir o emplear un interruptor, son decisivas las siguientes características:

La capacidad de cargas permanente a la intensidad nominal del motor a usar.

- Potencia de desconexión.
- Potencia de conexión.
- Resistencia mecánica del aparato.
- Duración de los contactos a la frecuencia de maniobra exigida.

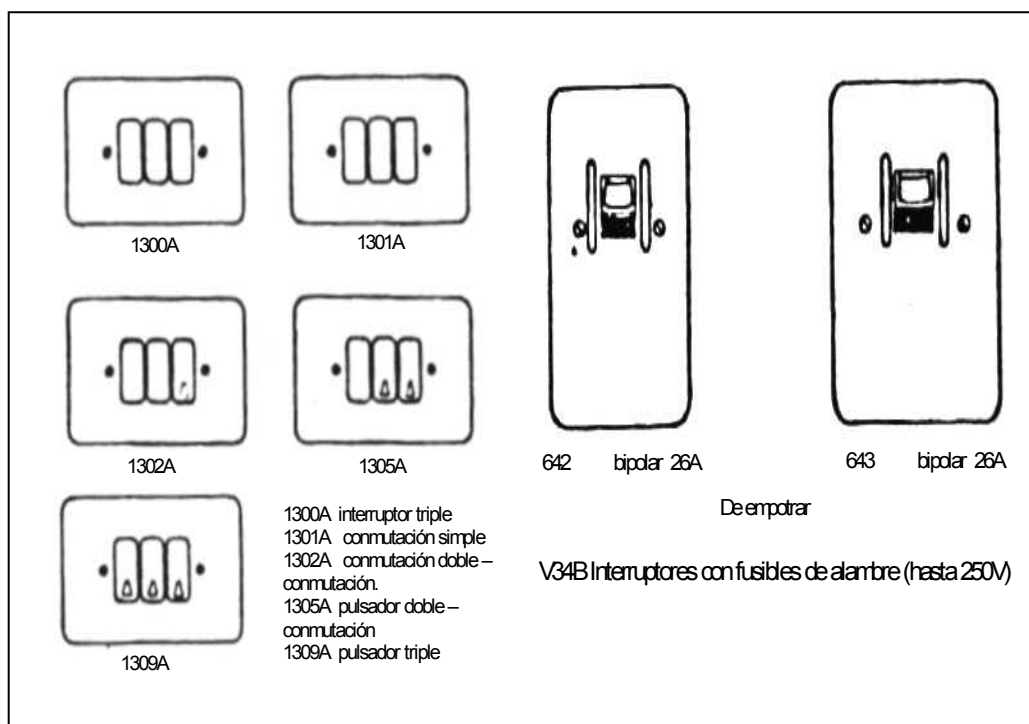


Figura 2.25

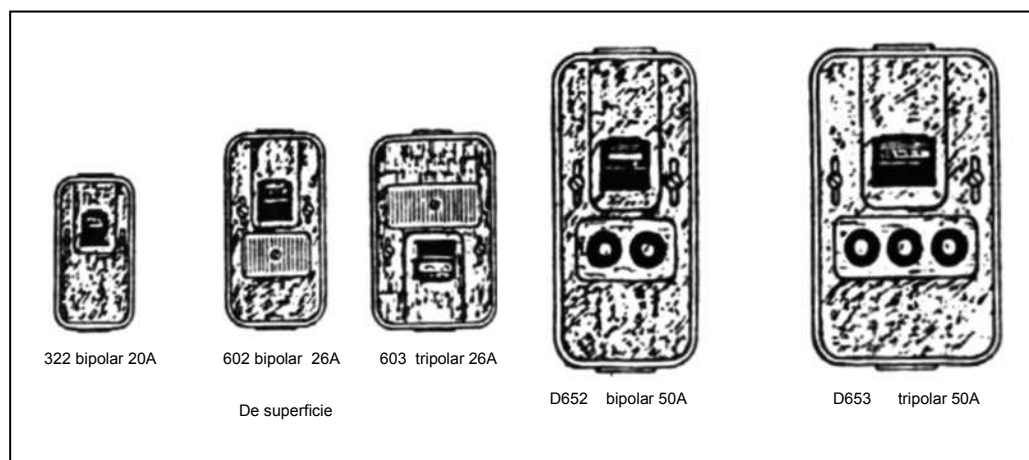


Figura 2.26

Unidad III

REPRESENTACIÓN DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS

1. ESQUEMAS ELÉCTRICOS

1.1. DEFINICIÓN

Se entiende por esquema eléctrico, a la representación gráfica de un circuito o instalación, en la que van indicadas las relaciones mutuas que existan entre diferentes elementos, así como los sistemas de conexión que los enlazan entre sí.

1.2. FINALIDAD

Es la de poder representar en forma simple, cómoda y la mas clara posible, los distintos elementos que encuentra el técnico en la industria y que se emplean en la construcción o montaje de los circuitos electrónicos.

1.3. CLASIFICACIÓN

1.3.1. ESQUEMAS EXPLICATIVOS

- Funciona
- Emplazamiento o estructural
- Principio (desarrollado)
- Planos

1.3.2. ESQUEMAS DE REALIZACIÓN

- General de conexiones
- Canalización o entubado

1.3.3. ESQUEMAS MIXTOS

- Trazo discontinuo
- Multifilar y por redes
- Empalme de los bornes

1.4. MODOS DE REPRESENTACIÓN

- Unifilar
- Multifilar
- Por haces

1.5. ELEMENTOS DE UN ESQUEMA

- Símbolos
- Marcos
- Señales de bornes
- Señales de conductores

1.6. ESQUEMA EXPLICATIVO

La finalidad es de facilitar el estudio y comprensión del funcionamiento de una instalación o parte de la instalación.

1.6.1. FUNCIONAL

Representación sencilla y clara que representan todos los elementos de un circuito sin interesar su posición respecto a la realidad. Nos permite estudiar o expresar el funcionamiento de alguna instalación.

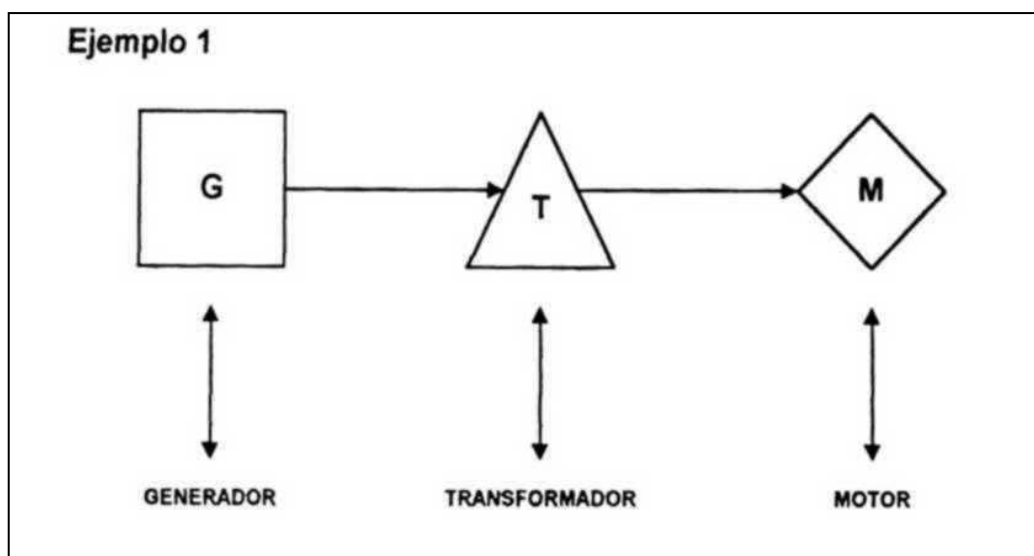
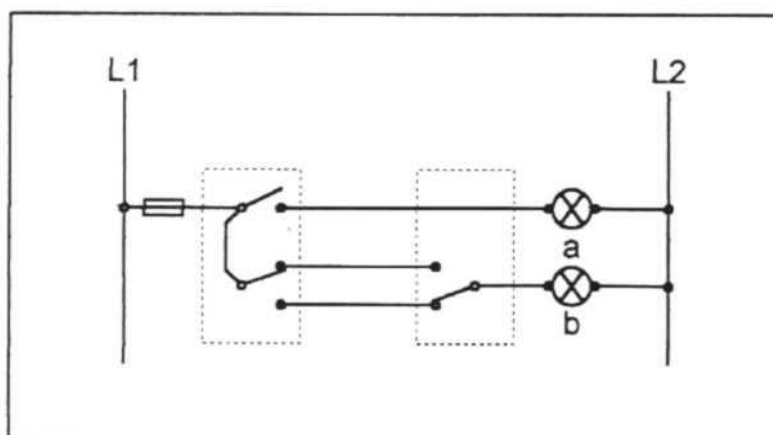
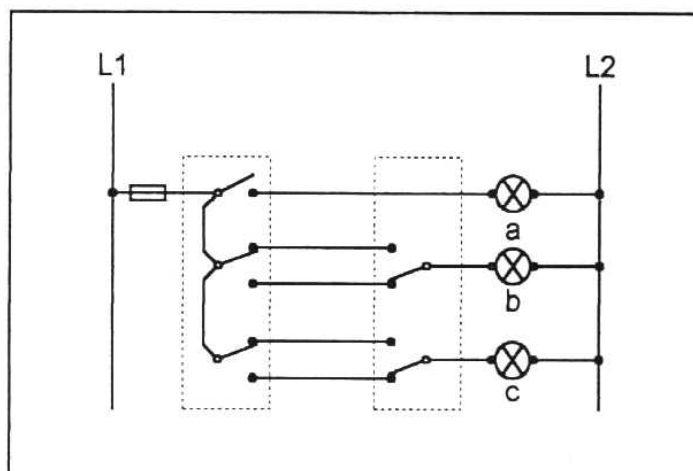
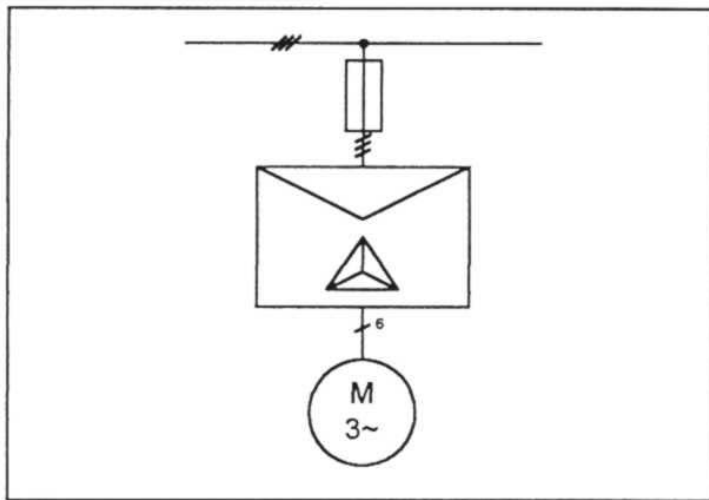


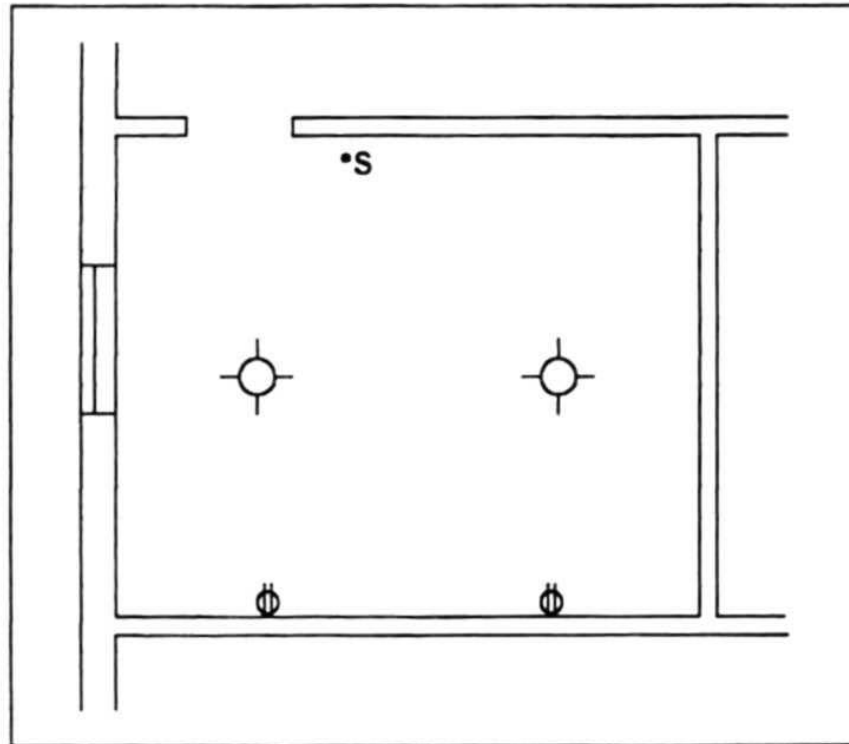
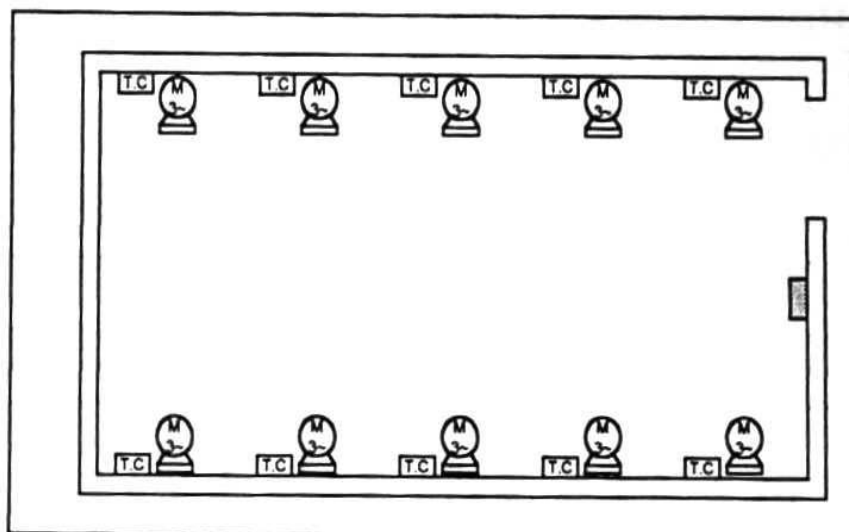
Figura 3.1

Ejemplo 2**Figura 3.2****Ejemplo 3****Figura 3.3**

Ejemplo 4**Figura 3.4****1.6.2. EMPLAZAMIENTO**

(Estructural) (Ubicación)

Representa la arquitectura del local y los emplazamientos aproximados de los aparatos que los controlan llamado PLANO DE UBICACIÓN.

Ejemplo 1**Figura 3.5****Ejemplo 2****Figura 3.6**

1.6.3. PRINCIPIO

Llamado también esquema de circuitos, y se define como la representación explicativa. En este caso los símbolos de los diferentes elementos de un mismo aparato o de una misma instalación están separados o situados de manera que el trazado de cada circuito se aproxime en lo posible a una línea recta.

La representación explicativa facilita la comprensión de los condiciones de dependencia eléctrica.

Ejemplo 1

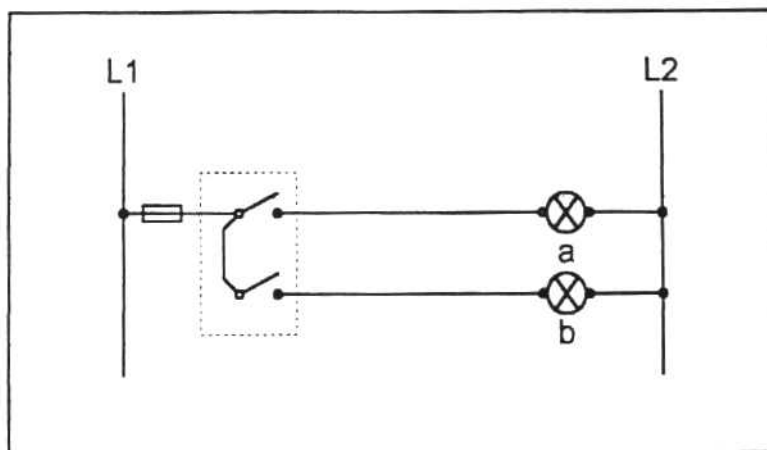


Figura 3.7

Ejemplo 2

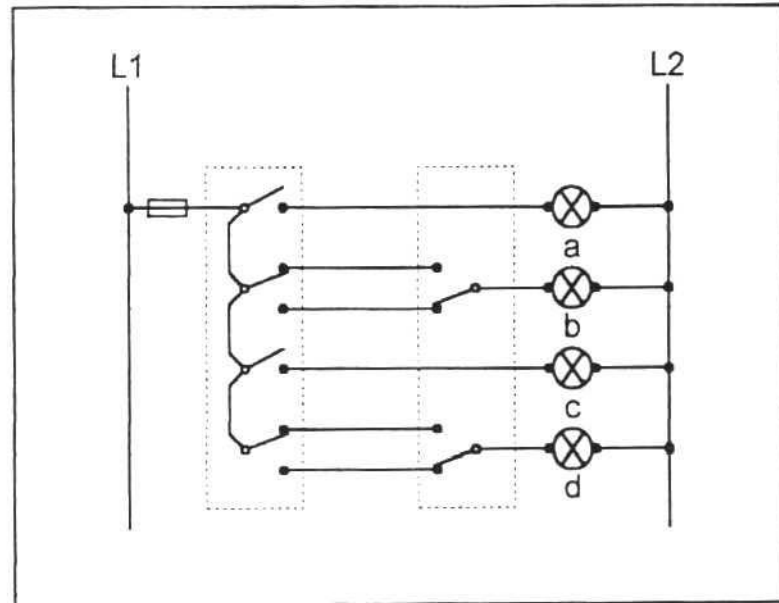


Figura 3.8

1.6.4. PLANOS

Es un esquema explicativo el cual se representa por intermedio de un plano geográfico, sobre el cual se sitúa el trazado aproximado y muy simplificado de las obras y de las líneas de transporte y distribución de energía.

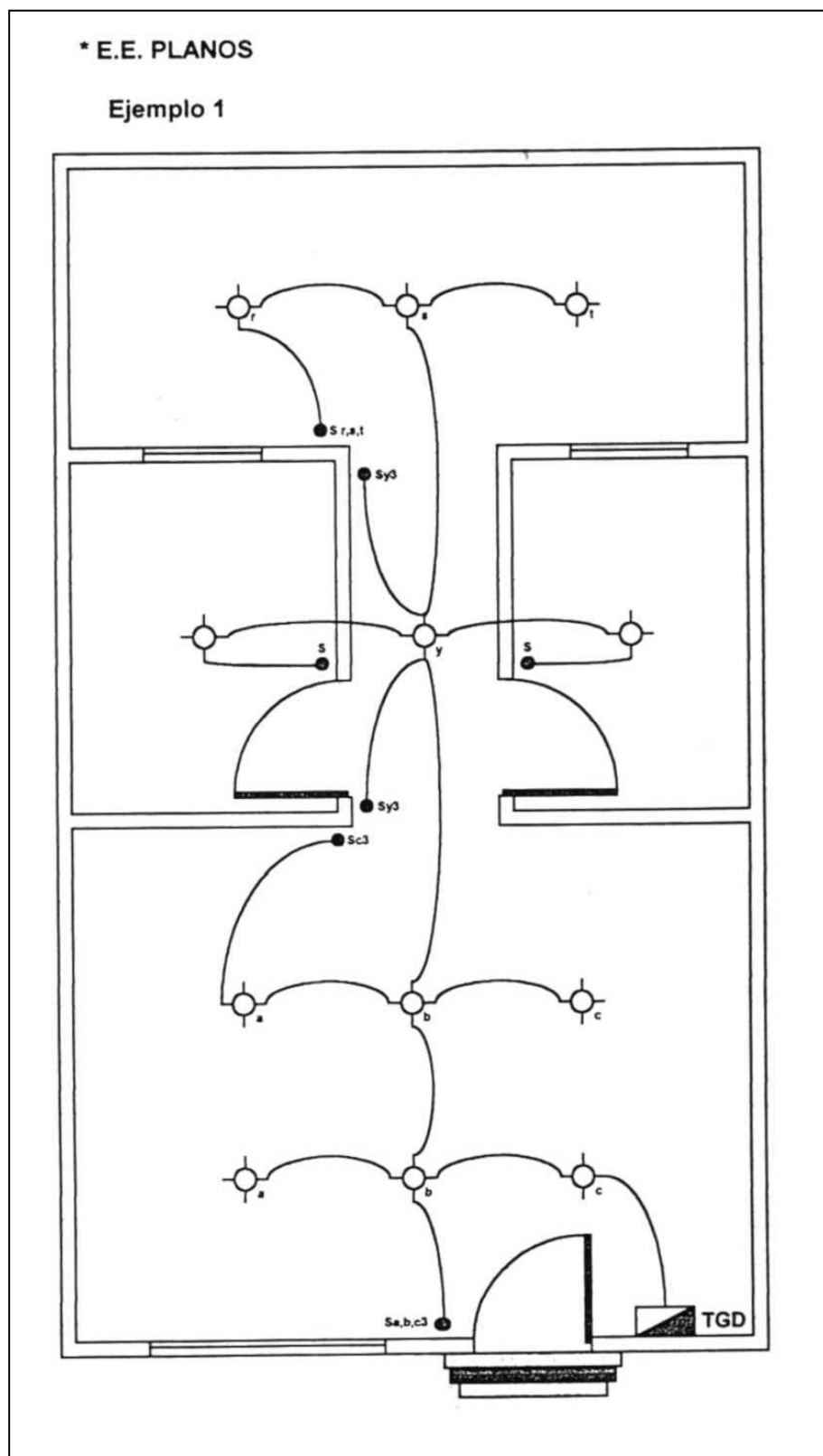


Figura 3.9

Ejemplo 2.- Control Automático de Bombeo

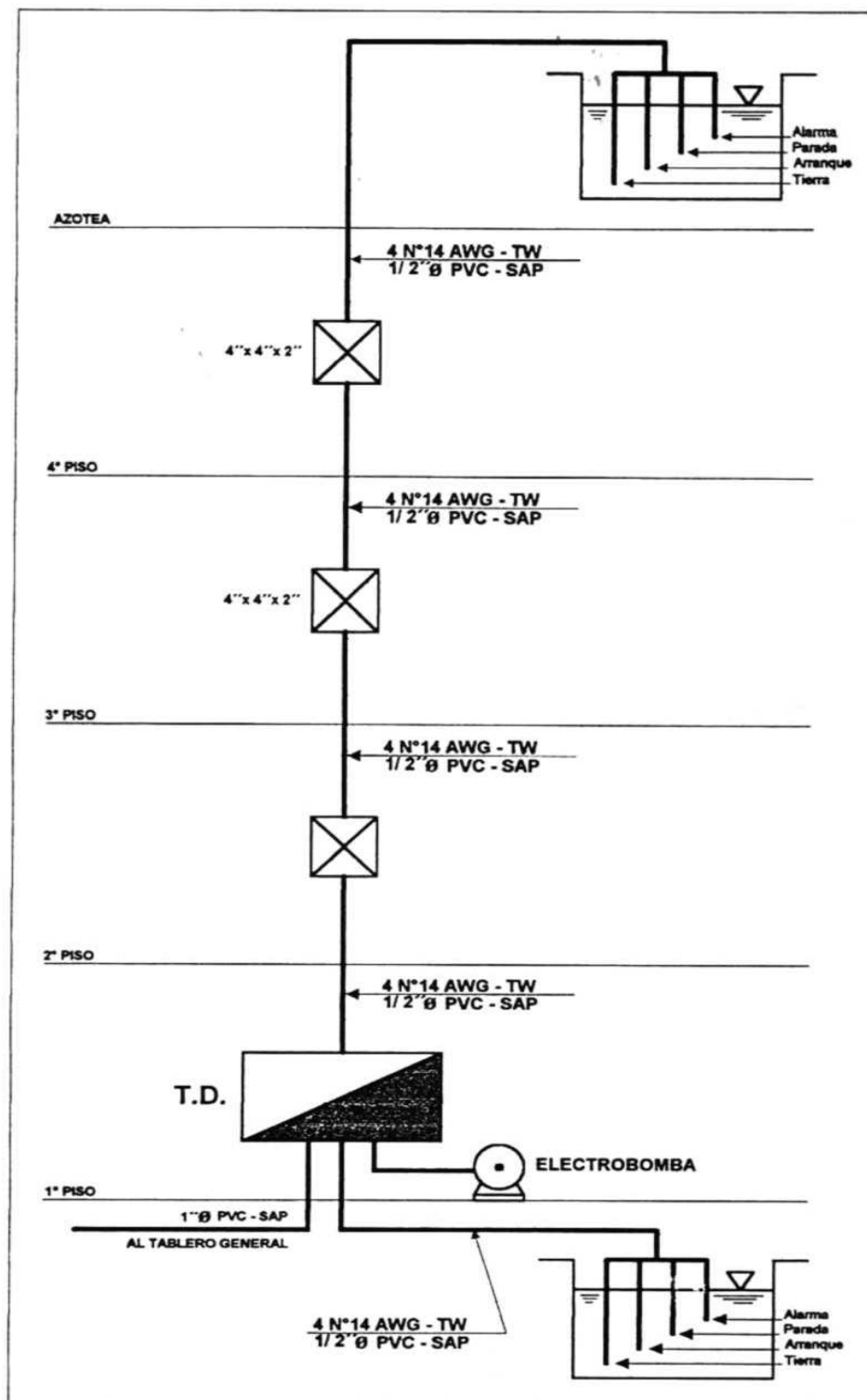


Figura 3.10

1.7. ESQUEMAS DE REALIZACIÓN

1.7.1. ESQUEMA GENERAL DE CONEXIONES

En este Esquema representada todas las conexiones y todos los conductores. Osea en los ejemplos presentados del esquema general de conexiones dados a continuación su representación utilizada será la multifilar. En esta representación cada aparato esta representado por un símbolo distinto y cada conductor por un trazo.

Ejemplo 1.- Mando de tres lámparas desde un punto en forma independiente.

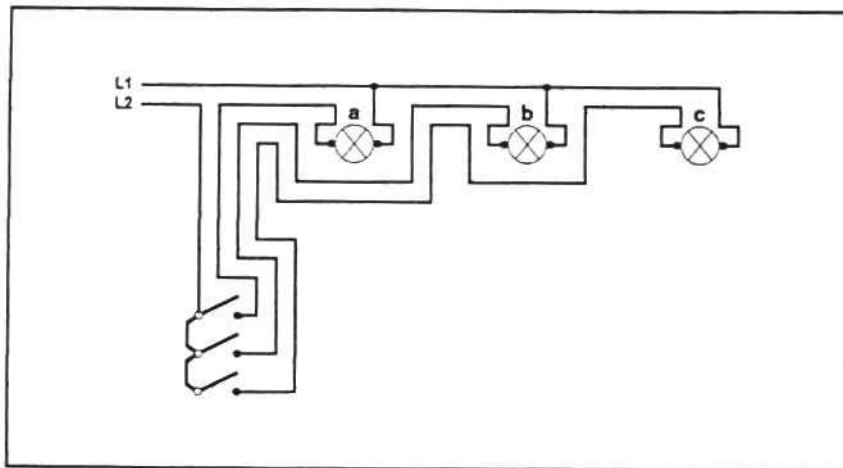
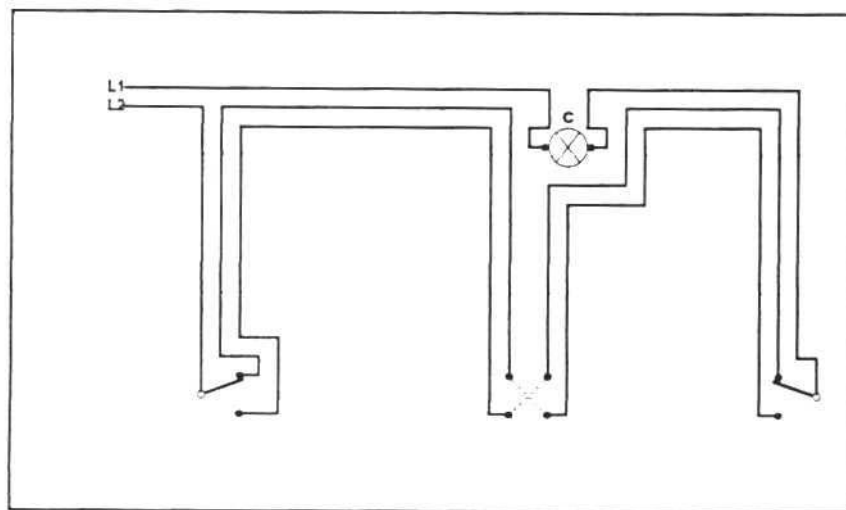


Figura 3.11

Ejemplo 2.- Control de una lámpara desde tres puntos diferentes.**Figura 3.12****1.7.2. ESQUEMA DE CANALIZACIONES**

En un esquema de realización que representa las conexiones establecidas entre los diferentes aparatos de una instalación eléctrica.

Es esquema del cableado exterior se obtiene trazando un esquema de canalización junto con una relación de los aparatos y de dichas canalizaciones.

Ejemplo 1.- Mando de tres lámparas desde un punto en forma independiente.

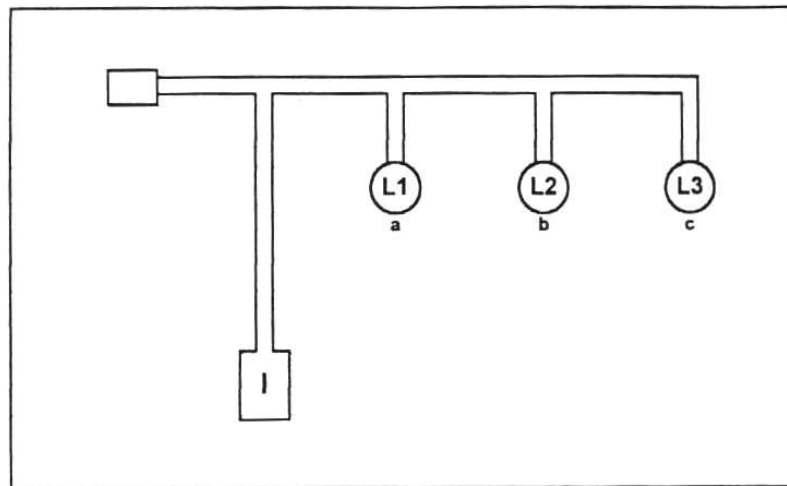


Figura 3.13

Ejemplo 2.- Control de una lámpara desde tres puntos diferentes.

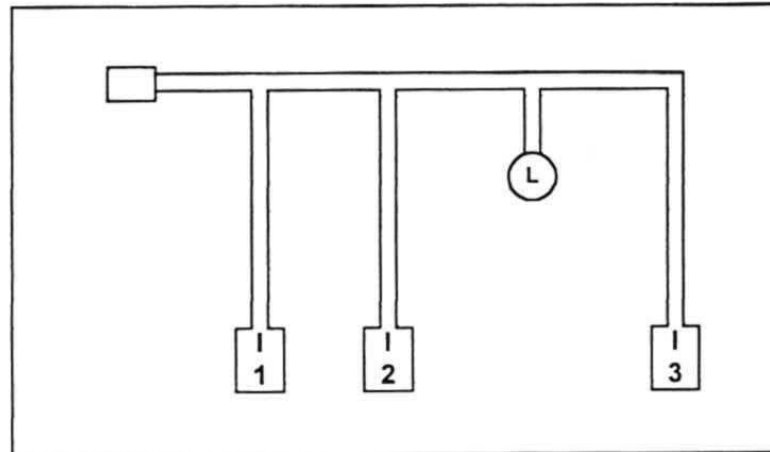


Figura 3.14

1.8. ESQUEMAS MIXTOS

Representan en sus diferentes partes las características de varios tipos proceden:

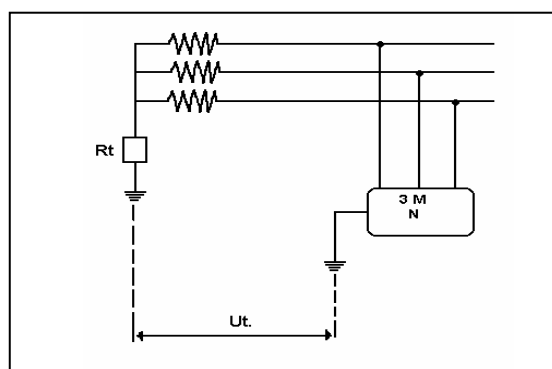
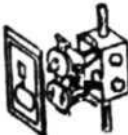
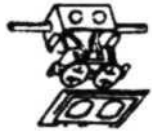
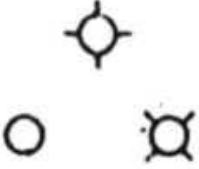
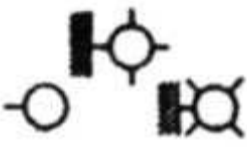
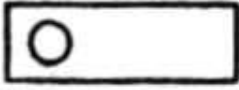
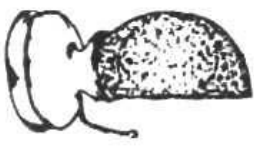


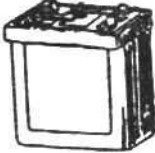
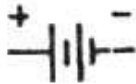
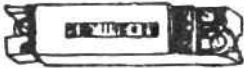
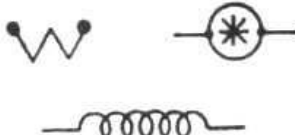
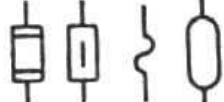
Figura 3.15

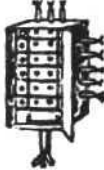
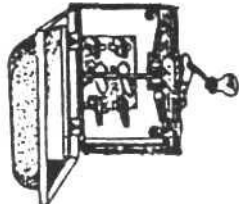
ALGUNOS SÍMBOLOS ELÉCTRICOS

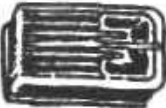
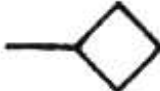
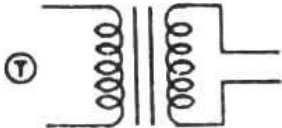
DESIGNACION	MATERIAL	SÍMBOLO
CRUCE DE CONDUCTORES		
INTERRUPTORES		
		S
		S ₂
		S ₃

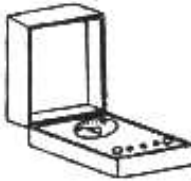
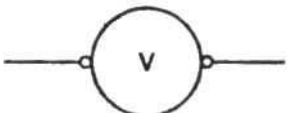
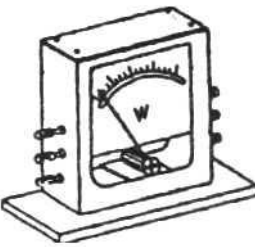
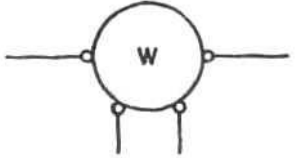
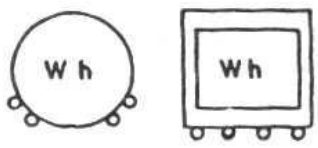
DESIGNACION		MATERIAL	SÍMBOLO
INTERRUPTOR DE PUERTA			S_0
INTERRUPTOR Y TOMACORRIENTE			
TOMACORRIENTE DE PISO			
TOMACORRIENTE DE INTEMPERIE			
TOMACORRIENTE DOBLE			
TOMACORRIENTE TRIFILAR			
E N C H U F E	HEMBRA		
	MACHO		

DESIGNACION	MATERIAL	SÍMBOLO
LUZ EN EL TECHO		
LUZ EN LA PARED		
CAJA DE PASO		
LAMPARA EN GENERAL		
LAMPARA FLUORESCENTE		
LAMPARA EMPOTRADA		
APLIQUE CON INTERRUPTOR		
VENTILADOR EN LA PARED		

DESIGNACION		MATERIAL	SÍMBOLO
BATERÍAS			
AUTOMATICO	Termicos		
	Termomagnéticos		
BOBINAS			
FUSIBLES			
TRANSFORMADORES			
MOTOR			

DESIGNACION	MATERIAL	SÍMBOLO
CAJAS EN GENERAL		
TABLERO DE ALUMBRADO		
DESIGNACION	MATERIAL	SÍMBOLO
TABLERO DE FUERZA		
CUCHILLA		
SALIDAS ESPECIALES	Estos subíndices Designan los puntos y controles que se indican en los planos	 a, b, c  a, b, c  a, b, c  a, b, c  a, b, c
TOMA EN TIERRA		

DESIGNACION	MATERIAL	SÍMBOLO
PULSADOR		
ZUMBADOR		
TIMBRE DE CAMPANA		
INDICADOR DE LLAMADAS		
TRANSFORMADOR DE TIMBRE		
TELÉFONO EXTERIOR		
TELÉFONO		
INTERCOMUNICADOR		

DESIGNACION	MATERIAL	SÍMBOLO
CONEXIONES DE MOTORES	ESTRELLA	
	TRIÁNGULO	
INSTRUMENTOS		
AMPERÍMETRO		
VOLTIMETRO		
VATIMETRO		
MEDIDOR		

2. SÍMBOLOS ELECTROTÉCNICOS

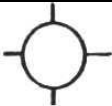
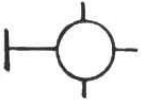
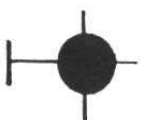
Son representaciones que corresponde a los elementos de una instalación y maniobra que se utilizan en una obra. Osea se usan para identificar, calificar, instruir, mandar, indicar y advertir,. Deber ser usados en reproducciones pictóricas tales como dibujos, planos, mapas, diagramas y documentos similares.

2.1. CÓDIGO NACIONAL DE ELECTRICIDAD

Según dichas normas, ha establecido los símbolos que se emplearán en los planos de una instalación. Los principales son:

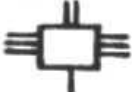
2.1.1. INSTALACIONES INTERIORES

- Salidas para alumbrado:

SÍMBOLOS	DESCRIPCIÓN
	Salida para lámpara incandescente, vapor de mercurio, o similar, de techo. (adosado)
	Salida para lámpara incandescente, vapor de mercurio o similar, de pared (braquete)
	Salida para lámpara incandescente, vapor de mercurio o similar empotrado (techo)
	Salida para lámpara incandescente, vapor de mercurio o similar empotrado (pared)
	Salida para artefacto fluorescente en el techo
	Salida para artefacto fluorescente empotrado
	Salida para artefactos fluorescentes sin pantalla
	Salida para artefactos fluorescentes en hilera

	Salida para artefactos fluorescentes en hilera, empotrados
	Caja de paso y empalme (unión) en el techo
	Caja de paso y empalme (unión) en la pared

- Salidas para tomacorriente y tomas especiales:

SIMBOLOS	DESCRIPCIÓN
	Tomacorriente 1 ϕ ó bipolar simple.
	Tomacorriente 3 ϕ
	Salida para reloj de pared
	Salida para ventilador de pared
	Tomacorriente 1 ϕ en el piso
	Tomacorriente 3 ϕ en el piso
	Salida para teléfono privado en el piso
	Salida para teléfono público en el piso
	Caja de unión para ductos bajo el piso
	Para indicar el tipo de tomacorriente a los

	diferentes usos de este, deberá colocarse una letra o número en la parte inferior derecha del símbolo, el cual debe ser detallado en la leyenda del plano.
	Ejemplo: Tomacorriente 1φ puesta a tierra.
	Salida 3φ para cocina
	Tomacorriente 1φ a prueba de agua.
	Salida 1φ con interruptor
	Tomacorriente de piso

Toda construcción moderna requiere de diversos planos que indiquen sus características estructurales, así como las características de sus instalaciones.

Sobre el plano en planta básico y a una escala determinada, generalmente 1/50, se trazan las instalaciones que contará la construcción.

- Salidas para interruptores:

SÍMBOLOS	DESCRIPCIÓN
 S	Interruptor unipolar (una vía)
 S ₂	Interruptor bipolar
 S ₃	Interruptor de 3 vías
 S ₄	Interruptor de 4 vías

o S_c	Interruptor conmutador
o S_L	Interruptor con lámpara piloto
o S_p	Interruptor de puerta
o S_t	Interruptor de tiempo
o $S_{2/PE}$	Ejemplo: Interruptor bipolar a prueba de explosión
o $S_{2/PA}$	Interruptor de 3 vías a prueba de agua.
o S_T	Interruptor unipolar con tirador

- Salidas para el sistema de señalización en locales residenciales:

SÍMBOLOS	DESCRIPCIÓN
	Pulsador
	Zumbador

Unidad IV**CÁLCULO ELÉCTRICO DE UNA INSTALACIÓN DE INTERIOR****1. DIMENSIONAMIENTO DE UNA INSTALACIÓN**

Ejemplo práctico de aplicación.

Según planos de arquitectura se ve que el terreno tiene un área:

$$A_t = 20.00 \times 8.00 = 160 \text{ m}^2$$

La construcción de la casa habitación está distribuida de la siguiente manera:

Area techada	1° planta	= 94,65 m ²
Area techada	2° planta	= 81,88 m ²
TOTAL AREA TECHADA		= 176.53 m ²
TOTAL AREA NO TECHADA		= 65.35 m ²

Esta área está conformada por el jardín interior, patio, hall de entrada, jardín exterior y cochera.

Además es necesario tener en cuenta los artefactos electrodomésticos que consumen mayor energía eléctrica y que por lo general son: cocina eléctrica, estufa, waflera, calentador para agua (therma), lavadora para ropa, secadores de pelo y otros.

Calculo de la carga instalada (C.I.)

$$C.I.1 = \text{Area techada (m}^2\text{)} \times \text{carga unitaria (w/m}^2\text{)}$$

$$C.I.1 = 176.53 \text{ m}^2 \times 25 \text{ w/m}^2$$

$$C.I.1 = 4\,413.25 \text{ w}$$

Dentro de este valor está considerado todo el alumbrado y tomacorrientes para el caso de tomacorrientes se pondrá 1500 w al circuito que pasa por la cocina como una reserva que representará las cargas pequeñas.

$$C.12 = 1\,500 \text{ w.}$$

Aquí no está considerado la cocina eléctrica el calentador de agua ni otros que consumen energía eléctrica en cantidades apreciables mayores de 1,0 kw.

Para el caso de las áreas libres, se considerará una carga unitaria de 5 w/m².

$$C.I.3 = \text{Area libre (m}^2\text{)} \times \text{carga unitaria (w/m}^2\text{)}$$

$$C.I.3 = 65,35 \text{ m}^2 \times 5 \text{ w/m}^2$$

$$C.I.3 = 326,75 \text{ w}$$

Para considerar la carga de la cocina eléctrica tenemos:

Cocina eléctrica con horno = 8000 w

Cocina sin horno 4 hornillas = 5000 w

Cocina sin horno 2 hornillas = 3500 w

Para nuestro ejemplo consideramos 8000 w.

$$C.I.4 = 8\,000 \text{ w}$$

Para considerar la carga del calentador de agua (therma) tenemos:

VOLUMEN (Litros)	POTENCIA (watts)
35	750
65	1100
95	1200
130	1500

Para nuestro ejemplo consideramos 95 litros.

$$C.I.5 = 1\,200 \text{ w.}$$

CARGA INSTALADA TOTAL (C.I.t)

$$C.I.t = C.I.1 + C.I.2 + C.I.3 + C.I.4 + C.I.5$$

$$C.I.t = 4\,413,25 \text{ w} + 1\,500 \text{ w} + 326,75 \text{ w} + 8\,000 \text{ w} + 1\,200 \text{ w}$$

$$C.I.t = 15\,440 \text{ w}$$

CALCULO DE LA MAXIMA DEMANDA (M.D.)

Aplicaremos la tabla 3-V del C.N.E. para las cargas instaladas C.I.I; C.1.2 y C.1.3

Para el caso de C.1.4 se utilizará la tabla 3-VI del C.N.E.

Para el caso de C.1.5 se utilizará la tabla 3-VII del C.N.E.

M.D. = C.I. x Factor de Demanda.

$$M.D.1 = 2\,000 \text{ w} \times 1,00 = 2\,000 \text{ w}$$

$$2\,413,25 \text{ w} \times 0,35 = 844,64 \text{ w}$$

$$M.D.2 = 1\,500 \text{ w} \times 1,00 = 1\,500 \text{ w}$$

$$\begin{aligned}
 M.D.3 &= 326,75 \text{ w} \times 1,00 = 326,75 \text{ w} \\
 M.D.4 &= 8000 \text{ w} \times 0,80 = 6\,400,00 \text{ w} \\
 M.D.5 &= 1\,200 \text{ w} \times 1,00 = 1\,200 \text{ w}
 \end{aligned}$$

La máxima demanda total (M.D.t.) es:

$$\begin{aligned}
 M.D.t. &= M.D.1 + M.D.2 + M.D.3 + M.D.4 + M.D.5 \\
 M.D.t. &= 2\,844,64 \text{ w} + 1\,500 \text{ w} + 326,75 \text{ w} + 6\,400 \text{ w} + 1\,200 \text{ w} \\
 M.D.t. &= 12\,271,39 \text{ w}
 \end{aligned}$$

2. CÁLCULO DE LA SECCIÓN DEL CONDUCTOR ALIMENTADOR

- Intensidad de Corriente

$$I = \frac{M.D. \text{ t. en W}}{K.V. \cos \phi}$$

Donde:

I = corriente a transmitir por el conductor alimentador en Amperios

M.D.t. = Máxima demanda total hallada en watts.

V = Tensión de servicio en voltios.

K = Factor que depende si el suministro es monofásico o trifásico

Para monofásico K = 1

Para trifásico K = $\sqrt{3}$

$\cos \phi$ = Factor de potencia estimado ($\cos \phi = 0,9$)

$$I = \frac{12271,39 \text{ w}}{\sqrt{3} \times 220 \text{ v} \times 0,9}$$

$$I = 35,78 \text{ A}$$

En vista de la tendencia hacia cargas mayores, cada instalación deberá considerarse con una capacidad mayor a fin de asegurar una operación eficiente en futuro.

La corriente podrá aumentarse por reserva hasta un 12%, en algunos casos podemos considerar un 25% más.

Para nuestro ejemplo añadiremos 25 %

$$I_{\text{diseño}} = I \times 1,25 = 35,78 \times 1,25$$

$$I_d = 44,78 \text{ A} \approx 45 \text{ A.}$$

El conductor según las normas debe trabajar al 75 % de su capacidad es:

$$I_{\text{cond}} = 1,25 \times I_{\text{diseño}} = 1,25 \times 45$$

$$I_c = 56 \text{ A.}$$

Según la tabla "Intensidad de corriente permisible en Amperios de los conductores de cobre aislado", vemos que el conductor 16 mm² TW admite una intensidad de hasta 62 A.

Caída de Tensión: Es la comprobación de la Sección, calculada por el Método de Intensidad de Corriente.

Los conductores alimentadores deberán ser para la caída de tensión no sea mayor del 2,5% para cargas de fuerza, calefacción y alumbrado a combinación de tales cargas y donde la caída de tensión total máxima en alimentadores y circuitos derivados hasta el punto de utilización mas alejada no exceda el 4%.

$$\Delta V = K. I_d \frac{\delta \times L}{S} \times \cos \gamma$$

Donde:

ΔV = caída de tensión en voltios

K = Constante que depende del sistema

K = 2 (para circuito monofásico)

K = $\sqrt{3}$ (para circuito trifásico)

I = Intensidad o corriente del conductor alimentador en amperios.

δ = Resistividad en el conductor en ohm – $\frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$ ($\delta = 0,0175 \Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$)

S = Sección del conductor alimentador

L = 11.30 m

$$\Delta V = k. \frac{I_d \times L}{S} \delta$$

$$\Delta V = \sqrt{3}. A \frac{40 \times 0,0175 \Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} \times 11,30 \text{ m}}{16 \text{ mm}^2}$$

$$\Delta V = 0,86 \text{ V.}$$

Este valor hallado es menor de 2,5 % de 220 V es decir :

$$0,86 \text{ V} < 5,5 \text{ V}$$

Si el valor hallado de tensión hubiese sido un valor mayor al 2,5% entonces hubiéramos tenido que aumentar la sección del conductor.

En resumen:

El conductor alimentador será 3-16 mm² TW – 1-16 mm² TW

3. CÁLCULOS DE LA SECCIÓN DE LOS CONDUCTORES PARA LOS CIRCUITOS ESPECIALES PARA LA COCINA ELÉCTRICA.

Potencia	=	8000w
Sistema	=	Trifásico
Tensión	=	220V
Frecuencia	=	60 Hz.
Cos ϕ	=	1

Calculando la corriente se tiene:

$$I = \frac{w}{\sqrt{3} \times V \times \cos \phi} = \frac{8000}{\sqrt{3} \times 220 \times 1}$$

$$I = 20,99 \text{ A} \approx 21 \text{ A}$$

La corriente de diseño será:

$$I_d = 1,25$$

$$I = 1,25 \times 21 \text{ A}$$

$$I_d = 26,25 \text{ A}$$

El conductor a usar tendrá una sección de 6 mm².

Comprobando por caída de tensión:

“La caída de tensión entre el tablero de distribución y el punto utilización más alejada debe ser del 1,5%”

$$L = 6,50 \text{ m.}$$

$$\Delta V = K \times I_d \times \frac{\delta \times L}{S} = \sqrt{3} \times 26 \times \frac{0,0175 \times 6,50}{6,00}$$

$$\Delta V = 0,86 \text{ V}$$

Este valor es menor del 1,5% es decir:

$$\Delta V = 0,86V < 3,3V.$$

PARA EL CALENTADOR ELECTRICO PARA AGUA

Potencia = 1200w

Sistema = Monofásica

Tensión = 220V

Frecuencia = 60 Hz

Cos ϕ = 1,0

Calculando la intensidad se tiene:

$$I_n = \frac{w}{V \cdot \cos \phi} = \frac{1200}{220 \cdot 1,0}$$

$$I_n = 5,45 \text{ A}$$

La corriente de diseño será:

$$I_d = 1,25 \cdot I_n = 1,25 \cdot 5,45 \text{ A}$$

$$I_d = 6,81 \text{ A}$$

Según la tabla el conductor permisible es de sección 1 mm², pero el CNE prohíbe el uso de conductores de secciones menores a 1,5 mm² para artefactos.

El conductor a usar tendrá una sección de 1,5 mm²

$$L = 8,60 \text{ m}$$

$$\Delta V = K \cdot I_d \cdot \frac{L}{S} = 2,6,81 \cdot \frac{0,0175}{1,5} \cdot 8,60$$

$$\Delta V = 1,37V$$

Este valor es menor del 1,5% es decir

$$\Delta V = 1,37V < 3,3V$$

por mayor seguridad y por lo que siempre se ha utilizado ponemos ya no 2-1,5mm² sino 2-2,5mm² TW es decir:

PVC – 15 mm ϕ L – 2 x 2,5 mm² TW + 1 x 2,5 mm²

TABLA 3-V

Factores de demanda para alimentadores de cargas de alumbrado

Tipo de local	Partes de la carga a la cual se le aplica el factor	Factor de demanda
Unidades de Viviendas	Primeros 2,000 W o menos.....	100%
	Siguientes 118,000 W	35%
	Sobre 120,000 W	25%
Edificaciones para oficinas	20,000 W o menos	100%
	Sobre 20,000 W.....	70%
Escuelas	15,000 W o menos.....	100%
	sobre 15,000 W.....	50%
Hospitales	Primeros 50,000 W o menos.....	40%
	Sobre 50,000 W	20%
Hoteles y moteles incluyendo apartamentos sin facilidades de cocinas.	Primeros 20,000 W o menos.....	50%
	Siguientes 80,000 W	40%
	Sobre 100,000 W	30%
Locales de depósitos y almacenamientos	Primeros 12,500 W o menos....	100%
	Sobre 12,500 W.....	50%
Todos los demás	Watt totales	100%

* Para alimentadores en áreas de hospitales y hoteles donde se considere que toda la carga de alumbrado puede ser utilizada al mismo tiempo, como en salas de operación, salas de baile, comedores, etc. Se usarán un factor de demanda del 100%

TABLA 3 -VII

Factores de demanda para alimentadores de equipo de cocción eléctricos comerciales, incluyendo lavaplatos con calentador, calentadores de agua y otros equipos de cocina.

Numero de equipos	Factores de demanda %
1 –2	100
3	90
4	80
5	70
6 y más	65

TABLA 3 -VI

Demandas máximas para cocinas eléctricas de uso domestico, hornos empotrados, cocinas de mostrador y otros artefactos de coccion de uso domestico mayores de 2 kw.

Numero de artefactos	Demanda Máxima	Factores de demanda	
	Columna "A" (no mayor de 12 KW) KW	Columna "B" (menor de 4 KW %)	Columna "C" (4 KW Hasta 9 KW %)
1	8	80	80
2	11	75	65
3	14	70	55
4	17	66	50
5	20	62	45
6	21	59	43
7	22	56	40
8	23	53	36
9	24	51	35
10	25	49	34
11	26	47	32
12	27	45	32
13	28	43	32
14	29	41	32
15	30	40	32
16	31	39	28
17	32	38	28
18	33	37	28
19	34	36	28
20	35	35	28
21	36	34	26
22	37	33	26
23	38	32	26
24	39	31	26
25	40	30	26
26 – 30	15 más 1 KW	30	24
– 40	por cada cocina	30	22
41 – 50		30	20
51 – 60	25 más 0,75 por cada cocina	30	28
61 ó mas		30	26

Basado en la tabla 4-XXXIII

Numero máximo de conductores en tubos metálicos y tubos de pvc de diámetros nominales

Tipos de conductores	Diámetro mm Sección mm ²	13	15	20	25	35	40	50	65	80	90	100	115	130	150
		(5/8) *	(1/2) **	(3/4) ***	(1) ****	(1 1/4) *****	(1 1/2) *****	(2) *****	(2 1/2) *****	(3) *****	(3 1/2) *****	(4) *****	(4 1/2) *****	(5) *****	(6) *****
TW, XHHW ó Similares	1.5	7	9	16	27	47	64	105	150						
	2.5	5	7	13	21	37	51	84	120	185					
	4	4	5	10	16	28	39	64	91	141	190				
	6	1	2	4	7	13	13	30	43	67	90	115			
RHW y RHH (sin cubierta externa), THHW, THW ó similares	1.5	4	6	10	17	30	41	67	96	148	199				
	2.5	4	5	8	14	25	34	56	80	123	166				
	4	3	4	7	11	20	23	46	66	101	136	175			
	6	1	1	3	6	10	14	24	34	52	70	90	113	142	
TW, THW, THHW, FEPB, RHW y RHH (sin cubierta extrema o similares)	10	1	1	3	5	9	12	20	29	45	60	73	91	123	
	16	1	1	1	4	7	9	15	22	34	45	58	73	92	133
	25	1	1	1	2	4	6	11	15	24	32	41	52	65	94
	35		1	1	2	4	5	9	13	20	27	34	43	54	78
	50			1	1	2	3	5	8	12	17	22	27	34	50
	70			1	1	1	2	4	6	10	14	18	22	28	41
	95				1	1	1	3	5	7	10	13	17	21	31
	120				1	1	1	2	4	6	8	10	13	16	24
	150				1	1	1	1	3	5	7	9	11	14	20
	185					1	1	1	3	4	6	8	10	13	18
	240					1	1	1	1	3	4	6	7	9	14
	300						1	1	1	3	4	5	6	7	11
	400							1	1	1	3	4	5	6	9

THWN, THHN, FEP, FEPB, XHHW o similares	2.5	8	11	20	33	57	78	128	183						
	4	5	7	12	20	36	49	81	116	179					
	6	2	3	6	10	17	24	40	57	88	118	151			
	10		2	4	7	12	17	28	39	61	82	106			
	16		1	3	5	9	12	21	30	46	62	80	100	125	
	25		1	1	3	6	8	14	20	31	41	53	67	84	122
	35		1	1	3	5	7	11	16	25	31	43	54	67	97
	50			1	1	3	4	7	10	16	21	28	35	44	63
	70			1	1	2	3	5	8	12	17	21	27	34	49
	95				1	1	2	4	6	10	13	17	21	27	39
	120				1	1	1	3	5	7	10	13	16	21	30
	150				1	1	1	3	4	6	8	11	13	17	24
	185					1	1	1	3	5	7	9	11	14	21
	240					1	1	1	2	4	5	7	9	11	16
	300					1	1	1	1	3	4	5	7	9	13
	400							1	1	2	3	4	5	7	10
XHHW ó similar	16		1	3	4	8	11	18	26	41	55	71	89	112	162
	300					1	1	1	1	3	4	5	7	9	13
	400						1	1	1	2	3	4	5	7	10

TABLA 4-VII – (CONTINUACIÓN)

Tipos de conductores	Diámetro mm	13	15	20	25	35	40	50	65	80	90	100	115	130	150
	Sección mm ²	(5/8) *	(1/2) **	(3/4) ***	(1)	(1 1/4)	(1 1/2)	(2)	(2 1/2)	(3)	(3 1/2)	(4)	(4 1/2)	(5)	(6)
THWN, THHN, FEP, FEPB, XHHW o similares	2.5	2	3	5	9	16	21	35	51	78	105	135			
	4		2	4	7	13	18	30	43	66	89	114	142		
	6		1	2	4	7	10	16	23	36	48	62	78	98	141
	16		1	1	2	4	6	9	13	21	28	36	46	58	83
	25		1	1	1	3	4	7	10	16	22	29	36	45	66
	35			1	1	3	4	6	9	14	19	24	30	38	56
	50			1	1	1	2	4	6	9	13	17	21	26	38
	70				1	1	1	3	5	8	10	13	17	21	31
	95				1	1	1	3	4	6	8	11	14	18	25
	120					1	1	1	3	5	7	9	11	14	20
	150					1	1	1	3	4	5	7	9	11	17
	185					1	1	1	1	3	5	6	8	10	14
	240					1	1	1	1	3	4	5	6	8	12
	300						1	1	1	2	3	4	5	6	9
	400							1	1	1	2	3	4	5	7

* Solo para tubo PVC – Clase liviana

** Para tubo de PVC – Clase liviana equivalente al de 15 mm (3/4)

*** Para tubo de PVC – Clase liviana equivalente al de 20 mm (1)

TABLA 4 - XIII

Numero máximo de conductores para aparatos en tubos de pvc de diámetros nominales

Diámetro nominal mm (pulg.)	13 (5/8)"			15 (1/2)"			20 (3/4)"			25 (1")			35 (1 1/4)"			40 (1 1/2)"			50 (2)"		
	0.75	1.00	1.5	0.75	1.00	1.5	0.75	1.00	1.5	0.75	1.00	1.5	0.75	1.00	1.5	0.75	1.00	1.5	0.75	1.00	1.5
PFT, PTFF, PGFF, PGF, PFF, PF	17	13	10	23	18	14	40	31	24	65	50	39	157	122	95	115	90	70	257	200	156
TFFN, TFN	14	11	.	19	15	.	34	26	.	55	43	.	132	104	.	97	76	.	216	169	.
SF - 1	12	.	.	16	.	.	29	.	.	47	.	.	114	.	.	83	.	.	186	.	.
SFF - 1, FFH - 1	11	.	.	15	.	.	26	.	.	43	.	.	104	.	.	76	.	.	169	.	.
TF	8	7	.	11	10	.	20	18	.	32	30	.	79	72	.	57	53	.	126	.	.
RFH - 1	8	.	.	11	.	.	20	.	.	32	.	.	79	.	.	57	.	.	126	.	.
TFF	8	7	.	11	10	.	20	17	.	32	27	.	77	66	.	56	49	.	126	109	.
SFF - 2	7	5	4	9	7	6	16	12	10	27	20	17	65	49	42	47	36	30	106	81	68
SF - 2	7	6	4	9	8	6	16	14	11	27	23	18	65	55	43	47	40	32	106	90	71
FFH - 2	7	5	.	9	7	.	15	12	.	25	19	.	60	46	.	44	34	.	99	75	.
RFH - 2	5	3	.	7	5	.	12	10	.	20	16	.	49	38	.	36	28	.	80	62	.

TABLA 4 - V

Capacidades de corriente permisibles en amperes de los conductores de cobre aislados

No mas de tres conductores en cada tubo (Basadas en la temperatura ambiente de 30° C, salvo nota ++)

Sección nominal mm ²	TEMPERATURA MÁXIMA DE OPERACIÓN DEL CONDUCTOR							
	60 °C	75 °C	90 °C	90 °C	105 °C	125 °C	200 °C	250 °C
	Tipos TW, MTW	Tipo RHW, THW, THWN, XHHW	Tipo MI	Tipos TA, TBS, SA, SIS, MTW, +FEB, +FEPB, +RHH, +THHn, XHHW, THW	Tipo THHW++	Tipos AI ALA	Tipos A, AA, FEP, FEPB	Tipos TFE solamente níquel y níquel con recubrimiento de Cobre
0.75	6	-	-	-	6	-	-	-
1.00	8	-	-	-	8	-	-	-
1.5	10	-	22	22+	10	-	-	-
2.5	18	20	27	27+	17	34	35	45
4	25	27	34	34+	25	44	46	62
6	35	38	42	42	33	55	58	79
10	46	50	60	60	46	75	80	110
16	62	75	78	78	62	97	110	135
25	80	95	100	100	80	125	140	165
35	100	120	125	125	100	155	175	200
50	125	145	150	150	125	190	215	240
70	150	180	190	190	150	240	265	290
95	180	215	225	225	180	290	320	345
120	210	245	260	260	210	330	360	390
150	240	285	300	300	240	380	-	-
185	275	320	330	330	275	430	-	-
240	320	375	400	400	320	500	-	-
300	355	420	455	455	355	570	-	-

400	430	490	530	530	430	680	-	-
500	490	580	595	595	490	780	-	-

TABLA 3 – IV

Cargas mínimas de alumbrado general

Tipo Local	Carga Unitaria W/m ²
Auditorios	10
Bancos	25
Barberías, peluquerías y salones e belleza	25
Asociaciones o casinos	18
Locales de depósitos y almacenamiento	2.5
Edificaciones comerciales e industriales	20
Edificaciones para oficinas	25
Escuelas	25
Garajes comerciales	5
Hospitales	20
Hospedajes	13
Hoteles moteles, incluyendo apartamentos sin cocina (*)	20
Iglesias	8
Unidad (es) de vivienda (*)	25
Restaurantes	18
Tiendas	25
Salas de audiencia	18
En cualquiera de los locales mencionados con excepción de las viviendas unifamiliares y apartamentos individuales de viviendas multifamiliares, se aplicara lo siguiente:	
Espacios para almacenamientos	2.5
Recibos, corredores y roperos	5
Salas de reuniones y auditorios.	10

(*) En viviendas unifamiliares, multifamiliares y habitaciones de huéspedes, de hoteles y moteles, todas las salidas de tomacorriente de 20 A o menores (excepto aquellos para artefactos pequeños de viviendas, indicados en 3.3.2.2 b) deberán ser considerados como salidas para iluminación general y no se requerirá incluir cargas adicionales par tales salidas.

TABLA 4 –IV

Tipos de conductores y su uso

Características	Conductor Tipo (o similar)	Temperatura máxima de operación	Aislante	Cubierta Exterior	Utilización
Resistente al calor	RHH	90 °C	Elastómero resistente al calor	* Cubierta no metálica, resistente a la humedad y retardante de llama	Lugares secos
Resistente al calor y a la humedad	RHW	75 °C	Elastómero resistente al calor y a la humedad	* Cubierta no metálica, resistente a la humedad y retardante de llama	Lugares mojados y secos. Para tensiones mayores de 2000 V el aislamiento, el aislante será resistente al ozono.
Termoplástico resistente a la humedad	TW	- 60°	Termoplástico resistente a la humedad y retardante de llama	Ninguna	Lugares mojados y secos
Termoplástico resistente a la humedad	TWT	60 °C	Termoplástico resistente a la humedad y retardante de llama	Cubierta termoplástica	Lugares mojados y secos
Termoplástico resistente al calor	THHN	90 °C	Termoplástico resistente al calor y retardante de llama	Cubierta de Nylon	Lugares secos
Termoplástico y asbesto	TA	90 °C	Termoplástico y asbesto	Cubierta no metálica retardante de llama	Alambrado de tableros y cuadros eléctricos solamente
Termoplástico y tejido fibroso	TBS	90 °C	Termoplástico	Cubierta no metálica retardante de llama	Alambrado de tableros y cuadros eléctricos solamente
Sintético resistente al calor	SIS	90 °C	Elástomero resistente al calor	Ninguna	Alambrado de tableros y cuadros eléctricos solamente
Aislante mineral y cubierta metálica	MI	85 °C 250 °C	Oxido de magnesio	Cubierta de cobre	Lugares mojados y secos Para usos especiales

Características	Conductor Tipo (o similar)	Temperatura máxima de operación	Aislante	Cubierta Exterior	Utilización
Silicon Asbesto	SA	90 °C 125 °C	Elastómero Silicon	Cubierta de asbesto o vidrio	Lugares secos Para usos especiales
Fluorinado de etileno propileno	FEP	90 °C 200 °C	Fluorinado de etileno propileno	Ninguna	Lugares secos Para usos especiales
Fluorinado de etileno propileno	FEPB	90 °C 200 °C	Fluorinado de etileno propileno	Malla de vidrio o malla de asbesto	Lugares secos Para usos especiales
Asbesto	A	200 °C	Asbesto	Cubierta sin de trenzado asbesto	Lugares secos únicamente. Solo para terminales de aparatos o dentro de canalizaciones conectadas a aparatos hasta 300V.
Asbesto	AA	200 °C	Asbesto	Cubierta con de trenzado asbesto o vidrio	Lugares secos únicamente. Solo para terminales dentro de aparatos o en instalaciones al a vista. Hasta 300V.
Asbesto	AI	125 °C	Asbesto, impregnado	Cubierta con de trenzado asbesto	Lugares secos únicamente. Solo para terminales de aparatos o dentro de canalizaciones conectadas a aparatos hasta 300V.
Asbesto	AIA	125 °C	Asbesto, impregnado	Cubierta con de trenzado asbesto o vidrio	Lugares secos únicamente. Solo para terminales dentro de aparatos o dentro de canalizaciones conectadas a aparatos o instalaciones a la vista.

Características	Conductor Tipo (o similar)	Temperatura máxima de operación	Aislante	Cubierta Exterior	Utilización
Polietileno resistente a la intemperie	WP	75 °C	_____	Polietileno extraído resistente a la intemperie	Instalaciones a la intemperie sobre aisladores.
Termoplástico resistente a la humedad y al calor	THW	75 °C	Termoplástico resistente a la humedad y al calor retardante de la llama	Ninguna	Lugares mojados y secos
					Usos Especiales aparatos de alumbrado de descarga eléctrica. Hasta 1,000 V o menos en circuito abierto (las secciones nominales de 1.5.6 mm ² , solamente como esta permitido en 5.8.810).
	THW	90 °C			
Termoplástico resistente a la humedad y al calor	THHW	105 °C	Termoplástico resistente a la humedad y al calor, retardante de la llama	Ninguna	Lugares mojados y secos. Usos especiales dentro de aparatos de alumbrado de descarga eléctrica. Hasta 1,000 V o menos en circuito abierto; con temperatura ambiente máxima de 70°C (Las secciones nominales de 1.5.6)
Termoplástico resistente a la humedad y al calor	THWN	75 °C	Termoplástico resistente a la humedad y al calor, retardante de la llama	Cubierta de nylon	Lugares mojados y secos
Polímero sintético reticulado, resistente a la humedad y al calor	XHHW	75 °C	Polímero sintético reticulado retardante de la llama.	Ninguna	Lugares mojados
	XHHW	90 °C			Lugares secos

Características	Conductor Tipo (o similar)	Temperatura máxima de operación	Aislante	Cubierta Exterior	Utilización
Termoplástico resistente a la humedad al calor y al aceite	MTW	60 °C	Termoplástico retardante de la llama resistente a la humedad, al calor y aceites	Ninguna	Alambrado de máquinas herramientas en lugares mojados (véase 5.9.10).
	MTW	90 °C		Cubierta de nylon	Alambrado de maquina herramientas en lugares secos (véase 5.9.10).
Politetrafluoretileno extruído	TFE	250 °C	Politetrafluoretilen o extruído	Ninguna	Lugares secos solamente. Solo para terminales dentro de aparatos o dentro de canalizaciones conectadas a aparatos o en instalaciones a la vista (solamente níquel o níquel con revestimiento de cobre)

Unidad V

PROTECCIÓN DIFERENCIAL

1. INTERRUPTOR DIFERENCIAL

Es un dispositivo de protección sensible a la corriente de fuga a tierra, la que recibe el nombre de corriente diferencial. Normalmente ésta corriente difiere de cero sólo si un defecto hacia tierra establece un camino para la corriente a través del terreno.

El interruptor diferencial por tanto, abre el circuito cuando la corriente hacia tierra supera su umbral de intervención, indicado como IFN cualquiera sea la corriente absorbida por el circuito consumidor. Según el CNE ésta corriente no deberá superar los 30 mA.

1.1. INTENSIDAD DE LA CORRIENTE ELÉCTRICA Y SU RELACIÓN CON EL EFECTO PRODUCIDO

La corriente eléctrica al circular por el cuerpo humano, lo hace como a través de un conductor cualquiera, ajustándose a la ley Ohm. ($I = V / Z$). Es la intensidad y no la diferencia de potencial la causa determinante de la gravedad de la mayoría de los accidentes eléctricos.

TABLA 1

EFECTOS DE LA INTENSIDAD EN EL CUERPO HUMANO	
INTENSIDAD	EFECTOS EN EL CUERPO HUMANO
De 1 a 3mA.	* Un organismo normal percibe un picor sin peligro (umbral de percepción).
A partir de 5 mA.	* Un contacto prolongado puede provocar movimientos bruscos en ciertas personas.
A partir de 8 mA.	* Comienzan las contracciones musculares y tetanización (rigidez y tensión convulsiva) de los músculos de la mano y del brazo, pudiendo ocasionar que la piel se quede pegada a los puntos de contacto con las partes bajo tensión (fenómeno de agarrotamiento).
Por encima de 25 mA.	* En un contacto de más de 2 minutos, si el paso de la corriente es por la región del corazón, se puede producir una tetanización del músculo del pecho, pudiendo llegar a sufrir la asfixia por bloqueo muscular de la caja torácica.
Entre 30 y 50 mA.	* Se puede producir la fibrilación ventricular si la corriente atraviesa la región cardíaca, produciendo la muerte, si el accidentado no es atendido en pocos minutos.
Entre 2 y 3 A.	* Sobreviene la parada respiratoria, inconsciencia, aparecen marcas visibles.
Para intensidades superiores a los 3 A.	* Las consecuencias son quemaduras graves y puede ser la muerte.

¿Cuál es el umbral a partir del cual la intensidad es peligrosa? El umbral de intensidad de la corriente a partir del cual se produce la fibrilación ventricular permanece todavía mal definida, ya que los datos experimentales que se poseen se han obtenido mediante medidas efectuadas sobre animales.

En la tabla N° 1 podemos ver algunos valores a los que la corriente puede llegar valores a los que el cuerpo humano puede y no puede resistir.

1.2. EMPLEO DE INTERRUPTORES DIFERENCIALES

La misión de los diferenciales es la siguiente:

- Reducir el tiempo de paso de la corriente por el cuerpo humano, mediante la interrupción rápida.
- Reducir la corriente que pasa por el cuerpo humano, a un valor suficientemente bajo.

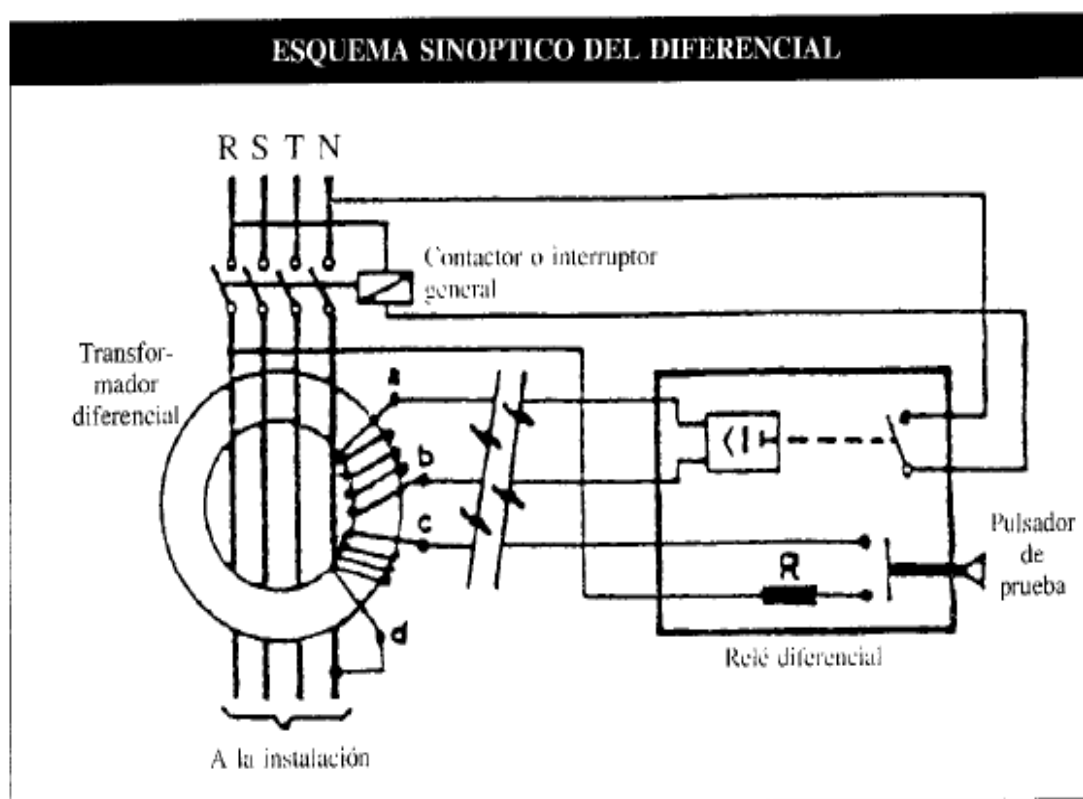


Figura 5.1

Teniendo en cuenta las condiciones más desfavorables para el cuerpo humano en que puede producirse la fibrilación según los valores intensidad/tiempo, se estima que la sensibilidad debe de ser 25 a 30 mA y el tiempo de disparo menor de 250 m. seg.

1.3. PRINCIPIO DE DISPARO DEL DIFERENCIAL

El diferencial como se observa en la figura anterior. está constituido por un toroidal magnético que es atravesado por las fases y neutro de la instalación a proteger y al cual están enrollados, un devanado secundario "a-b" que conecta al elemento de detección y éste, a su vez, al interruptor de disparo y un devanado de prueba "c-d".

La detección de la corriente diferencial está basada en que los flujos magnéticos inducidos en el núcleo del toroidal por las intensidades de entrada y salida se anulan recíprocamente. Si se produce una intensidad de defecto, el flujo magnético se desequilibra induciendo una tensión en el devanado secundario; si esta tensión sobrepasa los límites fijados, equivalente a una derivación de 30 mA., actúa el elemento disparador poniendo al diferencial fuera de servicio.

El pulsador de prueba somete al toroidal a un desequilibrio a través de su devanado, produciendo el disparo del interruptor general como si de un defecto se tratara.

Un sistema de protección diferencial se compone de tres partes bien diferenciadas:

- Captador o sensor
- Relé
- Elemento de corte

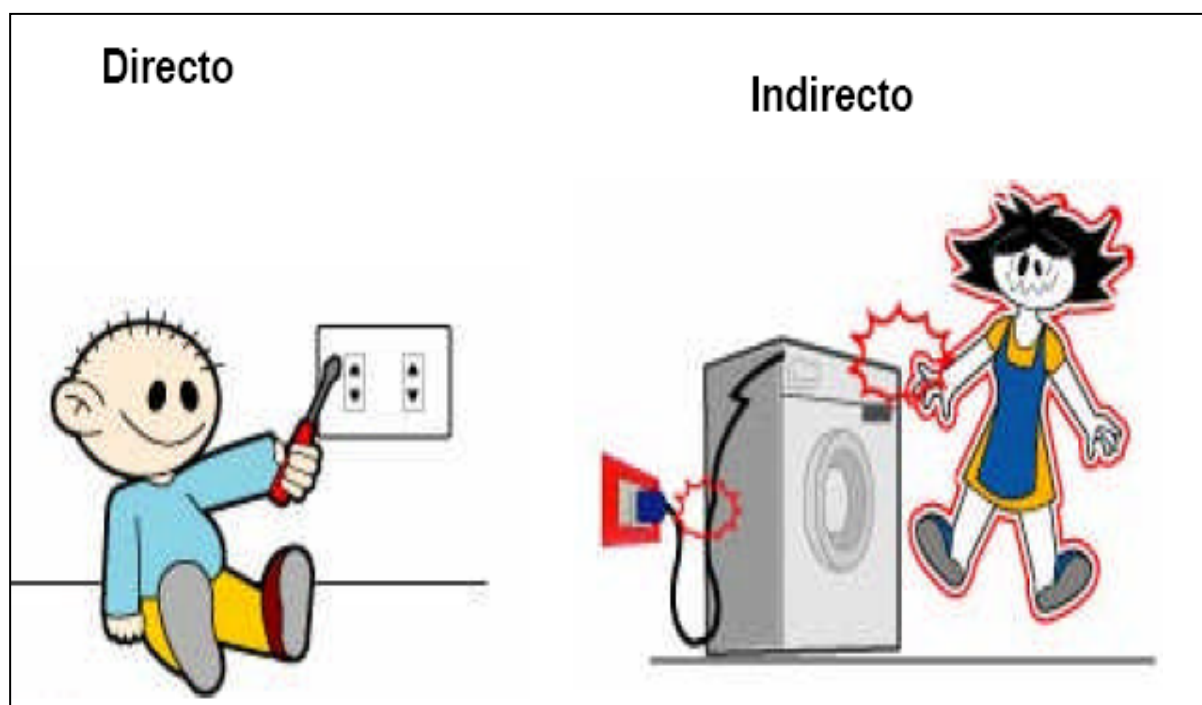


Figura 5.2

El interruptor diferencial protegerá a las personas de un contacto directo y un contacto indirecto con la corriente.

1.4. SIMBOLOGÍA

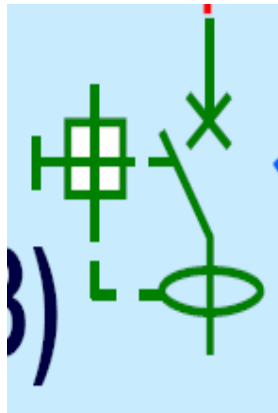


Figura 5.3

1.5. UBICACIÓN

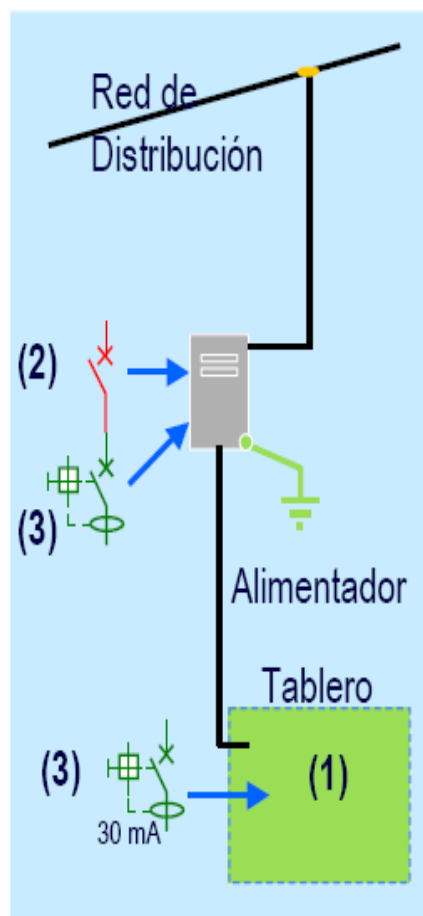


Figura 5.4 Un interruptor diferencial se deberá ubicar en las posiciones (3),

El interruptor diferencial en el CNE.

020-132 Protección con Interruptores.

Diferenciales (ID) o Interruptores de Falla a Tierra (GFCI).

Toda instalación en la que se prevea o exista conectado equipo de utilización, debe contar con interruptor diferencial de no más de 30 mA de umbral de operación de corriente residual, de conformidad con la Regla 150-400; pero éste no debe ser usado como sustituto del sistema de puesta a tierra.

Contra posibles riesgos de incendios por fallas a tierra en el alimentador, se recomienda instalar un dispositivo de corriente diferencial - este dispositivo de corriente diferencial residual debe tener una sensibilidad adecuada y ser del tipo selectivo con ID de 30 mA .

2. PROTECCIÓN DIFERENCIAL EN INSTALACIONES INDUSTRIALES

Un sistema de protección diferencial se compone de tres partes bien diferenciadas:

- Captador o sensor
- Relé
- Elemento de corte

2.1. CAPTADOR O SENSOR

Transformador de corriente que detecta la corriente diferencial de los conductores activos de la instalación, dando una señal proporcional al relé. Puede ser de geometría toroidal o rectangular, según la disposición de pletinas o cableado donde se tenga que instalar. Para un perfecto funcionamiento del sensor, el paso de los conductores tiene que ser lo más centrado posible.

2.2. RELÉ

Es el elemento inteligente de la protección. Mide y trata la señal que le entrega el sensor y decide si ha de dar la señal de disparo o no al elemento de corte asociado, dependiendo de los valores de sensibilidad y tiempo de retardo programados.

2.3. ELEMENTO DE CORTE

Es el elemento que soporta el corte de la corriente. Puede ser un interruptor magnetotérmico (con bobina de disparo), un contactor, etc.



Figura 5.5

3. PROTECCIÓN DIFERENCIAL INMUNIZADA

Hoy en día son habituales en las instalaciones “disparos por simpatía” o disparos intempestivos. En esta clase de situaciones se produce el disparo de un interruptor diferencial o los disparos simultáneos de varios, que protegen una misma instalación debido a la corriente de fuga que se deriva a tierra por efectos capacitivos originados en la instalación. Estos efectos capacitivos pueden presentarse por dos motivos: Los cables en una instalación provocan el efecto de un condensador a tierra. Cuanto más largo es el cableado este efecto de capacidad es mayor. Los condensadores de los filtros EMI que incorporan los Equipos con regulación electrónica de potencia.

Dependiendo del tipo de aislamiento respecto a tierra, las diferentes cargas o consumos de una instalación se pueden clasificar en dos grandes grupos:

3.1. CARGAS SIN CONDENSADORES A TIERRA

El aislamiento existente entre el equipo y la tierra se puede representar con una resistencia óhmica pura. Si la resistencia es lo suficientemente elevada, no circula corriente por la tierra. La corriente de fuga es nula (corriente que circula a tierra en condiciones de funcionamiento normales).

Si se produjera un fallo de aislamiento, entonces sí que circularía corriente por la tierra, llamándola corriente de defecto a tierra, I_d . En este caso no tendremos más problema que el de seleccionar la sensibilidad y el tiempo de retardo correctos para realizar una buena protección.

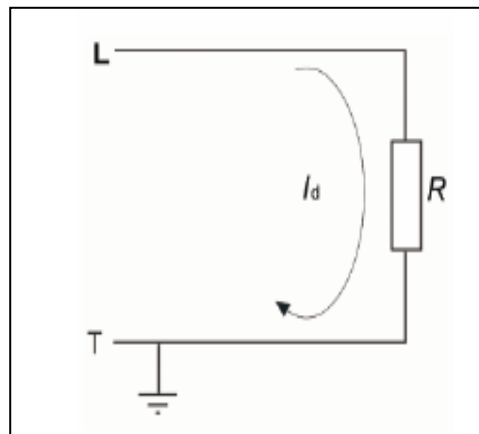
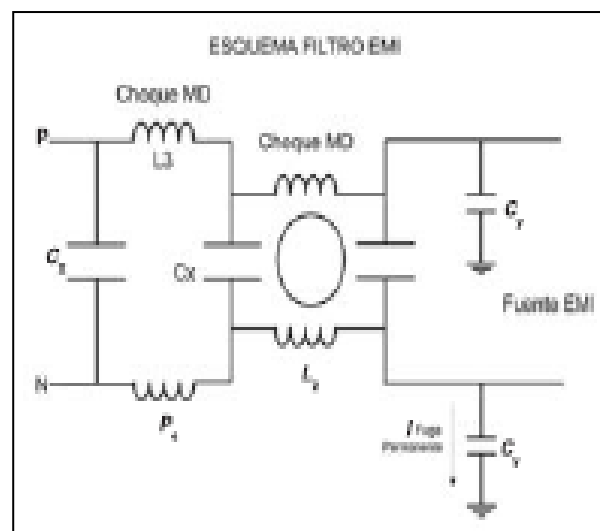


Figura 5.6

3.2. CARGAS CON CONDENSADORES A TIERRA

Se produce una circulación de corriente a tierra por el propio funcionamiento del equipo a través de sus condensadores. También la longitud de cables en una instalación eléctrica puede dar origen a efectos capacitivos a tierra, con lo que entraría en esta situación.

La inyección de esta corriente puede ser de dos tipos.

**Figura 5.7**

3.2.1. FUGAS PERMANENTES

El equipo inyecta corriente permanentemente a tierra. Este tipo de comportamiento está muy ligado al uso de filtros EMI, que incorporan la mayoría de máquinas o cargas con regulación electrónica de potencia, para cumplir con las directivas de compatibilidad electromagnética. Este tipo de filtro impide que la distorsión de alta frecuencia que genera el receptor sea devuelta a la red. Sin embargo es derivada a través de los condensadores a tierra. Indirectamente deriva también a la frecuencia fundamental y sus correspondientes armónicos, de tal forma que la fuga suele ser una superposición de señales de alta y baja frecuencia. Por tanto aumenta el riesgo de disparo del diferencial sin haber corriente de defecto a tierra real.

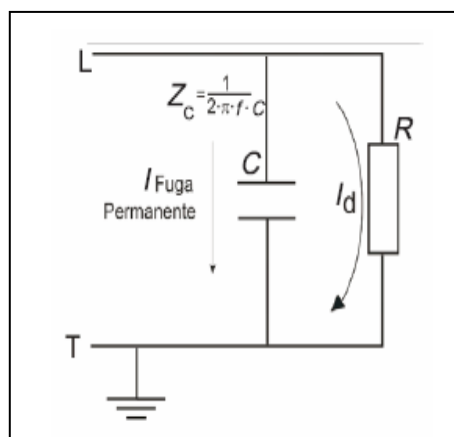


Figura 5.8

3.2.2. FUGAS TRANSITORIAS

Se tiene los mismos efectos capacitivos de los cables y de los filtros comentados anteriormente para sobretensiones transitorias provocadas por conmutaciones de red, conexión-desconexión de circuitos, o simplemente son de origen atmosférico.

En caso de cargas con condensadores a tierra el problema básico para la protección es el de discernir qué corriente a tierra corresponde al funcionamiento del propio equipo, y qué corriente a tierra corresponde a un defecto de aislamiento. Los relés diferenciales electromecánicos no suelen solucionar este tipo de situaciones.

4. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE FALLA DIFERENCIAL EN INTERRUPTORES DIFERENCIALES.

Existen varios criterios, como ya vemos , por los que se podría diferenciar una verdadera falla a tierra por defecto de equipos o por problemas de seguridad con el personal.

- MEDIDA EN VERDADERO VALOR EFICAZ (TRMS) Y CLASE A
- INMUNIDAD FRENTE A TRANSITORIOS
- FILTRADO DE ALTA FRECUENCIA
- AJUSTE DEL DISPARO DE $I_{\Delta n}$
- CURVA INVERSA

4.1. MEDIDA EN TRMS Y CLASE A

Las formas de onda de tensión y corriente han dejado de ser completamente senoidales debido a que las cargas repartidas en las instalaciones no son lineales. La aparición de componentes de continua y armónicas distorsionan las formas de onda, siendo necesario efectuar una medida más rigurosa. La actual gama de diferenciales electrónicos miden el verdadero valor eficaz (TRMS) de la corriente de fuga realizando un muestreo de ésta.

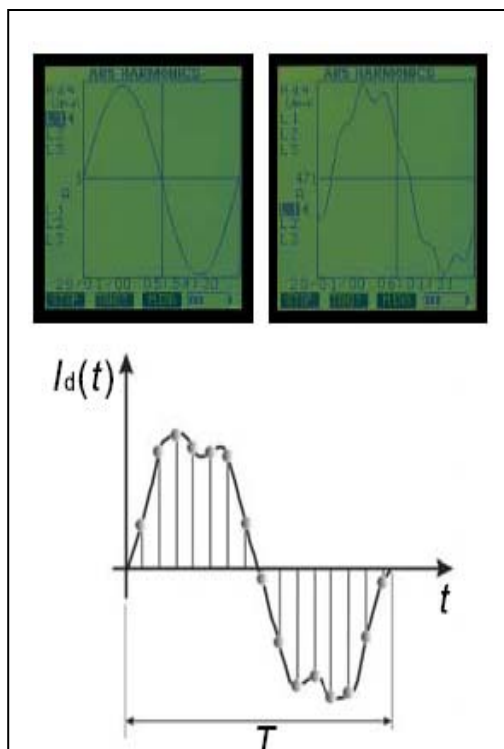


Figura 5.9

Las formas de onda en instalaciones con cargas lineales resistivas son senoidales puras. En cambio, como vemos en la figura, cuando ya dejan de ser completamente senoidales el valor medio ya no nos sirve para medir el valor eficaz con cierto grado de precisión.

Atendiendo a esta problemática la misma Norma de interruptores diferenciales IEC 61008-1 nos determinan los tipos de funcionamiento de éstos, según la clase de onda. Nos define dos tipos, la clase AC y la clase A.

4.1.1. CLASE AC

Los diferenciales utilizados para instalaciones del tipo doméstico o que protejan cargas que no producen distorsiones podrán ser de Tipo AC. Los diferenciales vienen marcados con un símbolo según Norma IEC 61008-1

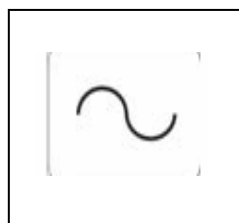


Figura 5.10

4.1.2. CLASE A

En presencia de receptores no lineales, es necesario que la protección diferencial sea Tipo A, que significa que pueden medir corrientes rectificadas y con una componente continua de hasta 6 mA y además corrientes no distorsionadas (tipo AC). Marcados por la Norma correspondiente IEC 61008-1.

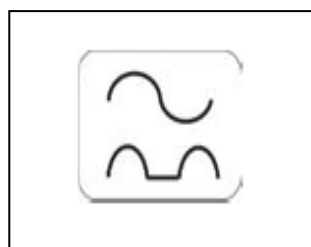


Figura 5.11

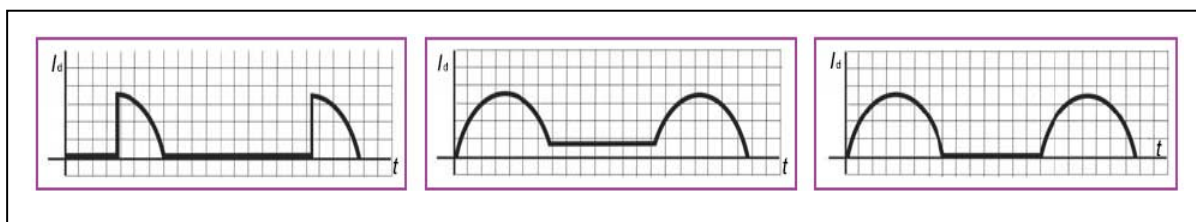


Figura 5.12

Formas de onda para cargas no lineales.

Inmunidad frente a transitorios

La Norma IEC 61008-1 define dos tipos de curvas tipo rayo para comprobar el buen funcionamiento del diferencial, una de onda de sobrecarga y otra de sobretensión. En la de sobrecarga observamos los efectos que se producen en la medida del dispositivo diferencial y con la de sobretensión los que se producen en su alimentación.

El comportamiento de la protección diferencial cuando se producen sobretensiones y sobrecargas transitorias resulta muy importante para mantener la continuidad de suministro eléctrico. Por esta razón, los relés de protección diferencial inmunizados.

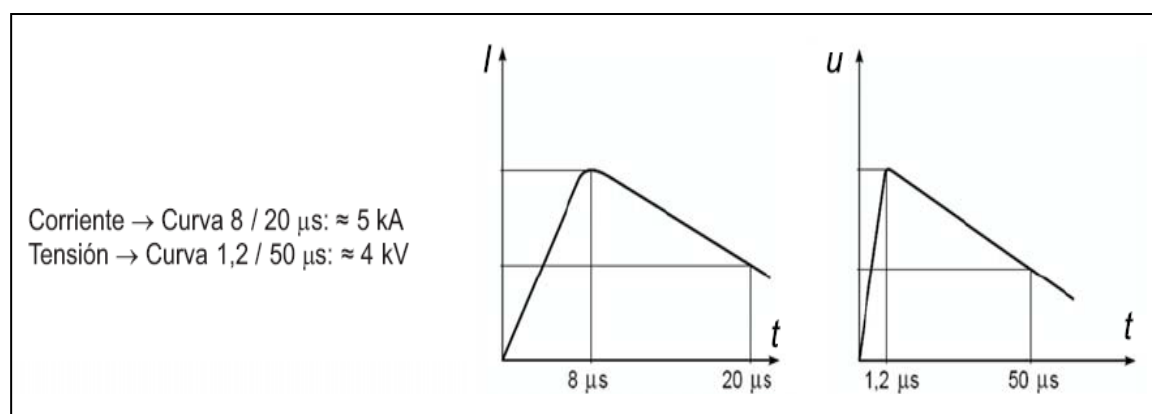


Figura 5.13

4.2. CORRIENTE DE ALTA FRECUENCIA

La Norma IEC 479-1 / UNE 20-572-92 nos indica los efectos del paso de la corriente a través del cuerpo humano para frecuencia de 50 Hz-60 Hz. Como se puede observar, el efecto depende del valor eficaz de la corriente que atraviesa el cuerpo y del tiempo que esto sucede. Vistos los

efectos, se establecen como zonas seguras de trabajo la 1 (zona sin percepción) y la 2 (zona de percepción). Por tanto, en protección de personas, la protección diferencial deberá actuar en dichas zonas.

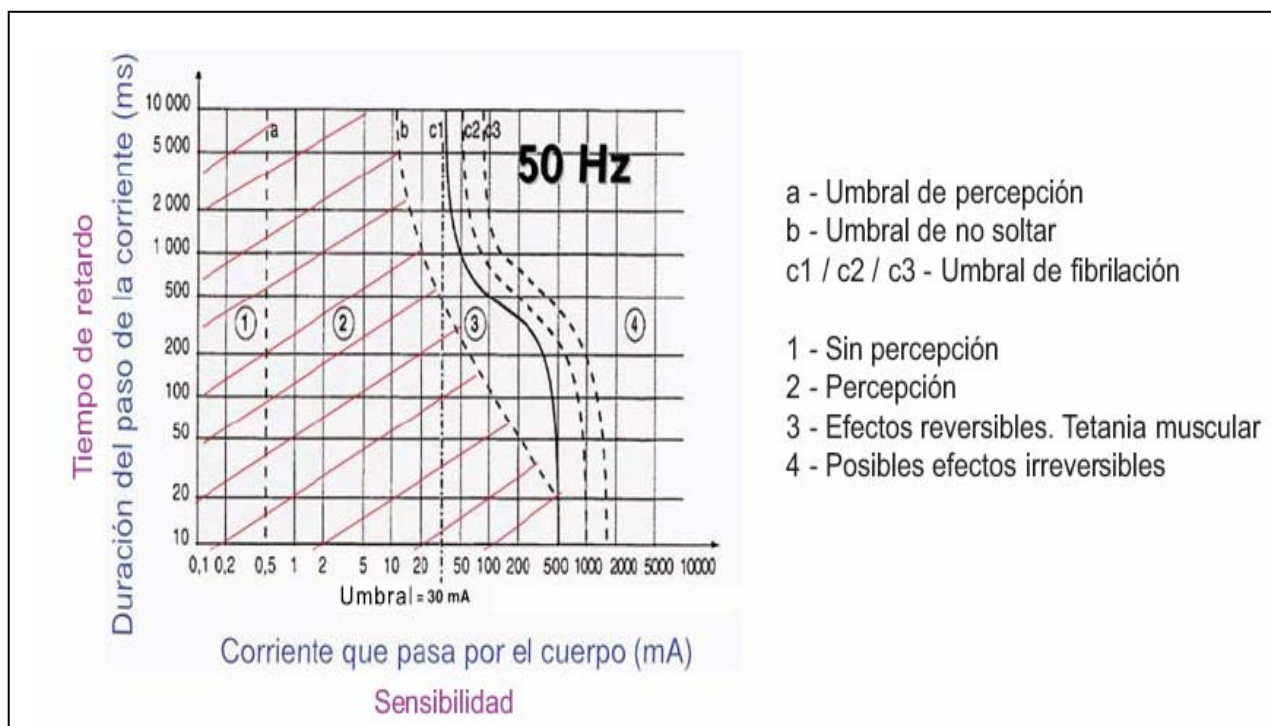


Figura 5.14

Al aumentar la frecuencia, se produce un desplazamiento de las curvas hacia la derecha del gráfico anterior, lo que indica que la corriente es menos peligrosa.

Véase tabla adjunta según IEC 479-2/ UNE 20-572-93, según la cual una corriente de defecto de 45 mA a 500 Hz realiza el mismo efecto que una de 30 mA a 50 Hz, por ejemplo. En el caso de los receptores con filtros EMI, podemos considerar que estos inyectan a tierra corriente de alta frecuencia (>2 kHz) y corriente de baja frecuencia. Se determina el uso de diferenciales tipo A para estos casos.

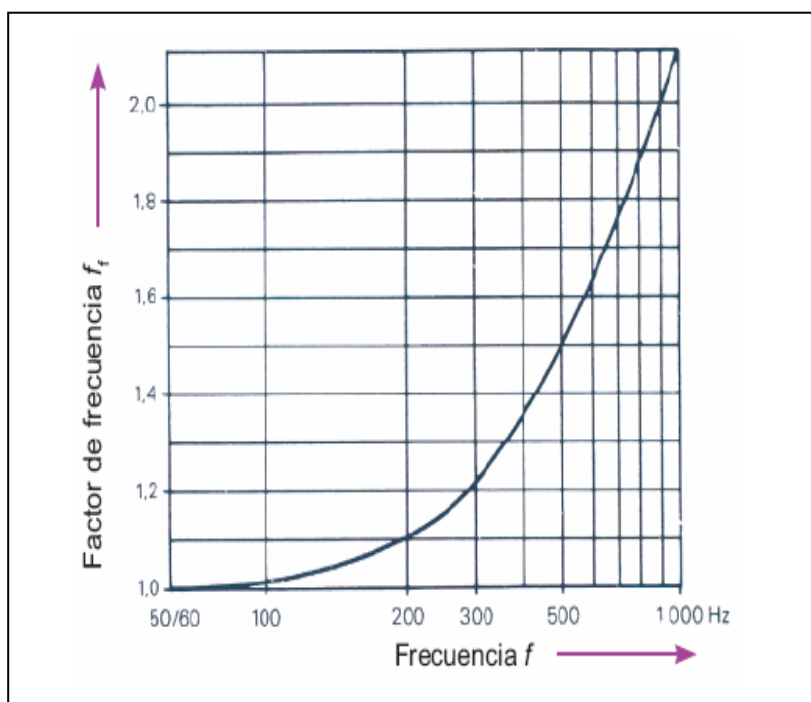


Figura 5.15

4.3. AJUSTES DE $I\Delta n$

La Norma IEC 61008-1 especifica que los interruptores diferenciales deben disparar cuando el valor de la corriente de defecto a tierra está entre el 50 % y el 100 % del valor de la sensibilidad ($I\Delta n$) seleccionada. Esto implica que a partir del 50 % ya se puede realizar el disparo del interruptor diferencial. Este tipo de situación se suele dar en los de tipo electromecánico. Las instalaciones eléctricas, como hemos comentado, han evolucionado de tal forma que este ajuste de protección nos produce grandes problemas, ya que es demasiado bajo.

La protección diferencial electrónica determina el disparo cercano al 100 % de $I\Delta n$. Por lo tanto, tenemos menos riesgo de disparo y menos cortes de suministro de la instalación cuando la corriente de defecto es menor que la $I\Delta n$.

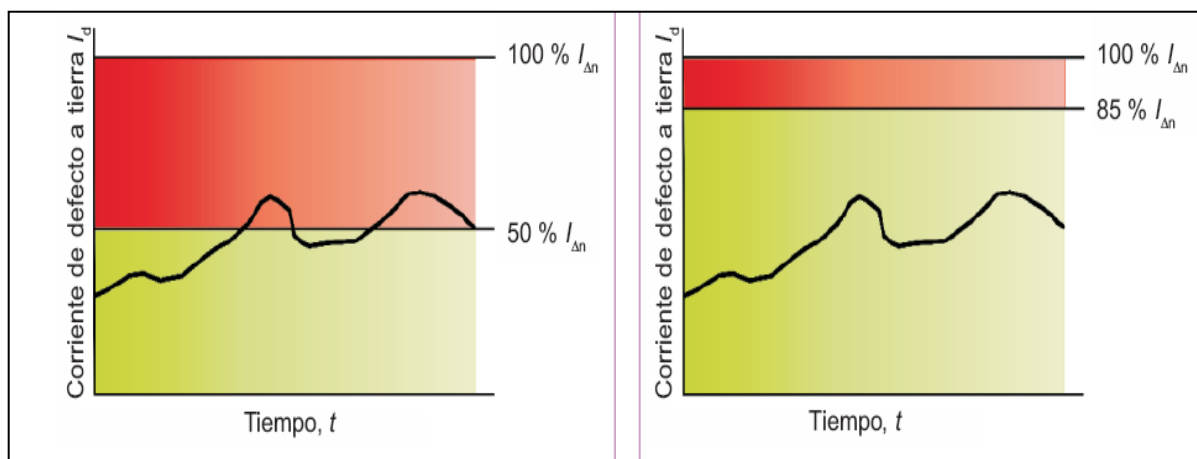


Figura 5.16

Observamos en los gráficos adjuntos que para una igual evolución de corriente de defecto a tierra en una misma instalación el comportamiento del interruptor diferencial es diferente, aunque el nivel de sensibilidad de $I_{\Delta n}$ es la misma para los dos casos.

Este ajuste de $I_{\Delta n}$ nos permite poder concentrar más cargas, que incorporen condensadores a tierra, en una misma línea a proteger. Como por ejemplo, en una instalación informática: Cada equipo deriva una corriente, I_{fuga} , de 2 mA a través de los condensadores del filtro EMI que incorporan. A una sensibilidad ($I_{\Delta n}$) de 30 mA, con los interruptores diferenciales electromecánicos podremos instalar 7 ordenadores, mientras que con los electrónicos podremos instalar 12.

4.4. CURVA INVERSA

La Norma IEC 61008-1 nos da la posibilidad de incorporar un retardo en la apertura del circuito que se protege, el cual depende del nivel de la corriente de fuga. Por tanto, a más corriente de defecto, el retardo será menor. Se especifican dos tipos de curva definidas por la tabla de valores adjunta:

A Instantánea Selectiva

Con la aplicación de estas curvas en nuestros diferenciales, podemos aumentar la continuidad de suministro de la instalación y evitar disparos intempestivos.

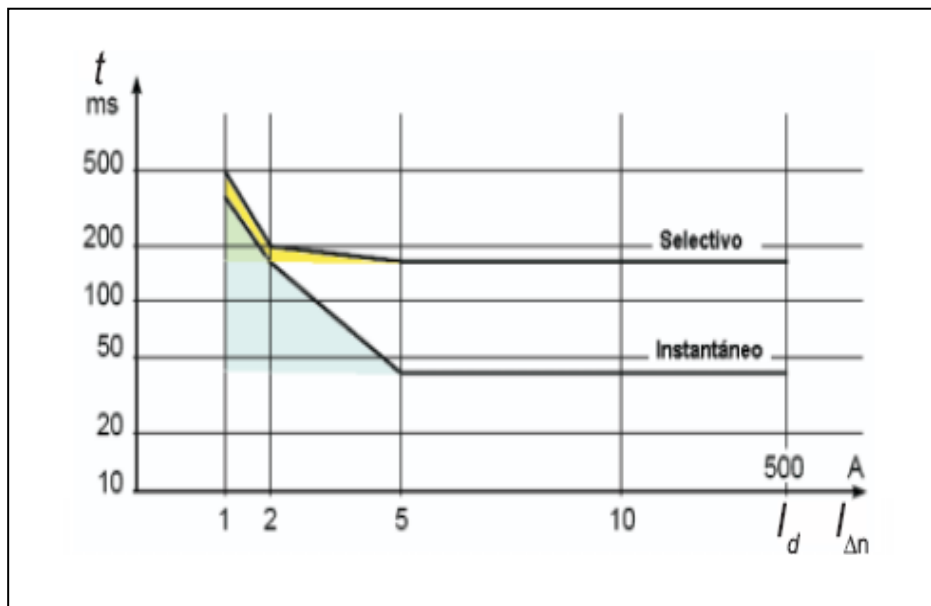


Figura 5.17

Tipo	$I_{\Delta n}$ (A)	Valores normalizados de tiempo de funcionamiento (s)				
		$I_{\Delta n}$	$2 \cdot I_{\Delta n}$	$5 \cdot I_{\Delta n}$	500 A	
Instantáneo	Todos los valores	0,3	0,15	0,04	0,04	Máximos
Selectivo	$> 0,03$	0,5	0,2	0,15	0,15	

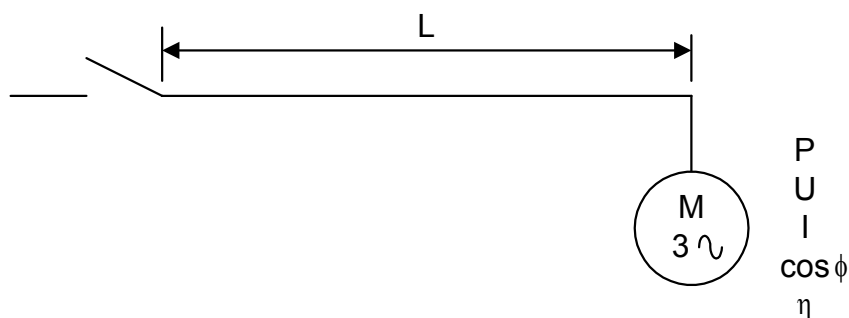
Figura 5.18

Unidad VI

DIMENSIONAMIENTO DEL CONDUCTOR PRINCIPAL PARA MOTOR

1. CONDUCTORES PARA ALIMENTAR A CARGAS CONCENTRADAS

- Un solo motor



- Por capacidad de corriente

$$I = \frac{P}{k U \cos \phi \eta}$$

Donde:

I : Corriente nominal del motor (A).

P : Potencia nominal del motor (W).

U : Potencia nominal del motor (V).

$\cos \phi$: Factor de potencia del motor.

η : Eficiencia del motor.

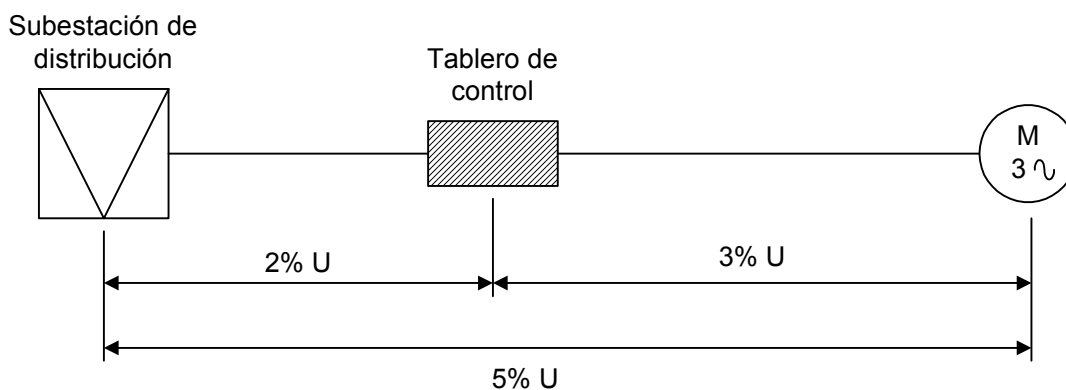
$\sqrt{3}$ para circuitos trifásicos

K : 1 para circuitos monofásicos

El calibre del conductor se selecciona calculando la corriente de diseño I_d :

$$I_d = 1,25 I$$

- Por caída de tensión

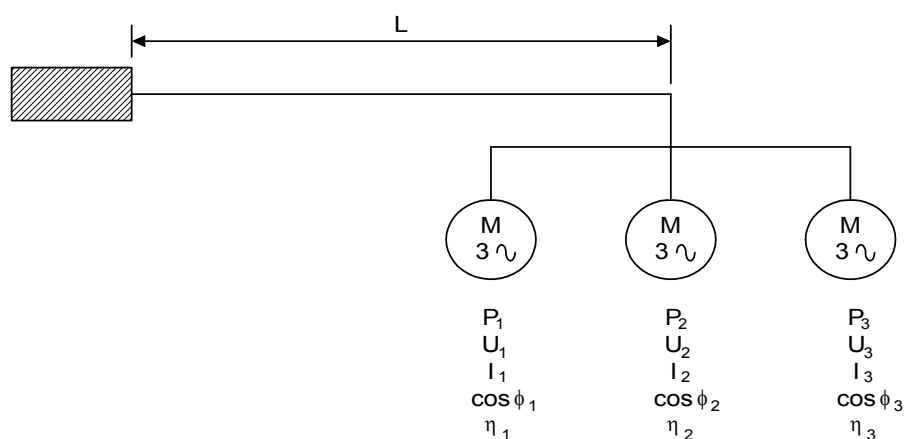


$$S = \frac{K_v L I_d \cos \phi}{\% \Delta U \times U}$$

Donde:

- S : Sección del conductor (mm^2).
 L : Distancia hasta la carga (m).
 I_d : Corriente de diseño del conductor (A).
 $\cos \phi$: Factor de potencia del motor.
 $\% \Delta U$: Caída de tensión en porcentaje dividido entre 100.
 U : Tensión nominal de la red de alimentación.
 K_N : 0,0357 para circuitos monofásicos
 0,0309 para circuitos trifásicos

- Varios motores



- Por capacidad de corriente

$$I_d = 1,25I_1 + I_2 + I_3$$

Donde:

$$I_1 > I_2 > I_3$$

- Por caída de tensión

$$S = \frac{K_v L \sum I_{di} \cos \phi_i}{\% \Delta U \times U}$$

Donde:

S : Sección del conductor (mm²).

L : Distancia hasta el grupo de motores (m).

I_{di} : Corriente de diseño del motor "i" (A).

$\cos \phi$: Factor de potencia del motor "i".

$\% \Delta U$: Caída de tensión en porcentaje dividido entre 100.

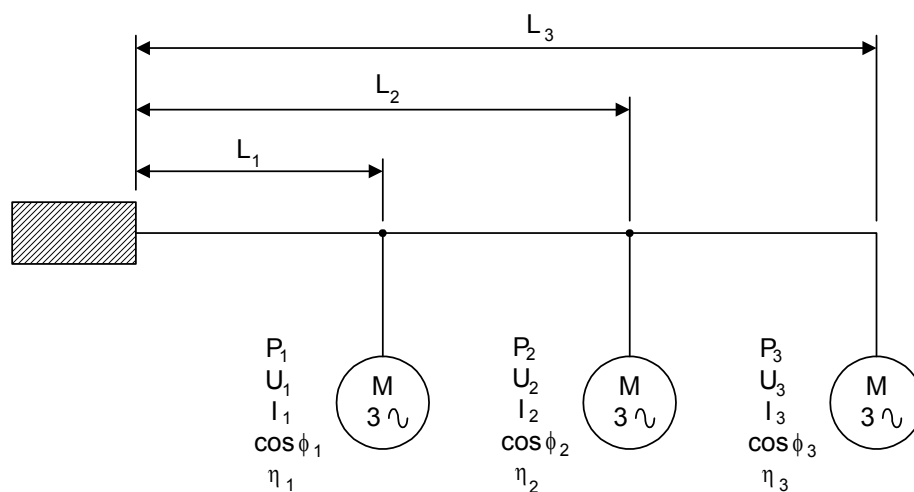
U : Tensión nominal de la red de alimentación (V).

K_v : 0,0357 para circuitos monofásicos

0,0309 para circuitos trifásicos

2. CÁLCULO DE CONDUCTORES PARA ALIMENTAR A CARGAS DISTRIBUIDAS

- Criterio de sección constante



- Por capacidad de corriente:

$$I_d = 1,25 I_1 + I_2 + I_3$$

Donde:

$$I_1 > I_2 > I_3$$

- Por caída de tensión

$$S = \frac{K_v \sum L_i I_i \cos \phi_i}{\% \Delta U \times U}$$

Donde:

- S : Sección del conductor (mm²).
 L_i : Distancia hasta el motor "i" (m).
 I_{di} : Corriente de diseño del motor "i" (A).
 Cos Ø : Factor de potencia del motor "i".
 %ΔU : Caída de tensión en porcentaje entre 100.
 U : Tensión nominal de la red de alimentación (V).
 Kv : 0,0357 para circuitos monofásicos
 0,0309 para circuitos trifásicos

3. DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN

Tres son las causas que originan los accidentes eléctricos:

- **Los cortocircuitos:** que pueden ser provocados por un accidente mecánico o químico, por un mal funcionamiento de un dispositivo de protección o por el uso de cables viejos o en mal estado.
- **El calentamiento de cables:** que ocurre cuando existe una sobrecarga eléctrica en un circuito, por la voladura de un fusible o por una instalación defectuosa.
- **No respetar las normas de seguridad:** como cuando se prescinde del asesoramiento de un profesional y/o técnico o cuando las instalaciones eléctricas no han recibido el mantenimiento necesario o no haberse instalado los dispositivos de protección adecuados.

¡Ahora que conoce las causas, no deje su seguridad para mañana, tome una decisión hoy!

Antes de describir las protecciones de los motores eléctricos vamos a enumerar a los elementos más utilizados para tal fin, siendo los más empleados actualmente los que a continuación mencionamos:

- Interruptores automáticos.
- Cartuchos fusibles.
- Relés térmicos.
- Relés termomagnéticos.
- Sondas térmicas.

4. INTENSIDAD NOMINAL MÍNIMA ADMISIBLE EN UN FUSIBLE AM

La intensidad nominal mínima del fusible de protección de un motor se determina a partir de la intensidad de arranque y del tiempo de arranque del mismo. En un arranque normal un fusible no debe fundir ni envejecer.

En los motores de jaula (arranque directo) la intensidad de arranque es aproximadamente de 4 a 8 veces la intensidad nominal. El tiempo de arranque depende del par de giro del motor y del momento de inercia de todas las masas a acelerar; este tiempo suele estar comprendido entre 0,2 y 4 segundos, pudiendo ser mayor en casos especiales de "arranque difícil".

En los motores de anillos rozantes y motores de jaula con arranque estrella-triángulo, la intensidad de arranque suele estar comprendida entre 1,1 y 2,8 veces la intensidad nominal. El tiempo de arranque en estos casos varía muy ampliamente.

Para tiempos de arranque de hasta 5 segundos, la intensidad nominal del fusible puede ser igual a la intensidad nominal de empleo del motor, pero para valores iguales o superiores es conveniente determinar la intensidad nominal del fusible, teniendo en cuenta las curvas características intensidad tiempo de arranque del motor y del relé térmico de protección.

Seguidamente veamos el caso de un motor cuya intensidad de arranque es seis veces el valor nominal y el tiempo es de cinco segundos.

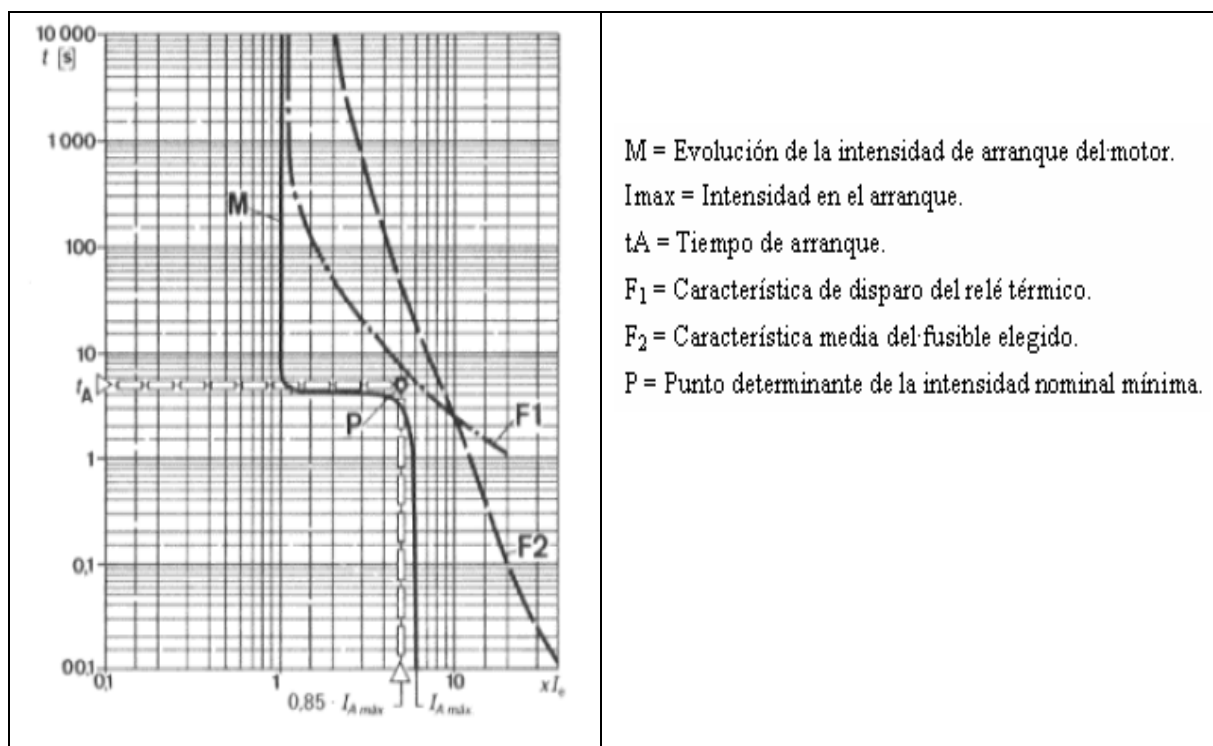


Figura 6.1

La intensidad nominal mínima del fusible la podemos obtener mediante la intersección de dos líneas, la determinada por el tiempo de arranque t_A y la correspondiente a $0,85$ de la intensidad nominal I_A . El punto así determinado nos marca el límite inferior de la banda de dispersión del fusible, por lo tanto el fusible elegido deberá pasar por encima de este punto.

Observando la curva característica de la protección térmica F_1 y la curva característica del fusible elegido F_2 , podremos observar cómo la actuación del relé térmico se extiende hasta diez veces la intensidad nominal (intersección de F_1 con F_2), y a partir de este valor será el fusible el encargado de proteger el motor.

5. INTERRUPTORES MAGNÉTICOS

Son interruptores automáticos que reaccionan ante sobre intensidades de alto valor, cortándolas en tiempos lo suficientemente cortos como para no perjudicar ni a la red ni a los aparatos asociados a ella.

Para iniciar la desconexión se sirven del movimiento de un núcleo de hierro dentro de un campo magnético proporcional al valor de la intensidad que circula.

La curva característica de un disparo magnético es la representada en la figura siguiente.

El dispositivo permite trabajar en la zona A pero no en la B. La desconexión se efectúa cuando las condiciones del circuito llegan a la zona rayada de separación entre ambas. Así pues, para la curva ejemplo de la figura 3, cualquier intensidad menor de 4,25 A, no provocaría la desconexión, por más tiempo que estuviera circulando. En cambio, para cualquier intensidad mayor de 4,75 A, provocaría la desconexión inmediata.

El límite inferior de la curva (unos 4 milisegundos), viene determinado por el tiempo que transcurre desde el instante de establecimiento de la intensidad, hasta la extinción del arco. Este tiempo marca la inercia mecánica y eléctrica propia de estos aparatos.

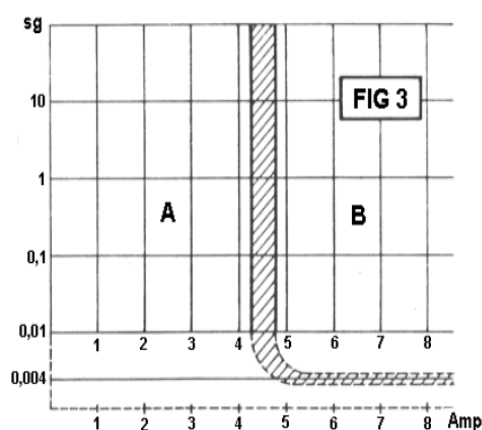


Figura 6.2

5.1. INTERRUPTORES TÉRMICOS

Son interruptores automáticos que reaccionan ante sobre intensidades ligeramente superiores a la nominal, asegurando una desconexión en un tiempo lo suficientemente corto para no perjudicar ni a la red ni a los receptores asociados con él.

Para provocar la desconexión, aprovechan la deformación de una lámina bimetálica, que se curva en función del calor producido por la corriente al pasar a través de ella.

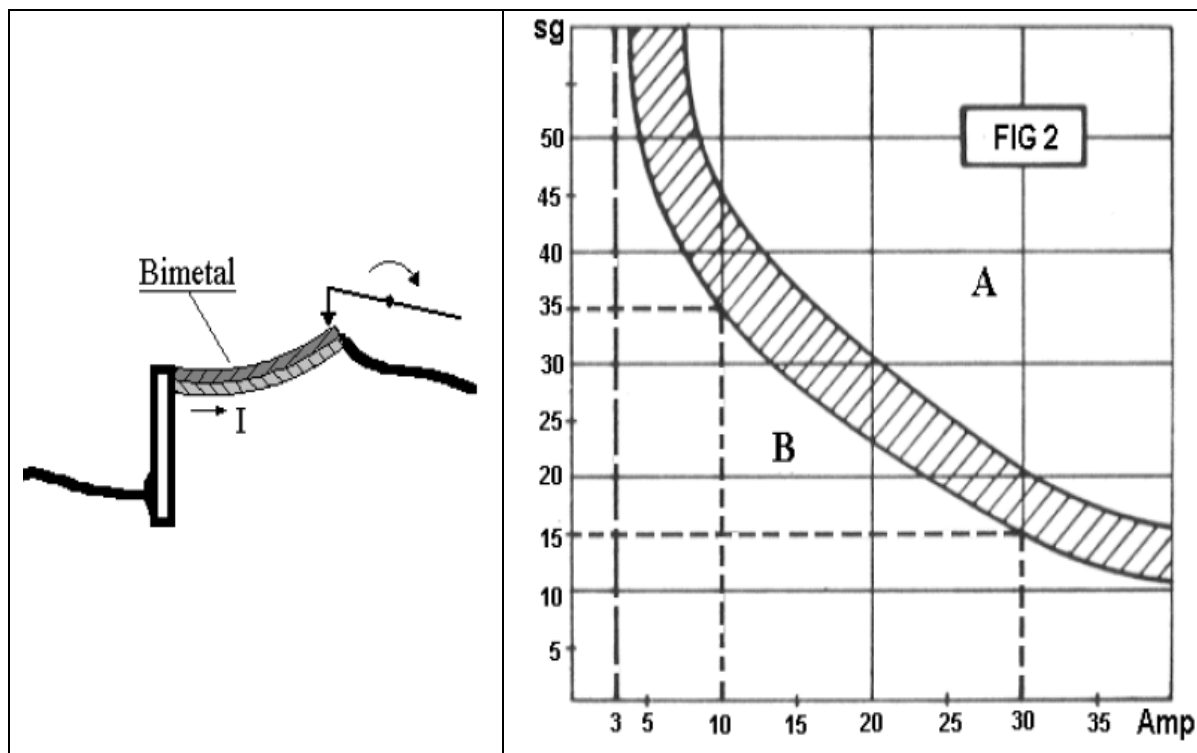


Figura 6.3

La curva característica de un disparo térmico es la representada en la figura 6.3. El dispositivo térmico permite trabajar en la zona A pero no llegar a la zona B. La interrupción del circuito se efectúa siempre cuando las condiciones de trabajo llegan a la zona rayada que marca la separación entre ambas.

Esta zona rayada marca las tolerancias lógicas que tendrá la fabricación de este tipo de aparatos.

Así, pues, en la curva de la figura 6.3, que citamos a título de ejemplo circulando una intensidad de 3A., el interruptor no desconectaría nunca.

Con 10A. iniciaría la desconexión a los 35 seg., y con 30 A. La desconexión se iniciará a los 15 seg.

La forma y límites de la curva característica de un interruptor térmico varía según la técnica empleada en el sistema de caldeo de la bilamina.

5.2. INTERRUPTORES MAGNETO-TÉRMICOS

Generalmente, los interruptores automáticos combinan varios de los sistemas de protección descritos, en un solo aparato. Los más utilizados son los magneto-térmicos.

En el gráfico de la figura 6.5. puede verse la curva de desconexión de un magneto-térmico, en la que se aprecia una zona A, claramente térmica, una zona B que corresponde a la reacción magnética, y la zona de solape C, en donde el disparo puede ser provocado por el elemento magnético o térmico indistintamente.

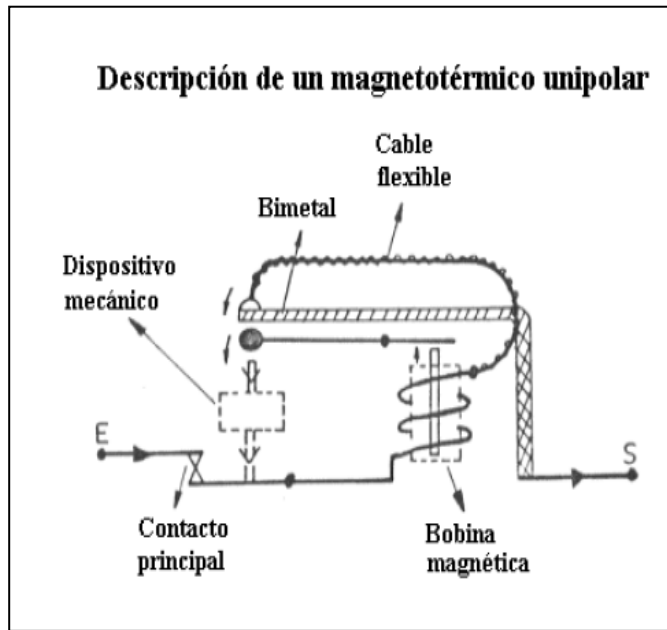
Normalmente, en los gráficos en que se ilustra la curva característica de los magneto-térmicos, se concede el eje vertical a la escala de tiempos, graduada logarítmicamente, y el eje horizontal a la escala de intensidades, graduada también a escala logarítmica, y en múltiplos de la intensidad nominal.

Así, por ejemplo, un punto $3 I_n$ corresponderá a 30A, si el aparato es de 10A, o bien a 75A, si el aparato es de 25A, etc.

Como en casos anteriores, la zona de tolerancia delimita las dos zonas características de "no desconexión" y de "segura desconexión". Así, para una intensidad $2,5 I_n$ podría suceder la desconexión entre los 15 y los 60 sg, siendo correcto cualquier tiempo intermedio de disparo.

Mecánicamente, podemos decir que estos interruptores disponen de desconexión libre, es decir, que cuando se produce una desconexión, ya sea por sobrecarga o cortocircuito, el aparato desconecta aunque se sujete la manecilla de conexión.

Para los magneto-térmicos bipolares o tripolares, podemos decir también que cuando una fase es afectada en la desconexión, ésta se efectúa simultáneamente en todos los polos mediante transmisión interna, independiente de la pieza de unión entre manecillas.

**Figura 6.4**

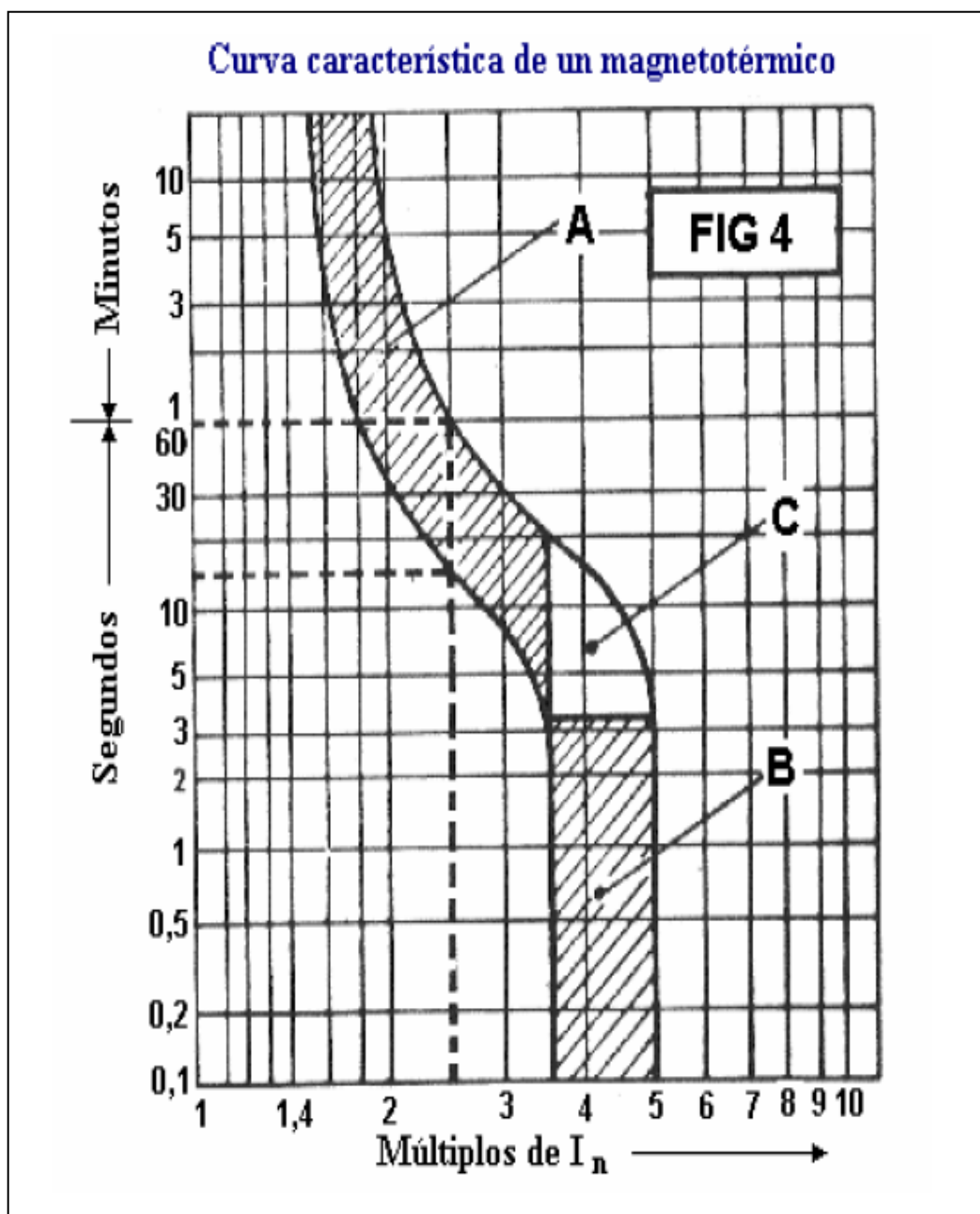


Figura 6.5

Si comparamos los fusibles con los magneto-térmicos, veremos cómo estos últimos presentan una mayor seguridad y prestaciones ya que

interrumpen circuitos con más rapidez y capacidad de ruptura que los fusibles normales. Después, a la hora de restablecer el circuito, no se precisa ningún material ni persona experta, basta presionar un botón o mover un resorte que se halla perfectamente aislado y visible.

Por contra, un fusible requiere el gasto de compra de un cartucho nuevo, su colocación en la base, sometida a tensión y una persona lo bastante capacitada para efectuar estas operaciones. Estas molestias ocasionadas por la fusión de un fusible, llevan en muchas ocasiones a colocar cartuchos inadecuados, por personas inexpertas, ignorando el peligro que esto puede ocasionar a las personas y aparatos que con él van asociados.

Cuando se trata de magneto-térmicos tripolares, si una fase sufre perturbaciones, al disparar su polo arrastra a los otros dos y desconecta completamente el sistema. Si este circuito se hubiera protegido sólo con tres fusibles, se fundiría el correspondiente a la fase perjudicada y dejaría a todo el sistema en marcha con sólo dos fases, con los consiguientes peligros de averías que tal estado acarrea en determinados circuitos.

5.3. CRITERIO PARA LA ELECCIÓN DE LA PROTECCIÓN EN ARRANQUES DE MOTORES

5.3.1. ARRANQUE DIRECTO

- Sencillez de equipos e instalaciones, economía (tanto en la compra como en el mantenimiento posterior)
- tecnología adecuada (no necesariamente la mas cara, sofisticada o de última generación).

ARRANQUE DIRECTO		
Relac. Tensión (U_r / U_n) =	1	
$I_{arr.m\acute{a}x} / I_n$ (incl arranq' suave) =	6,5	
Tiempo de arranque (incl arranq' suave) >	3,750	s

5.3.2. ARRANQUE EN ESTRELLA TRIANGULO

Ventajas:

- Es el que le sigue en ventajas al arranque directo.
- No posee equipo de arranque.

Desventajas:

- Tensión de arranque muy baja y no regulable, para motores con arranque prácticamente en vacío.
- La conmutación con interruptores de vacío podría provocar sobre tensiones peligrosas.
- Al pasar a directo tiene un "salto" de corriente y tensión (cuando el motor se encuentra en carga).

- Requiere de un motor con los 6 bornes accesibles y preparados para una conexión triángulo a U_n y arranque con raíz de 3 (380 / 660 V).

ESTRELLA TRIANGULO		
Relac. Tensión (U_r / U_n) =	0,577	
$I_{arr.m\acute{a}x} / I_n$ (incl arranq' suave) =	4	
Tiempo de arranque (incl arranq' suave) >	no	s

5.3.3. REACTOR

Ventajas:

- Corrientes y tensiones más suaves que el directo.
- Permite alguna regulación de tensión en bornes del motor, al aproximarse a la velocidad nominal aumenta la tensión en bornes del motor, la corriente y la cupla.
- Es él más económico de todos los arrancadores.

REACTOR		
Relac. Tensión (U_r / U_n) =	0,75	
$I_{arr.m\acute{a}x} / I_n$ (incl arranq' suave) =	5,3	
Tiempo de arranque (incl arranq' suave) >	8,2	s

RESUMEN

RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS DE LOS DISTINTOS MÉTODOS DE ARRANQUE					
Motores de jaula					Motores de anillos
	Arranque directo	Arranque estrella triángulo	Arranque por resistencias estáticas	Arranque con auto-transform.	Arranque rotórico
Corriente inicial de arranque	4 a 8 In	1,3 a 4,5In	4,5 In	1,7 a 4 In	< 2,5 In
Ventajas	Arrancador simple Par de arranque importante	Arrancador relativamente barato	Posibilidad regulación de los valores de arranque. No hay corte de alimentación durante el arranque.	Buena relación par-intensidad. Posibilidad regulación de los valores de arranque. No hay corte de alimentación durante el arranque.	Muy Buena relación par-intensidad. Posibilidad regulación de los valores de arranque. No hay corte de alimentación durante el arranque.
Desventajas	Punta de intensidad muy importante. Asegurarse que la red admite esta punta. No permite arranque lento y progresivo.	Pequeño en el arranque. No hay posibilidad de regulación. Corte de la alimentación en el cambio de acoplamiento y fenómenos transitorios. Motor bobinado en triángulo para Un.	Pequeña reducción de la punta de arranque. Necesita Resistencias.	Necesita un auto-transformador costoso.	Motor de anillos más costoso. Necesita resistencias.
Duración media del Arranque	2 a 4 s	3 a 7 s	7 a 12 s	7 a 12 s	3 tiempos: 2,5 s 4 y 5 tiempos: 5 s

Unidad VII

SELECCIÓN DE TABLEROS ELÉCTRICOS

1. INTRODUCCIÓN

En toda instalación eléctrica industrial siempre encontraremos tableros eléctricos para la medición, control, mando y servicios auxiliares de los procesos.

El personal técnico que labora en estas empresas debe estar capacitado para identificar, analizar, seleccionar y operar los tableros eléctricos de manera adecuada, respetando las normas de seguridad vigentes.

Actualmente existe una gran variedad de tableros eléctricos, tanto en alta como en baja tensión, cumpliendo diferentes funciones y el conocimiento que se tenga acerca de ellos incrementará la seguridad del trabajador y la productividad de la empresa.

En la presente unidad describiremos los diferentes tipos de tableros utilizados en la industria, así como la función que desempeña cada uno de ellos y las consideraciones a tener en cuenta para su selección.

2. OBJETIVOS

Al concluir la unidad el participante desarrollará las siguientes competencias:

1. Analizar las características de los diferentes tipos de tableros eléctricos.
2. Seleccionar un tablero eléctrico según la aplicación.
3. Identificar las condiciones que deben cumplir los tableros eléctricos para su uso.

3. CONTENIDO

3.1. DEFINICIÓN

Los tableros eléctricos son una combinación de uno o más dispositivos de maniobra, asociados con equipos de control, medida, protección y regulación, completamente ensamblados; es decir, con todas sus

interconexiones eléctricas y mecánicas terminadas, así como sus partes estructurales.

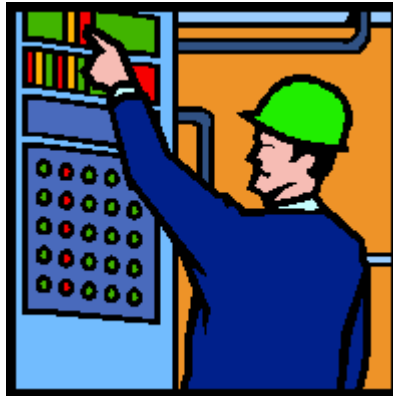


Figura 7.1 Tablero eléctrico.

3.2. CARACTERÍSTICAS

Según la norma IEC 439-1, se distinguen las siguientes características:

1. Tensiones asignadas:
 - Tensión asignada de empleo U_e
 - Tensión asignada de aislamiento U_i
 - Tensión asignada soporada al impulso U_{imp}
2. Intensidades asignadas:
 - Intensidad asignada de corta duracion admisible I_{cw}
 - Intensidad asignada de cresta admisible I_{pk}
 - Intensidad asignada de cortocircuito condicional I_{cc}
 - Intensidad asignada de cortocircuito limitada por fusible I_{cf}
3. Factor asignado de simultaneidad
4. Frecuencia asignada



Figura 7.2 Tablero eléctrico.

3.3. INFORMACIÓN A SUMINISTRAR

1. Placa de características
 - El nombre del fabricante o su marca de fábrica.
 - Un número de identificación.
 - La Norma IEC 439-1.
 - La naturaleza de la corriente (y la frecuencia para AC).
 - Las tensiones asignadas de empleo, aislamiento y soportada al impulso.
 - Las tensiones asignadas de los circuitos auxiliares.
 - Los límites de funcionamiento.
 - La intensidad asignada de cada circuito.
 - La resistencia a los cortocircuitos.
 - El grado de protección.
 - Las medidas de protección de las personas.
 - Las condiciones de empleo.
 - Los tipos de régimen de neutro.
 - Las dimensiones (altura, longitud, profundidad).
 - El peso.
2. Identificación
3. Instrucciones para instalación, funcionamiento y mantenimiento



Figura 7.3 Tablero eléctrico.

3.4. CONDICIONES DE EMPLEO DE LOS TABLEROS

3.4.1. CONDICIONES NORMALES DE EMPLEO

- **Temperatura del aire ambiente:**

Tanto para instalaciones interiores como exteriores, no debe sobrepasar los +40 °C y la media durante 24 horas no debe sobrepasar los +35 °C.

El límite inferior para instalaciones interiores es –5 °C y para exteriores –25 °C (clima templado) y –50 °C (clima ártico)

- **Condiciones atmosféricas:**

Para instalaciones interiores, humedad $\leq 50\%$ (a 40 °C).

Para instalaciones exteriores, humedad $\leq 100\%$ (a 25 °C)

Grado de contaminación:

Grado 1: No existe contaminación

Grado 2: Presencia de una contaminación no conductora.

Grado 3: Presencia de una contaminación conductora.

Grado 4: La polución provoca una conductividad persistente.

- **Altitud:**

La altitud del lugar de la instalación no sobrepasara los 2 000 m.

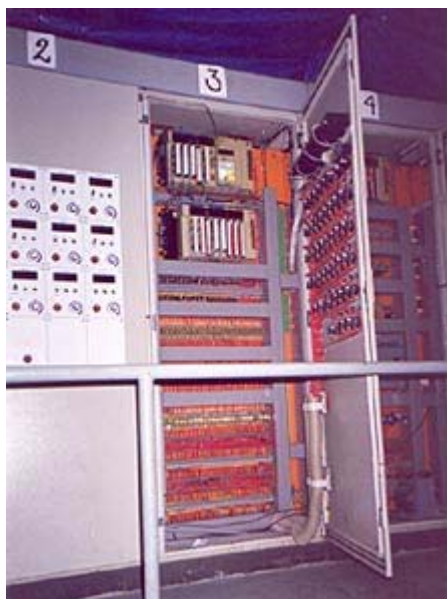


Figura 7.4 Tablero eléctrico.

3.4.2. CONDICIONES ESPECIALES DE EMPLEO

Cuando existan condiciones especiales de empleo, será necesario observar las reglas particulares aplicables. El usuario debe informar al fabricante si existen condiciones especiales. Estas condiciones son por ejemplo:

- Valores de temperatura, humedad relativa y/o altitud diferentes a las especificadas.
- Variaciones rápidas de temperatura y presión del aire.
- Contaminación importante del aire por causa del polvo, humos, partículas corrosivas, vapores o sales.
- Exposición a campos magnéticos o eléctricos de valor elevado.
- Exposición a temperaturas extremas (radiaciones solares).
- Ataques por hongos o pequeños animales.
- Instalaciones en emplazamientos expuestos a incendios o explosión.
- Exposición a vibraciones y a choques importantes.

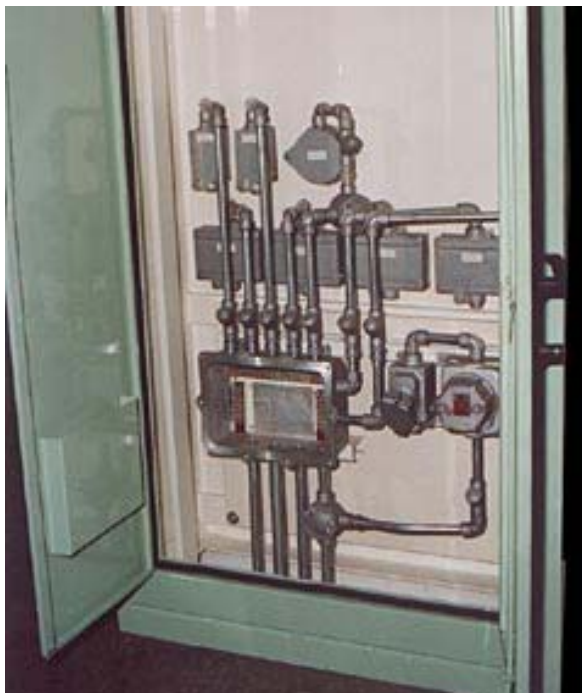


Figura 7.5 Tablero eléctrico a prueba de explosión.

3.5. CLASIFICACIÓN

Los tableros eléctricos se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- Los tableros de baja tensión
- Los tableros de alta tensión

Se considera como tableros de baja tensión a todos aquellos cuya tensión no supera 1kV AC y su frecuencia es menor de 1kHz. Los tableros de alta tensión presentan una tensión entre 1kV y 72,5 kV AC.

3.5.1. TABLEROS DE BAJA TENSIÓN

Los tableros de baja tensión pueden clasificarse según:

1. Su diseño interior

- **Abierto:** el chasis que soporta a los equipos no tiene cubierta, los equipos son accesibles.
- **Abierto con protección frontal:** el tablero es del tipo abierto pero con una cubierta frontal. Las partes activas pueden ser accesibles pero no por el frente.

- **Bajo envolvente:** tiene cubierta todas sus caras (con la posible excepción del lado de ingreso o salida de cables o barras); brinda por lo menos un grado de protección IP2X.

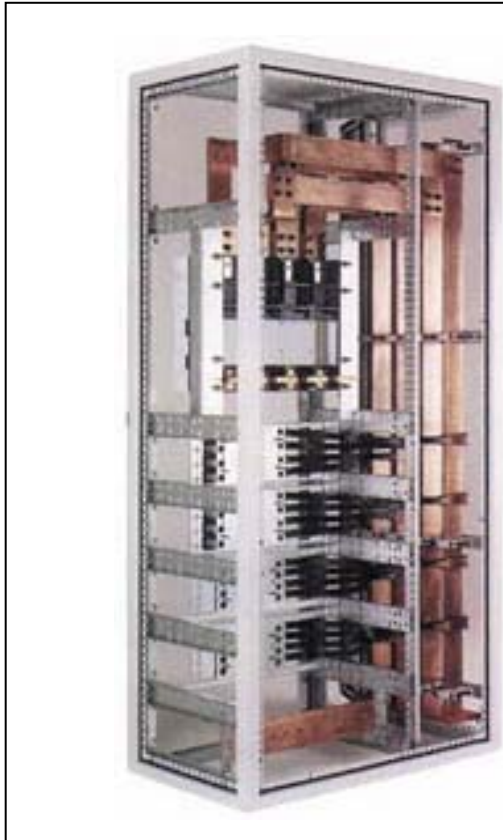


Figura 7.6a Tablero eléctrico abierto.



Figura 7.6b Tablero eléctrico con Protección frontal.



Figura7.7 Tablero eléctrico bajo envoltente.

2. Su lugar de instalación

- **Instalación interior:** destinado a ser utilizado en locales donde se cumplen las condiciones usuales de empleo para interior.
- **Instalación exterior:** destinado a ser utilizado en las condiciones normales de empleo para uso exterior.



Figura 7.8 Tablero eléctrico para instalación interior.



Figura 7.9 Tablero eléctrico para instalación exterior.

3. Su aptitud de desplazamiento

- **Fijo:** destinado a estar fijo en su emplazamiento (suelo o pared).
- **Desplazable:** previsto para poder ser fácilmente trasladado de un emplazamiento a otro.



Figura 7.10 Tablero eléctrico fijo.



Figura 7.11 Tablero eléctrico desplazable.

4. El método de montaje de las partes

- **Partes fijas:** cuando todos sus elementos montados y cableados son instalados de una manera fija.
- **Parte móvil:** cuando una parte de un tablero puede ser retirada y restituida enteramente.
- **Parte desenchufable:** cuando una parte del tablero pueda desplazarse a una posición donde se establece una distancia de seccionamiento (unido mecánicamente).

5. Su modo de montaje

- **Autosoportado:** cuando el tablero está previsto para reposar sobre el suelo y puede ser tipo armario o pupitre (consola).
- **Mural:** cuando el tablero está previsto para ser montado en un plano vertical ya sea empotrado o adosado.



Figura 7.12 Tablero eléctrico tipo pupitre.



Figura 7.13 Tablero eléctrico tipo mural.

6. Su grado de protección

El grado de protección de los tableros se define mediante el índice de protección IP seguido de tres dígitos que indican:

Primer dígito: protección contra contactos sólidos externos.

Segundo dígito: protección contra penetración de líquidos.

Tercer dígito: protección mecánica contra impactos

Primera cifra característica

0	No protegido.
1	Protegido contra los cuerpos sólidos extraños superiores a 50 mm.
2	Protegido contra los cuerpos sólidos extraños superiores a 12,5 mm.
3	Protegido contra los cuerpos sólidos extraños superiores a 2,5 mm.
4	Protegido contra los cuerpos sólidos extraños superiores a 1,0 mm.
5	Protegido contra el polvo.
6	Totalmente protegido contra el polvo.

Segunda cifra característica

0	No protegido
1	Protegido contra las caídas verticales de gotas de agua.
2	Protegido contra caídas de agua verticales (ángulo máx. 15°)
3	Protegido contra el agua de lluvia.
4	Protegido contra las proyecciones de agua.
5	Protegido contra el lanzamiento de agua.
6	Protegido contra los golpes de mar.
7	Protegido contra los efectos de inmersión.
8	Protegido contra los efectos de inmersión.

Tercera cifra característica

	Peso (kg)	Altura de la caída (m)	Energía del choque (J)
0	No protegido		
1	0,15	0,15	0,225
2	0,15	0,25	0,375
3	0,25	0,20	0,50
5	0,50	0,40	2
7	1,50	0,40	6
9	5	0,40	20

3.5.2. TABLEROS DE ALTA TENSIÓN

Se distinguen tres tipos de tableros de alta tensión:

1. Tipo blindado (Metal clad)

Que comprende por lo menos tres compartimentos de alta tensión separados por tabiques metálicos:

- El dispositivo de interrupción principal.
- Componentes conectados a un lado del dispositivo de interrupción principal. Ejemplo: circuito alimentador, barras colectoras.
- Componentes conectados al otro lado del dispositivo de interrupción principal. Ejemplo: salida, transformadores de medida.



Figura 7.14 Tablero eléctrico tipo metal clad.

2. Tipo compartimento

Que comprende compartimentos separados por tabiques y pantallas aislantes.

3. Tipo bloque

Que agrupa el resto del equipo, es decir la baja tensión bajo envoltorio metálico.



Figura 7.15 Tablero eléctrico tipo compartimento.

3.6. FUNCIONES DE LOS TABLEROS

Los tableros eléctricos pueden cumplir una diversidad de funciones, así tenemos entre las más conocidas:

3.6.1. PARA BAJA TENSIÓN

- Tableros de distribución.
- Tableros de automatización.
- Tableros para mando.
- Tableros para medida.
- Tableros para protección.
- Tableros para señalización.
- Tableros de transferencia manual o automática.
- etc.



Figura. 7.16a Tablero eléctrico de Distribución.



Figura 7.16b Tablero eléctrico de automatización.

3.6.2. PARA ALTA Tensión

- Celda de llegada.
- Celda de salida.
- Celda de transformación.



Figura 7.17 Celda de transformación.

En un mismo tablero puede haber una combinación de varias funciones.

Dentro de los tableros existe una variedad muy amplia de equipos eléctricos como: arrancadores, interruptores, fusibles, contactores, relés de protección, transformadores de medida, instrumentos de medición, temporizadores, resistencias, pulsadores, lámparas, etc.

3.7. SELECCIÓN DE TABLEROS

Para seleccionar o solicitar un tablero es necesario tener en cuenta lo siguiente:

- La naturaleza de la corriente (y la frecuencia en caso de corriente alterna).
- La tensión de operación nominal.
- La intensidad de cada circuito.
- El nivel de cortocircuito (si se requiere)
- El tipo de tablero y su función.
- El grado de protección del tablero.
- Las condiciones ambientales.
- La altitud.
- Las tensiones auxiliares.

En el caso de los tableros especiales para automatización deben especificarse las condiciones de funcionamiento y las mediciones que se desean realizar.

3.8. CONSIDERACIONES CONSTRUCTIVAS

En el diseño de los tableros se debe tomar en cuenta:

- Características mecánicas.
- Diseño de la envolvente y grados de protección.
- Calentamiento.
- Protección contra choques eléctricos.
- Protección contra los cortocircuitos y resistencia a los cortocircuitos.
- Aparatos de conexión y componentes instalados en los tableros.
- Separaciones interiores por medio de pantallas o tabiques.
- Conexiones eléctricas en el interior de un tablero (barras, conductores).
- Prescripciones relativas a los circuitos de alimentación de materiales electrónicos.
- Compatibilidad electromagnética.



Figura 7.18 Consideraciones constructivas.

3.9. INSTALACIÓN DE LOS TABLEROS

Al instalar los tableros se debe tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Instalar el tablero en un local limpio.
- El acceso al tablero debe ser rápido a fin de maniobrar los controles en un caso de emergencia.
- El lugar donde se encuentra debe estar ventilado apropiadamente y en sus proximidades no deben almacenarse combustibles.
- Tomar precauciones a fin de evitar acumulaciones de agua de limpieza, lluvias, etc., que puedan poner en peligro al operador.
- Deberá contar con una buena toma de tierra para evitar descargas peligrosas.
- Las conexiones de entrada y salida deberán estar perfectamente realizadas, con los terminales apropiados y el uso de pernos y arandelas de seguridad cuando el caso lo requiera.
- Todos los tableros deben permanecer siempre cerrados, estén en servicio o no, para evitar el ingreso de polvo o animales pequeños que puedan originar accidentes.

3.10. MANTENIMIENTO DE TABLEROS

Para que los tableros se mantengan en buenas condiciones de funcionamiento, se deben seguir las siguientes recomendaciones:

- El mantenimiento debe hacerse periódicamente, dependiendo del entorno (humedad, polvo, etc.); pero como mínimo una vez por año.
- Hacer los cambios de equipos y/o conductores cuando se requieran, haciendo un programa de mantenimiento preventivo y correctivo.
- Cuando un fusible se ha fundido, por una falla, deberán cambiarse los otros correspondientes al mismo sistema.
- No deben hacerse puentes para reemplazar los fusibles, ya que es muy peligroso por privarse de la protección al equipo o cable correspondiente.
- Después de una falla antes de reponer el servicio debe averiguarse en lo posible el origen de la falla y eliminarlo.
- En caso de cambiar un equipo eléctrico, tomar sus datos de placa e identificar a que elemento corresponde en el plano eléctrico.
- Marque las conexiones a fin de reponerlas en su sitio cuando las desconecte y así evitar confusiones.

4. RESUMEN

- Los **tableros eléctricos** son una combinación de dispositivos de maniobra, asociados con equipos de control, medida, protección y regulación, completamente ensamblados; es decir, con todas sus interconexiones eléctricas y mecánicas, así como sus partes estructurales.
- Presentan las siguientes características:
 - Tensiones asignadas.
 - Intensidades asignadas.
 - Factor asignado de simultaneidad.
 - Frecuencia asignada.
- La información que se suministra con los tableros es:
 - Placa de características.
 - Identificación.
 - Instrucciones para instalación, el funcionamiento y el mantenimiento.
- Las condiciones de empleo de los tableros son de dos tipos:
Normales: temperatura ambiente, condiciones atmosféricas y altitud.
Especiales: variaciones rápidas de temperatura y presión del aire, exposición a campos magnéticos o eléctricos de valor elevado, contaminación, etc.
- Los tableros eléctricos se pueden clasificar en dos grandes grupos:
 - Los tableros de **baja tensión**.
 - Los tableros de **alta tensión**.
- Los **tableros de baja tensión** se pueden clasificar:
 - Según su diseño interior.
 - Su lugar de instalación.
 - Su aptitud de desplazamiento.
 - El método de montaje de las partes.
 - Su modo de montaje.
 - Su grado de protección.
- Los tableros de alta tensión se clasifican en:
 - Tablero blindado.
 - Tablero tipo compartimento.
 - Tablero tipo bloque.
- Los tableros eléctricos pueden cumplir una diversidad de funciones, así tenemos entre las más conocidas:

Baja tensión: tableros de distribución, automatización, mando, medida, protección, señalización, etc.

Alta tensión: celda de llegada, salida, de transformación.

- Para seleccionar o pedir un tablero es necesario tener en cuenta lo siguiente:
 - La naturaleza de la corriente (y la frecuencia en caso de corriente alterna).
 - La tensión de operación nominal.
 - La intensidad de cada circuito.
 - El nivel de cortocircuito (si se requiere).
 - El tipo de tablero y su función, etc.
- En la instalación y mantenimiento de los tableros se debe seguir las recomendaciones del fabricante.

5. GLOSARIO

Aparamenta (dispositivos de control y maniobra)	Término general que se aplica a los dispositivos de maniobra y su combinación con equipos afines de control, medición, protección y regulación, así como los conjuntos de dichos dispositivos y equipos con interconexiones, accesorios, envolturas y estructuras de soporte afines.
Aparamenta bajo envolvente metálica	Conjunto de aparamenta con una envolvente metálica externa destinada a ser puesta a tierra excepto las conexiones exteriores.
Aparamenta para exterior	Aparamenta adecuada para ser instalada al aire libre, es decir capaz de soportar el viento, lluvia, nieve, contaminaciones, condensación, hielo y escarcha.
Aparamenta para interior	Aparamenta concebida para ser instalada en un edificio u otro alojamiento en el que la aparamenta se encuentre protegida del viento, lluvia, nieve, contaminaciones anormales, condensación anormal, hielo y escarcha.
Barra de seccionamiento	Pieza de material conductor, generalmente una pletina de cobre, que se coloca en las bases portafusibles o en el polo de un interruptor o entre los bornes del conductor neutro.
Columna	Unidad constructiva comprendida entre dos separaciones verticales sucesivas.
Cubículo	Unidad constructiva comprendida entre dos separaciones horizontales sucesivas dentro de una misma columna.
Compartimento	Una columna o cubículo cerrado a excepción de las aberturas necesarias para la ventilación o interconexión.

Parte conductora	Parte capaz de conducir corriente aunque podría no necesariamente ser utilizada para conducir corriente en un servicio normal.
Masa	Parte conductora que puede ser tocada directamente y que normalmente no se encuentra activa pero que podría hacerse activa en condiciones de falla.
Unidad transportable	Parte o total de un tablero adecuado para ser despachado sin ser desmontado.
Tabique	Parte de un conjunto que separa un compartimento de otro.

Unidad VIII

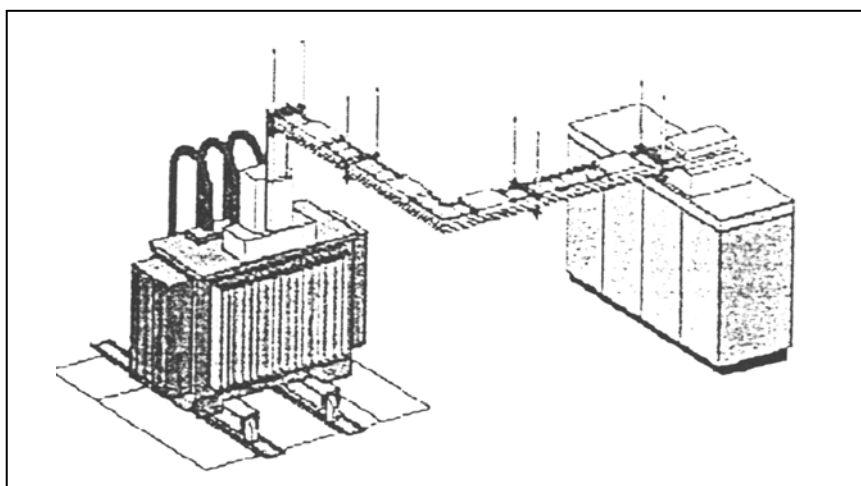
COMPENSACIÓN DE ENERGÍA REACTIVA

Figura 8.1

1. FACTOR DE POTENCIA DE CARGAS

La mayoría de las cargas industriales (motores, transformadores...), alimentadas con corriente alterna necesitan para su funcionamiento dos tipos de energía:

- Energía reactiva
- Energía activa

Instalaciones Eléctricas Industriales

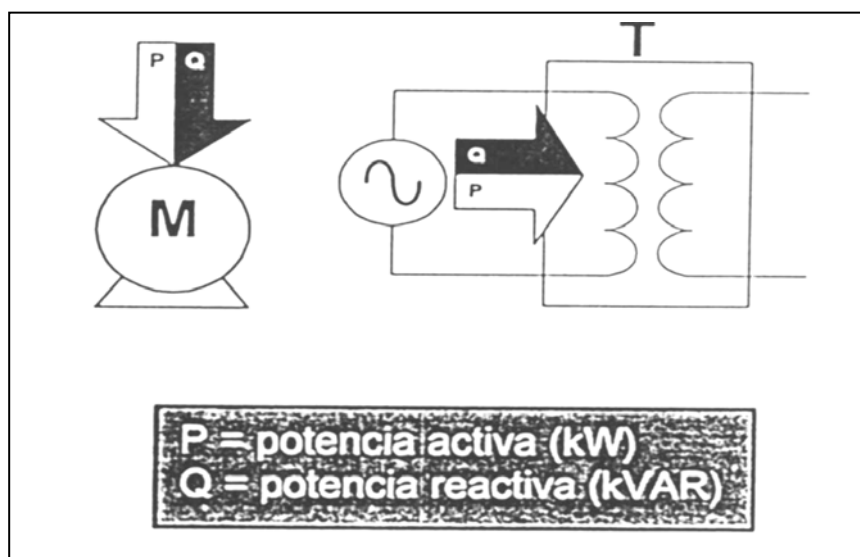


Figura 8.2

2. AHORRO

- El usuario paga por ambos tipos de potencia.
- Los capacitores suministran la potencia reactiva que tradicionalmente provee la compañía suministradora.
- Los capacitores reducen el monto de la facturación.

3. ¿POR QUÉ USAR CAPACITORES?

Con la compensación del factor de potencia se logra:

- Reducir el pago de energía eléctrica.
- Reducir las pérdidas por efecto Joule ($I^2 \cdot t$) en los conductores.
- Liberar la capacidad de los transformadores.
- Mejorar la regulación de tensión.

4. CAMPO MAGNÉTICO

Como manifestamos la mayoría de las cargas en una planta son inductivas y requieren de un campo magnético para operar:

- Motores.
- Transformadores.
- Lámparas fluorescentes.

El campo magnético es necesario pero no produce trabajo útil.

5. PRINCIPIOS

El triángulo de potencia

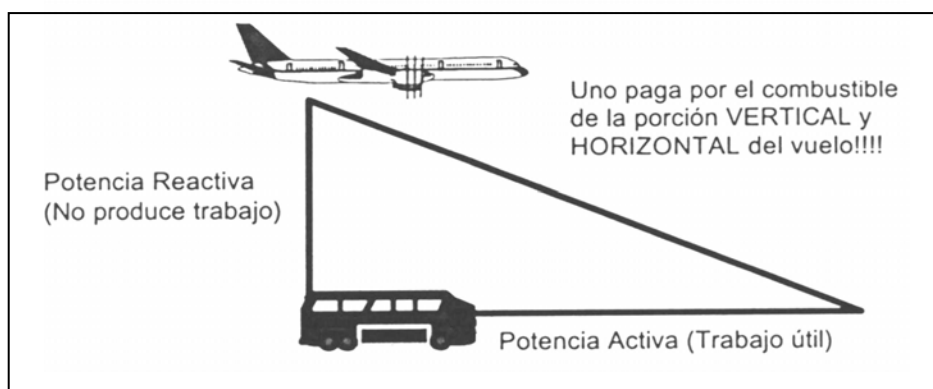


Figura 8.3

6. EL TRIÁNGULO DE POTENCIA

Análogamente, los motores requieren potencia REACTIVA para crear el campo magnético, mientras que la potencia ACTIVA produce el trabajo útil (potencia en el eje del motor). Potencia

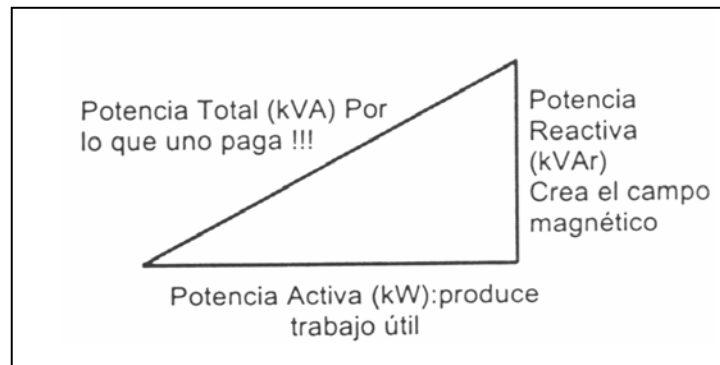


Figura 8.4

7. ¿QUÉ ES EL FACTOR DE POTENCIA?

Factor de potencia es la relación de la Potencia Activa respecto a la Potencia Total:

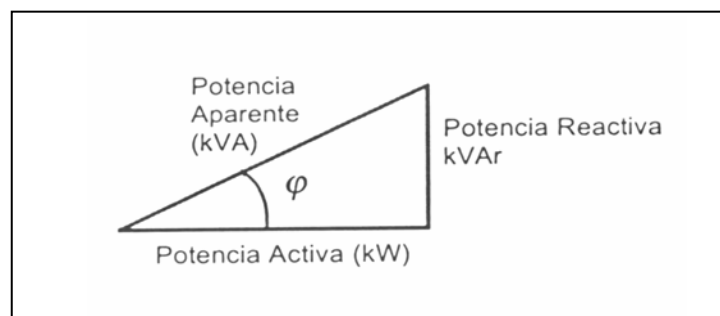


Figura 8.5

$$\text{Factor de potencia} = \frac{\text{Potencia Activa}}{\text{Potencia Total}} = \frac{kW}{kVA} = \cos \varphi$$

El factor de potencia es una medida de eficiencia (salida / entrada).

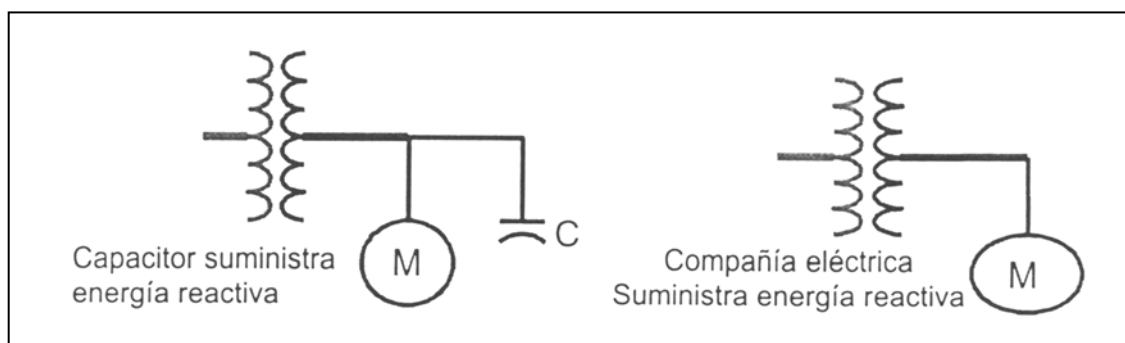
COS ϕ TÍPICOS

Anarato	Cos ϕ
Motor Asíncrono a 100%	0.85
Motor Asíncrono a 75%	0.8
Motor Asíncrono a 50%	0.73
Motor Asíncrono a 25%	0.55
Motor Asíncrono a 0%	0.17
Lámpara Incandescente	1
Lámpara fluorescente	~ 0.5
Lámpara de descarga	0.4 a 0.6
Hornos de resistencia	~ 1
Hornos de arco	0.7 a 0.8
Hornos de inducción	0.85
Soldadura de arco	~ 0.5

8. ¿POR QUÉ INSTALAMOS CAPACITORES?

Los capacitores suministran (sin costo), la potencia reactiva requerida por las cargas inductivas.

- Inicialmente hay que considerar el costo del capacitor.
- Compensando el factor de potencia, la compañía eléctrica ya no suministra los kVAr requeridos, esto lo hace el banco de capacitores.

**Figura 8.6**

OBSERVEMOS EL BENEFICIO

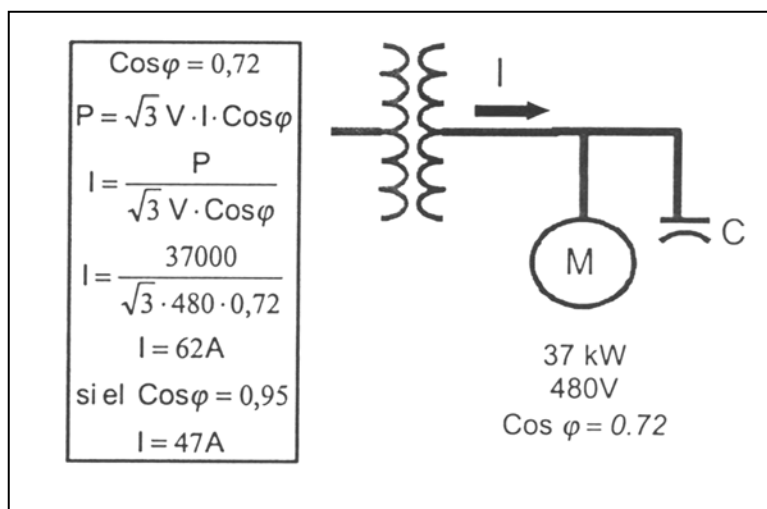


Figura 8.7

9. TAMAÑO DEL BANCO

El banco capacitor se calcula a partir de la siguiente relación.

Instalaciones Eléctricas Industriales

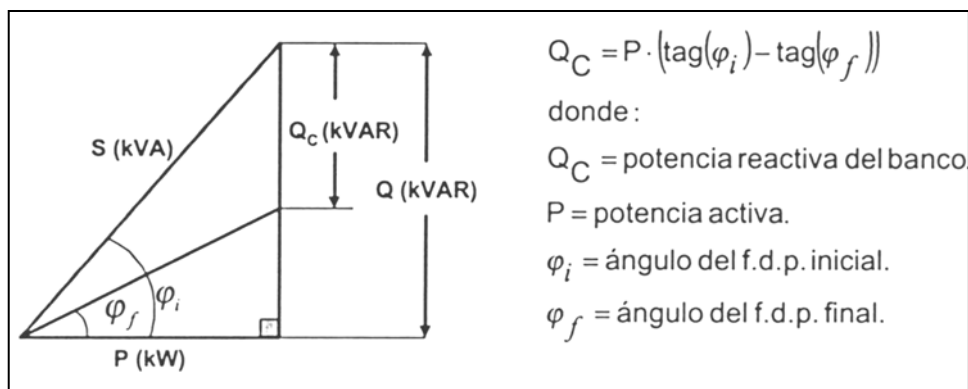
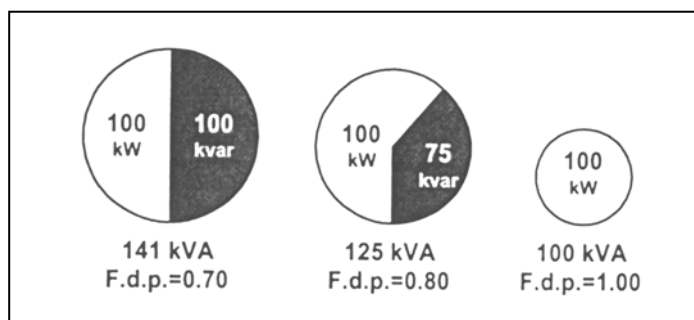


Figura 8.8

Otros beneficios

Liberación de capacidad en el sistema

- El efecto del factor de potencia en la corriente absorbida por el sistema se muestra a continuación.

**Figura 8.9**

- Disminución del calibre de los conductores que se requieren para conducir los mismos 100 kW con distintos factores de potencia.

Más beneficios

Reducción de pérdidas:

- A medida que la corriente circula a través de los conductores, estos se sobrecalientan. Este calentamiento son pérdidas de potencia.
- Las pérdidas de potencia son proporcionales al cuadrado de la corriente (Pérdidas $I^2 R$).
- La corriente es proporcional al factor de potencia.
- Las pérdidas en los conductores pueden llegar a ser del 2 al 5% de la carga total.

$$\% \text{ Reduccion de perdidas} = 100 \left(1 - \left(\frac{\cos \phi_{\text{INICIAL}}}{\cos \phi_{\text{FINAL}}} \right)^2 \right)$$

Es importante tener en cuenta

Soporte de tensión:

- Cuando se instalan capacitores, la tensión se incrementa normalmente en un pequeño porcentaje.
- No representa un beneficio económico significativo.
- Una severa sobre compensación produciría un nivel de sobretensión que podría dañar el aislamiento de los equipos conectados al sistema.
- Normalmente es el resultado de la conexión de grandes bancos de capacitores fijos.

10. TIPOS DE COMPENSACIÓN

Según el lugar donde instalan los banco de capacitores se tiene:

- Compensación global o localizada.
- Compensación parcial.
- Compensación individual.

10.1. COMPENSACIÓN GLOBAL

Ventajas:

- Suprime los gastos por energía reactiva.
- Descarga el centro de transformación.

Observaciones:

- Las pérdidas por efecto Joule en los cables no son reducidas.

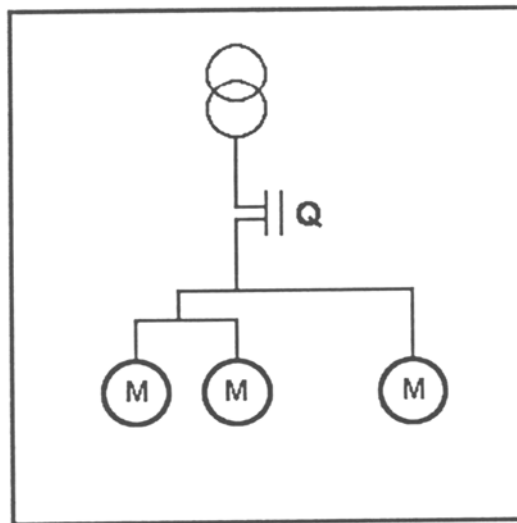


Figura 8.10

10.2. COMPENSACIÓN PARCIAL

Ventajas:

- Suprime los gastos por energía reactiva.
- Descarga el centro de transformación.
- Optimiza una parte de la instalación, la corriente reactiva no se transporta en parte del sistema

Observaciones:

- Las pérdidas por efecto Joule en los cables no se reducen totalmente

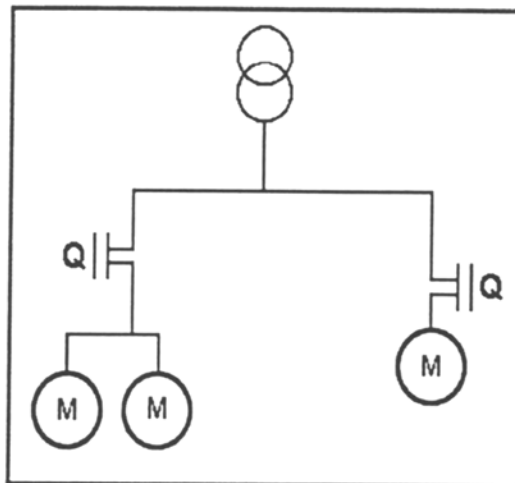


Figura 8.11

10.3. COMPENSACIÓN INDIVIDUAL

Ventajas:

- Suprime los gastos por energía reactiva.
- Descarga el centro de transformación.
- Optimiza una parte de la instalación, la corriente reactiva se abastece en el mismo lugar de su consumo

Observaciones:

- Las pérdidas por efecto Joule en los cables se suprimen totalmente.

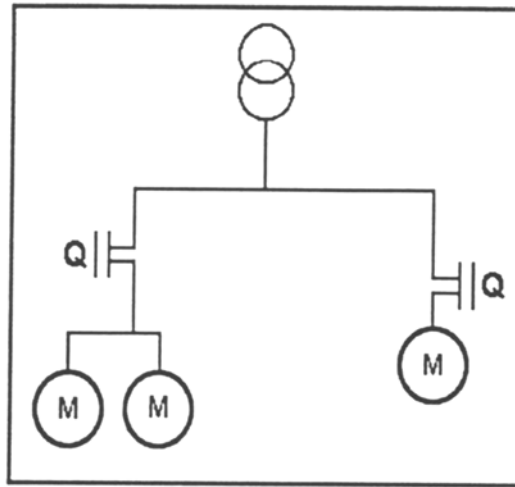


Figura 8.12

11. OTROS TIPOS DE COMPENSACIÓN

Según la forma de control se pueden clasificar:

- Compensación fija.
- Compensación automática.

11.1. BANCOS FIJOS

Compensaciones locales

- Motores.
- Transformadores.

Compensaciones generales (en menor importancia).

- Subestaciones.

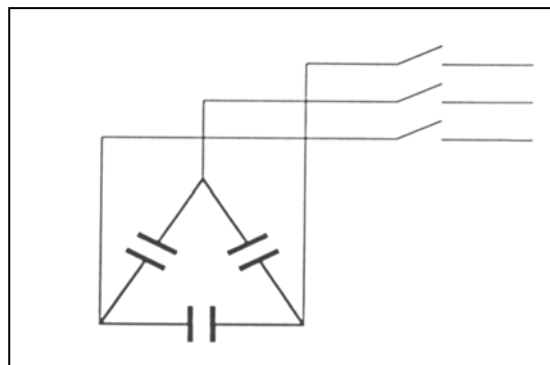


Figura 8.13

Capacitores Fijos En Un Motor

1. Entre el elemento de sobrecarga y el motor (redimensionar el valor del elemento de sobrecarga).
2. Entre el contactor y el elemento de sobrecarga (preferente: no necesita redimensionar los relés de sobrecarga).
3. Lado de la línea del conductor (proveer medios de desconexión).

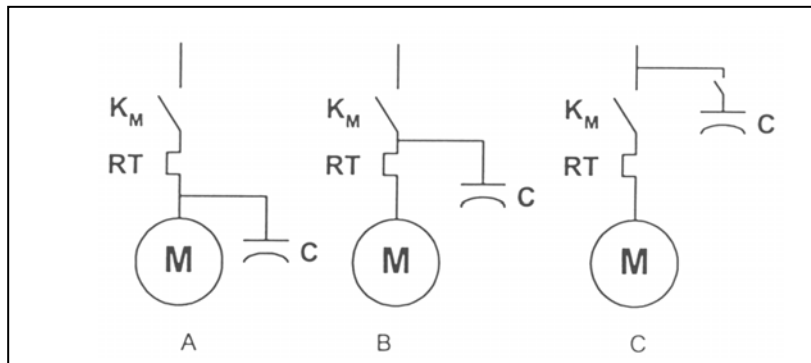


Figura 8.14

11.2. BANCOS AUTOMÁTICOS

Estos incluyen, a los propios capacitores, contactores y al controlador.

El controlador mide el factor de potencia y controla la conexión de pasos de capacitores para obtener el factor de potencia que se estableció.

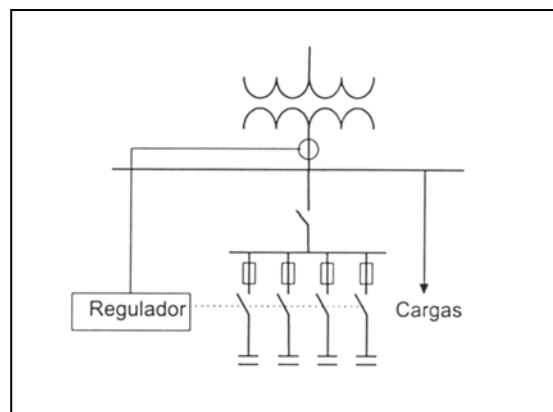


Figura 8.15

Unidad IX

CORRECCIÓN DE FACTOR DE POTENCIA

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo del sector energía es de vital importancia para cualquier país, pues está íntimamente asociado a su capacidad de crecimiento, por lo tanto, la demanda de energía es una respuesta al desarrollo económico que experimenta un país, refleja el deseo de progresar, crecer, avanzar y en esta tarea se consume mayor energía.

Las empresas crecen y su demanda de energía también. La mayoría de los consumidores eléctricos industriales no sólo piden potencia activa sino, también potencia reactiva, que por ejemplo, en el caso de los motores y transformadores se requiere para la potencia de magnetización. El transporte de potencia reactiva es antieconómico puesto que no puede ser transportada en energía utilizable; entonces podemos ahorrar el pago de esta potencia si utilizamos un banco de condensadores, cuya inversión es recuperada en corto tiempo, con lo que ahorraríamos dinero y energía que actualmente podemos estar gastando inútilmente.



Figura 9.1 Banco de condensadores.

2. OBJETIVOS

- Conocer los principios básicos de la corrección del factor de potencia.
- Calcular la potencia de un banco de condensadores.
- Seleccionar el banco de condensadores y el tipo de instalación a efectuar.

3. PRINCIPIOS BÁSICOS

Todas las cargas cuyo principio de funcionamiento está basado en los efectos de campos electromagnéticos (motores, transformadores, lámparas fluorescentes, etc.) consumen energía reactiva indispensable para su funcionamiento.

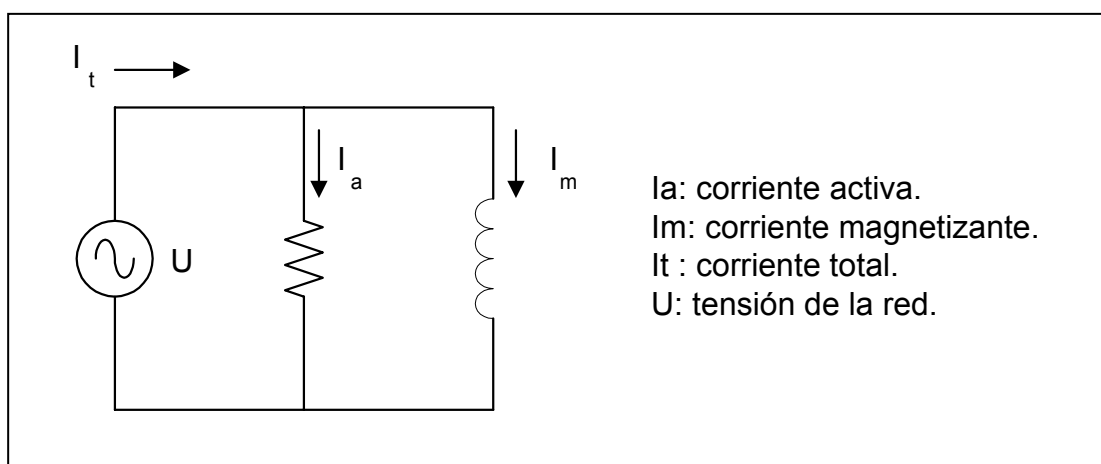


Figura 9.2 Alimentación a una carga reactiva inductiva (motor).

En la Fig. 9.2 se observa una carga reactiva inductiva (motor) que es alimentada por una corriente (I_t), la cual, se divide en dos:

- La corriente activa (I_a), que provoca el trabajo útil.
- La corriente magnetizante (I_m) utilizada para crear el campo magnético.

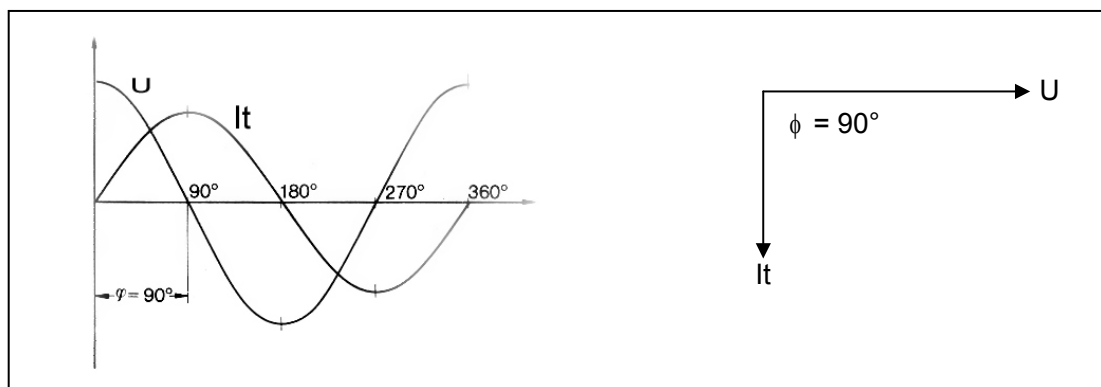


Figura 9.3 Angulo de desfase ϕ entre la tensión U y la corriente I_t

3.1. FACTOR DE POTENCIA

La potencia entregada por un suministro eléctrico se divide en dos partes, una es la potencia útil o activa y la segunda es la potencia reactiva.

La suma de estas dos potencias que entrega el suministro, se denomina potencia aparente.

En forma similar un transportador posee estas tres potencias, la potencia entregada por el transformador se denomina potencia aparente, medida en voltio - amperios (VA) y simbolizada por S.

La potencia transformada en trabajo útil es llamada la potencia activa, medida en vatios o watts (W) y simbolizada por P.

La potencia transformada en campos magnéticos se denomina potencia reactiva, medida en voltio - amperios reactivos (VAR) y simbolizada por Q.

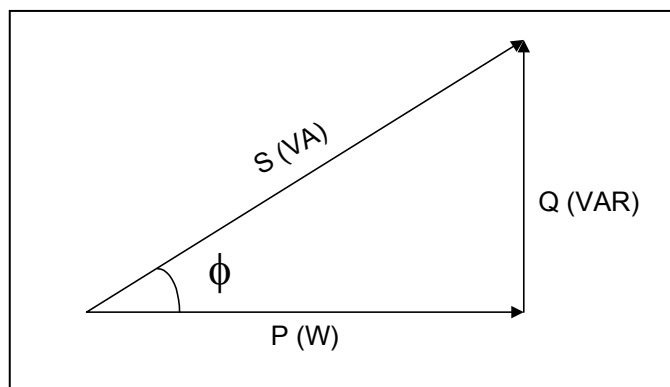


Figura 9.4 Triángulo de potencias.

Generalmente estas potencias se expresan en sus múltiplos, así tenemos para la potencia aparente S en kilovoltio - ampere (KVA), la potencia activa P en kilovatios (KW) y la potencia reactiva Q en kilovatio - ampere reactivos. (KVAR)

Conocido el concepto de las potencias, el factor de potencias, el factor de potencia es definido como el coseno del ángulo ϕ comprendido entre el vector P y el vector S, del triángulo vectorial de potencias de la fig. 6.4, que se expresa por la relación entre la potencia activa y la potencia aparente de un circuito o de una carga.

$$\text{Factor de potencia} = \cos \phi = \frac{P \text{ (KW)}}{S \text{ (KVA)}}$$

El factor de potencia, también se considera como una relación de rendimiento: de la potencia aparente recibida, cuánta potencia activa puedo obtener y este valor depende de la eficiencia del sistema (máquina, planta industrial).

Los capacitores generan energía reactiva de sentido inverso a la consumida en la instalación. La aplicación de estos neutraliza el efecto de las pérdidas por campos magnéticos. Al instalar condensadores, se reduce el consumo total de energía. (activa + reactiva) de lo cual se obtienen varias ventajas.

4. VENTAJAS DE LA CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA

Corregir o mejorar el factor de potencia de una instalación tiene las siguientes ventajas:

4.1. REDUCCIÓN DE LAS CAÍDAS DE TENSIÓN

La instalación de condensadores permite reducir la energía reactiva transportada disminuyendo las caídas de tensión en la línea.

4.2. REDUCCIÓN DE LA SECCIÓN DE LOS CONDUCTORES

Al igual que en el caso anterior la instalación de condensadores permite la reducción de la energía reactiva transportada y en consecuencia es posible, a nivel de proyecto, disminuir la sección de los conductores a instalar.

4.3. DISMINUCIÓN DE LAS PÉRDIDAS

Al igual que en el caso anterior la instalación de condensadores permite reducir las pérdidas por efecto Joule que se produce en los conductores y transformadores.

$$\frac{P_{cu \text{ final}}}{P_{cu \text{ inicial}}} = \frac{\cos^2 \phi_{\text{inicial}}}{\cos^2 \phi_{\text{final}}}$$

P_{cu} = Pérdidas de potencia activa por efecto Joule en el cobre del arrollamiento de los transformadores.

Ejemplo 1:

Calcular la reducción de pérdidas en el cobre en un transformador de 630 KVA, $P_{cu} = 65\,000\text{ W}$ al pasar de $\cos \phi$ inicial = 0,7 a un $\cos \phi$ final = 0,98.

Solución 1:

La reducción de pérdidas estará dada por:

$$\Delta P_{cu} = P_{cu} \text{ inicial} - P_{cu} \text{ final}$$

$$\text{De: } \frac{P_{cu} \text{ final}}{P_{cu} \text{ inicial}} = \frac{\cos^2 \phi \text{ inicial}}{\cos^2 \phi \text{ final}}$$

$$\text{Se obtiene: } P_{cu} \text{ final} = P_{cu} \text{ inicial} \cdot \left(\frac{\cos^2 \phi \text{ inicial}}{\cos^2 \phi \text{ final}} \right)$$

Reemplazando tendremos:

$$\Delta P_{cu} = P_{cu} \text{ inicial} - P_{cu} \text{ inicial} \times \left(\frac{\cos^2 \phi \text{ inicial}}{\cos^2 \phi \text{ final}} \right)$$

$$\Delta P_{cu} = P_{cu} \text{ inicial} \times \left(1 - \frac{\cos^2 \phi \text{ inicial}}{\cos^2 \phi \text{ final}} \right)$$

$$\Delta P_{cu} = 6500 \times \left(1 - \left(\frac{0,7}{0,98} \right)^2 \right)$$

$$\Delta P_{cu} = 3184 \text{ W}$$

4.4. REDUCCIÓN DEL COSTO DE ELECTRICIDAD EVITANDO EL PAGO POR CONSUMO DE ENERGÍA REACTIVA

4.5. AUMENTO DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR PARA ENTREGAR POTENCIA ACTIVA

La penúltima ventaja que se obtiene es de orden económico y mejora los costos operativos de producción.

La última ventaja es aún más atractiva porque aprovechamos una mayor capacidad de la instalación. Para entender de mejor manera haremos un ejemplo sencillo de corrección de factor de potencia.

Ejemplo 2:

Supongamos que tenemos una carga de las siguientes características:

$$P = 100 \text{ KW} \quad Q = 130 \text{ KVAR} \quad U = 440 \text{ V}$$

Del triángulo de potencias, se puede calcular la potencia aparente S.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{100^2 + 130^2} = 164$$

$$S = 164 \text{ KVA}$$

El factor de potencia se obtiene de acuerdo a la definición como:

$$\cos \phi = \frac{P}{S}$$

Entonces: $\cos \phi = \frac{100 \text{ KW}}{164 \text{ KVA}} = 0,6$

Obtenemos un bajo valor de factor de potencia, que se representa en la Fig. 9.5

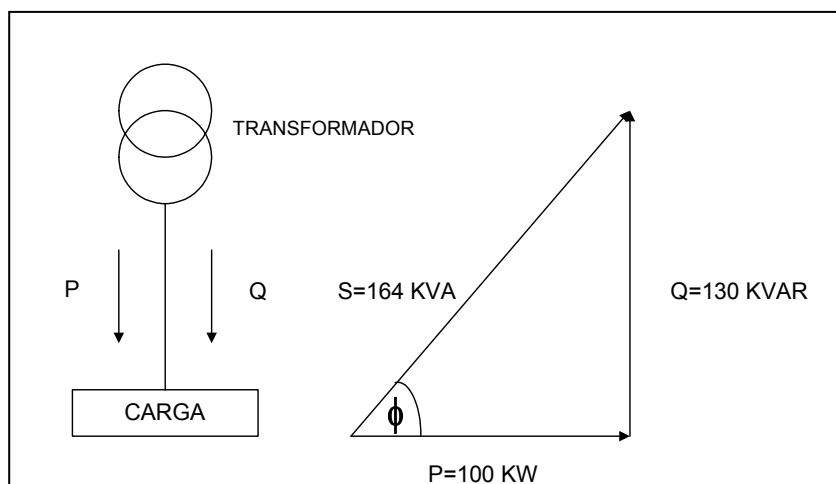


Figura 9.5 Triángulo de potencias ($\cos \phi = 0.6$).

Vamos a analizar el mismo circuito, pero con la corrección del factor de potencia a un valor de 0,96; que supongamos es el exigido como mínimo por la compañía suministradora.

La potencia activa consumida sigue siendo la misma por la carga que se mantiene constante, pero al corregir el factor de potencia tendremos un nuevo valor de potencia aparente, despejando S se tiene:

$$S = \frac{P}{\cos \phi} = \frac{100}{0,96} = 104,17$$

$$S = 104,17 \text{ KVA}$$

Podremos apreciar una notable reducción de consumo de potencia aparente que se traduce en:

- Una mayor potencia aparente S disponible en el transformador.
- Mayor posibilidad de conducción por los alimentadores para posibles ampliaciones.

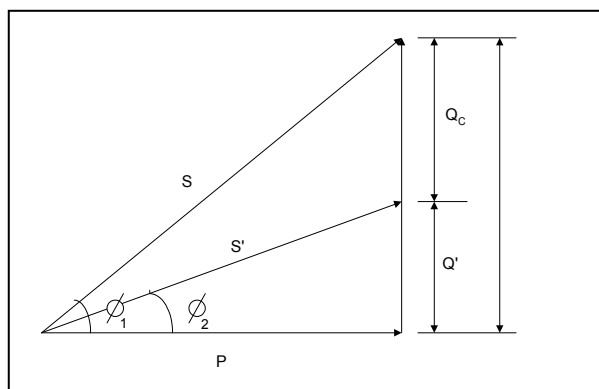


Figura 9.6 Circuito con condensador y triángulo corregido.

De la Fig. 9.6 podemos observar que los condensadores entregan una potencia reactiva Q_c a la carga y que la potencia aparente S' es menor a la potencia aparente inicial S .

En otras palabras, si la potencia aparente del transformador fuera de 160 KVA con un factor de potencia sin compensar ($\cos\phi_1 = 0,6$), tendría: $160 - 164 = -4$ KVA de sobrecarga; en cambio si se corrige a un factor de potencia $\cos\phi_2 = 0,96$ tendría disponible:

$$S^+ = 160 - 104,17 = 55,83 \text{ KVA}$$

5. CÁLCULO DEL FACTOR DE POTENCIA DE UNA INSTALACIÓN

Para el cálculo del factor de potencia de una planta o instalación se tienen dos alternativas: o realizar cálculos teóricos o medir directamente el factor de potencia mediante un analizador de redes.

Claro está que la medición directa es la más cercana a la realidad o al valor real de este factor, teniendo este valor inicial de $\cos\phi_1$ podremos, a través de la fórmula:

$$Q_c = P \times (\operatorname{tg} \phi_1 - \operatorname{tg} \phi_2)$$

Determinar el valor de la potencia reactiva Q_c de nuestro banco de condensadores, para llegar a corregir nuestro factor de potencia a $\cos \phi_2$ (Fig. 9.7), este análisis también se realiza observando las curvas de consumo de potencia reactiva proporcionada por el analizador de redes.

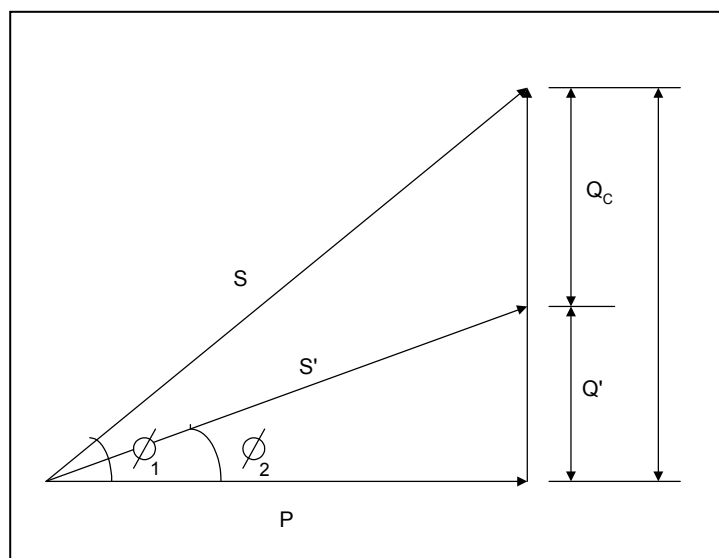


Figura 9.7 Triángulo de potencias corregido.

Donde:

- Q_c : Potencia reactiva proporcionada por el banco de condensadores En KVAR.
- P : Potencia activa de la carga a compensador en KW.
- $\operatorname{Tg} \phi$: Valor de la tangente del ángulo que corresponde al factor de Potencia del circuito (original y deseado).
- S : Potencia aparente original en KVA.
- S' : Potencia aparente como resultado de la corrección del factor de Potencia.
- Q : Potencia reactiva original.
- Q' : Potencia reactiva proporcionada por la fuente de suministro, Luego de la corrección del factor de potencia.

Ejemplo 3:

Tomando los valores del ejemplo 2 tenemos:

$$P: 100 \text{ KW} \quad Q = 130 \text{ KVAR} \quad U = 440 \text{ V}$$

$$\cos \phi_1 (\text{original}) \quad 0,6 \Rightarrow \phi_1 = \arccos 0,6 = 53,93^\circ$$

$$\cos \phi_2 (\text{deseado}) \quad 0,96 \Rightarrow \phi_2 = \arccos 0,96 = 16,26^\circ$$

Luego:

$$\text{tg } \phi_1 = 1,33$$

$$\text{tg } \phi_2 = 0,29$$

Obtenemos el valor del banco de condensadores de la siguiente manera:

$$Q_c = P(\text{tg } \phi_1 - \text{tg } \phi_2)$$

$$Q_c = 100 \text{ KW} (1,33 - 0,29)$$

$$Q_c = 100 \times 1,04$$

$$Q_c = 104 \text{ KVAR}$$

Esto significa que el banco de condensadores deberá tener una potencia de 104 KVAR.

La forma correcta de determinar el valor del banco de condensadores es utilizando un analizador de redes y una forma referencial de conocer factor de potencia de la instalación es tomando la lectura que brinda el recibo de la compañía suministradora, respecto al consumo de energía activa y energía reactiva.

$$\text{tg } \phi = \frac{\text{Energía reactiva (KVAR)}}{\text{Energía activa (KW)}}$$

6. INSTALACIÓN DE CONDENSADORES

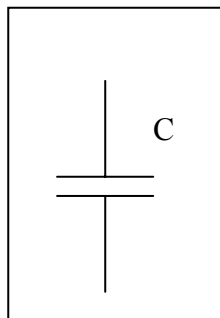


Figura 9.8 Símbolo del Condensador.

Las instalaciones industriales son normalmente trifásicas, por lo que los condensadores a emplearse son también trifásicos, que son tres condensadores monofásicos conectados en triángulo como se muestra en la Fig. 9.9

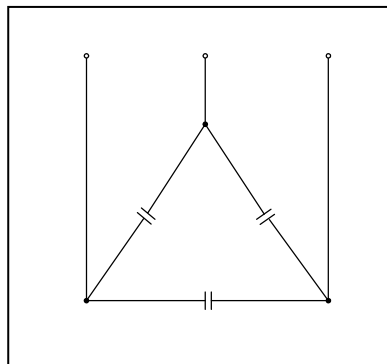


Figura 9.9 Condensador trifásico.

Se utiliza esta conexión porque es la más económica, si la comparamos con la conexión estrella. Para la misma potencia reactiva, los condensadores de la conexión triángulo son de menor capacitancia.

La potencia de un condensador viene dada por:

Monofásica:

$$Q = U^2 \times \omega \times C$$

Donde:

Q: Potencia del condensador en voltio - amperios reactivos (VAR)

U: Tensión aplicada al condensador en voltios (V)

ω : Frecuencia angular ($\omega = 2\pi f$, donde $f = 60$ Hz)

C: Capacidad del condensador en faradios (F)

Por lo general, los condensadores se denominan no por su capacidad sino por su potencia expresada en KVAR.

Trifásico:

$$Q = 3 \times U^2 \times \omega \times C$$

Un condensador destinado a la corrección del factor de potencia de una instalación, se conectará en paralelo con el resto de cargas, pues se trata de una carga más.

El condensador podrá conectarse en diferentes puntos de la instalación. Dependiendo de esta ubicación se obtendrá beneficios en mayor o menor grado. Según el puerto de conexión, esta compensación puede clasificarse en:

- **Compensación individual:** Condensador junta a la carga.
- **Compensación por grupo:** Condensador conectado a un grupo de Cargas.
- **Compensación global:** Condensador conectado en el origen de la Instalación (barra principal) para la compensación en conjunto.

6.1. COMPENSACIÓN GLOBAL

Se denomina global ya que el banco de condensadores se instala agrupando su efecto sobre el total de las cargas alimentadas por la barra principal, como se pueden apreciar en la Fig. 9.10.

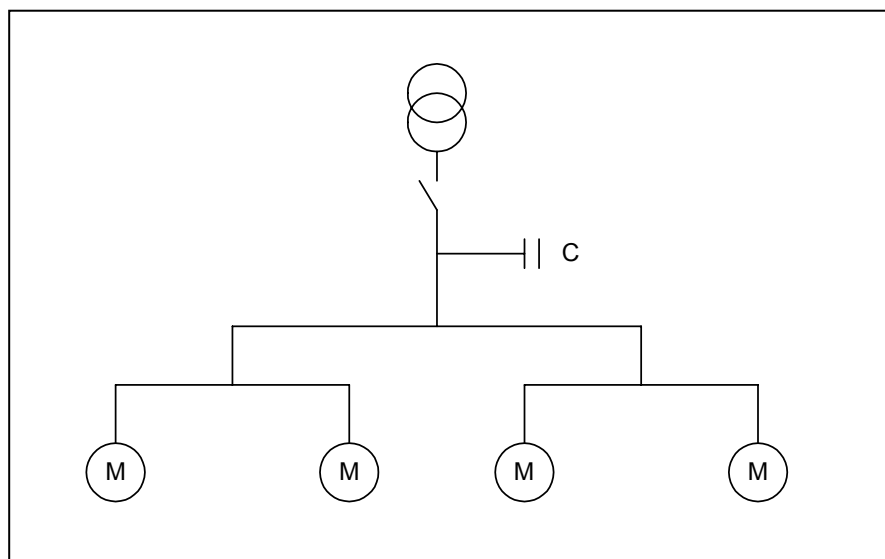


Figura 9.10 Compensación global.

Ventajas:

- Suprime los recargos por consumo de energía reactiva.
- Aumenta la potencia disponible de la fuente de alimentación.
- Es de fácil mantenimiento.
- Sencillo de instalar y económico pues se trata de un solo equipo.

Desventajas:

- No se disminuyen las pérdidas de disipación en los conductores.

6.2. COMPENSACIÓN GRUPAL

Se denomina así porque los condensadores se instalan en barras que alimentan cargas agrupadas, por ejemplo plantas que tienen sus tableros de control de motores (Centro de Control de Motores: CCM), separados entre sí como se muestra en la Fig. 9.11.

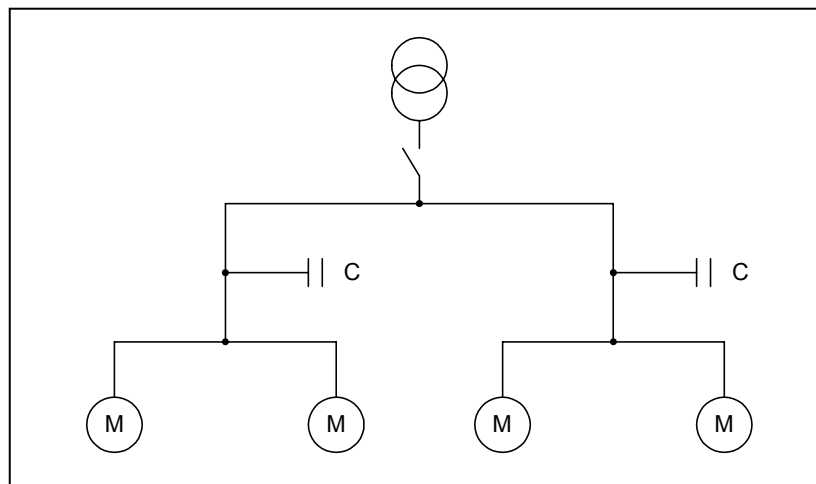


Figura 9.11 Compensación grupal.

Ventajas:

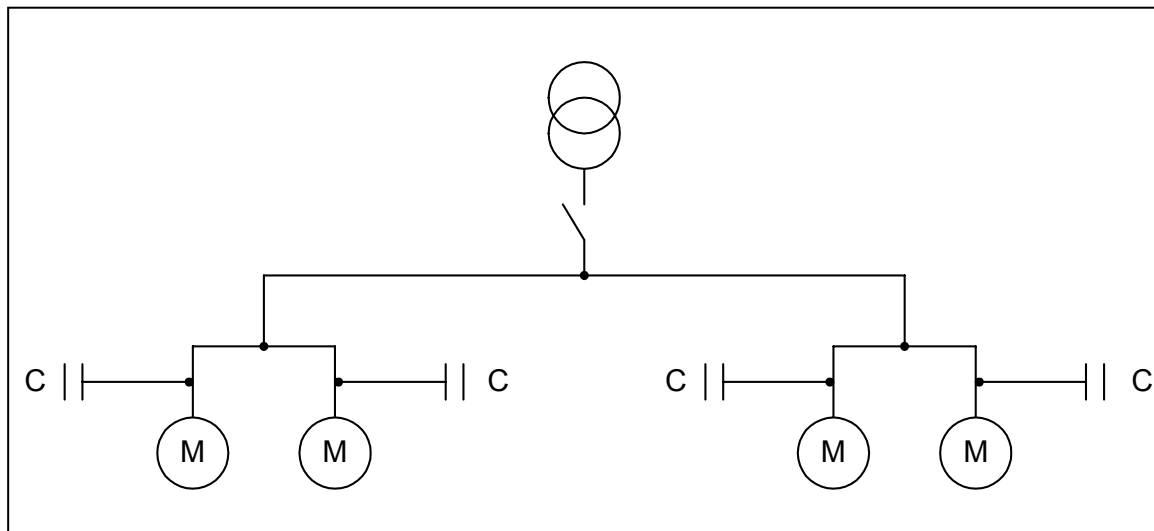
- Suprime los recargos por consumo de energía reactiva.
- Aumenta la potencia disponible de la fuente de alimentación.
- Reduce la corriente (o potencia) transportada por los cables alimentadores principales y por lo tanto, reduce las pérdidas de los mismos.

Desventajas:

- La potencia reactiva circula "aguas abajo" de la posición de los condensadores (fig. 9.11).
- Se debe instalar un banco de condensadores por cada tablero.
- Generalmente, si las cargas tienen un comportamiento irregular se instala un equipo regulador automático.

6.3. COMPENSACIÓN INDIVIDUAL O LOCAL

En este caso se conectan los condensadores en paralelo con cada carga. La Fig. 9.12 muestra la posición de cada condensador.

**Figura 9.12 Compensación local.**

Ventajas:

- Suprime las recargas por un exceso en el consumo de energía.
- Se optimiza la instalación pues la potencia reactiva no circula por la misma, al ser abastecida en el mismo lugar de instalación de la carga.
- Mejora los niveles de tensión.
- Reducción de las pérdidas en los alimentadores principales y sub-alimentadores.
- Alivio de los aparatos de maniobra y protección (interruptores, contactores, relés térmicos, etc.) pues trabajan con una menor corriente que antes de ser compensado el sistema.

Desventajas:

- Aumenta el costo de la instalación al necesitarse un banco fijo por cada carga.

Como hemos visto, cada modo de instalación tiene sus beneficios y limitaciones; la elección de uno no impide la utilización de los otros modos dentro de una misma instalación, puede por ejemplo realizar una compensación global en la planta e individual en cargas importantes como motores de gran potencia. Todo depende del tipo de instalación y de las exigencias.

7. ELECCIÓN DE UN BANCO DE CONDENSADORES

Una vez decidida la instalación de un banco de condensadores se debe proceder a la elección y el cálculo de la misma y se deben tomar en cuenta los siguientes criterios:

- Objetivos de la compensación, es decir, si solamente es para eliminar el recargo, optimizar la instalación o ambos y con ellos decidir el modo de compensación.
- Tipo de compensación:
 - Fija.
 - Automática.
- Factor económico.
- Características de la instalación.
- Variación del factor de potencia de la instalación durante el funcionamiento de la misma.

7.1. COMPENSACIÓN FIJA

Consta de un banco de condensadores cuya potencia reactiva permanece constante (Fig. 9.13) y cuyo funcionamiento puede ser manual (mando por interruptor), semiautomático (mando por contactores) o directo (conectado directamente a los bornes de la carga). Se los puede utilizar en compensación grupal, en los que no haya grandes variaciones de potencia reactiva.



Figura 9.13 Compensación fija.

7.2. COMPENSACIÓN AUTOMÁTICA

Consta de un conjunto de baterías de condensadores de potencia unitaria y suministra la potencia reactiva según varía el factor de potencia (Fig. 9.14). En mando de conexión y desconexión está dado por un regulador automático (relé de control varimétrico), el cual mide la potencia reactiva de la instalación.

El comando de los condensadores se efectúa a través de contactores protegidos por "bobinas de choque" o diseñados para la conmutación de condensadores (generalmente llamados pasos o escalones), estos escalones son de la misma potencia.

Para bancos correctores del factor de potencia se recomienda instalar una bobina de ligazón ("bobina de choque") entre el juego de barras y cada condensador para limitar las sobrentensidades de conexión. Dicha bobina se puede obtener haciendo espiras con ayuda de los mismos cables, de 14 cm de diámetro.

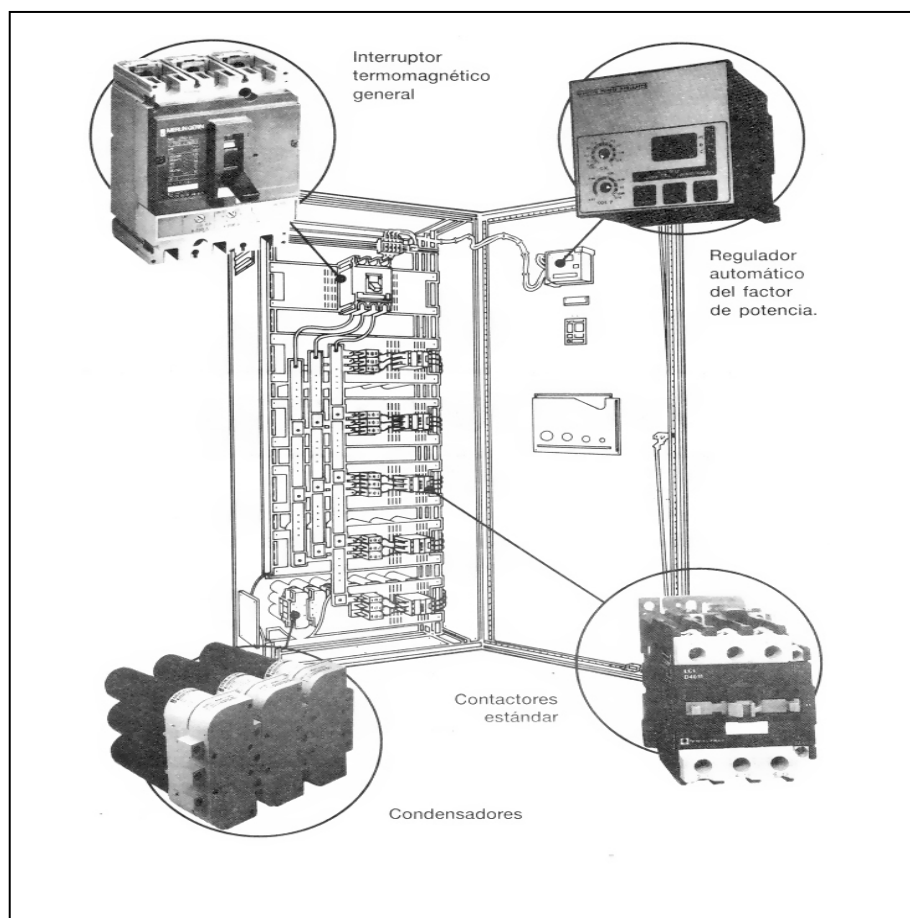


Figura 9.14 Banco de condensadores.

8. CÁLCULO PRÁCTICO DE LA POTENCIA DE UN BANCO DE CONDENSADORES

En función del $\cos\phi$ de la instalación antes y después de la corrección, la tabla 1 nos da un coeficiente a multiplicar por la potencia activa para encontrar la potencia en KVAR del banco de condensadores a instalar.

Ejemplo 4:

Para una instalación con 200 KW de potencia activa y factor de potencia 0,7; el condensador o banco de condensadores recomendado para incrementar el factor de potencia hasta 0,95 es: $0,657 \times 200 = 131,4$ KVAR.

Instalación sin condensador		Potencia del condensador en KVAR por KW de carga para elevar el factor de potencia Cos ϕ a:												
tg ϕ	Cos ϕ	0,80	0,85	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1
2.26	0.40	1.557	1.668	1.805	1.832	1.861	1.895	1.924	1.959	1.998	2.037	2.035	2.146	2.288
2.23	0.41	1.474	1.605	1.742	1.769	1.798	1.831	1.860	1.896	1.935	1.973	2.021	2.082	2.225
2.16	0.42	1.413	1.544	1.681	1.709	1.738	1.771	1.800	1.836	1.874	1.913	1.961	2.022	2.164
2.09	0.43	1.356	1.487	1.624	1.651	1.680	1.713	1.742	1.778	1.816	1.855	1.903	1.964	2.107
2.03	0.44	1.290	1.421	1.558	1.585	1.614	1.647	1.677	1.712	1.751	1.790	1.837	1.890	2.041
1.99	0.45	1.230	1.360	1.501	1.532	1.561	1.592	1.626	1.659	1.695	1.737	1.784	1.845	1.988
1.93	0.46	1.179	1.309	1.446	1.473	1.502	1.533	1.567	1.600	1.636	1.677	1.725	1.786	1.929
1.88	0.47	1.130	1.260	1.397	1.425	1.454	1.485	1.519	1.532	1.583	1.629	1.677	1.753	1.881
1.86	0.48	1.076	1.206	1.343	1.370	1.400	1.430	1.464	1.497	1.534	1.575	1.623	1.684	1.826
1.78	0.49	1.030	1.160	1.297	1.326	1.355	1.385	1.420	1.453	1.489	1.530	1.578	1.639	1.782
1.73	0.50	0.982	1.112	1.248	1.276	1.303	1.337	1.369	1.403	1.441	1.481	1.529	1.590	1.732
1.68	0.51	0.936	1.066	1.202	1.230	1.257	1.291	1.323	1.357	1.395	1.435	1.483	1.544	1.656
1.64	0.52	0.894	1.024	1.160	1.188	1.215	1.249	1.281	1.315	1.353	1.393	1.441	1.502	1.644
1.60	0.53	0.850	0.980	1.116	1.144	1.171	1.205	1.237	1.271	1.309	1.349	1.397	1.458	1.600
1.56	0.54	0.809	0.939	1.075	1.103	1.130	1.164	1.196	1.230	1.268	1.308	1.358	1.417	1.559
1.52	0.55	0.769	0.899	1.035	1.063	1.090	1.124	1.156	1.190	1.228	1.265	1.316	1.377	1.519
1.48	0.56	0.730	0.865	0.996	1.024	1.051	1.085	1.117	1.151	1.189	1.229	1.277	1.338	1.480
1.44	0.57	0.692	0.822	0.958	0.986	1.013	1.047	1.079	1.113	1.151	1.191	1.239	1.300	1.442
1.40	0.58	0.665	0.785	0.921	0.949	0.976	1.010	1.042	1.076	1.114	1.154	1.202	1.263	1.405
1.36	0.59	0.618	0.748	0.884	0.912	0.939	0.973	1.005	1.039	1.077	1.117	1.165	1.226	1.368
1.33	0.60	0.584	0.714	0.849	0.878	0.905	0.939	0.971	1.005	1.043	1.083	1.131	1.192	1.334
1.29	0.61	0.549	0.679	0.815	0.843	0.870	0.904	0.936	0.970	1.005	1.048	1.096	1.157	1.299
1.26	0.62	0.515	0.645	0.781	0.809	0.836	0.870	0.902	0.936	0.974	1.014	1.062	1.123	1.265
1.23	0.63	0.483	0.613	0.749	0.777	0.804	0.838	0.870	0.904	0.942	0.982	1.030	1.091	1.233
1.20	0.64	0.450	0.580	0.716	0.744	0.771	0.805	0.837	0.871	0.909	0.949	0.997	1.058	1.200
1.17	0.65	0.419	0.549	0.685	0.713	0.740	0.774	0.806	0.840	0.878	0.918	0.956	1.007	1.169
1.14	0.66	0.388	0.518	0.654	0.682	0.709	0.743	0.775	0.809	0.847	0.887	0.935	0.996	1.138
1.10	0.67	0.358	0.488	0.624	0.652	0.679	0.713	0.745	0.779	0.817	0.857	0.905	0.965	1.106
1.07	0.68	0.329	0.459	0.595	0.623	0.650	0.684	0.716	0.750	0.788	0.828	0.876	0.937	1.079
1.05	0.69	0.299	0.429	0.565	0.593	0.620	0.654	0.686	0.720	0.758	0.798	0.840	0.907	1.049
1.02	0.70	0.270	0.400	0.538	0.564	0.591	0.625	0.657	0.691	0.729	0.768	0.811	0.878	1.020
0.99	0.71	0.242	0.372	0.508	0.536	0.563	0.597	0.629	0.663	0.701	0.741	0.783	0.850	0.992
0.96	0.72	0.213	0.343	0.479	0.507	0.534	0.568	0.600	0.634	0.672	0.712	0.754	0.821	0.963
0.94	0.73	0.186	0.316	0.452	0.480	0.507	0.541	0.573	0.607	0.645	0.685	0.727	0.794	0.936
0.90	0.74	0.159	0.289	0.425	0.453	0.480	0.514	0.546	0.580	0.618	0.658	0.700	0.767	0.909
0.88	0.75	0.132	0.262	0.398	0.426	0.453	0.487	0.519	0.553	0.601	0.631	0.673	0.740	0.882
0.85	0.76	0.105	0.235	0.371	0.399	0.426	0.460	0.492	0.526	0.564	0.604	0.652	0.713	0.855
0.83	0.77	0.079	0.209	0.345	0.373	0.400	0.434	0.466	0.500	0.538	0.578	0.620	0.687	0.829
0.80	0.78	0.053	0.183	0.319	0.347	0.374	0.408	0.440	0.474	0.512	0.552	0.594	0.661	0.803
0.78	0.79	0.026	0.156	0.292	0.320	0.347	0.381	0.413	0.447	0.485	0.525	0.567	0.634	0.776
0.75	0.80	-	0.130	0.266	0.294	0.321	0.355	0.387	0.421	0.459	0.499	0.541	0.608	0.750
0.72	0.81	-	0.104	0.240	0.268	0.295	0.329	0.361	0.395	0.433	0.473	0.515	0.582	0.724
0.70	0.82	-	0.078	0.214	0.242	0.269	0.303	0.335	0.369	0.407	0.447	0.489	0.556	0.698
0.67	0.83	-	0.052	0.188	0.216	0.243	0.277	0.309	0.343	0.381	0.421	0.463	0.530	0.672
0.64	0.84	-	0.026	0.162	0.190	0.217	0.251	0.283	0.317	0.355	0.395	0.437	0.504	0.645
0.62	0.85	-	-	0.136	0.164	0.191	0.225	0.257	0.291	0.329	0.369	0.417	0.478	0.620
0.59	0.86	-	-	0.109	0.140	0.167	0.198	0.230	0.264	0.301	0.343	0.390	0.450	0.593
0.57	0.87	-	-	0.083	0.114	0.141	0.172	0.204	0.238	0.275	0.317	0.364	0.424	0.567
0.54	0.88	-	-	0.054	0.085	0.112	0.143	0.175	0.209	0.246	0.288	0.335	0.395	0.538

Corrección del factor de potencia.

Unidad X

PROTECCIÓN DE SISTEMAS ELÉCTRICOS

1. GENERALIDADES

Pese al cuidado que se observe en la fabricación de los elementos de servicio y posteriormente en su instalación, tarde o temprano envejecen, es decir, no soportan las cargas eléctricas o mecánicas para los que fueron proyectados. En tal caso, ya no pueden cumplir con su misión y, en consecuencia, pueden presentarse:

1. Cortocircuitos,
2. Contactos a tierra, o
3. Contactos a masa.

En el caso de un **cortocircuito o contacto a tierra** directo, la unión conductiva entre conductores bajo tensión de servicio, o bien entre un conductor de fase o un conductor neutro debidamente aislado y tierra o partes conectadas a tierra, resulta prácticamente sin resistencia.

Cuando las resistencias de la tubería o toma de tierra, la de defecto y la de contacto a tierra, no son demasiado elevadas, la corriente de cortocircuito o bien la de puesta a tierra, resulta tan elevada, que hay que prever la rápida desconexión del circuito mediante órganos de protección contra sobrecorrientes de corriente dispuestos en el circuito.

Si, por el contrario, las resistencias de defecto y las restantes resistencias del circuito de corriente son elevadas, en tal caso persiste la corriente de defecto. Incluso corrientes de defecto despreciables, que comienzan manifestándose por corrientes de fuga, pueden degenerar en verdaderos arcos voltaicos, cortocircuitos propiamente dichos o bien en contactos a tierra. Todo ello resulta especialmente peligroso cuando en las proximidades se hallan materias inflamables o de fácil combustión.

Contacto a masa es la unión conductiva entre piezas conductoras no pertenecientes al circuito de servicio (masas o piezas inactivas) y piezas de elementos de servicio (piezas activas) sometidas a la tensión propia del servicio.

Se forman así tensiones **de defecto** y, en consecuencia, **tensiones de contacto**. Ambas pueden presentarse en líneas tetrafilares entre el conductor neutro y tierra o entre el conductor de fase y tierra, tal como puede apreciarse en la figura 1. Sus valores dependen del lugar en el que se produzca el defecto y el grado de efectividad con que influyan las resistencias efectiva (útil) y de defecto, conjuntamente con las resistencias restantes del circuito. La suma de todas las resistencias, determina el valor de la **corriente de defecto**.

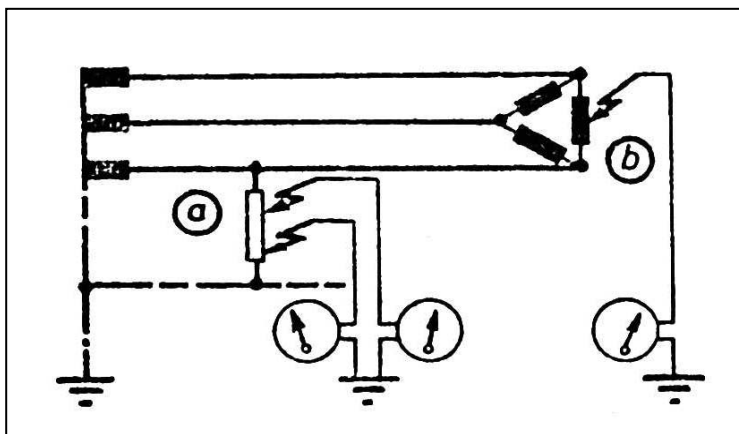


Figura 10.1 Posibles tensiones de defecto y de contacto en una red de 380/220 V.

- Entre 0 V y 220 V
- Entre 110 V y 220 V

Conectando la carga entre conductores de fase y neutro, la tensión de defecto y la de contacto oscilan, según sea el valor de la resistencia de defecto, entre 0 V y la tensión del conductor de fase con respecto a tierra; si la carga se conecta entre dos conductores de fase, aquellas tensiones son de 220 V (Figura N° 10.1).

2. TENSIÓN DE EFECTO (U_F)

Es la tensión que se origina al presentarse una avería entre las piezas conductoras accesibles al contacto, que no forman parte del circuito de servicio, o entre éstas y la tierra de referencia.

En la figura 2 se ilustra claramente la tensión de defecto U_F originada por una tensión debida a una avería entre una pieza conductiva no perteneciente al circuito de servicio.

- Y la tierra de referencia,
- Y la tubería de agua o
- Entre otra pieza conductiva que también puede hallarse en contacto con el lugar de la avería.

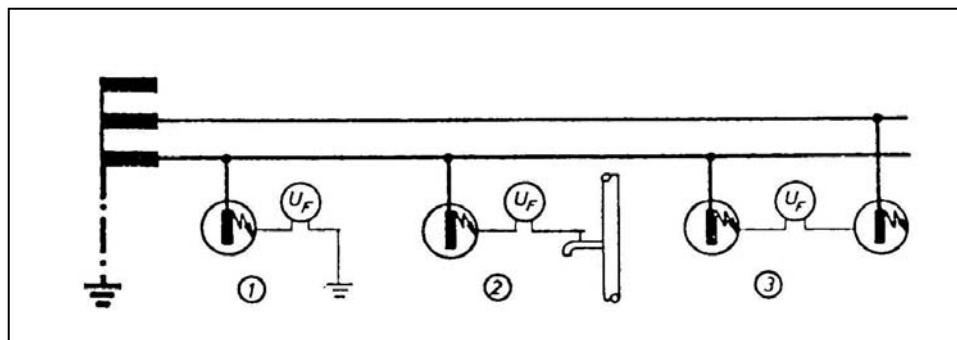


Figura 10.2 Tensiones de defecto. Izquierda: entre una masa y tierra. Centro: entre una masa y la tubería de agua. Derecha: entre dos masas.

3. TENSIÓN DE CONTACTO U_N

Es la tensión que durante un defecto puede resultar aplicada entre la mano y el pie de una persona, que toque con aquella una masa o elemento metálico, normalmente sin tensión (figura 10.3).

Ejemplo: De la figura 3 resulta que a una tensión de red $U_{red} = 220 \text{ V}$ y

$$\begin{aligned}
 R_{red} &= R_N = 0.5 \, \Omega \\
 R_{defecto} &= R_F = 7.5 \, \Omega \\
 R_{persona} &= R_M = 2000 \, \Omega \\
 R_{emplazamiento} &= R_{St} = 990 \, \Omega \\
 R_{tierra \text{ de servicio}} &= R_{Bet} = \underline{2 \, \Omega} \\
 R &= 3000 \, \Omega
 \end{aligned}$$

Resulta una corriente de defecto y una tensión de contacto de:

$$U_n = 0,0733 \text{ A} \cdot 2000 \, \Omega = 147 \text{ V}.$$

En la figura 10.4 se ilustra la diferencia entre las tensiones de defecto y de contacto. La resistencia de emplazamiento R_{St} representada, hay que considerar que puede ser determinada. (Figura N° 10.5).

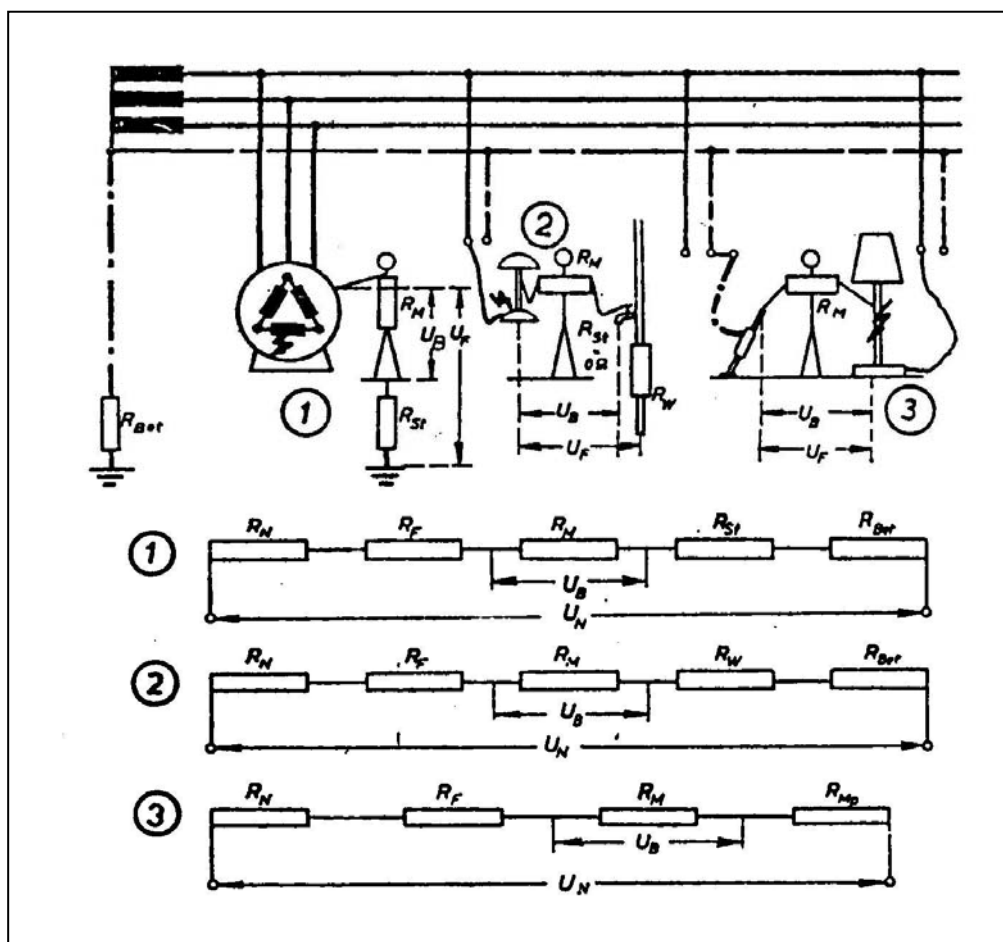


Figura 10.3 Tensiones de contacto.

- Entre masa y tierra
- Entre masa y la tubería de agua
- Entre dos masas
- Abajo: esquemas de conexiones equivalentes a los casos 1), 2) y 3).

4. RESISTENCIA DE EMPLAZAMIENTO

Para determinar el valor de esta resistencia en las distintas clases de pisos y revestimientos de pisos en redes con punto neutro puesto a tierra, se cubrirá el piso, en el lugar en que deba efectuarse la medición, con una tela húmeda de 27 x 27 cm, sobre la cual se colocará una chapa metálica de 24 x 24 cm, con objeto de lograr una uniforme transmisión de la presión, y encima una placa de madera de estas mismas dimensiones. El conjunto así dispuesto se cargará con un peso de unos 75 kg. que equivale, aproximadamente al de una persona adulta.

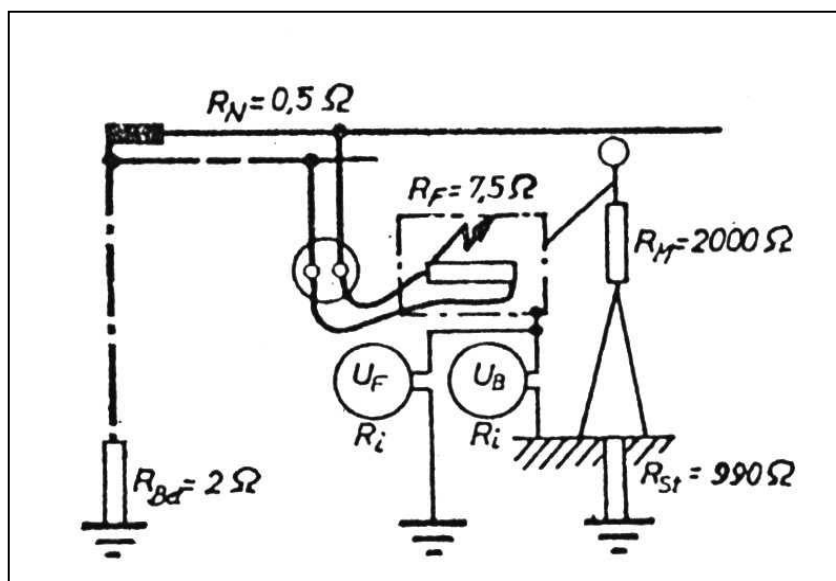


Figura 10.4 Tensión de defecto U_F entre carcasa y tierra. Tensión de contacto U_n entre carcasa y la superficie del suelo.

Para el cálculo siguiente, despreciamos las resistencias R_N y R_{Bet} por su reducida magnitud en comparación con la resistencia de emplazamiento R_{St} . Del esquema de conexiones de la figura 5 resulta, pues, que: I es del mismo valor para U_1 y U_2 . Luego:

$$U_1 = I \cdot R_1 + I \cdot R_{st}; \text{ además } U_2 = I \cdot R_1.$$

Dividiendo la primera igualdad por la segunda:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I \cdot (R_1 + R_{st})}{I \cdot R_1}$$

Eliminando I :

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1 + R_{st}}{R_1}$$

El denominador R_1 se pasa al otro miembro de la igualdad y además se procede a la permutación de ambos miembros de la igualdad, resultado así:

$$R_1 + R_{st} = R_1 \cdot \frac{U_1}{U_2}$$

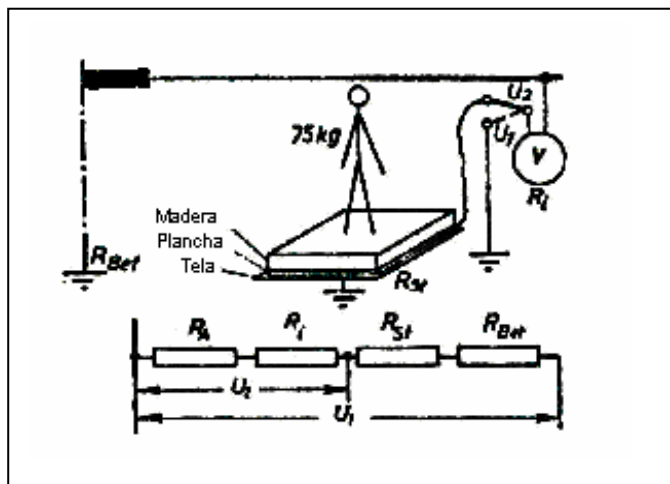


Figura 10.5 Medición de la resistencia de emplazamiento.

R_A = Resistencia del conductor de fase

R_1 = Resistencia del voltímetro = $3000 \, \Omega$

R_{St} = Resistencia de emplazamiento

R_{Bet} = Resistencia de tierra en el transformador

R_N = Resistencia de la red

y pasando R_1 de un miembro al otro:

$$R_{St} = R_1 \cdot \frac{U_1}{U_2} - R_1$$

Sacando factor común a R_1 :

$$R_{St} = R_1 \cdot \left(\frac{U_1}{U_2} - 1 \right)$$

Esta es la fórmula para el cálculo de la resistencia de emplazamiento o resistencia del suelo con los valores de la figura 10.5.

El mismo resultado se obtiene con la bien conocida fórmula:

$$R_{St} = R_1 \cdot \frac{U_1 - U_2}{U_2}$$

Si el punto neutro no está puesto a tierra, hay que crearlo para este cálculo. Para ello se conecta a tierra, por ejemplo, el segundo polo de la base de enchufe que se utilice para la medición.

Para otros valores de la resistencia interna, hay que conectar en paralelo al voltímetro, una resistencia

$$R = \frac{3000 \cdot R_1}{R_1 - 3000}$$

5. RESISTENCIA DE DEFECTO

La resistencia de defecto puede ser muy elevada, pero también tan reducida que deje de ser considerada como de defecto, y se tome como simple resistencia de derivación. La tensión de defecto puede reconocerse según el esquema de conexiones de la figura 10.6, como caída de tensión producida por la corriente de defecto I_y en su paso por la conexión en serie de las resistencias $R_M \cdot R_{\text{calzado}}$ (R_{Sch}) y R_{St} . La citada tensión de defecto puede medirse con suficiente exactitud mediante un voltímetro de gran resistencia interna ($\geq 40 \text{ k}\Omega$).

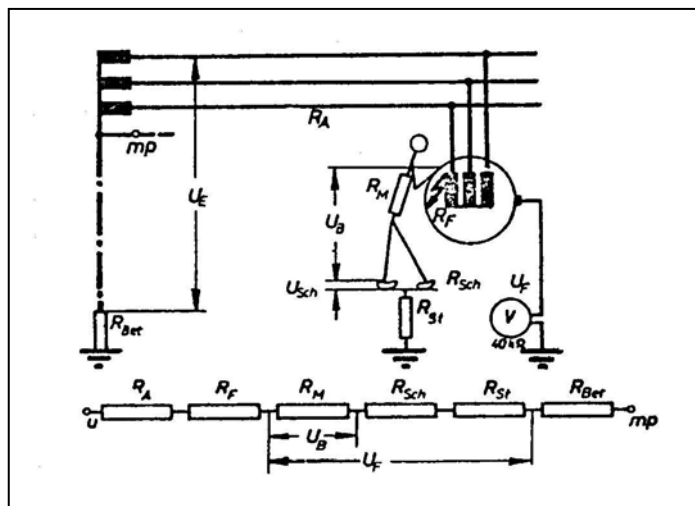


Figura 10.6 Cálculo de las tensiones de defecto y de contacto.

La tensión de contacto U_n se produce al circular la corriente de defecto I_F por la resistencia R_M , siendo igual a la caída de tensión producida por el cuerpo humano, teniéndose en cuenta la resistencia del calzado. Por regla general, sin embargo, esta última no suele tenerse en cuenta, considerándose a la persona descalza sobre el suelo.

6. RESISTENCIA DE LA PERSONA

El factor decisivo para el calambre muscular, es el valor de la corriente que pase por el músculo, como en el caso de tensiones de hasta 1000 V. La intensidad de corriente depende de la tensión existente entre los lugares o puntos de entrada y de salida de la corriente. En consecuencia, hay que procurar que la tensión sea lo más reducida posible y, por tanto, también la intensidad de la corriente.

Ejemplo:

$$R_M = 1300 \, \Omega$$

Otras resistencias en el Circuito de corriente: $R = 1000 \, \Omega$

$$R_M + R = R_{\text{total}} = 2300 \, \Omega$$

La corriente de defecto (igual a la de contacto en este caso) es:

$$I_F = \frac{220 \, \text{V}}{2300 \, \Omega} = 0,096 \, \text{A}$$

Valor por encima del valor límite admisible 0,05 A.

La tensión de contacto resulta igual a:

$$U_n = I_F \cdot R_M = 0,096 \, \text{A} \cdot 1300 \, \Omega = 124 \, \text{V}$$

Que también rebasa el límite admisible de 65 V.

Si la tensión de contacto fuera de 65 V, suponiendo una resistencia de cuerpo de $1300 \, \Omega$, la corriente que pasaría por la persona, sería de

$$I_M = \frac{65 \, \text{V}}{1300 \, \Omega} = 50 \, \text{mA}$$

Estos 50 mA y 65 V son los valores básicos que citan las normas VDE.

A una resistencia de la persona de $3000 \, \Omega$, con manos y pies secos, y 65 V de tensión de contacto, le corresponde una intensidad de corriente de

$$I_M = \frac{65 \, \text{V}}{3000 \, \Omega} = 0,0217 \, \text{A}$$

Lo que demuestra que el límite de 65 V, en el caso más desfavorable ($1300 \, \Omega$, de resistencia del cuerpo), todavía proporciona una protección suficiente y a $3000 \, \Omega$ de resistencia, una seguridad relativamente elevada.

La figura 10.7 muestra una persona sometida a la tensión de contacto entre la plancha eléctrica y la tubería de agua. La tensión de defecto tiene que ser igual a la mostrada en la figura 10.4. Sin embargo, la tensión de contacto de la figura 10.7 es mucho más elevada que en la 4, debido al reducido valor de la resistencia entre el grifo del agua y la tierra de servicio.

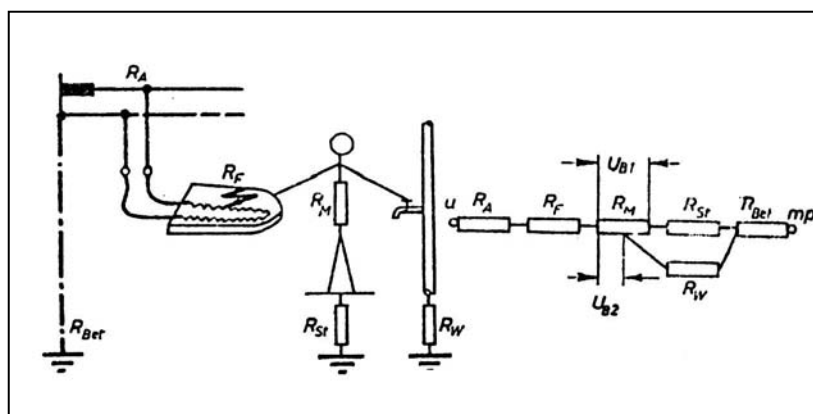


Figura 10.7 Tensión de contacto entre una plancha eléctrica y la tubería de agua.

En cambio, en la figura 10.4, la resistencia de las partes del edificio entre el lugar de emplazamiento de la persona y la tierra, es mucho mayor. Una resistencia reducida produce una caída de tensión pequeña, y una resistencia elevada tiene por consecuencia una gran caída de tensión. Por tanto, en la conducción de agua se forma sólo una caída de tensión reducida, mientras que en el cuerpo de la persona dicha caída es elevada e igual a la tensión de contacto.

En el esquema de conexiones de la figura 10.7 puede verse que la corriente se bifurca en la persona, formándose dos tensiones de contacto distintas, U_{B1} y U_{B2} . La primera de ellas es la tensión de contacto entre la plancha eléctrica y el lugar de emplazamiento, siendo la segunda (U_{B2}) la tensión de contacto entre la plancha eléctrica y la tubería de agua.

7. DETERMINACIÓN DE LA TENSIÓN DE CONTACTO

Si, tal como se prevé se mide la tensión de contacto con un voltímetro de 3000 Ω de resistencia interna, no se considera el caso más desfavorable, sino que se supone que la persona tiene la piel seca y sin heridas, pero los pies desnudos.

En realidad, la tensión de contacto sólo puede determinarse de un modo aproximado con un voltímetro de $3000\ \Omega$ de resistencia interna. El valor de dicha tensión depende de la resistencia del cuerpo, que es un factor muy variable, incluso en una misma persona, y de la corriente de defecto que pase por el cuerpo. La tensión de contacto puede calcularse, sin embargo, en base a los ejemplos que siguen.

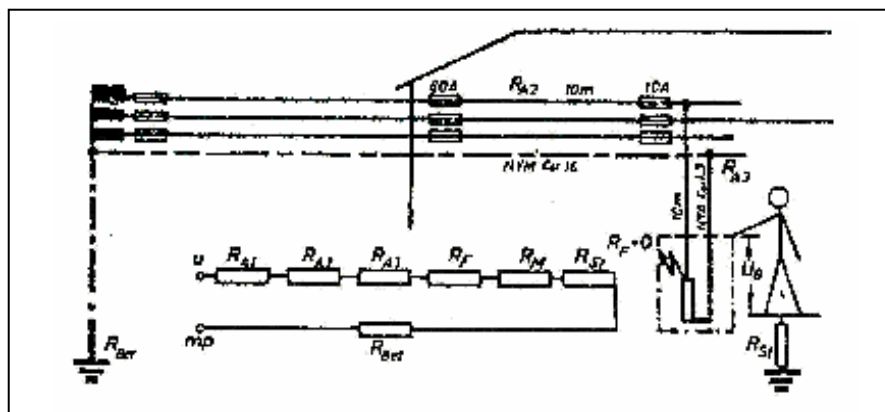


Figura 10.8 Cortocircuito franco entre el conductor activo y la masa del elemento consumidor (carga). Sin medidas de protección.

Ejemplo 1:

En un receptor se forma un cortocircuito franco, cuya resistencia R_F es igual a 0Ω (Figura N° 10.8).

La resistencia del conductor de fase de la red exterior R es

$$R_A = \frac{I}{K \cdot A} = \frac{230}{56 \cdot 50} = 0,082 \, \Omega.$$

En este cálculo sólo se ha considerado la resistencia del conductor activo desde el transformador hasta la acometida de la casa, pero debe tenerse en cuenta que en realidad debe tomarse de resistencia R_{A1} correspondiente a la línea exterior, más R_{A2} correspondiente a la línea interior desde la acometida hasta la conexión de la línea individual del receptor, más R_{A3} , resistencia de esta línea.

$$R_A = R_{A1} + R_{A2} + R_{A3}$$

En los 3 ejemplos de este párrafo, podría despreciarse la resistencia del conductor activo por ser muy reducida en comparación con las otras resistencias. La resistencia del cuerpo humano R_M se supone, como ya se dijo, de $3000\ \Omega$ (piel seca). Para la resistencia de emplazamiento R_{St} se toma un valor de $50\ k\Omega$ (suelo no conductor). La resistencia de tierra R_{Bet} se ha supuesto $2\ \Omega$. En tales circunstancias, la resistencia total en el circuito que comprende el cuerpo de la persona es, si se desprecian las resistencias de los arrollamientos del

transformador, la inductiva de la instalación (sumamente reducida), las de los conductores internos y las de las cargas, igual a:

$$\begin{aligned} R_{\text{total}} &= R_A + R_F + R_M + R_{St} + R_{Bet} \\ R_{\text{total}} &= 0.082 \, \Omega + 0 \, \Omega + 3000 \, \Omega + 50\,000 \, \Omega + 2 \, \Omega \\ R_{\text{total}} &= 53002,082 \, \Omega \approx 53\,000 \, \Omega. \end{aligned}$$

La intensidad de la corriente de defecto I_V , en el circuito que comprende la persona, es igual a:

$$I_F = U : R_{\text{total}} = 220 \, \text{V} : 53\,000 \, \Omega = 0,004 \, \text{A}$$

La tensión de contacto

$$U_n = I \cdot R_M = 0,004 \, \text{A} \cdot 3000 \, \Omega = 12 \, \text{V}$$

Valor éste que no constituye ningún peligro por ser sólo de 12 V. La reducida tensión de contacto es debida a la elevada resistencia del suelo no conductor.

Ejemplo 2:

Cuando el suelo no pueda considerarse como no conductor (húmedo o de terrazo), por ser la resistencia de emplazamiento $R_{St} = 1200 \, \Omega$, la resistencia total de todo el circuito que comprende el cuerpo de la persona para las figuras 6 y 8 (si no se adopta ninguna medida de protección), será:

$$\begin{aligned} R_{\text{total}} &= R_A + R_F + R_M + R_{St} + R_{Bet} \\ R_{\text{total}} &= 0.082 \, \Omega + 0 \, \Omega + 3000 \, \Omega + 1200 \, \Omega + 2 \, \Omega \\ R_{\text{total}} &= 4202,082 \, \Omega \approx 4200 \, \Omega. \end{aligned}$$

La corriente de defecto,

$$I_F = U : R_{\text{total}} = 220 \, \text{V} : 4200 \, \Omega = 0,052 \, \text{A}$$

Y la tensión de contacto,

$$U_n = 0,052 \, \text{A} \cdot 3000 \, \Omega = 156 \, \text{V}.$$

La tensión de contacto es peligrosa por ser mayor de 65 V, debido a la falta de aislamiento del piso.

Ejemplo 3:

Si la persona toca simultáneamente la plancha eléctrica y la tubería de agua (Figura N° 10.7), estableciendo un puente entre estos dos puntos y en el supuesto de que el piso pueda clasificarse como no conductor, según el esquema de la figura 10.9, resultará que

$$\begin{aligned} R_{\text{total}} &= R_A + R_F + R_M + R_{St} + R_{Ber} \\ R_{\text{total}} &= 0,082 \, \Omega + 0 \, \Omega + 3000 \, \Omega + 6 \, \Omega + 2 \, \Omega \\ R_{\text{total}} &= 3008,082 \, \Omega \approx 3010 \, \Omega. \end{aligned}$$

La corriente de defecto será

$$I_F = 220 \, \text{V} : 3010 \, \Omega = 0,073 \, \text{A}$$

Y la tensión de contacto

$$U_n = I_F \cdot R_M = 0,073 \, \text{A} \cdot 3000 \, \Omega = 219 \, \text{V}.$$

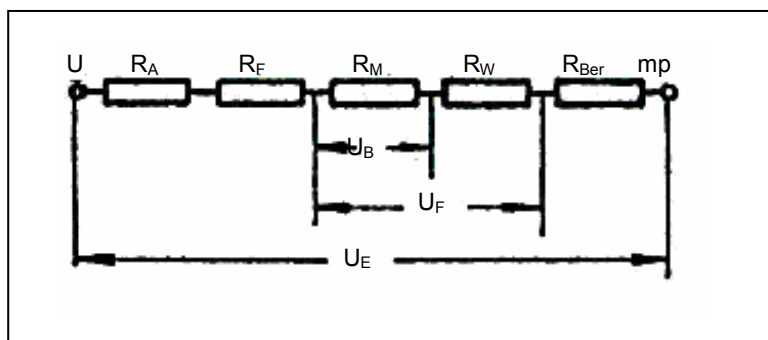


Figura N° 10.9 Esquema de conexiones equivalentes a la figura 20 en el caso de suelo no conductor.

Debido a la reducida resistencia de puesta a tierra de la tubería de agua, la tensión de contacto resulta casi igual a la tensión de defecto y a la de red, siendo la intensidad de la corriente de defecto que pasa por el cuerpo mayor que la admisible.

8. PROTECCIÓN DE LOS ANIMALES

Para animales de gran tamaño, la tensión de contacto máxima admisible es de 24 V. Por tal motivo, cuando deba protegerse a estos animales, tanto la tensión en el conductor neutro como la tensión a tierra, no debe ser superior a 24 V. Este valor se funda en el hecho de que la resistencia del cuerpo en estos

animales, es mayor que la del cuerpo humano y en que su paso es de mayor longitud que el de una persona.

Tensiones a tierra admisibles al producirse un contacto entre partes de una red de alta tensión y una de baja tensión.

En redes de tensión media, se emplean generalmente bobinas de puesta a tierra para reducir la intensidad de la corriente que pueda derivarse a tierra. Dichas bobinas, gracias a su inductancia, anulan la mayor parte del efecto de la corriente a tierra debida a la capacidad propia de la red. En consecuencia, sólo circula una débil corriente de fuga de puesta a tierra.

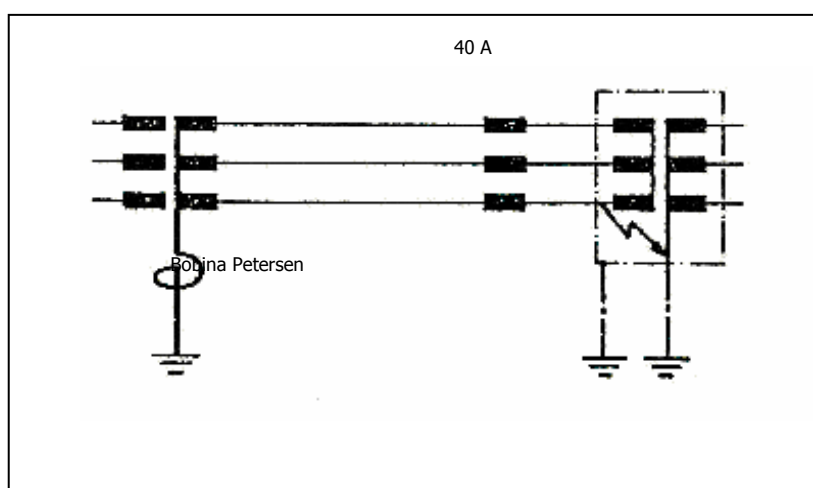


Figura 10.10 La corriente de puesta a tierra se limita mediante una bobina de puesta a tierra (bobina Petersen).

Muy frecuentemente resulta el caso de que, a pesar de ello, en el caso de un contacto entre el lado de alta tensión y el de baja tensión, se admita una tensión de puesta a tierra de 125 V también como tensión en el conductor neutro. Esta concesión se funda en que, con frecuencia, no es posible mantener con ayuda de bobinas de puesta a tierra, la tensión máxima admisible de 65 V en el conductor neutro.

Para no rebasar el valor de 125 V, es preciso que las resistencias de puesta a tierra posean un reducido valor, lo que puede ocasionar un gran gasto el conseguirlo. A continuación puede verse el modo de limitar la intensidad de la corriente derivada a tierra en la red correspondiente a la alta tensión del transformador, mediante una bobina de puesta a tierra (figura 10.10).

Es posible limitar la corriente de puesta a tierra que circula a través de fusibles (que en el circuito considerado están situados delante de la toma de tierra) a una

intensidad dada, por ejemplo 30 A, así como también su duración. En el caso 30 A sería una resistencia de

$$R_s = \frac{125 \text{ V}}{30 \text{ A}} = 4,2 \, \Omega$$

En este caso, el efecto del cortacircuito fusible sería el mismo si se encontrara montado antes de la estación transformadora, pudiendo resultar más eficaz así se produjese el contacto accidental en un punto del circuito situado entre el transformador y el cortacircuito fusible, dentro de la misma estación.

Ejemplo:

Se trata de determinar la máxima resistencia de tierra R_s admisible de la estación transformadora:

- cuando se limita la corriente derivada a tierra a 60 A y
- cuando se limita a 40 A mediante cortacircuitos instalados antes de la estación transformadora.
- En el supuesto que no se tenga en cuenta la actuación de los cortacircuitos, la resistencia de tierra no debe ser mayor de

$$R_s = \frac{125 \text{ V}}{60} = 2,08 \, \Omega$$

- Si se emplean cortacircuitos fusibles para limitar la intensidad, la referida resistencia no debe ser mayor de

$$R_s = \frac{125 \text{ V}}{40 \text{ A}} = 3,1 \, \Omega$$

Si al mismo conductor de puesta a tierra se le conectara el neutro del transformador, la consecuencia sería que en el caso de un cortocircuito a tierra en el lado de la alta tensión en la estación, la tensión del conductor neutro ascendería a 125 V. Esto sólo se admite, cuando se produce en el transformador un contacto entre la red de alta tensión y la de baja tensión. Esta posibilidad es, sin embargo, muy remota y sólo para este caso excepcional resulta aplicable esta concesión de la tensión de contacto de 125 V.

Para todos los demás casos, la puesta a tierra común es sólo admisible cuando en un cortocircuito a tierra en el lado de alta tensión, la tensión de derivación a tierra no rebase los 65 V. Lo que para nuestro ejemplo significaría que el valor

de la resistencia de la toma de tierra, considerando la corriente derivada a tierra, sería:

$$R_s = \frac{65 \text{ V}}{60 \text{ A}} = 1,08 \, \Omega$$

Y en el caso de los cortacircuitos fusibles, no rebasaría el valor de

$$R_s = \frac{65 \text{ V}}{40 \text{ A}} = 1,62 \, \Omega$$

El valor de esta resistencia se encuentra por debajo de la de toma de tierra del neutro, que en redes de 380/220 V se exige sea de 2 Ω , cuando se emplea un neutro.

Cuando la red de alta tensión esté constituida por cables provistos de armadura metálica o exista una red de tensión media formada por lo menos por 3 ramales con una longitud total de 3 km, en tal caso se estipula que la resistencia del cable que se emplee en la toma de tierra, sea dimensionado de modo que en el caso de posibles corrientes de derivación a tierra, la tensión no exceda de 65 V. En tales casos, 1 y 2 se exige incluso que se utilice una puesta a tierra común.

9. MEDICIÓN DE LA TENSIÓN DE DEFECTO

Para medir la tensión de defecto se prescribe el empleo de un voltímetro con una resistencia interna de 40 k Ω . La razón de tal exigencia es que la corriente que circule por el instrumento durante la medición debe ser muy reducida. Con ello se evita, en los casos de tensiones muy bajas, que la tensión a medir no resulte alterada por la corriente de medida.

10. TENSIONES A TIERRA POR PASO DE CORRIENTE A TIERRA EN LA RED DE BAJA TENSIÓN

Las tensiones de contacto demasiado elevadas no sólo pueden engendrarse por defectos en un aislamiento en la instalación, sino también cuando la **tensión a tierra** es demasiado elevada al derivarse la corriente a tierra. Lo que consideramos ahora es cómo se produce esta tensión de tierra en el electrodo de puesta a tierra.

10.1. TENSIÓN A TIERRA U_E

Es la tensión que se origina entre una instalación de puesta a tierra y una tierra de referencia, al circular una corriente de efecto a través de la primera.

Si se envía corriente por la tierra, aquella circula por ésta por regiones de sección cada vez mayor. La corriente se distribuye en tal caso según se indica en la figura 10.11.

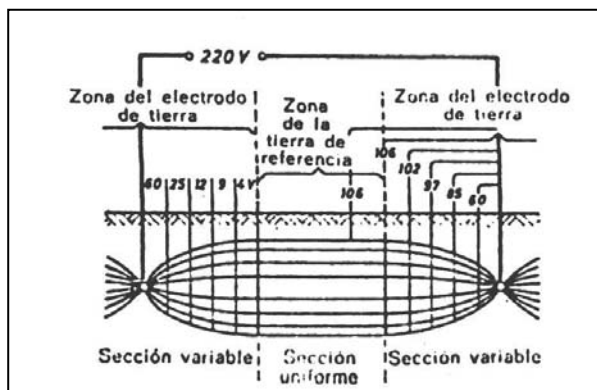


Figura 10.11 Trayectorias de corriente en el suelo.

En esta figura puede apreciarse que la sección de la tierra recorrida por la corriente es menor en las proximidades del electrodo de tierra, es decir, en dicha región la resistencia es mayor e igual a:

$$R = \frac{l}{K \cdot A}$$

De lo que se deduce que la tensión entre dos puntos del terreno es mayor en la zona próxima a electrodo de tierra, es decir, hasta unos 20 m del referido electrodo.

Para medir la tensión en la zona de cada electrodo de tierra, se dispone un voltímetro entre el electrodo de tierra y una sonda introducida en el suelo. La tensión más elevada = tensión de derivación a tierra, se encuentra entre el electrodo de tierra y la tierra de referencia. Dicha tensión se origina por el paso de la corriente a través del electrodo de tierra y su correspondiente resistencia de transición a tierra. Con respecto a la tierra puede admitirse una resistencia de unos $0.05 \, \Omega$ por km. Su valor es, pues, tan reducido que puede despreciarse.

La magnitud de $0.05 \, \Omega/\text{km}$, corresponde a una sección de cobre de

$$A = \frac{l}{K \cdot R} = \frac{1000}{56 \cdot 0,05} = 350 \, \text{mm}^2$$

O bien, teniendo en cuenta la resistencia específica de la tierra propiamente dicha:

$$\rho = 100 \, \Omega \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{m}} = 1 \cdot 10^3 \, \Omega \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$$

A una sección de tierra de

$$A = \frac{I \cdot \rho}{R} = \frac{1 \cdot 10^3 \cdot 10^8}{0.05} = \frac{10^{11}}{0.05} = \frac{10^{13}}{5} = 0.2 \cdot 10^{13} = 2 \cdot 10^{12} \text{ mm}^2 = 2 \cdot 10^4 \text{ m}^2$$

En consecuencia, la sección de dicha tierra es:

$$\frac{A_E}{A_{Cu}} = \frac{20 \cdot 10^{11}}{3.5 \cdot 10^2} = 6 \cdot 10^9$$

Veces mayor que la sección de cobre calculada.

10.2. MEDICIÓN DE LA TENSIÓN DE PUESTA A TIERRA

Como sonda para medir dicha tensión, es suficiente una barra de acero de 60 cm de longitud, que penetre en tierra unos 40 cm. para la instalación basta una sección de 0,75 mm² de Cu, a no ser que los esfuerzos mecánicos exijan secciones mayores, ya que en las peores condiciones circula una intensidad de corriente de:

$$I = \frac{220 \text{ V}}{40\,000 \, \Omega} = 0,0055 \text{ A}$$

En este cálculo se ha tenido en cuenta el valor de 40 kΩ como resistencia interna del voltímetro.

10.3. TIERRA DE REFERENCIA

Es una zona de la tierra, en particular de su superficie, tan apartada del electrodo de tierra considerado que no se presentan tensiones apreciables entre dos puntos cualesquiera de dicha zona (Puntos A y B en la figura 10.12). Si se mide la tensión entre el electrodo de tierra y puntos determinados alrededor de él y se unen entre sí los puntos de igual tensión, las líneas de unión así obtenidas, representarán líneas de igual

tensión. La figura 10.12 da el resultado de las medidas efectuadas en la zona próxima a un electrodo de tierra con forma de varilla o de plancha: en la parte superior se ha representado en forma de círculos y abajo, por el sistema de coordenadas rectangulares.

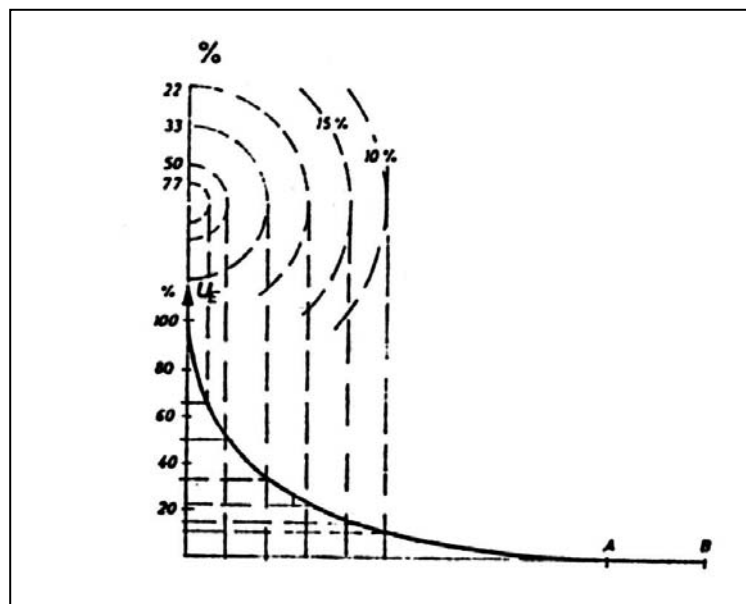


Figura 10.12 Arriba: líneas de igual tensión alrededor de un electrodo de tierra. Abajo: curva de tensiones alrededor de un electrodo de tierra, tomando como origen de distancias dicho electrodo.

El gráfico de los valores de la tensión correspondientes a los puntos situados alrededor del electrodo de tierra es lo que podríamos llamar **embudo o cono de tensión**.

Cuando se toca el electrodo de tierra o bien la instalación de puesta a tierra sin aislar y un punto cualquiera de tierra, la persona queda sometida a una tensión de contacto en el caso de producirse un defecto. La diferencia de tensión que aparece entre dos puntos distanciados un metro, sobre la superficie de la tierra, se denomina **tensión de paso**. Su valor depende de la dirección en que se ande (Figura N° 10.13).

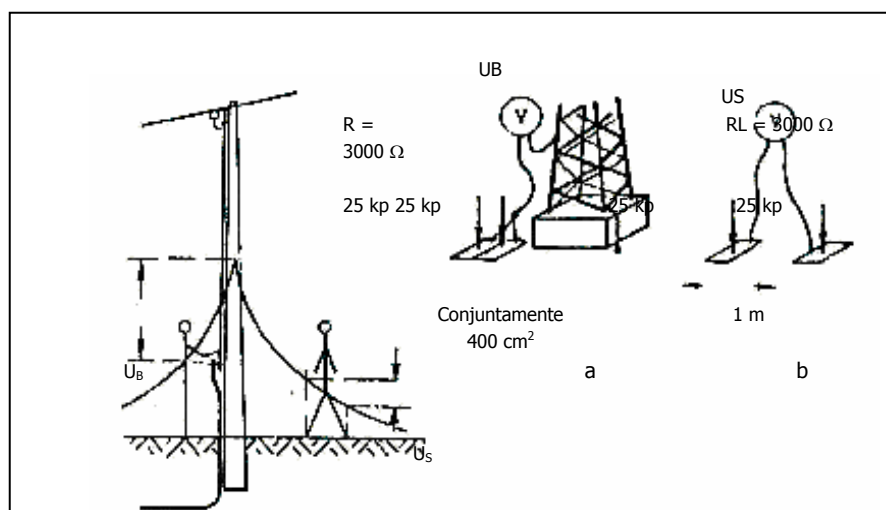


Figura 10.13 Izquierda: U_n = Tensión de contacto; U_s = Tensión de paso. Derecha: a = Medición de la tensión de contacto; b = Medición de la tensión de paso.

En instalaciones con tensiones inferiores a los 1000 V, la tensión del conductor de puesta a tierra no debe ser superior a 65 V, ni la tensión de paso a 90 V.

Cuando, por ejemplo, en una línea tetrafilar no se emplea la puesta a neutro de las masas, pueden aparecer tensiones elevadas en el conductor neutro, en cuyo caso el conductor de puesta a tierra debe aislarse. Son casos típicos, por ejemplo, las instalaciones para cuya bajada se utilizan los postes de madera o las paredes del edificio.

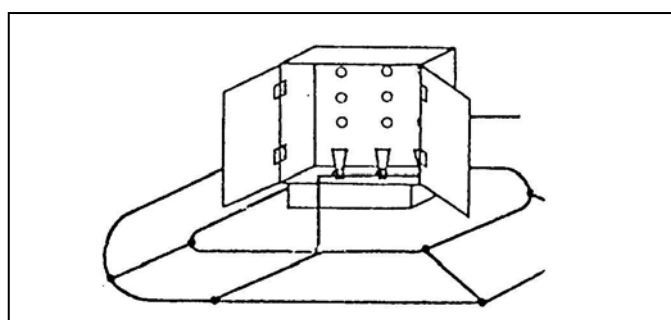


Figura 10.14. Rampa de potencial para aplanar o suavizar la curva de tensión alrededor del electrodo de tierra.

Para dicho aislamiento es suficiente un listón de madera acanalado. Cuando los postes son de hierro o de hormigón armado, el aislamiento resulta difícil de realizar y requiere también, en el suelo alrededor del poste, una línea o conductor de puesta a tierra.

En cajas de distribución metálicas, de uso frecuente en redes, en las que no se emplee la protección por puesta a neutro de las masas, es conveniente, a pesar de todo, contar con la puesta a tierra de las partes metálicas de las cajas. La condición para ello es que la trayectoria de la tensión, alrededor del electrodo de tierra, resulte suavizada por la intercalación de una rampa de potencial, de modo que no puedan formarse tensiones de paso ni de contacto muy elevadas (Figura N° 10.14). De todos modos, es mejor emplear cajas de material aislante.

11. PROTECCIÓN CONTRA ACCIDENTES ELÉCTRICOS

A la electricidad no hay que tenerle miedo, siempre y cuando se la trate con respeto y se sigan unas cuantas reglas básicas.

En este capítulo veremos las diferentes consecuencias que pueden provocar los accidentes eléctricos: muerte a personas y animales, heridas de diversa consideración (principalmente quemaduras), incendios en los locales e instalaciones, etc. Pero si bien es cierto que estos riesgos están presentes a toda persona que pretenda trabajar con electricidad, también existen y aquí se darán a conocer, toda una serie de medios, así como de normas y reglamentos de seguridad.

11.1. RIESGOS ELÉCTRICOS

El cuerpo humano se comporta como una resistencia eléctrica variable en función de una serie de circunstancias, como la edad, el sexo, el estado de salud, etc, Así por ejemplo, las mujeres y los niños son más vulnerables que los hombres a las descargas eléctricas en baja tensión; esto es debido a que tienen una piel más sensible y por tanto, menor resistencia al paso de la corriente eléctrica.

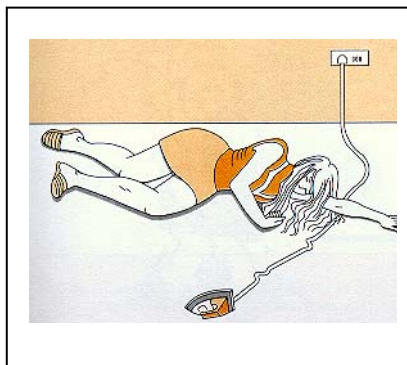


Figura 10.15 Descarga eléctrica en baja tensión.

Cuando el cuerpo humano está sometido a una tensión, circula una Intensidad a través de él, más o menos fuerte en función de esta tensión, y como ya se ha comentado, de la resistencia del cuerpo. Esta intensidad es capaz de producir lesiones que pueden llegar a causar la muerte. Entre los efectos cabe señalar:

- 1 a 2 miliamperios (mA) = Cosquilleo.
- 9 a mA = Contracción muscular, se puede despegar.
- 10 mA = Soportable
- 15 mA = Tetanización. Músculos agarrotados de brazos.
- 25 mA = Tetanización muscular del tórax, asfixia si no se corta.
- 50 mA = Fibrilación ventricular del corazón (respiración artificial, masaje corazón)
- 1 amperio = Muerte casi cierta

Otros efectos importantes de la corriente eléctrica sobre las personas son quemaduras que se producen, más o menos graves en función de la zona del cuerpo afectada y del tiempo que dura el choque eléctrico.

En cuanto al riesgo de incendio, dos son las causas más importantes:

- Sobrecalentamiento de las instalaciones debido a un consumo superior al normal o por malos contactos entre piezas móviles.
- Cortocircuitos causados por contactos directos entre fases distintas o entre una fase y neutro. Una intensidad superior a 300 mA puede poner incandescentes dos puntos de piezas metálicas que se toquen accidentalmente.

Estos accidentes son debido a varias circunstancias: antigüedad de las instalaciones eléctricas, incorrecto montaje de las nuevas o causas diversas, como pueden ser los factores atmosféricos (rayos, viento, etc)

Algunos ejemplos de diferentes circunstancias de electrocución o choque eléctrico:

- Una persona bien aislada respecto del suelo, al tocar un conductor a 220 V, sentirá poco más que un cosquilleo. (Fig. 10.16)

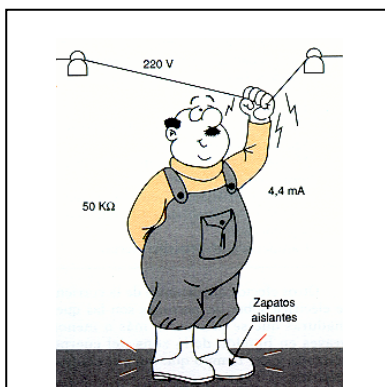


Fig. 10.16 Buen aislamiento respecto al suelo.

- Cuando el aislamiento ya no es tan bueno, las consecuencias son una contracción muscular del tórax, que llega a provocar asfixia de la persona. (Fig. 10.16)

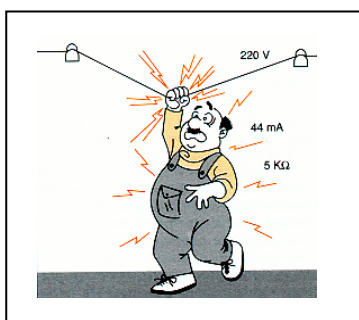


Fig. 10.16 Aislamiento medio.

- Si la persona está sumergida en agua y toca un conductor activo su cuerpo, en esas condiciones, ofrece muy poca resistencia arriesgándose a muerte segura. (Fig. 10.17).

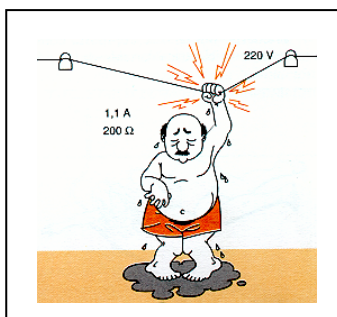


Figura 10.17 Mal aislamiento.

11.2. PROTECCIONES CONTRA LOS CONTACTOS ELÉCTRICOS

Existen dos formas distintas de contactos: directos e indirectos (fig. 10.18 y 10.19)

Se produce un contacto directo cuando una persona toca la parte de una instalación eléctrica que está bajo potencial eléctrico. Por ejemplo un conductor desnudo, borne metálico, casquillo portalámpara, etc.

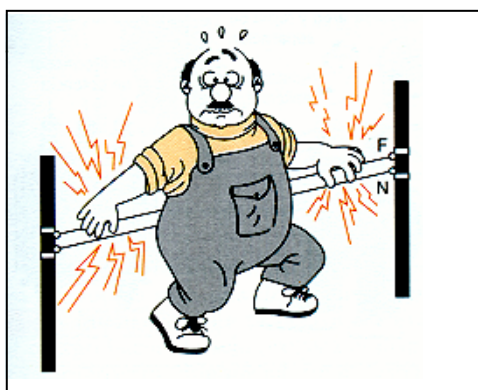


Figura 10.18 Contacto directo.

El contacto indirecto es aquel que se establece cuando una persona toca masas metálicas que accidentalmente están en contacto con una parte sometida a potencial eléctrico, debido a un fallo de aislamiento.

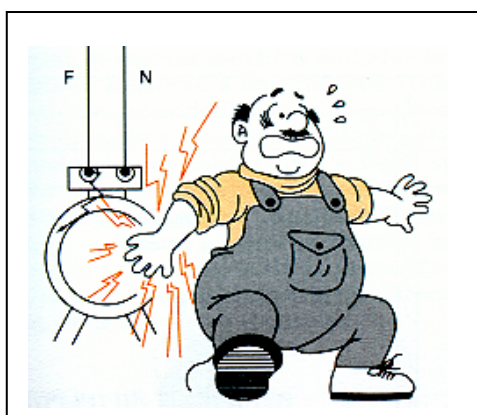


Figura 10.19 Contacto indirecto.

Para evitar los contactos eléctricos, muchos de ellos provocados por falta de atención, se han ideado varios sistemas de producción o barreras. (Fig. 10.20).



Figura 10.20 Ejemplos de accidentes por falta de atención.

NOTA

Al posarse los pájaros sobre los conductores aéreos no sufren ningún tipo de descarga por no estar sometidos a una diferencia de potencial (recuérdese que el potencial no "mata", el daño lo produce la intensidad de corriente eléctrica) y ésta sólo aparece como consecuencia de que se establezca una d.d.p y no un determinado potencial, que es el existente en un conductor eléctrico. Si un pájaro más grande es capaz de posarse sobre dos conductores, entonces quedará inmediatamente electrocutado. Cuando una persona entra en contacto con un potencial eléctrico, se establece una d.d.p entre ésta y la tierra, estableciendo una intensidad eléctrica que circula por la persona hasta el suelo

Las partes activas (hilos conductores de la electricidad) y las partes metálicas tienen que estar totalmente aisladas por medio de carcasas protectoras, algunos aparatos van dotados de doble aislamiento. (Fig. 10.21).



Figura 10.21 Carcasa de aislamiento.

Si las partes metálicas de gran tamaño están conectadas a tensión, se las aislará por medio de barreras o rejillas que impidan su accesibilidad por parte de las personas (Fig. 10.22).

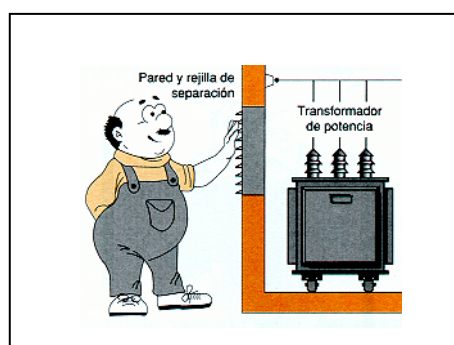


Figura 10.22 Pared y rejilla de protección.

Las líneas activas de conductores desnudos estarán a suficiente altura, según marca la normativa. (Fig. 10.23).

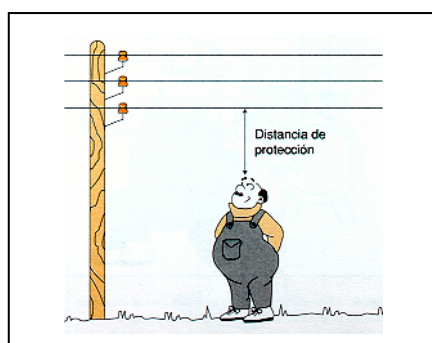


Figura 10.23 Distancias mínimas de protección.

La protección diferencial sólo es efectiva cuando se toca una de las fases activas. La intensidad que se deriva a través del cuerpo hacia el suelo provoca el disparo del interruptor diferencial. En el caso de que se toque la fase y el neutro, al no haber ninguna derivación de corriente, la protección diferencial no sirve. Los electrodomésticos o máquinas en las fábricas deben tener como protección del

personal una buena toma de tierra, que es como el cable en el pararrayos (Fig. 10.24). Consiste en conectar la carcasa metálica de todos los aparatos eléctricos a un conductor (conductor de protección), que se une a tierra (son de cobre y presentan el mismo aislamiento que los conductores activos; su color normalizado es amarillo y verde y se instalan en la misma canalización que estos). Cuando se produce un contacto indirecto, la derivación de la intensidad hacia tierra acciona el interruptor diferencial, y este desconecta el circuito.

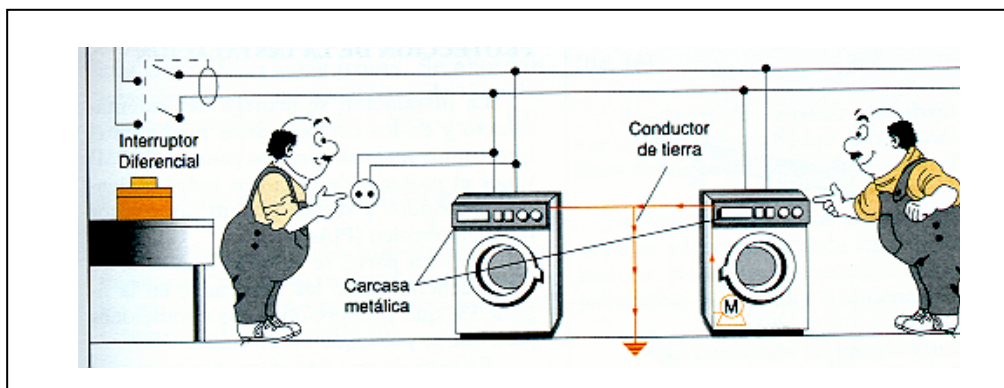


Figura 10.24 Protección diferencial y conexión a tierra.

11.3. EMPLEO DE TENSIONES DE SEGURIDAD

Una de las posibilidades para disminuir la intensidad que circula por el cuerpo humano es reducir la tensión (fig. 10.25). Este sistema es de obligado cumplimiento en las instalaciones de alumbrado sumergido en líquidos (piscinas, surtidores, etc.); también suele utilizarse en cuartos de baño y otros lugares húmedos. Las tensiones usualmente empleadas son:

- Locales secos: tensión máxima 50 V.
- Locales húmedos: tensión máxima 24 V.
- Locales sumergidos: tensión máxima 12 V.

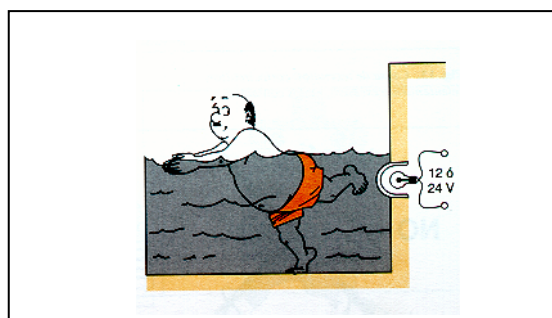


Figura 10.25 Empleo de bajas tensiones.

11.4. PROTECCIÓN DE LA INSTALACIÓN

La instalación se protege del calentamiento y de los cortocircuitos mediante el interruptor magnetotérmico general (ICPM) y por el montaje de circuitos independientes, protegidos a su vez por un interruptor magnetotérmico.

Por otra parte, se evitarán una serie de imprudencias como las mostradas en la Fig. 10.26, que proporcionan las condiciones para que se provoque un incendio.

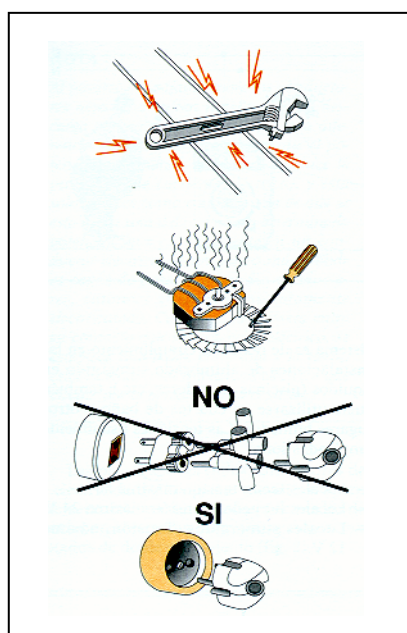


Figura 10.26 Causas de incendio: cortocircuitos, calentamiento excesivo, malos contactos.

En caso de que éste se produzca, se apagará con extintores adecuados (Fig. 10.27). La combinación de agua y electricidad hace del cuarto de baño la habitación más peligrosa de la vivienda. No es, pues, de extrañar que se le apliquen unas normas de seguridad más específicas y rigurosas.

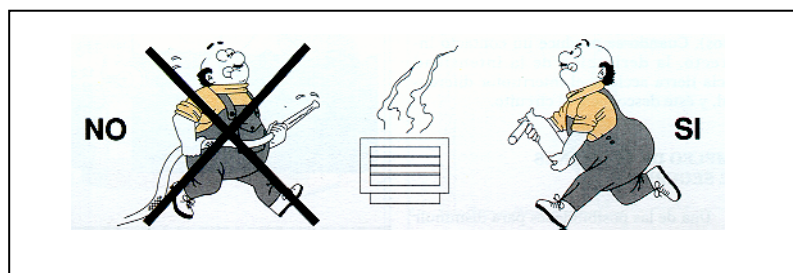


Figura 10.27 Forma correcta de apagar incendios en aparatos eléctricos (extintores de nieve carbónica).

11.5. REGLAS DE ORO DE LA SEGURIDAD

- Nunca se debe inspeccionar una instalación eléctrica, ni llevar a cabo trabajos en ella, sin desconectar previamente el suministro de energía (Fig. 10.28).

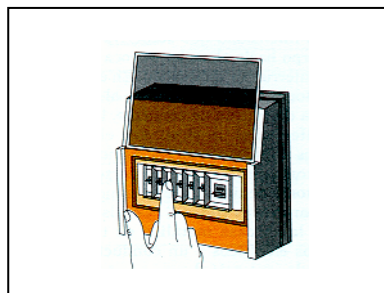


Figura 10.28 Desconecte el interruptor general.

- Asegúrese de que nadie pueda volver a conectarlo. Lo mejor es conectar un letrero de advertencia o llevarse los fusibles (Fig. 10.29).

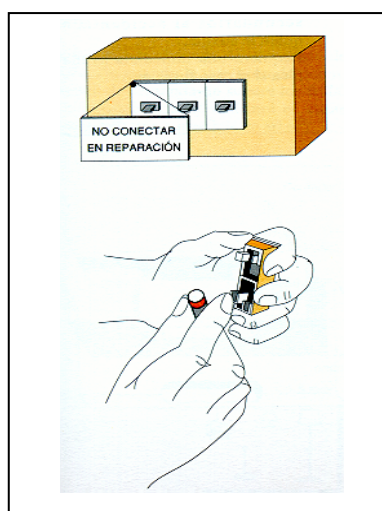


Figura 10.29 No se conforme con poner un letrero, llévase los fusibles.

- Antes de empezar el trabajo verificar con el multímetro que la línea está efectivamente sin tensión (Fig. 10.30).

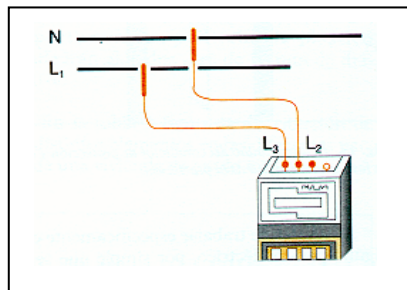


Figura 10.30 Compruebe que la línea está efectivamente sin tensión.

- Se deben utilizar siempre las herramientas adecuadas a cada tipo de trabajo a realizar. No utilice elementos o aparatos deteriorados, desgastados o anticuados.
- El conductor de protección no puede ser desconectado, eliminado o empleado para otros fines (Fig. 10.31).

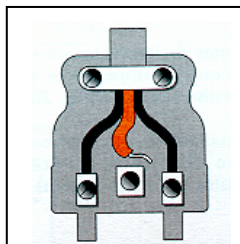


Figura 10.31 En muchos aparatos eléctricos el conductor de protección está desconectado.

- Antes de trabajar específicamente en algún aparato eléctrico, por simple que sea, hay que desconectar el cable, y una vez efectuada la reparación y antes de conectar el aparato a la toma de corriente hay que comprobar minuciosamente el trabajo realizado y especialmente las conexiones (Fig. 10.32).

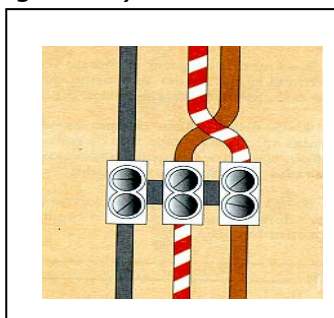


Figura 10.32 El intercambio del conductor de protección y el de fase anula el efecto de la protección.

- Antes de intercalar un fusible asegúrese de que su amperaje es el correcto para el circuito a proteger (Fig. 10.33).

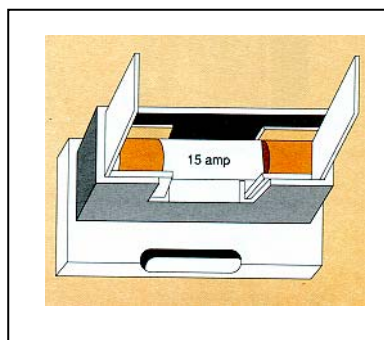


Figura 10.33 Verifique el tipo de fusible.

- Cuando tenga que trabajar en una instalación eléctrica es muy conveniente calzar zapatos con suela de goma.

12. EN CASO DE ELECTROCUCIÓN

- Como primera medida, desconectar el suministro.
- Aparte a la persona afectada del contacto, pero sin tocarla. Tire de su ropa o retírele por medio de un bastón u otro elemento no metálico.
- Si deja de respirar, practíquelo respiración de boca a boca.
- No le cubra con mantas ni le haga ingerir alcohol.
- También es conveniente friccionarle el cuerpo con las manos, para activar la circulación sanguínea. Estas fricciones han de ser continuadas hasta la llegada del médico.
- En ningún caso se ha de perder la calma. De este modo se puede auxiliar el electrocutado con mayor eficacia y se evitan también accidentes secundarios al accidentado y a quien le auxilia.
- Requiera una inmediata ayuda médica si el caso fuese grave.

Unidad XI

PUESTA A TIERRA DE LAS INSTALACIONES

1. FINALIDAD DE LAS PUESTAS A TIERRA

Están destinadas a conducir y/o dispersar diversos tipos de corrientes eléctricas, en el suelo, cumpliendo los objetivos de control de potenciales y evacuación de corrientes.

1.1. EL CONTROL DE LOS POTENCIALES ANORMALES

Tiene por objeto evitar gradientes peligrosos entre la infraestructura de superficie y el suelo con fines de:

- Protección de personas; mediante tensiones de toque y de paso de magnitud permisible.
- Protección de los equipos; evitando potenciales nocivos y el entrenamiento de descargas.

1.2. LA EVACUACIÓN DE CORRIENTES ELÉCTRICAS

Propiciando un circuito conductor (dispersor de baja impedancia, a un menor costo para permitir la:

- Correcta operación de la protección por relés; manteniendo los potenciales referenciales.
- Dispersión rápida de elevadas corrientes; evitando sobretensiones de rayo, o deterioros secundarios por corrientes de corto circuito.
- Retorno de corrientes de operación normal; como es el caso de los sistemas de corriente continua o el neutro a tierra en corriente alterna, también en los casos de protección catódica.

2. COMPORTAMIENTO ELÉCTRICO DEL SUELO

Está determinado por los altos contenidos de óxido de silicio y óxido de aluminio que son altamente resistivos, mientras que la conductividad representa un fenómeno esencialmente electroquímico o electrolítico y por lo tanto depende de

la cantidad de agua contenida, o del nivel humidificación, a la par que de otros factores:

- La porosidad del material, su distribución y su predisposición a conservar el agua.
- La granulometría del material, su contenido de sólidos y solubles de relleno.
- Las temperaturas promedio. Sus variaciones promedio en ciclo estacional normal.

TABLA Nº 1
Resistividades Típicas de los Suelos

<i>Tipo de Suelo ó Terreno</i>	Resistividad Aparente (Ohmios.- metro)
Terrenos vegetales	10 – 50
Arcillas, limas	20 – 80
Tierras de cultivo	50 – 100
Arenas arcillosas	80 – 200
Fangos y Turvas	150 – 300
Tierra aluvional	200 – 500
Arenas y Eriales	250 – 800
Pedregales y Dunas	300 – 3000
Rocas compactas	2500 – 10,000
Feldespatos secos	3000 – 30,000
Concreto de cimentación	10,000 – 50,000

3. ALGUNAS FÓRMULAS PRÁCTICAS PARA LOS CÁLCULOS DE RESISTENCIA DE UNA PUESTA A TIERRA

3.1. ELECTRODO O PICA VERTICAL

$$R = \frac{r}{L}$$

R = Resistencia

r = Resistividad

L = Longitud del Electrodo

3.2. PLANCHA O PLACA VERTICAL U/O HORIZONTAL

$$R = \frac{r}{P} \times 0.8$$

R = Resistencia
r = Resistividad
P = Perímetro de Placa
0.8 = Factor

3.3. ANILLO O CABLE ÚNICO HORIZONTAL

$$R = \frac{2r}{L}$$

R = Resistencia
r = Resistividad
L = Longitud de Anillo o cable

3.4. MALLA SIMPLE DE CABLE HORIZONTAL

$$R = \frac{r}{L}$$

R = Resistencia
r = Resistividad
L = Longitud total de todo el cable que forma la malla.

TABLA Nº 2

Fórmulas para el cálculo de resistencias a tierra *

 Hemisferio, radio a	$R = \frac{\rho}{2\pi a}$
• Una varilla de tierra, longitud L , radio a	$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right)$
• • Dos varillas de tierra, $s > L$; espaciamiento s	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right) + \frac{\rho}{4\pi s} \left(1 - \frac{L^2}{3s^3} + \frac{2L^4}{5s^4} \dots \right)$
• • Dos varillas de tierra, $s < L$; espaciamiento s	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} + \ln \frac{4L}{s} - 2 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \dots \right)$
— Alambre horizontal enterrado, longitud $2L$, profundidad $s/2$	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} + \ln \frac{4L}{s} - 2 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \dots \right)$
 Vuelta de alambre en ángulo recto, longitud del brazo L , profundidad $s/2$	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} - 0.2373 + 0.2146 \frac{s}{L} + 0.1035 \frac{s^4}{L^2} - 0.0424 \frac{s^4}{L} \dots \right)$
 Estrella de tres puntas, longitud de brazo L , profundidad $s/2$	$R = \frac{\rho}{6\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} + 1.071 - 0.209 \frac{s}{L} + 0.238 \frac{s^3}{L^3} - 0.054 \frac{s^4}{L^4} \dots \right)$
+ Estrella de cuatro puntas, longitud de brazo L , profundidad $s/2$	$R = \frac{\rho}{8\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} + 2.912 - 1.071 \frac{s}{L} + 0.645 \frac{s^2}{L^2} - 0.145 \frac{s^4}{L^4} \dots \right)$
* Estrella de seis puntas, longitud de brazo L , profundidad $s/2$	$R = \frac{\rho}{12\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} + 6.851 - 3.128 \frac{s}{L} + 1.758 \frac{s^2}{L^2} - 0.409 \frac{s^4}{L^4} \dots \right)$
* Estrella de ocho puntas, longitud de brazo L , profundidad $s/2$	$R = \frac{\rho}{16\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} + 10.98 - 5.51 \frac{s}{L} + 3.26 \frac{s^3}{L^3} - 1.17 \frac{s^4}{L^4} \dots \right)$
 Anillo de alambre, diámetro del anillo D , diámetro del alambre d , profundidad $s/2$	$R = \frac{\rho}{2\pi^2 D} \left(\ln \frac{8D}{d} + \ln \frac{4D}{s} \right)$
— Tira horizontal enterrada, longitud $2L$, sección a por b , profundidad $s/2$, $b < a/8$	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left[\ln \frac{4L}{a} + \frac{a^2 - \pi ab}{2(a+b)^2} + \ln \frac{4L}{s} - 1 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \dots \right]$
 Placa redonda horizontal enterrada de radio a , profundidad $s/2$	$R = \frac{\rho}{8a} + \frac{\rho}{4\pi s} \left(1 - \frac{7}{12} \frac{a^2}{s^2} + \frac{33}{40} \frac{a^4}{s^4} \dots \right)$
Placa redonda vertical enterrada de radio a , profundidad $s/2$	$R = \frac{\rho}{8a} + \frac{\rho}{4\pi s} \left(1 + \frac{7}{24} \frac{a^2}{s^2} + \frac{99}{320} \frac{a^4}{s^4} + \dots \right)$

TABLA Nº 3
CONDUCTOR DE PUESTA A TIERRA PARA SISTEMAS DE CORRIENTE
ALTERNA

Sección nominal del conductor mayor de la acometida o su equivalente para conductores en paralelo (mm ²)	Sección nominal del conductor de puesta a tierra (mm ²)
35 o menor sección	10
50	16
70	25
95 a 185	35
240 a 300	50
400 a 500	70
Más a 500	95

Nota.- Cuando no haya conductores de acometida, la sección del conductor de puesta a tierra deberá ser determinada por equivalencia con la mayor sección del conductor de acometidas que sería necesaria para la carga a ser alimentada.

4. CARACTERÍSTICAS DE LOS ELECTRODOS Y SU UBICACIÓN EN EL TERRENO

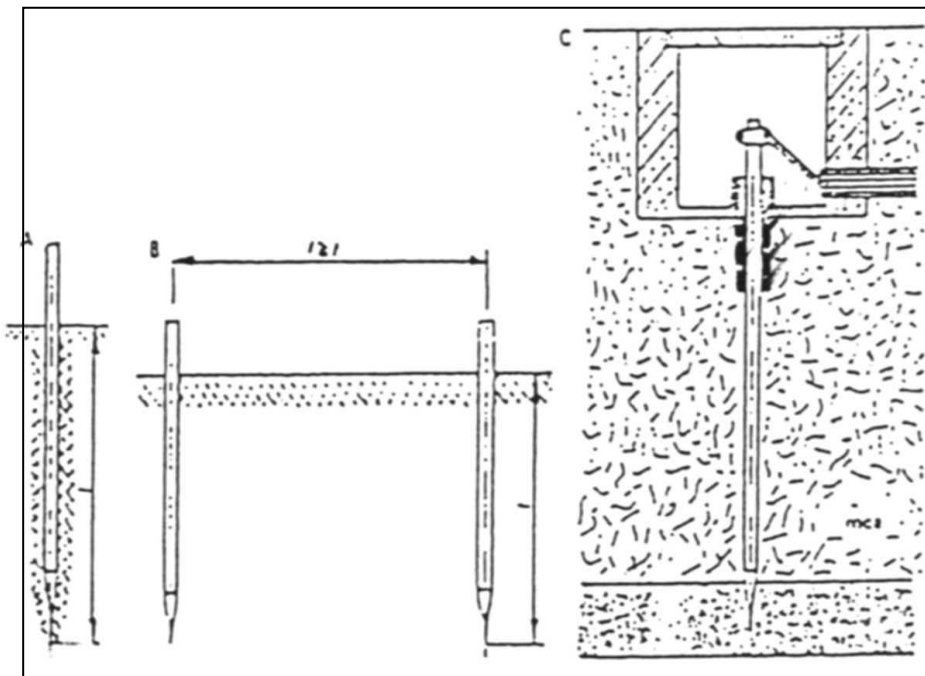


Figura 11.1 Instalación de las picas de tierra: A, instalación de una pica; B, instalación de dos picas en paralelo; C, instalación de una pica en orqueta de hormigón.

MATERIAL	FORMA	DIMENSIONES MIN.	POSICIÓN	PROFUNDIDAD
Cu. O Br.	Plancha	250 x 2000 x 2mm.	Horizontal o V.	0.30 a 0.60 M
Cu. O Br.	Pica	5/8" x 1 mt.	Vertical	0.30 a 0.60 M
Cu. O Br.	Platina	50 x 3000 x 2mm.	Horizontal o V.	0.30 a 0.60 M
Cobre	Conductor	#2 – 33.63 mm2.	Horizontal	0.30 a 0.60 M

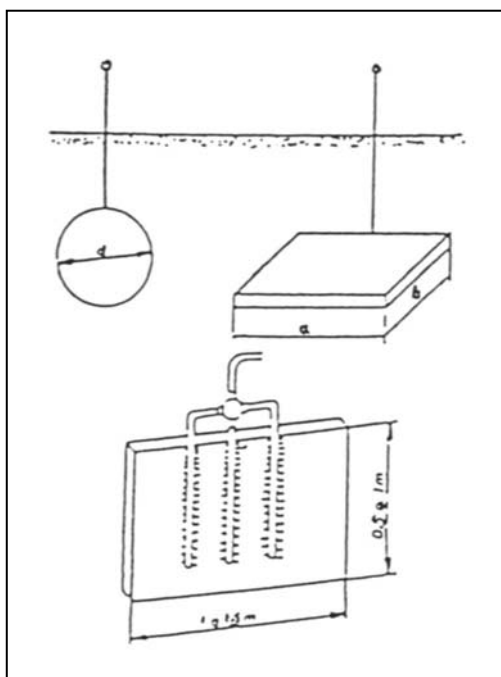


Figura 11.2 Electrodo en forma de placas.

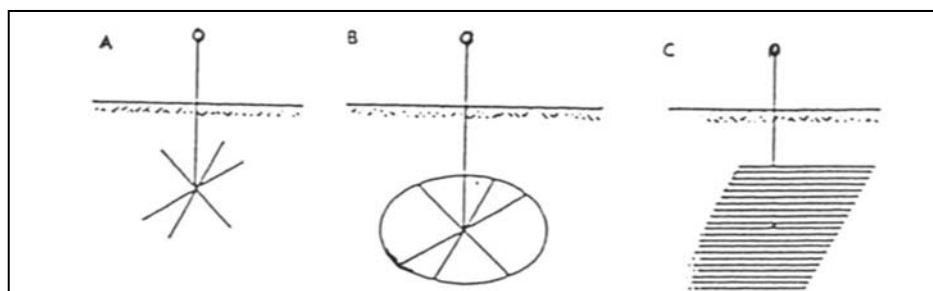


Figura 11.3 Electrodo con ramificaciones en tomas de tierra: A, en estrella; B, en bucle; C, en malla.

En las puestas a tierra extendidas de cobre desnudo o de acero cobreado, hay que tener cuidado que en los tendidos subterráneos queden separados de otras instalaciones de acero, como por ejemplo, tuberías de conducción y recipientes. En caso contrario se pueden presentar en las piezas de acero grandes corrosiones.

5. MEDIDA DE LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO

En las páginas anteriores se han indicado los valores típicos de resistividad en diferentes clases de terreno. Para que se puedan utilizar las fórmulas o los diagramas de las páginas anteriores es conveniente llevar a cabo medida de resistividad. Empléense óhmetros con cuatro bornes.

Las sondas de tensión y corriente pueden ser las mismas que se emplean para la medida de la resistencia de tierra.

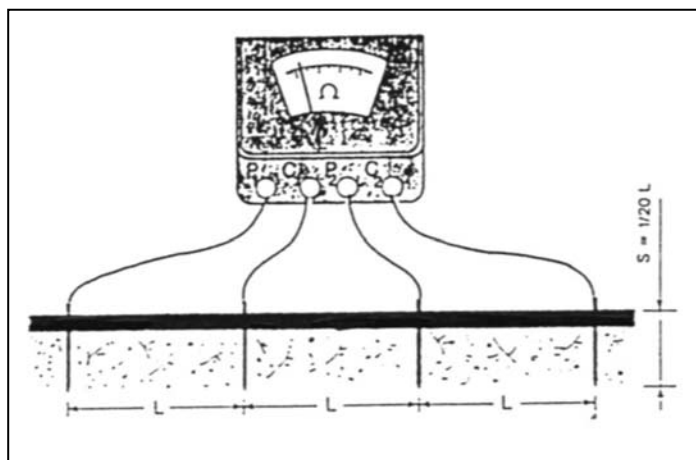


Figura 11.4

5.1. ADVERTENCIAS

- Colocar las sondas en línea recta y a igual distancia (L).
- La profundidad del clavado (S) será igual a $1/20 L$.
- En los suelos homogéneos, la resistividad (ρ_t) se calcula así:

$$\rho_t = 2 \pi L R$$

Siendo R el valor leído en el instrumento. Por ejemplo, adoptando $L = 10$ ($S = 0,5$), para $R = 10\Omega$, se tendrá:

$$\rho_t = 2 \times 3,14 \times 10 \times 10 = 628 \Omega \cdot m$$

- Llevar a cabo diversas medidas, en posiciones diferentes, y calcular la media.
- Efectuar las medidas a diferente profundidad del terreno.
- La presencia de tuberías o de conducciones eléctricas enterradas en las inmediaciones, puede falsear las medidas. De ahí que resulte difícil efectuar medidas en los centros habitados.

6. MEDICIÓN DE LA IMPEDANCIA DE ELECTRODOS DE TIERRA

La medida del valor óhmico de un electrodo enterrado se realiza por dos razones:

- Confrontar su valor, posteriormente a la instalación y previo a la conexión del equipo, contra las especificaciones de diseño.

- Como parte del mantenimiento de rutina, para confirmar que su valor no ha aumentado sustancialmente respecto del valor medido originalmente o de su valor de diseño.

El método más común para medir el valor de resistencia a tierra de electrodos de pequeño o mediano tamaño, se conoce como el método de “caída de potencial”. En este caso es normalmente suficiente un medidor portátil de resistencia a tierra, también usado para medida de resistividad de terreno, con dos terminales de potencial, P1 y P2 y dos terminales de corriente, C1 y C2.

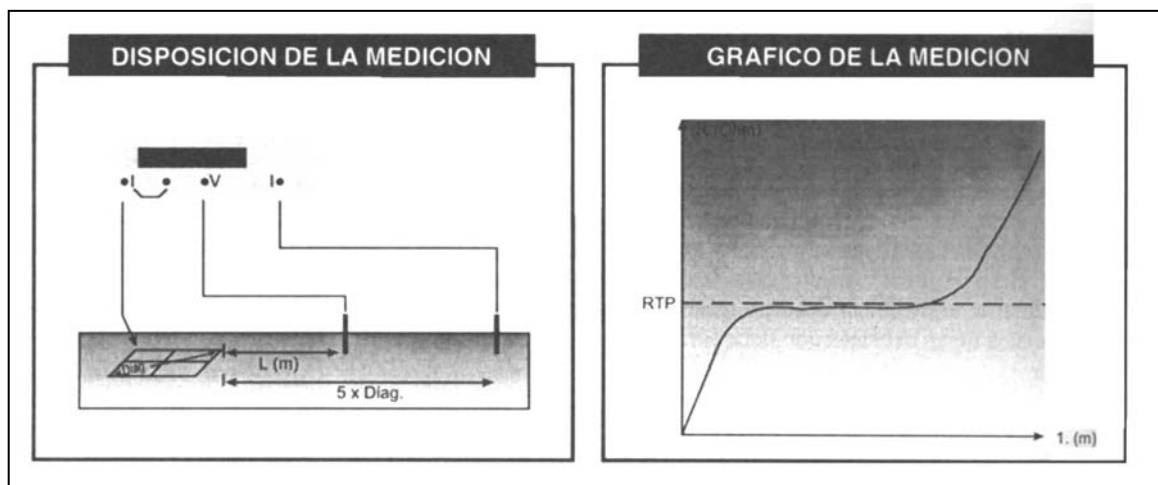


Figura 11.5 Medida de resistencia de puesta a tierra.

Para sistemas de electrodos de gran área, se requiere normalmente un equipo más sofisticado.

Para la medida de resistencia de puesta a tierra, de preferencia la instalación debe estar desenergizada y el electrodo de tierra desconectado del sistema eléctrico. Si no fuese así, mientras se desarrolla la prueba podría ocurrir una falla a tierra que involucre a la instalación y a su electrodo de tierra y tanto el potencial del electrodo como el potencial del terreno entorno del electrodo se elevarán, provocando una diferencia de potencial posiblemente peligrosa para las personas que participan en la prueba. De no ser posible la desenergización total de la instalación y la desconexión completa del electrodo de tierra, debe seguirse un procedimiento de seguridad rigurosamente organizado, que contemple los siguientes aspectos:

- Una persona a cargo del trabajo.
- Comunicación entre todos quienes participan en la prueba, vía radio o teléfono portátil.
- Uso de guantes de goma y calzado adecuado.

- Uso de doble interruptor con aislación apropiada, a través del cual se conectan los cables al instrumento.
- Uso de una placa metálica para asegurar una equipotencial en la posición de trabajo. La placa debiera ser lo suficientemente grande para incluir al instrumento, al interruptor y al operador durante la prueba.

Debiera tener un terminal instalado, de modo que la placa pueda conectarse al electrodo.

- Suspensión de la prueba durante una tormenta eléctrica u otras condiciones severas de tiempo.

Las causas de error más común son:

- Colocar la estaca de corriente demasiado cerca del electrodo bajo prueba.
- Colocar la estaca de voltaje demasiado cerca del electrodo de prueba (la teoría indica que en terreno uniforme, basta una lectura colocando la estaca de voltaje a una distancia del electrodo en prueba igual al 61,8% de la distancia entre éste y el electrodo de corriente).
- No considerar metales enterrados que se ubican paralelos a la dirección de prueba.
- Usar cable con la aislación dañada.

El diseñador de un sistema de puesta a tierra se enfrenta normalmente con dos tareas:

- Lograr un valor requerido de impedancia.
- Asegurar que los voltajes de paso y contacto son satisfactorios.

Los factores que influyen la impedancia son:

- Las dimensiones físicas y atributos del sistema de electrodos de tierra.
- Las condiciones del suelo (composición, contenido de agua, etc.).

El sistema de electrodos metálicos presenta una impedancia al flujo de corriente que consiste de tres partes principales. Estas son la resistividad del material del electrodo, la resistividad de contacto entre el electrodo y el terreno y finalmente una resistividad dependiente de las características del terreno mismo. Esta última normalmente es la más significativa.

6.1. EFECTO DE INCREMENTO DE LA PROFUNDIDAD DE ENTERRAMIENTO DE UNA BARRA VERTICAL EN SUELO UNIFORME

La Figura N° 11.6 muestra el beneficio que puede obtenerse en suelos de diferente resistividad incrementando la longitud de la barra enterrada. Se observa que el mejoramiento por unidad de longitud disminuye a medida que la barra aumenta.

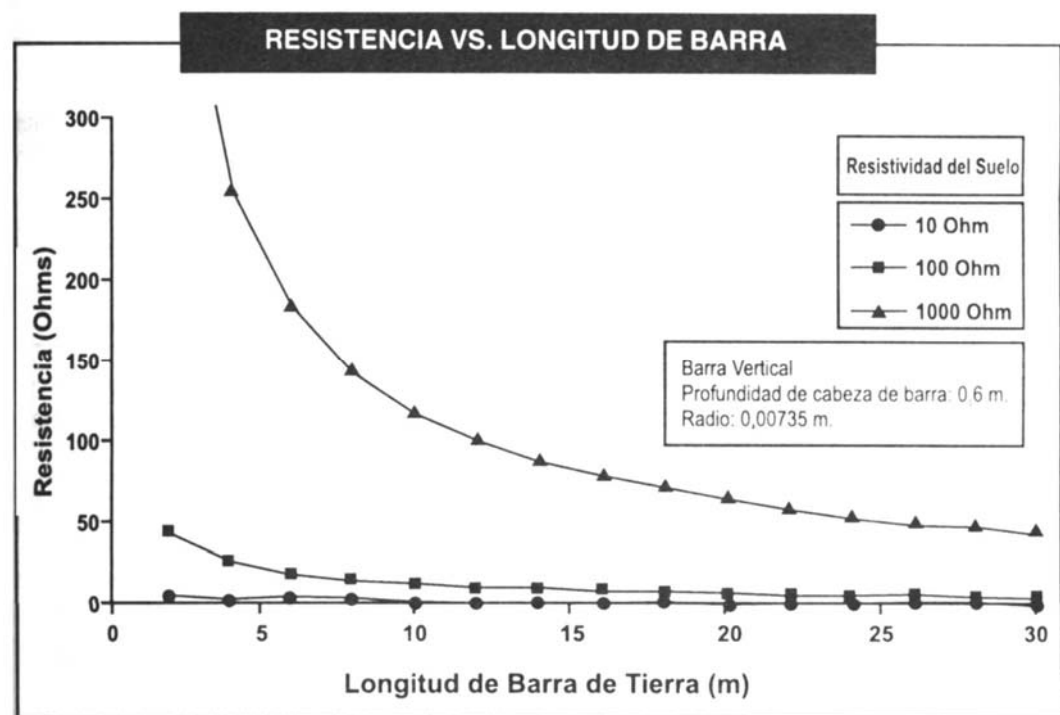


Figura 11.6 Resistencia vs. Longitud de barra.

El decrecimiento en resistencia obtenido con una barra larga puede ser considerable en condiciones de suelo no uniforme. En la figura siguiente, las capas superiores son de resistividad relativamente alta hasta una profundidad de seis metros. La resistencia de la barra es alta hasta que su longitud supera estas capas, debido a la alta resistividad del suelo que la rodea.

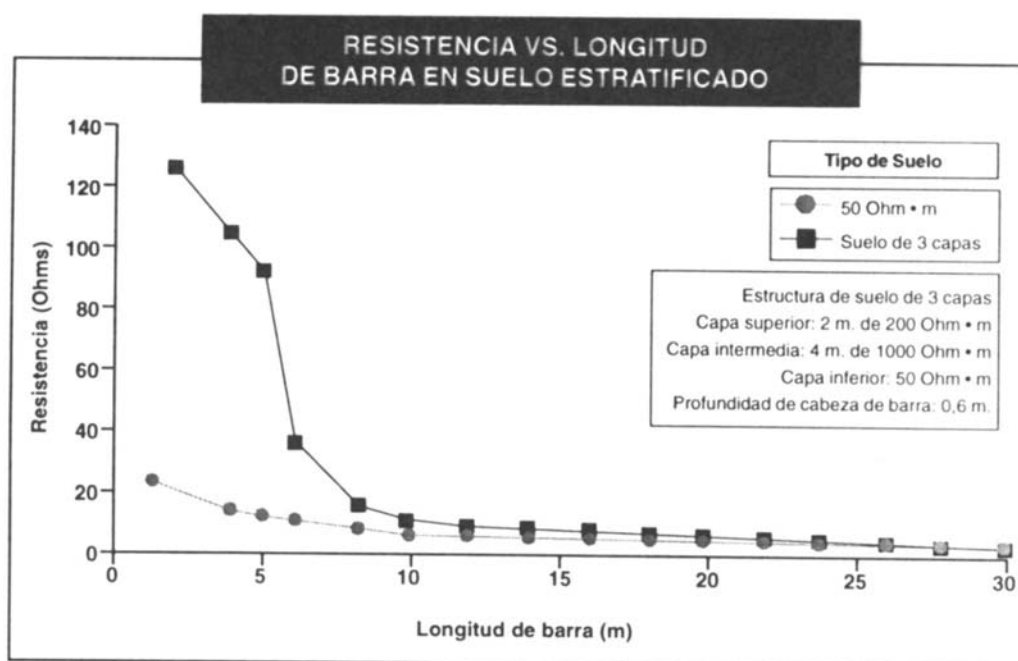


Figura 11.7 Resistencia vs. Longitud de barra en suelo estratificado.

Las barras verticales otorgan un grado de estabilidad a la impedancia del sistema de puesta a tierra: la impedancia será menos influenciada por variaciones estacionales en el contenido de humedad y temperatura del suelo.

6.2. EFECTO DE UN INCREMENTO DE LONGITUD DE UN CONDUCTOR HORIZONTAL

La Figura N° 11.8 muestra el beneficio que puede obtenerse en suelos de diferente resistividad incrementando la longitud de un electrodo de tierra tendido horizontalmente a una profundidad de 0,6 metros.

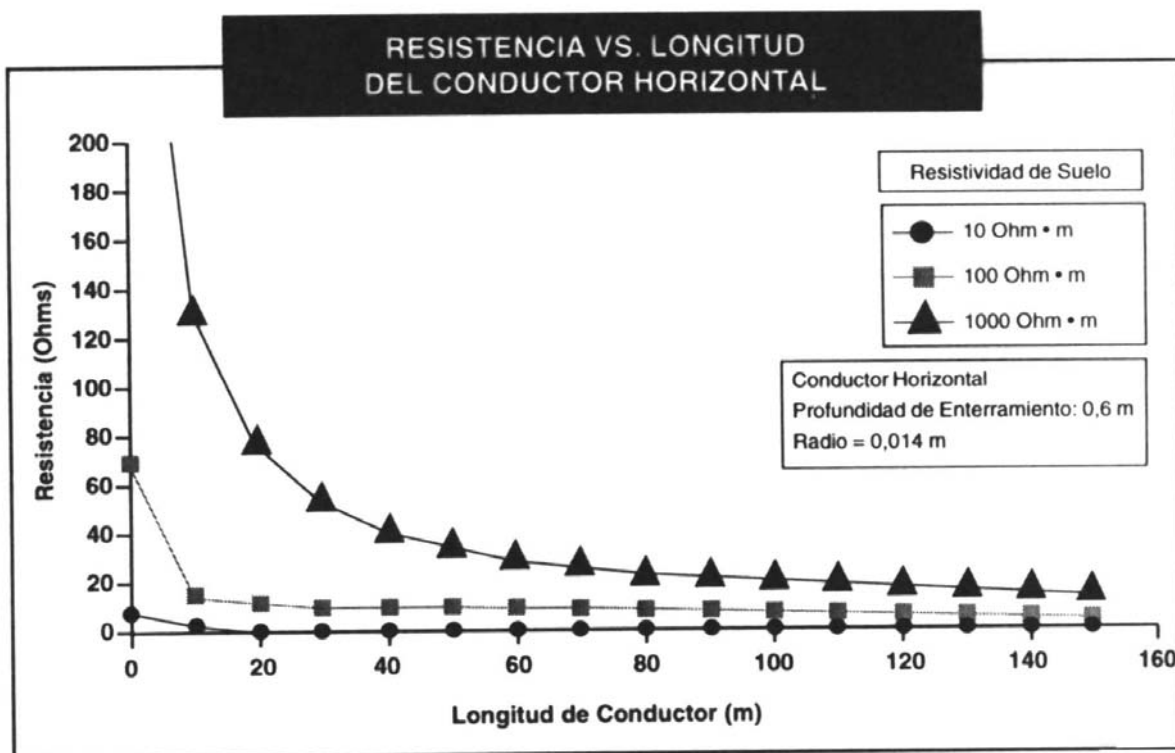


Figura 11.8 Resistencia vs. Longitud de conductor horizontal.

Una cinta tendida horizontalmente se considera generalmente una buena opción, particularmente cuando es posible encaminarla en diferentes direcciones. Para aplicaciones en alta frecuencia, incrementar de esta manera el número de caminos disponibles reduce significativamente la impedancia de onda.

6.3. EFECTO DE INCREMENTO DE LA LONGITUD DEL LADO DE UNA MALLA DE TIERRA CUADRADA

La figura siguiente muestra el beneficio que puede obtenerse en suelos de diferente resistividad incrementando el área abarcada por un electrodo cuadrado. A pesar de que el mejoramiento por unidad de área disminuye, la reducción en resistencia resulta aún significativa. En realidad ésta es frecuentemente la forma más efectiva para reducir la resistividad de un electrodo de tierra.

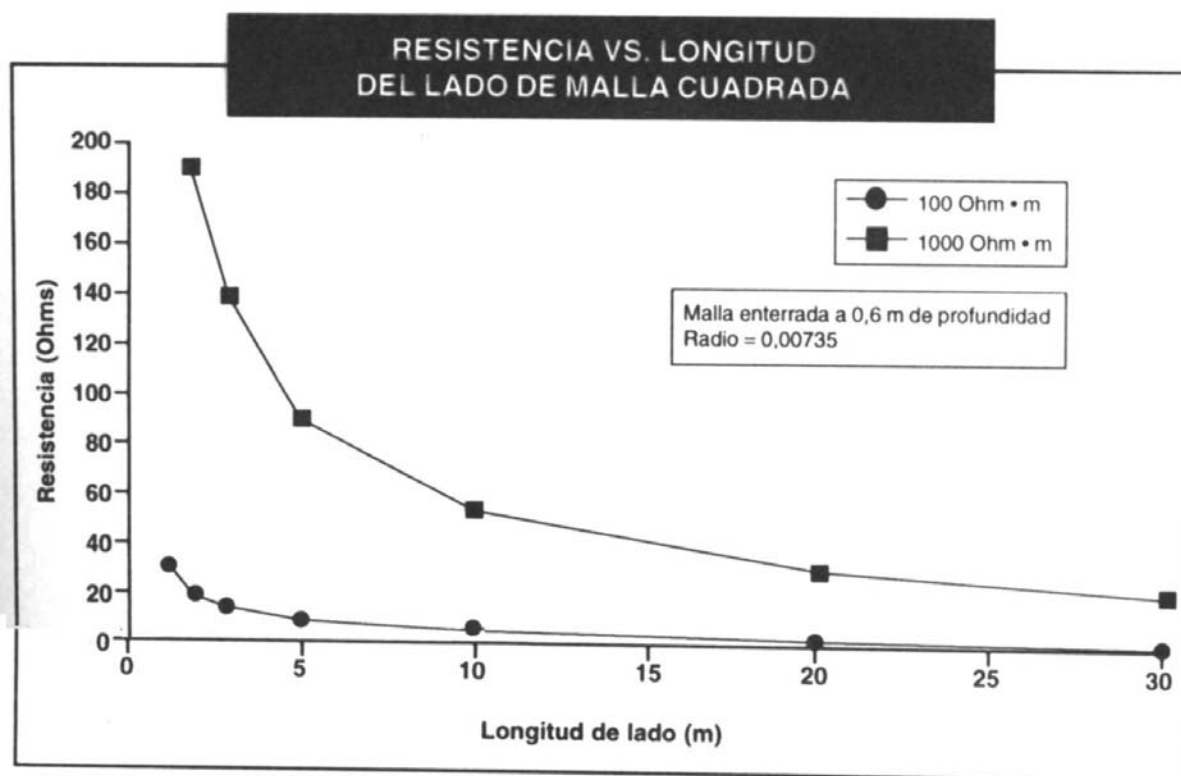


Figura 11.9 Resistividad vs. Longitud de lado de un cuadrado.

6.4. EFECTO DE AUMENTO DEL RADIO DE UN ELECTRODO DE SECCIÓN CIRCULAR

Normalmente se gana poco en reducción de resistencia de puesta a tierra, aumentando el radio de electrodos por sobre lo necesario de acuerdo a los requisitos mecánicos y por corrosión.

6.5. EFECTO DE PROFUNDIDAD DE ENTERRAMIENTO

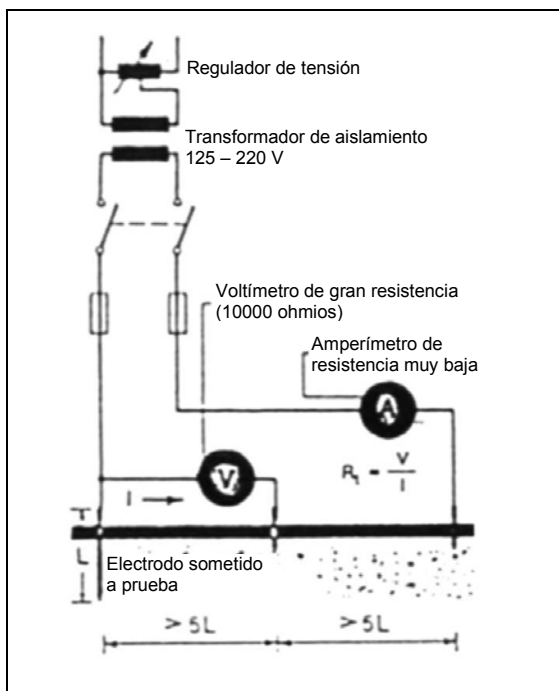
Este efecto proporciona sólo una reducción marginal en la impedancia, pero a un costo relativamente alto, de modo que normalmente no se considera. Debe recordarse sin embargo, que mientras mayor sea la profundidad de enterramiento, menores son los gradientes de voltaje en la superficie del suelo.

6.6. EFECTO DE PROXIMIDAD DE ELECTRODOS

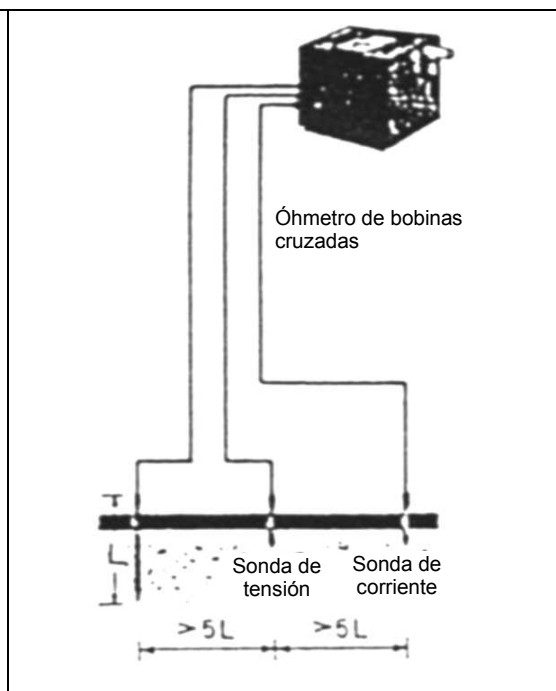
Si dos electrodos de tierra se instalan juntos, entonces sus zonas de influencia se traslapan y no se logra el máximo beneficio posible. En realidad, si dos barras o electrodos horizontales están muy próximos, la impedancia a tierra combinada de ambos puede ser virtualmente la misma que de uno solo, lo cual significa que el segundo es redundante.

El esparcimiento, la ubicación y las características del terreno son los factores dominantes en esto.

7. MÉTODO DE LA CAÍDA DE TENSIÓN



**Figura 11.10 Procedimiento
voltamperimétrico..**



**Figura 11.11 Procedimiento con
medidor de tierra.**

7.1. NOTAS PRÁCTICAS

Efectúense las medidas con corriente alterna (es desaconsejable el empleo de corriente continua ya que con ella se producen fenómenos de polarización).

Verificar las condiciones de cero de los instrumentos y tamborilear en ellos suavemente con el dedo, durante la medición.

Al emplear el sistema voltamperimétrico, comprobar que el voltímetro no indique tensión, antes de hacer circular la corriente de prueba, lo que significaría la existencia en el terreno de otras corrientes de dispersión, independientes del circuito que se está probando.

Asimismo, con el sistema voltamperimétrico, es necesario el empleo del transformador de aislamiento a fin de no poner a tierra una fase de la red de alimentación.

7.2. ADVERTENCIAS

- Los dos electrodos auxiliares (sondas de tensión y corriente) pueden tener unas dimensiones discretas por cuanto su resistencia de tierra no es determinante para los fines de la medida. Existen en los comercios cajas que contienen todos los accesorios.
- Colocar las sondas lejos de la instalación de tierra a fin de que no se vean influidas por la propia instalación. Asimismo, la distancia entre las sondas será tal que se eviten los fenómenos de interferencia. No es preciso que las sondas se coloquen en línea con el electrodo objeto de la prueba.
- Cuando se trate de un sistema constituido por diversos electrodos en pica (o en anillo) dispóngase las sondas de tensión y de corriente en la forma indicada en la Figura N° 11.7.

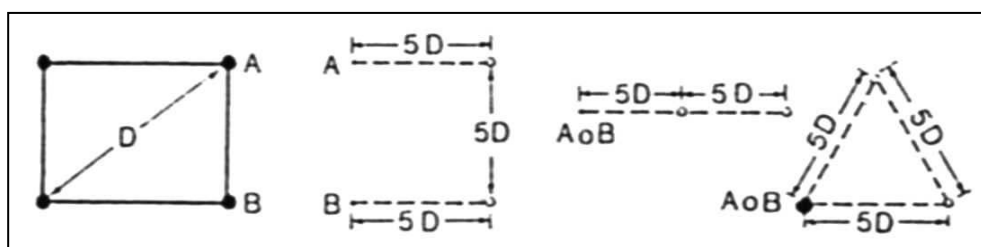


Figura 11.12

- Efectúese una primera medida; luego desplácese unos metros la sonda de tensión y repítase la medida: si el valor hallado es igual al precedente(o se desvía solamente en un 5%) ello significa que las ondas no se influyen mutuamente; en el caso contrario, aumentese las distancias.
- Además de los óhmetros con bobinas cruzadas, existen en el mercado otros tipos de aparatos con alimentación interna a baterías.
- Empléense guantes de goma para protegerse de las tensiones accidentales.

8. DOSIS ELECTROLÍTICAS E HIGROSCÓPICAS NO CORROSIVAS PARA LA REPRODUCCIÓN DE LA RESISTENCIA ÓHMICA DE TIERRA

Thor - Gel es un Producto Químico que reduce notablemente la resistencia óhmica de tierra, ofreciendo una estabilidad química, higroscópica y eléctrica por 48 meses, además, de no ser corrosivo, los electrodos tratados con el producto THORGEL, tendrá una vida media de 2 a 25 décadas, realizando eficiencia en la reducción de la resistencia eléctrica, de las puestas a tierra tratadas químicamente con THORGEL, permiten reducciones hasta en un 95%; siempre

que en ellas se consideren factores especiales, como área de contacto del electrodo, el zarandeo del terreno del pozo, y en los casos de terrenos de muy alta resistividad eléctrica, se ha de reemplazar el terreno del pozo por otro de resistividad eléctrica baja. Esta técnica ha demostrado extraordinarios resultados en áreas donde las resistencias óhmicas de tierra a obtenerse eran de 1 a 5 Ohms Mt., y que los factores de poco espacio era imposible ejecutarlas con los métodos convencionales.

En otros casos donde las Puestas a Tierra son ejecutadas con electrodos tradicionales de diámetros de 5/8" o 3/4" y longitudes de 2 a 3 metros: los resultados también son muy satisfactorios, pues la reducción de la resistencia eléctrica ha sido de 66.66% para terrenos de mayor resistividad; y, de 40% para los de menor resistividad eléctrica; siendo éste último superior en 15% en la reducción de la resistencia que presentara con el tratamiento convencional de sal y carbón, con un máximo de reducción de 25%; además de no permitir una estabilidad química e higroscópica y eléctrica; sumándose a ésta una muy alta corrosión y precipitación del cloruro de sodio.

9. RENDIMIENTO DE UNA DOSIS DE THOR – GEL DE 5 KG

La aplicación del THOR – GEL es de 1 a 3 dosis por m³ según sea la resistividad del terreno y la resistencia final deseada, un estudio de la resistividad asegura un resultado óptimo de reducción de resistencia, si éste no está a su alcance puede guiarse por la siguiente tabla de resistividad promedio.

NATURALEZA DEL TERRENO	Resistividad (Ω -m)	Dosis THOR-GEL x m ³
Terrenos cultivables fértiles, terraplenes compactos húmedos.	50	1
Terrenos cultivables poco fértiles, terraplenes fofos secos.	500	de 1 a 2
Suelos pedregosos desnudos, arena seca permeable.	3,000	2
Suelos rocosos fraccionados.	6,000	de 2 a 3
Suelos rocosos compactos.	14,000	3

9.1. OTRAS FORMAS DE APLICACIÓN

La aplicación por disolución es la que ofrece mejores resultados en la reducción de la resistencia, sin embargo existen condiciones en las que no es posible utilizar este método, en esos casos existen 3 alternativas de tratamiento.

- Se pueden mezclar en seco los 2 componentes con la tierra de cultivo antes de introducirla al pozo.
- Espolvorear proporcionalmente los dos componentes sobre una porción de tierra de chacra ya compactada dentro del área del electrodo, en ambos casos se emplearán de 1 a 3 dosis x m³ de tierra de chacra.
- Se pueden mezclar los 2 componentes disueltos en agua dentro del pozo y/o zanja directamente sobre los electrodos de pletinas, planchas y/o conductores desnudos.

Nota importante:

El proceso de percolación puede demorar varias horas por cada solución aplicada, por lo que dependiendo de las dimensiones de cada pozo, este tratamiento puede demandar más de un día.

Unidad XII**SISTEMAS DE ILUMINACIÓN****1. MAGNITUDES FOTOMÉTRICAS****1.1. FLUJO LUMINOSO**

Definición: Cantidad de luz emitida por una fuente luminosa en la unidad de tiempo (segundo).

Símbolo (léase fi).

Unidad de medida: lumen (Abreviatura lm).

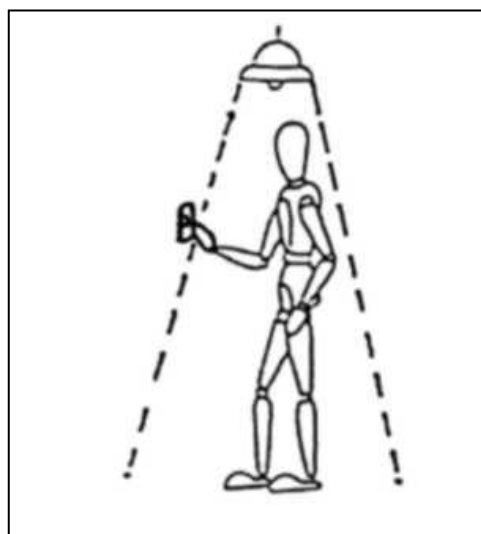


Figura 12.1

Símil hidráulico: cantidad de agua que sale de un grifo o de una ducha en un segundo.

Ordenes de magnitud

Lámparas de incandescencia, sub-miniatura para señalización (5 V. 75 mA): 1 lm.

Lámpara para bicicleta, de 2 W: 18 lm.

Lámpara de incandescencia, de 40 W 350 lm.

Lámpara de incandescencia, de 200 W: 3000 lm.

Lámpara fluorescente de cátodo caliente, de 40 W: 2500 lm.

Lámpara de vapor de mercurio de 400 W: 23000 lm.

Lámpara de vapor de sodio a alta presión de 400W: 3800 lm.

1.2. INTENSIDAD LUMINOSA

Definición: Parte del flujo emitido, por una fuente luminosa, en una dirección dada, por el ángulo sólido que lo contiene (*)

Símbolo: I

Unidad de medida: candela (abreviatura cd).

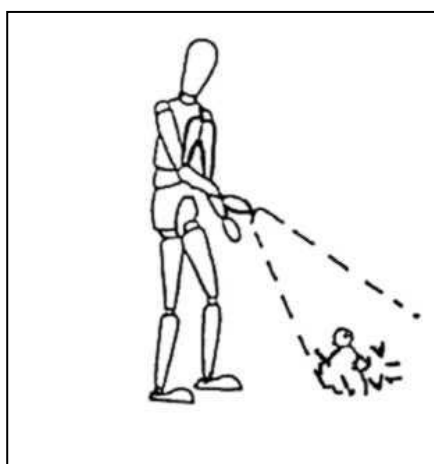


Figura12.2

Símil hidráulico: Intensidad de un chorro de agua en una dirección dada.
Ordenes de magnitud

Lámpara para bicicleta (sin reflector): 1 cd.

La misma lámpara para bicicleta, pero con reflector: 250 cd.

Linterna de un faro: 2 000 000 cd

Lámpara de incandescencia de 100 W: 110 cd

Lámpara fluorescente de 40W: 320 cd.

(*) Imaginemos una esfera de cristal traslucido cuyo radio sea de 1 metro. Si en el centro se coloca un proyector de dimensiones tan reducidas que hipotéticamente, se pueda identificar con una fuente luminosa puntiforme y si el área de la zona iluminada (S) equivale a 1 m^2 , el ángulo del cono de luz se identifica con la unidad de ángulo sólido (léase omega). La unidad de medida del ángulo sólido es el esfereorradian.

1.3. LUMINANCIA

Definición: Intensidad luminosa emitida en una dirección dada por una superficie luminosa o iluminada (fuente secundaria de luz).

Dicho de otro modo, expresamente el efecto de luminosidad que una superficie produce en el ojo humano, ya sea dicha fuente primaria (lámpara o luminaria) o secundaria (plano de una mesa que refleja la luz).

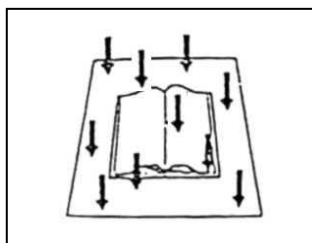


Figura 12.3

Símbolo: L

Unidad de medida: candela por metro cuadrado (cd/m^2).

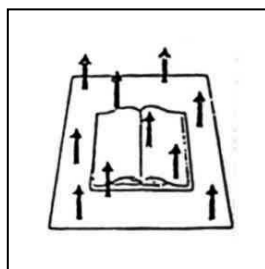


Figura 12.4

Ordenes de magnitud

Lámparas (*)

De incandescencia normal	100 – 2000 cd/cm^2
Fluorescentes tubulares	0,3 – 1.3 cd/cm^2
Objetos de tinte claro	
Con iluminación óptima	100 – 1000 cd/cm^2
Con iluminación débil	2 – 20 cd/cm^2
Papel o superficies pintadas (iluminados a 400 lux)	
Blanco	100 cd/cm^2
Negro	15 cd/cm^2

(*) La luminancia de las lámparas suele expresarse en candelas por centímetros cuadrado.

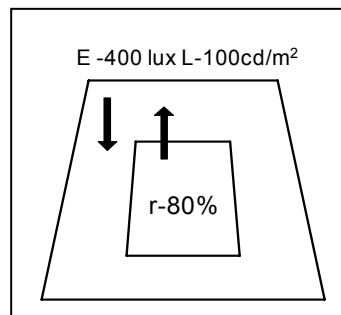


Figura 12.5

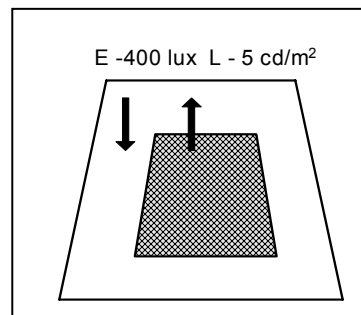


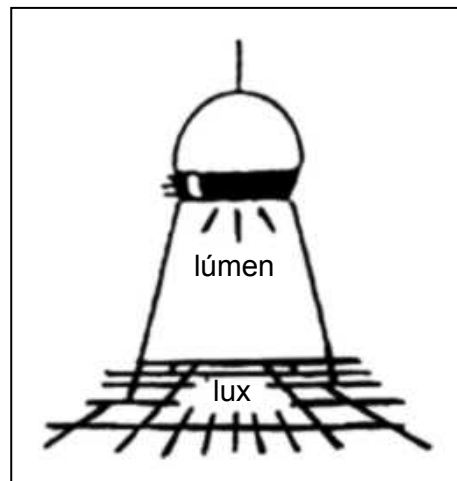
Figura 12.6

1.4. ILUMINACIÓN

Definición: flujo luminoso (o) por unidad de superficie (s).

Símbolo: E

Unidad de medida: lux ($\text{lx} = \text{lumen}/\text{m}^2$).



Figuras 12.7

Símil hidráulico: cantidad de agua por unidad de superficie.

Leyes de la iluminación

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

Ordenes de magnitud.

Iluminación natural.

Día de verano a pleno sol 100 000 lx.

Día de invierno a mediodía, al aire libre 10 000 lx.

Luna llena, cielo despejado 0,25 lx.

Iluminación general con luz artificial

Oficinas y escuelas 300 – 500 lx

Sala de estar 150 – 200 lx

Dormitorio 70 – 100 lx

Calles con buen alumbrado 15 – 25 lx

1.5. EFICIENCIA LUMINOSA

Definición: Relación entre el flujo emitido (ϕ), expresado en lúmenes, y la potencia eléctrica absorbida (P), expresada en vatios.

Indica el rendimiento de una lámpara o de una luminaria. Por lo tanto, cuanto mayor más económico resultará el empleo de la fuente luminosa. Símbolo: η (léase eta).

Unidad de medida: lumen por vatio (lm/W)

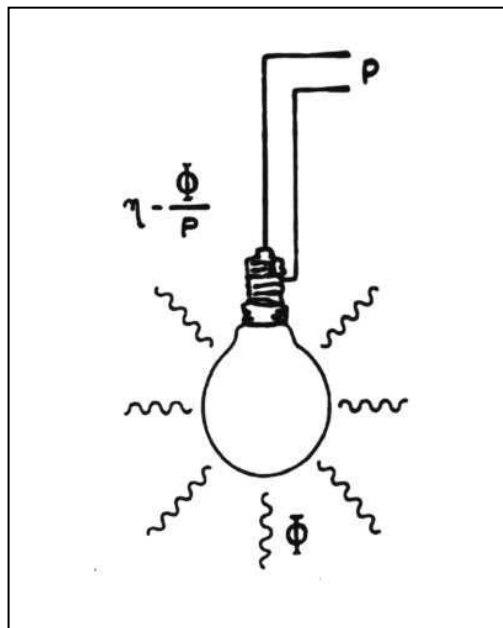


Figura 12. 8

Símil hidráulico: relación entre la cantidad de agua que arroja una bomba salvando un desnivel determinado y la potencia eléctrica necesaria para hacerla funcionar.

Ordenes de magnitud de la eficiencia luminosa de algunas fuentes de luz (con exclusión de eventuales: reactancias).

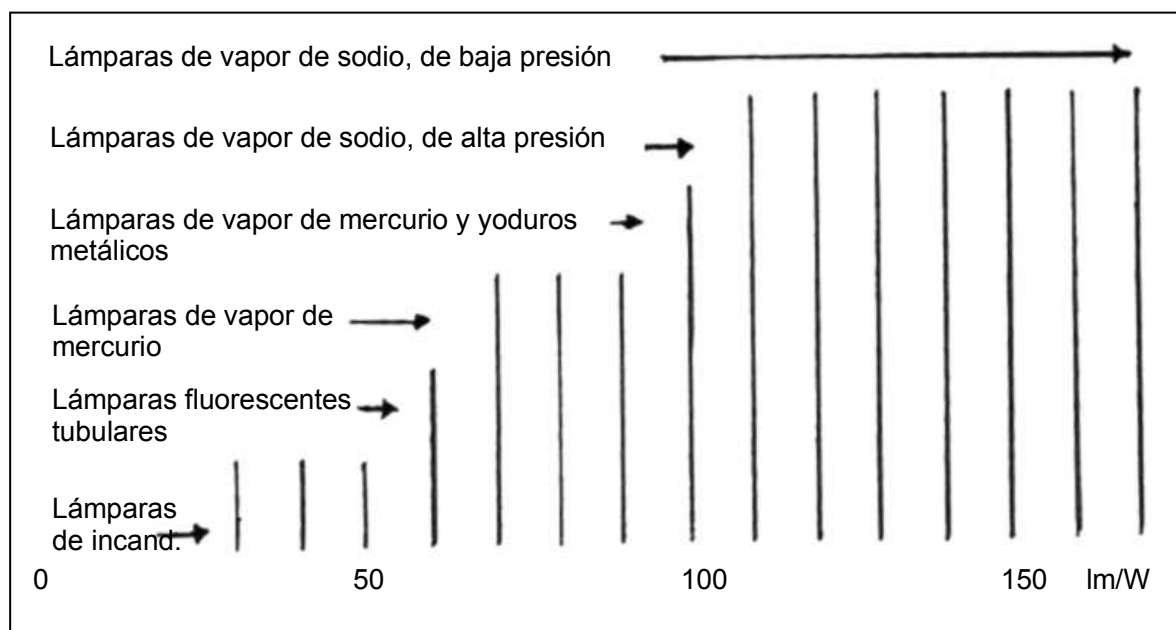
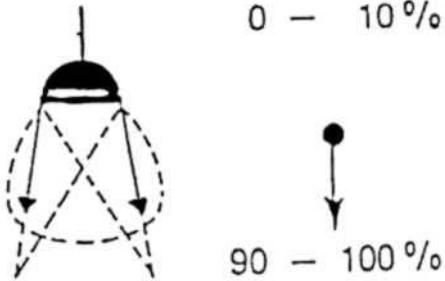
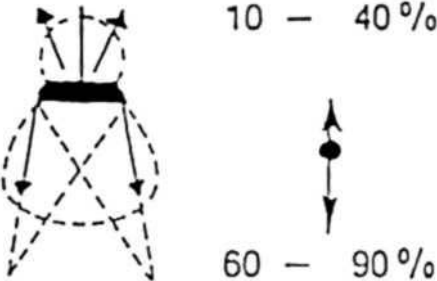
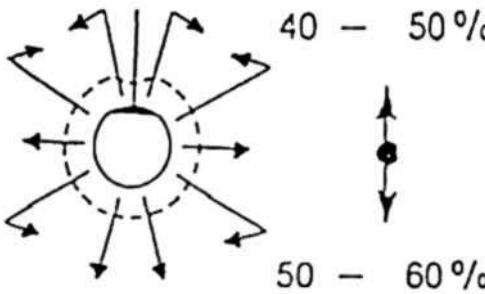
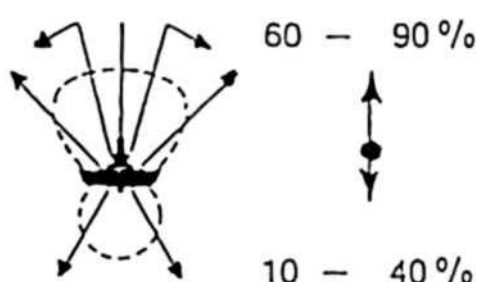
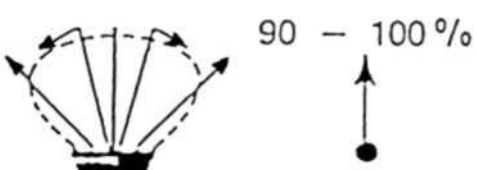
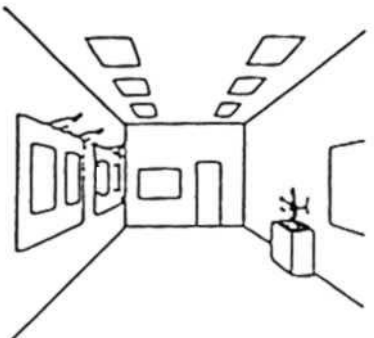


Figura 12.9

Tipos de iluminación

Representación y distribución del flujo luminoso	Notas
	Directa El flujo luminoso está dirigido hacia abajo. Este tipo de aparatos permite obtener rendimientos elevados.
	Semi-directa El flujo luminoso está dirigido en gran parte hacia abajo y en parte hacia arriba.
	Mixta El flujo luminoso está distribuido casi por igual, tanto hacia abajo como hacia arriba.
	Semi – indirecta El flujo luminoso se dirige principalmente hacia arriba.
	Indirecta El rendimiento es bajo y la visión poco nítida por la falta total de efectos de sombra.

Otra clasificación de los tipos de alumbrado puede ser la que se ofrece a continuación, existiendo luminarias especialmente previstas para las aplicaciones que se indican.

Ejemplos	Notas
	General Las luminarias están dispuestas de modo que produzcan un nivel de iluminación casi uniforme en cualquier punto del local. Ejemplos: iluminación de establecimientos, oficinas, tiendas, grandes almacenes, aulas, etc.
	Localizada Las luminarias se hallan situadas cerca de los puntos a iluminar. Ejemplos: iluminación de áreas limitadas, generalmente en ausencia de la iluminación general (escaparates, etc.
	Suplementaria. Las luminarias están situadas en la inmediata vecindad del punto de trabajo y se integran con la iluminación general. Ejemplos: iluminación de tableros de dibujo, escritorios, partes móviles de las máquinas – herramienta, escaparates, o cuadros.

2. PODER REFLECTANTE DE LOS MATERIALES Y DE LAS SUPERFICIES

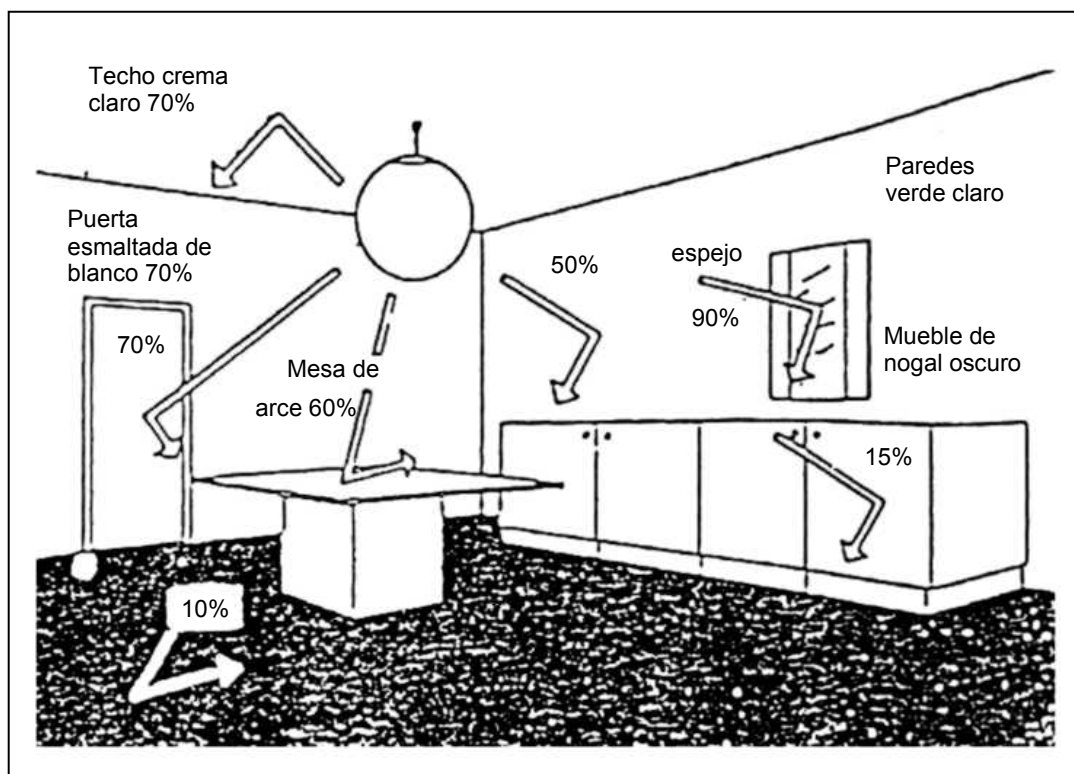


Figura 12.10

Tipo de reflexión	Materiales	Luz reflejada %
Regular	Vidrio plateado Aluminio abrigantado Aluminio pulido y cromo	80 – 90
Difusa	Encalado con yeso Arce y maderas similares Hormigón Nogal y maderas similares Ladrillos	75 – 85
Mixta	Esmalta blanco – aluminio satinado Aluminio cepillado – cromo satinado	60 - 70

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

2.1. MÉTODO DE CÁLCULO PARA LA ILUMINACIÓN DE INTERIORES

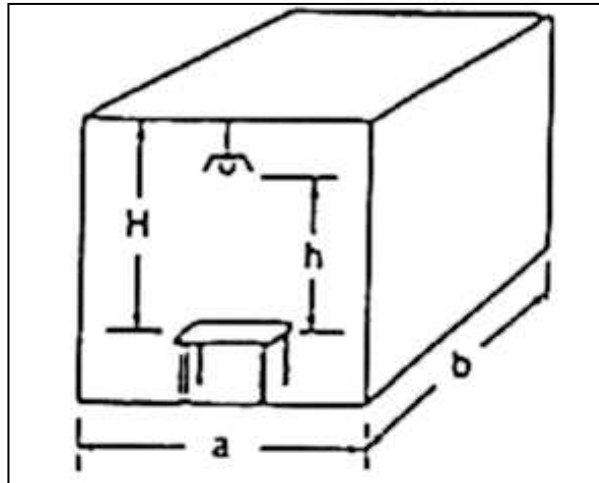
Para el proyecto de las instalaciones de iluminación de interiores se adopta el método del flujo total.

Llamando:

E iluminación media que se proyecta realizar (en lux); Φ (léase fi), flujo luminoso total emitido exclusivamente por las lámparas para obtener la iluminación deseada (en lúmenes);

Superficie total de local que se proyecta iluminar (en m²); u factor de utilización, obtenido experimentalmente en locales normalizados, utilizando luminarias de características fotométricas similares a las que se piensa emplear. Dicho factor depende: del sistema de iluminación, de las características de la luminaria, de índice K del local, de factor de reflexión de techo y paredes (*). El factor de utilización lo proporcionan unas tablas destinadas al efecto (ver págs. 96-97). Consúltense los fabricantes.

K índice del local: toma en consideración el ancho (a) y la profundidad (b) del local en cuestión, así como la altura de las lámparas respecto al plano de trabajo (h). Los valores se expresan en metros.

**Figura 12.11**

Para distribuciones con luz directa, semidirecta y mixta, el índice del local se calcula con la siguiente fórmula:

$$K = \frac{a \times b}{h (a + b)}$$

Para distribuciones con luz semiindirecta o indirecta es necesario tener en cuenta la altura de local (H) respecto al plano de trabajo.

$$K = \frac{3a \times b}{h (a + b)}$$

m factor de mantenimiento: tiene en cuenta las depreciación de las características fotométricas de las luminarias y el envejecimiento de las lámparas. Varía según las condiciones ambientales y la forma como se efectúa el mantenimiento. La tabla adjunta indica los valores apropiados para aparatos de uso corriente.

Tipo de mantenimiento	Factores de mantenimiento con relación al tipo de luminaria			
				
bueno	0,80	0,75	0,75	0,75
medio	0,70	0,65	0,70	0,65
pésimo	0,60	0,55	0,65	0,55

Figura 12.12

La fórmula básica para el cálculo del flujo luminoso total necesario para la iluminación de un local, teniendo en cuenta todos los factores que acabamos de describir, es la siguiente:

$$\phi = \frac{E \times S}{u \times m}$$

Llamado ϕ_L al flujo luminoso emitido por cada una de las lámparas, se puede deducir el número de lámparas (n) necesarias para obtener el nivel de iluminación deseado:

$$n = \frac{\phi}{\phi_L}$$

2.2. NIVELES DE ILUMINACIÓN ACONSEJADOS PARA INTERIORES

Tipo de trabajo		Iluminación general + suplementaria (lx)
Oficina	Salas de dibujo	750 – 1500
	Locales donde se realiza un trabajo continuado (mecanografía, escritura, etc.)	400 – 800
	Locales donde el trabajo no se desarrolla en forma continuada (escaleras pasillos, salas de espera)	75 – 150
Escuelas	Aulas de enseñanza	250 – 500
	Aulas de dibujo y trabajos manuales	400 – 800
Industria	Altísima precisión (relojes instrumentos pequeños, etc)	2500 – 5000
	Alta precisión (ajuste, etc)	1000 – 2000
	Normal (trabajos de taller)	400 – 800
	Pesada (forjado, laminado, etc.)	150 – 300
Locales comerciales	Salas de venta y exposición de grandes almacenes	500 – 100
	Interiores de tiendas	250 – 500
	Escaparates de grandes centros comerciales	100 – 200
	Escaparates de otros establecimientos	500 – 100
Viviendas	Sala de estar:	50 – 100
	• Iluminación general	500 – 100
	• Iluminación local	
	Cocina	150 – 250
	• Iluminación general	250 – 500
	• Iluminación local	
	Dormitorios, baños:	50 – 100
	• Iluminación general	250 – 500
	• Iluminación local	
	Pasillos escaleras, garaje, desvanes, sótanos, etc.	50 – 100

Potencia nominal	Flujo luminoso (*) (lm)		Eficiencia luminosa (lm/W)	
	127 V	220 V	127 V	220 V
25	220	220	8.8	8.8
40	430	350	10.8	8.8
60	750	630	12.5	10.5
100	1380	1250	13.8	12.5
150	2300	2090	15.4	14.0
200	3200	2960	16.0	14.6
300	4950	4610	16.5	15.3
500	8800	8300	17.6	16.6
1000	19100	18600	19.1	18.6
1500	29600	29000	19.8	19.5

2.3. FACTOR DE UTILIZACIÓN (U) DE ALGUNAS LUMINARIA

		Techo							
		75%		50%			30%		
		Paredes							
luminarias	Indice del local K	50%	30%	10%	50%	30%	10%	30%	10%
Zócalo solo o con cubierta absoluta 	0.50 ÷ 0.70	0.28	0.22	0.18	0.26	0.21	0.18	0.20	0.17
	0.70 ÷ 0.30	0.35	0.29	0.25	0.33	0.27	0.24	0.26	0.24
	0.90 ÷ 1.10	0.39	0.33	0.20	0.37	0.32	0.28	0.30	0.27
	1.10 ÷ 1.40	0.45	0.38	0.33	0.40	0.36	0.32	0.33	0.30
	1.40 ÷ 1.75	0.49	0.42	0.37	0.43	0.39	0.34	0.37	0.33
	1.75 ÷ 2.25	0.56	0.50	0.44	0.49	0.44	0.40	0.42	0.38
	2.25 ÷ 2.75	0.60	0.55	0.50	0.53	0.48	0.44	0.47	0.44
	2.75 ÷ 3.50	0.64	0.59	0.54	0.56	0.51	0.47	0.50	0.47
	3.50 ÷ 4.50	0.68	0.62	0.59	0.61	0.56	0.53	0.54	0.52
4.50 ÷ 6.50	0.70	0.65	0.62	0.65	0.62	0.60	0.58	0.57	
Difusores 	0.50 ÷ 0.70	0.26	0.23	0.21	0.23	0.21	0.19	0.19	0.17
	0.70 ÷ 0.30	0.32	0.29	0.27	0.28	0.26	0.24	0.23	0.21
	0.90 ÷ 1.10	0.37	0.33	0.31	0.31	0.29	0.27	0.26	0.24
	1.10 ÷ 1.40	0.40	0.26	0.34	0.34	0.31	0.30	0.28	0.26
	1.40 ÷ 1.75	0.42	0.39	0.36	0.36	0.33	0.32	0.30	0.28
	1.75 ÷ 2.25	0.46	0.43	0.40	0.41	0.38	0.35	0.32	0.30
	2.25 ÷ 2.75	0.50	0.46	0.43	0.44	0.40	0.39	0.34	0.33
	2.75 ÷ 3.50	0.52	0.48	0.45	0.46	0.44	0.41	0.37	0.26
	3.50 ÷ 4.50	0.55	0.52	0.49	0.48	0.46	0.45	0.39	0.38
4.50 ÷ 6.50	0.57	0.54	0.51	0.49	0.47	0.46	0.42	0.41	
Reflectores de haz amplio 	0.50 ÷ 0.70	0.38	0.32	0.28	0.37	0.32	0.28	0.31	0.28
	0.70 ÷ 0.30	0.46	0.42	0.38	0.46	0.41	0.38	0.41	0.38
	0.90 ÷ 1.10	0.50	0.46	0.43	0.50	0.46	0.43	0.46	0.43
	1.10 ÷ 1.40	0.54	0.50	0.48	0.53	0.50	0.47	0.49	0.47
	1.40 ÷ 1.75	0.58	0.54	0.51	0.56	0.53	0.50	0.52	0.50
	1.75 ÷ 2.25	0.62	0.59	0.56	0.60	0.58	0.56	0.58	0.56
	2.25 ÷ 2.75	0.67	0.64	0.61	0.65	0.63	0.61	0.62	0.61
	2.75 ÷ 3.50	0.60	0.66	0.63	0.67	0.65	0.63	0.64	0.62
	3.50 ÷ 4.50	0.72	0.70	0.67	0.70	0.68	0.66	0.67	0.66
4.50 ÷ 6.50	0.74	0.71	0.69	0.72	0.70	0.68	0.69	0.67	
Reflectores de haz medio 	0.50 ÷ 0.70	0.35	0.32	0.30	0.35	0.32	0.30	0.32	0.30
	0.70 ÷ 0.30	0.43	0.39	0.37	0.42	0.39	0.37	0.39	0.37
	0.90 ÷ 1.10	0.48	0.45	0.42	0.47	0.44	0.42	0.43	0.41
	1.10 ÷ 1.40	0.53	0.50	0.47	0.52	0.49	0.47	0.48	0.46
	1.40 ÷ 1.75	0.57	0.53	0.50	0.55	0.52	0.50	0.52	0.50
	1.75 ÷ 2.25	0.61	0.57	0.55	0.59	0.57	0.54	0.56	0.54
	2.25 ÷ 2.75	0.64	0.61	0.59	0.62	0.60	0.58	0.59	0.57
	2.75 ÷ 3.50	0.66	0.63	0.61	0.63	0.61	0.60	0.61	0.59
	3.50 ÷ 4.50	0.68	0.66	0.63	0.66	0.64	0.63	0.63	0.62
4.50 ÷ 6.50	0.69	0.67	0.66	0.67	0.66	0.64	0.65	0.63	

3. FUENTES LUMINOSAS

3.1. CLASIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS

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

- De irradiación en gas o vapores –(lámparas fluorescentes, de vapor de mercurio, de sodio, etc.)

- De descarga en gas o vapores (lámparas fluorescentes, de vapor de mercurio de sodio, etc.).

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

Potencial nominal: condiciona el flujo luminoso y las proporciones de la instalación bajo el punto de vista eléctrico (sección de los conductores, tipos de protección, etc.)

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

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

Temperatura de color: condiciona la tonalidad de luz. Se dice que una lámpara proporciona luz "Cálida" o "Fría" si prevalecen las radiaciones luminosas de color rojizo o azulado;

Tamaño: condiciona la construcción de los aparatos de iluminación (direccionalidad del haz luminoso, coste, etc.).

¡Atención! Las características de las lámparas que se ofrecen en las páginas siguientes pueden variar de un fabricante a otro; por lo tanto, será conveniente consultar los catálogos, sobre todo cuando se tenga que realizar alguna instalación particularmente comprometida.

Tipo de reflexión	Materiales	Luz reflejada
Regular	Vidrio plateado	80 – 90
	Aluminio abrillantado	75 – 85
	Aluminio pulido y cromo	60 – 70
Difusa	Encalado con yeso	80 – 90
	Arce y maderas similares	60
	Hormigón	15 – 40
	Nogal y maderas similares	15 – 20
	Ladrillos	5 – 25
Mixta	Esmalte blanco – aluminio satinado	70 – 90
	Aluminio cepillado – cromo satinado	55 – 58

Tonalidad	Color de las paredes y techos	Luz reflejada %
Clara	Blanco	75 – 90
	Crema – claro	70 – 80
	Amarillo – claro	55 – 65
	Verde claro y rosa	45 – 50
	Azul y gris claro	25 – 35
Mejia	Beige	20 – 25
	Ocre, marrón, verde oliva	20 – 25
Oscura	Verde, azul, rojo, gris (oscuros)	10 – 15
	negro	4

3.2. EJEMPLOS DE CÁLCULO

Ejemplo 1: pequeño taller artesano

Datos de partida

- Definición de las características del local.
Dimensiones: en planta 5 x 5 m;
Altura del techo 3,30 m.
Colores: paredes y techo de tonos medios.
Sistema de iluminación: directo

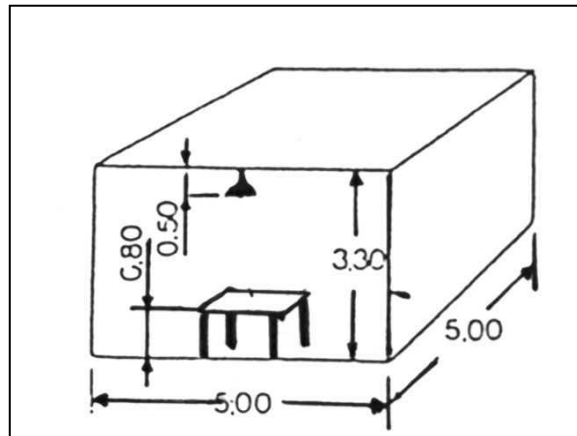


Figura 12.13

Datos a determinar o calcular:

1. Nivel de iluminación: $E = 250 \text{ lux}$.
2. Superficie del local:

$$S = a \times b = 5 \times 5 = 25 \text{ m}^2.$$

Indice del local: Asumiendo que se va a utilizar una luminaria suspendida del techo, a una distancia de 0,50 m del mismo, y el plano de trabajo está a 0,80 m del suelo, la altura h a considerar será de 2m. Por consiguiente, tratándose de una iluminación directa, tendremos:

$$K = \frac{a \times b}{h(a+b)} = \frac{5 \times 5}{2(5+5)} = 1.25$$

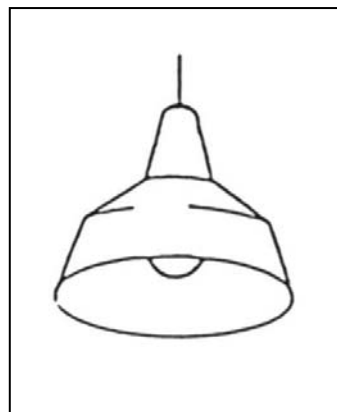


Figura 12.14

1. Coeficientes de reflexión del techo y paredes 30%
2. Tipos de lámpara: de incandescencia, alimentada a 220V.
3. Tipo de luminaria: reflector de haz medio.
4. Factor de utilización: $u = 0,48$, obtenido mediante la tabla de las páginas 96-97 con relación al tipo de luminaria elegido, al índice del local (1,25, o sea, comprendido entre 1,10 y 1,40), el coeficiente de reflexión del techo y de las paredes (30%)
5. Tipo de mantenimiento previsto: bueno ($m = 0,75$).
6. Flujo total.

$$\Phi = \frac{E + S}{u \times m} = \frac{250 \times 25}{0.48 \times 0.75} = 17\,360 \text{ lumen}$$

7. En la tabla de la pagina 21 vemos que el flujo luminoso emitido por la lámpara de 1000 vatios, alimentando a 220V, se aproxima mucho al requerimiento (18600lm). Sin embargo, mejor que una sola lámpara es preferible el empleo de cuatro de menor potencia.

$$\Phi = \frac{\phi}{n} = \frac{17\,360}{4} = 4\,340 \text{ lumen}$$

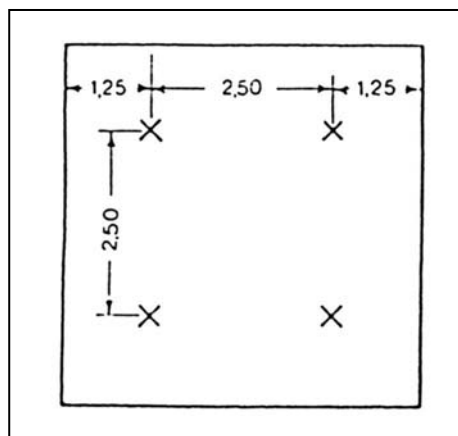


Figura 12.15

La tabla de la página 235 nos permite observar que entre las diferentes opciones de potencia posibles lo más oportuno es inclinarse hacia la elección de lámparas de 300 vatios que emiten 4610 lúmenes.

Las cuatro lámparas se pueden disponer en la forma que muestra la figura (*). Con esta solución la potencia instalada es superior a la que se tendría con una sola lámpara, pero se obtiene no sólo una iluminación más uniforme sino también una mejor continuidad de servicio.

Potencial absorbida:

$$P = 300 \times 4 = 1200 \text{ W (**)}$$

(*)De acuerdo con lo dicho en la pág. 81 acerca de la distancia (d) que se debe adoptar para la separación entre luminarias, referida a la altura (h) sobre el plano de trabajo, en el caso que estamos examinando se debería respetar la relación d h. Por razones de simetría se ha adoptado una distancia mayor.

(**)Dicha potencia es, sin lugar a dudas, elevada, considerando las reducidas dimensiones del local; los costes de ejecución y mantenimiento resultan excesivos. Ello nos demuestra porque las lamparas de incandescencia no son aconsejables para la iluminación general de ambientes industriales y conviene, por lo tanto orientarse hacia otros tipos de lampara (fluorescente o de vapor de mercurio) cuya eficiencia y promedio de vida son decididamente superiores.

De hecho, apelando a lámparas fluorescentes tubulares de 40 W y alto rendimiento lumínico de tono cálido (3200 lúmenes). Bastarían seis, con un consumo total de 300W (teniendo en cuenta una absorción hipotética de 10W por parte de la reactancia.

Ejemplo 2: sala de dibujo

Datos de partida

1. Definición de las características del local.
Dimensiones: en planta 17 x 10 m; altura del techo 5 m.
Colores: paredes claras; techo blanco.
Sistema de iluminación: mixta, con luminarias suspendidas a 0,30 m del techo
Datos a determinar o calcular
2. Nivel de iluminación: $E = 500 \text{ lux}$.
3. Superficie del local:
 $S = a \cdot b = 17 \times 10 = 170 \text{ m}^2$.
4. Índice del local: se considera $h = 3,70\text{m}$ para la altura de las lámparas sobre el plano de trabajo, teniendo en cuenta que están suspendidas a 0,30 metros del techo ($1,00 + 0,30 = 1,30 \text{ m}$):

$$K = \frac{a \cdot b}{h(a + b)} = \frac{17 \times 10}{3.70(17 + 10)} = 1.70$$

5. Coeficientes de reflexión: techo 75% paredes 50%.
6. Tipo de lámpara: fluorescentes de cátodo caliente; potencia 40W (50W incluyendo la reactancia); luz blanquísima extra.

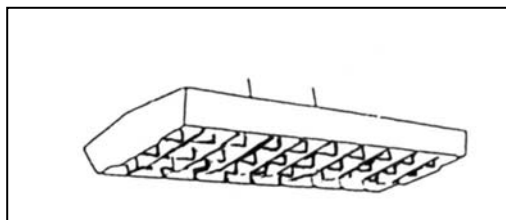


Figura 12.16

7. Tipo de luminaria preestablecido: colgante, con pantalla.
8. Factor de utilización: $u = 0,42$ obtenido a partir de la tabla de las páginas 96-97 con relación al tipo de luminaria preestablecido, al índice del local (1,70), y al coeficiente de reflexión del techo (75%) y de las paredes (50%).
9. Tipo de mantenimiento previsto: medio ($m = 0,70$).
10. Flujo total:

$$\Phi = \frac{E + S}{u \times m} = \frac{500 \times 170}{0,42 \times 0,70} = 289\,116 \text{ lúmenes}$$

11. Número de lámparas (n): flujo emitido por cada lámpara (Φ , 2500 lm):

$$n = \frac{\phi}{\phi L} = \frac{289\,116}{2500} = 115,6 \text{ redondeado a } 116 \text{ lámparas.}$$

Si se adopta una luminaria prevista para alojar cuatro lámparas, de número de luminarias será:

$$116/4 = 29, \text{ redondeado a } 30 \text{ por razones de simetría.}$$

Es preciso, sin embargo, verificar la posibilidad de montar dichas luminarias. En efecto, admitiendo que la longitud de cada una sea de 1,30m (una lámpara fluorescente de cátodo caliente, de 40W, tiene una longitud de 1,20m), y queriendo disponerlas en dos hileras, paralelas al lado mayor del local, 15 luminarias colocadas una a continuación de la otra de modo que formen dos hileras continuas requerirán $15 \times 1,30 = 19,5$ m, en tanto que la longitud del local es de 17m solamente.

Recurriendo a lámparas de 65W, cuyo flujo luminoso es de 4000 lm (ver página 40), el número de lámparas necesarias será de:

$$n = \frac{\phi}{\phi L} = \frac{289\,116}{4\,000} = 72.3 \text{ redondeado a } 73 \text{ lámparas.}$$

Dado que cada una tiene una longitud de 1,50 m y admitiendo que la luminaria mida 1,60m, tendremos $72/4 = 18$ luminarias. Cada hilera de 9 luminarias tendrá, pues, una longitud de 14,40 metros y se podrá instalar en el local.

12. Potencia absorbida por la instalación:

$$P = n \cdot P_n = 72 \times 75 = 5400 \text{ W}$$

Siendo P_n la potencia absorbida por cada lámpara (reactancia incluida).

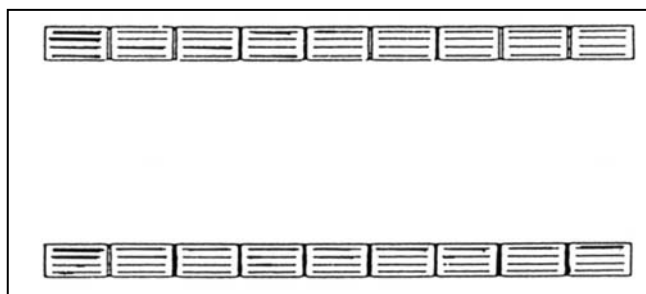


Figura 12.17

Ejemplos 3 Aula Escolar

Datos de partida

1. Definición de las características del local.
 Dimensiones: en planta 10 x 6.5: Altura de techo 4m.
 Colores: Paredes gris claro: techo blanco.
 Nivel de iluminación: 300 lux.
 Factor de mantenimiento: Medio.

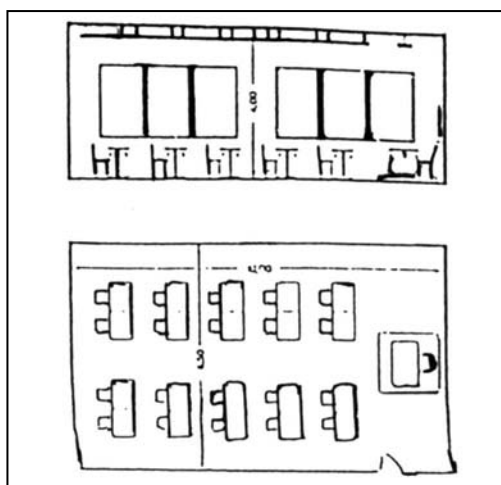


Figura 12.18

Sistema de iluminación: Directo, mediante luminarias suspendidas del techo, provistas de pantalla reticular (Análogas a las del ejemplo precedente), Dispuestas en hileras contiguas de 40W. Luz blanquísima extra.

El cálculo se realiza según los criterios indicados en el ejemplo anterior por lo que, para abreviar, no repetiremos el proceso. Recordamos, no obstante, que al disponer las fuentes luminosas se deben evitar los fenómenos de deslumbramiento por reflexión: Será conveniente, por lo tanto, situarlas paralelas a las hileras de bancos antes que transversales a ellos.

La figura indica la colocación errónea y la correcta: en la primera, el ángulo de incidencia de los rayos luminosos sobre el objeto observado es igual y simétrico a la dirección de la observación y la luminancia de las superficies da lugar a deslumbramiento; en la segunda el sujeto no es alcanzado por los rayos reflejados.

Lo dicho vale también para talleres, laboratorios, etc.

Téngase en cuenta, además que el encerrado debe tener una iluminación adecuada, conservando su validez todo cuanto acabamos de decir a propósito del deslumbramiento por reflexión. Un método para evitar este fenómeno consiste en colocar la fuente luminosa destinada a iluminarlo, dentro de la zona delimitada por un ángulo de 15° cuyo vértice se sitúa en el centro del encerrado.

Como consecuencia de todo lo dicho y de los cálculos efectuados se puede disponer las lámparas en la forma que indica el esquema que aparece mas abajo. En otros términos, para obtener los 300 lux requeridos se deberán proveer 28 lámparas fluorescentes de 40W.

Ejemplo 4: Nave Industrial.

Datos de partida:

1. Definición de las características del local.

Dimensiones: En planta 48 x 32m; cubierta formada por 10 secciones en forma de diente de sierra (shed.); distancia entre ejes de pilares 4.8m altura a nivel de los pilares: 6m.

Calor de las paredes: tiene medio

Sistema de iluminación: Directa, con luminarias suspendidas a 5.40 del suelo.

Datos a determinar o calcular.

2. Nivel de iluminación: 400 lux.

3. Superficie del local.

$$S = a \cdot b = 48 \times 32 = 1536 \text{ m}^2$$

4. Índice del local: se considera $h = 4.50\text{m}$. teniendo en cuenta que el plano de trabajo se encuentra a 0.90m . del suelo.

$$K = \frac{a \cdot b}{h(a+b)} = \frac{48 \times 32}{4.50(48+32)} = 4.26$$

5. Coeficiente de reflexión: techo y paredes 30%.

6. Tipo de lámpara: de vapor de mercurio.

7. Tipo de luminaria previsto: reflector de haz medio.

8. Factor de utilización: $u = 0,63$ obtenido con la ayuda de la tabla de paginas 96-97 teniendo en cuenta el tipo de luminaria previsto, el índice del local y el coeficiente de reflexión del techo y de las paredes.

9. Tipo de mantenimiento previsto: bueno, ($m = 0,75$).

10. Flujo total:

$$\Phi = \frac{E + S}{u \times m} = \frac{400 \times 1536}{0.63 \times 0.75} = 1\,300\,317 \text{ lúmenes}$$

11. Numero de lámparas: Asumiendo que se van a utilizar lamparas de vapor de mercurio con bulbo fluorescente, de 50W, cuyo flujo luminoso (ϕ) es de 13700 lm. Tendremos:

$$n = \frac{\phi}{\phi L} = \frac{1.300\,317}{13700} = 95 \text{ lámparas.}$$

Puesto que las lamparas tienen que estar regularmente distribuidas en el local, que tiene 10 secciones transversales, será necesario redondear a 100 el número de las lámparas de forma que se tenga igual número de ellas en cada sección, o sea. 10 lamparas distribuidas en los 32 metros de ancho y por consiguiente, 5 en cada área onimarcada por cuatro pilares.

La distancia entre centros de luz debería ser:

$$d = 0,9 \quad h = 0,9 \times 4,5 = 4\text{m.}$$

Ahora bien, disponer los centros luminosos a lo largo del eje central de cada sección no sería satisfactorio por cuanto la separación entre lamparas sería de 4.80 m. En la dirección del eje mayor de la nave (igual a la distancia entre columnas) y de 3.20m. (16:5) a lo largo del

eje menor; excesiva en un sentido y demasiado pequeña en el otro. Así pues, se adopta la disposición al tresbolillo como se indica en la figura, con lo que la distancia entre lamparas queda fijada en 3,60m.

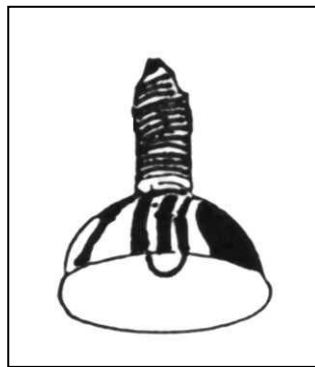


Figura 12.19

12. Respecto a la potencia instalada, siendo 266 W. La absorción de cada lámpara (incluida la reactancia), tendremos:

$$P = 266 \times 100 = 26600W = 26,6 \text{ KW.}$$

Unidad XIV**INSTALACIONES ELÉCTRICAS A PRUEBA DE EXPLOSIÓN****1. INTRODUCCIÓN**

Es importante en la formación del técnico electricista, conocer y tener una exacta idea de toda la normatividad que comprende las instalaciones a prueba de explosión. Además es muy importante señalar que hoy por hoy, la necesidad de su conocimiento se hará cada vez más necesario, visto el futuro energético del país.

La instalación eléctrica en un área clasificada debe eliminar el riesgo de inflamación o explosión. Existen para ello varias metodologías: previniendo la ignición (seguridad aumentada, seguridad intrínseca, uso de atmósferas inertes) o permitiendo ésta pero conteniéndola (equipos a prueba de explosión).

Los equipos a prueba de explosión no son herméticos, está previsto que los gases ingresen al mismo y se inflamen si existe en el interior de éste una fuente de energía. El equipo debe contener la explosión sin deformarse, y permitiendo la salida de los gases calientes a través de juntas de tolerancias controladas de manera que estos se enfríen por debajo de su punto de ignición antes de alcanzar la atmósfera externa.

2. NORMATIVIDAD

Se puede distinguir las normas que enmarcan las instalaciones a prueba de explosión. Haciendo su clasificación en Normas de carácter internacional y otra de carácter nacional

3. CLASIFICACIÓN DE LUGARES PELIGROSOS

Los lugares están clasificados en función de las propiedades de los vapores, líquidos o gases inflamables, o de polvos o fibras combustibles que puedan estar presentes, y de la probabilidad de que una concentración o cantidad de combustible esté presente.

A veces es posible reducir la cantidad de equipos especiales requeridos, colocándolos en áreas menos o no peligrosas. También es posible reducir los peligros y eliminar o reducir las áreas peligrosas por medio de ventilación por presión positiva, utilizando una fuente de aire limpio y dispositivos eficaces contra las fallas de ventilación. Todas las tuberías mencionadas en el presente capítulo deberán ser roscadas con matrices para roscar tuberías con una conocida de 3/4 de pulgada por pie. Tales tuberías deberán ser ajustadas con una llave de ajuste para disminuir el chisporroteo cuando una corriente de falla recorra todo el sistema de tuberías. Cuando no sea factible ajustar suficientemente la unión, se deberá utilizar un puente de unión.

3.1. LUGARES CLASE I

Son aquellos lugares en los cuales existe o puede existir en el aire cantidades suficientes de gases o vapores inflamables, como para producir mezclas explosivas o inflamables. Los lugares Clase I son los que se indican a continuación:

3.2. CLASE I, DIVISIÓN 1

Se denomina así a los lugares en los cuales:

- Existe en forma continua, intermitente o periódica, en condiciones normales de funcionamiento, concentraciones peligrosas de gases o vapores inflamables; o
- Puede existir con frecuencia concentraciones peligrosas de tales gases o vapores a causa de trabajos de reparación, mantenimiento o debido a fugas;
- La ruptura o el funcionamiento defectuoso del equipo o procesos pueden liberar concentraciones peligrosas de gases o vapores inflamables que a su vez puedan también ocasionar la falla simultánea del equipo eléctrico.

3.3. CLASE I, DIVISIÓN 2

Se denomina así a los lugares en los cuales:

- Se manejen, procesen o empleen líquidos volátiles inflamables o gases inflamables, pero en los cuales los líquidos, gases o vapores peligrosos se encuentran normalmente contenidos en recipientes o en sistemas cerrados, de donde puedan escapar solamente en caso de ruptura

accidental o explosión de dichos recipientes o sistemas, o en caso de funcionamiento anormal del equipo; o

- Se evitan normalmente las concentraciones peligrosas de gases o vapores por medio de la ventilación mecánica del tipo de extracción pero que pudiera hacerse peligroso por falla o funcionamiento anormal del sistema de ventilación; o
- Estén adyacentes a lugares de Clase I, División 1, y a los cuales pueden llegar ocasionalmente concentraciones de gases o vapores peligrosos, a menos que se evite dicha comunicación por medio de un sistema de ventilación por inyección de aire limpio y se provean medios seguros contra fallas de la ventilación.

PRODUCTOS QUÍMICOS POR GRUPOS

Grupo A Atmósferas	Acetileno	
	Acroleína (inhibido) (2)	Gases manufacturados con más de 30% de hidrogeno
Atmósferas Grupo B	Butadieno (1) Óxido de etileno (2)	(por volumen) Óxido de propileno (2)
	Hidrógeno	
Atmósferas Grupo C	Acetaldehído Alcohol alilo n-butiraldehído	Etileno Etilenimina Hidrógeno sulfhídrico
	Monóxido de carbono Aldehído Ciclopropano	Morfolina 2-Nitropropano Tetrahidrofurano
	Éter dietílico	Hidracina dimetilica asimétrica (hidracina 1-dimetilica)
	Dietilamina Epiclorihidina	
Atmósferas Grupo D	Ácido acético (glacial)	Óxido de mesitilo
	Acetona	Metano (gas natural)
	Nitrilo acrílico	Metanol (alcohol metílico)
	Amoniaco	3-metil-1-butanol (alcohol esoamil)
	Benceno Butano 1-butanol (alcohol butílico)	Cetona metil etilica Cetona metil isobutílica. 2 metil-1-propanil (alcohol isobutílico)
	2-butanol (alcohol butílico secundario) Acetato	2 metil-2-propanol (alcohol butílico terciario) Nafta de petróleo (3)
	Acetato n-butílico Acetato isobutílico Etano Etanol (alcohol etílico)	Piridina Octanos Propano 1-Propanol (alcohol propílico)
	Acetato etílico	2-Propanol (alcohol isopropílico)
	Acrilato etílico Diamina etileno	Propileno Estireno
	Dicloruro de etileno	Tolueno
	Gasolina Heptanos Hexanos	Acetato de vinilo Cloruro de vinilo Xilenos
	Isopreno	Éter isopropílico
Atmósferas Grupo E	Atmósferas con polvos metálicos, incluyendo aluminio, magnesio y sus aleaciones comerciales, y otros metales de características igualmente peligrosas.	
Atmósferas Grupo F	Atmósferas con polvos de negro humo, polvos de carbón o que contengan más del 8% del total de material volátil, o atmósferas que contiene estos polvos sensibilizados por otros materiales de manera que presenten un peligro de explosión.	
Atmósferas Grupo G	Atmósferas con harina, almidón, polvos de cereales o granos.	

(1) Los equipos Grupo D pueden usarse para esta atmósfera si están aislados de acuerdo con 6.2.5.1, sellando los conductos de diámetro nominal de 15 mm ó más.

(2) Los equipos Grupo C pueden usarse para esta atmósfera si están aislados de acuerdo con 6.2.5.1, sellando todos los conductos de diámetro nominal de 15 mm ó más.

(3) Mezcla de hidrocarburos saturados que hierven en el orden de 20 a 135 °C.

Es también conocida por los sinónimos de bencina, ligroina, éter de petróleo o nafta.

3.4. LUGARES CLASE II

Son aquellos lugares que son peligrosos debido a la presencia de polvos combustibles. Los lugares de Clase II son los que se indican a continuación:

3.5. CLASE II, DIVISIÓN 1

Se denomina así a los lugares en los cuales:

- Existan o puedan existir polvos combustibles suspendidos en el aire de manera continua, intermitente o periódica, en condiciones normales de funcionamiento, y en cantidades suficientes para producir mezclas inflamables o explosivas; o
- Puedan producirse dichas mezclas a causa de averías mecánicas o del funcionamiento anormal de la maquinaria o del equipo, pudiendo producirse al mismo tiempo una fuente de ignición provocada por averías simultáneas de lo. equipos eléctricos de los sistemas de protección, o por otras causas, o
- Puedan estar presentes polvos combustibles de naturaleza eléctricamente conductiva.

3.6. CLASE II, DIVISIÓN 2

Son los lugares donde el polvo combustible no se encuentra normalmente suspendido en el aire, o donde no es probable que sea lanzado en suspensión, debido a la operación normal de los equipos o aparatos, en cantidades suficientes como para producir mezclas explosivas o inflamables, pero donde:

- Los depósitos o acumulaciones de tales polvos combustibles, puedan ser suficientes para interferir con la segura disipación de calor de los equipos o aparatos eléctricos
- Tales depósitos o acumulaciones de polvo combustible sobre, dentro o en la proximidad de los equipos eléctricos puedan ser inflamados por arcos, chispas o un material en combustión provenientes de tales equipos.

3.7. LUGARES CLASE III

Son aquellos lugares que son peligrosos debido a la presencia de fibras o pelusas inflamables, pero en los cuales no es probable que se hallen en suspensión en el aire en cantidades suficientes como para producir mezclas inflamables. Los lugares de Clase III son los que se indican a continuación:

3.7.1. CLASE III, DIVISIÓN 1

Son los lugares en los cuales se manipulan, fabrican o emplean fibras fácilmente inflamables o materiales que produzcan pelusas fácilmente inflamables. Dichos lugares comprenderán determinadas partes de las fábricas de rayón, algodón y otros productos textiles; plantas para el proceso y fabricación de fibras combustibles, máquinas desmontadoras de algodón y semillas de algodón, plantas para el tratado del lino, plantas de fabricación de tejidos, plantas de carpintería, y establecimientos e industrias que involucren condiciones o procesos de peligro similares.

Las fibras y pelusas fácilmente inflamables comprenderán el rayón, algodón (incluyendo las fibras de residuo y el desecho del algodón), cáñamo, sisal, ixtie, yute, estopa, fibra de cacao, balas de algodón de desecho, miraguano, musgo negro de Florida, virutas de relleno y otros materiales de naturaleza similar.

3.7.2. CLASE III, DIVISIÓN 2

Son los lugares en los cuales se almacenan o manipulan fibras fácilmente inflamables; excepto en procesos de fabricación.

4. CLASIFICACIÓN DE EQUIPOS Y MATERIAL ELÉCTRICO SEGÚN EL LUGAR DE INSTALACIÓN

Para Transformadores y Condensadores

Clase I, División 1

En estos lugares, los transformadores y condensadores deberán cumplir con los requisitos siguientes:

Transformadores y condensadores que contengan líquidos combustibles. Deberán ser instalados solamente en bóvedas aprobadas que cumplan con 5.4.9 y con lo siguiente:

- No deberá haber puerta u otro medio de comunicación entre la bóveda y el área peligrosa; y
- Deberán estar provistas de una amplia ventilación para la Renovación continua de los gases o vapores peligrosos; y
- Las aberturas o ductos de ventilación deberán comunicarse con un lugar seguro que se encuentre fuera del edificio; y
- Los ductos y aberturas de ventilación deberán tener suficiente área para descargar las presiones de explosión que se produzcan en la bóveda, y todas las partes de los ductos de ventilación que se encuentren dentro de la edificación deberán ser reforzadas con concreto armado.

Transformadores y condensadores que no contengan líquidos combustibles. Deberán ser instalados en bóvedas que cumplan con lo anterior, o que sean aprobados para lugares Clase I.

Medidores, Instrumentos y Relés

Clase I, División 1

En estos lugares, los medidores, instrumentos y relés, incluyendo los medidores de energía, transformadores de medida, resistencias, rectificadores y los tubos termoiónicos deberán estar provistos con cubiertas aprobadas para los lugares (C-1, D-1) incluyen a las cubiertas a prueba de explosión, purgadas y presurizadas.

Clase I, División 2

En estos lugares, los medidores, instrumentos y relés deberán cumplir con lo siguiente:

1. Contactos. Los interruptores, disyuntores, así como los contactos de cierre o apertura de los pulsadores, relés, altavoces y campanas de alarma deberán tener cubiertas aprobadas para Lugares Clase I, División 1 de acuerdo con 6.2.3.1, a excepción de lo siguiente:

Se permitirán cubiertas de uso general, si los contactos de interrupción de corriente se encuentran:

- Sumergidos en aceite; o
- Encerrados en un gabinete sellado contra la entrada de gases o vapores; o
- En circuitos que bajo condiciones normales no liberen energía suficiente como para inflamar una mezcla atmosférica peligrosa.

2. Resistencias y equipos similares. Las resistencias, dispositivos con resistencia, tubos termoiónicos, rectificadores y equipos similares que sean usados en, o en conexión con medidores, instrumentos y relés, deberán cumplir con lo indicado en 6.2.3.1, a excepción de lo siguiente:

Se permitirán cubiertas de uso general si estos equipos no tienen contactos deslizantes o de cierre y apertura (diferentes a los indicados en 6.2.3.2 a)), y si la temperatura máxima de operación de cualquier superficie expuesta no excede el 80% de la temperatura de encendido del gas o vapor presente, o ha sido aprobada y encontrada incapaz de encender dicho gas o vapor.

3. Sin contacto de cierre o apertura. Los devanados de los transformadores, las bobinas de impedancia, los selenoides y otros devanados que lleven contactos deslizantes o de cierre o apertura, deberán estar en cubiertas que pueden ser de uso general.
4. Ensamblaje de uso general. Cuando un ensamblaje está formado por componentes para los cuales sean aceptables cubiertas de uso general de acuerdo con a), b) y c) anteriores, se podrá aceptar una cubierta única de uso general para el ensamblaje. Cuando el ensamblaje incluye alguno de los equipos indicados en b) anterior, deberá indicarse clara y visiblemente en la parte externa de la cubierta, la temperatura máxima superficial obtenible en cualquiera de sus componentes. Como alternativa, se permitirá marcar el equipo aprobado a fin de indicar el rango de temperatura para la cual es apropiado, usando, los números de identificación dados en la Tabla 6-II.
5. Fusibles. Cuando se permita cubiertas de uso general en a), b), c) y anteriores, los fusibles para protección contra sobrecorriente de los circuitos de los instrumentos podrán ser montados en cubiertas de uso general, si

dichos fusibles no exceden de 1.5 A a 200 V, y si cada fusible es precedido por un interruptor que cumpla con a) anterior.

6. Conexiones. Para facilitar los reemplazos, los instrumentos para el control de procesos se podrán conectar por medio de cordones, enchufes y tomacorrientes si se cumplan con las condiciones siguientes:
7. i) Se disponga de un interruptor que cumpla con a) anterior, para que la interrupción de la corriente no se haga con el enchufe; y ii) la corriente no exceda de 1.5 A a 200 V; y iii) El cordón de alimentación no tenga una longitud mayor de 1 m, y sea de un tipo aprobado para uso extra pesado, o uso pesado si está protegido por su ubicación, y es alimentado a través de un enchufe y tomacorriente del tipo de retención mecánica con toma de tierra; y iv) se instalen sólo los tomacorrientes necesarios y que cada uno lleve un letrero que indique "no desconectar con carga".

5. DISTANCIAS MÍNIMAS DE SEGURIDAD

Distancias mínimas entre tuberías que conducen gas vistas o embebidas y tuberías de otros servicios

Tuberías de otros servicios	curso paralelo	cruce
Conducción de agua caliente	3 cm	1 cm
Conducción eléctrica	3 cm	1cm

Distancias de los medidores a líneas eléctricas*

Líneas eléctricas		Distancia mínima de seguridad en m
Sobre	Hasta	
-	1 000V	2
1 000V	15 000V	6
15 000V	-	20

(*) Aplicables a líneas aéreas o cajas de derivación.

AL

G



Figura 14.1 Unos accesorios que tienen inmunidad a la explosión.

CAJETINES CONDUIT

APLICACIONES

ramificaciones y cambios de dirección en la canalización.

Proveer acceso a los conductores para su tendido, empalme y mantenimiento



Figura 14.2

CODOS PARA EMPALME Y TENDIDO

APLICACIONES

Para cambiar en 90 grados la dirección de la canalización.

Proveer acceso a los conductores para su tendido, empalme, futuras modificaciones y mantenimiento.



Figura 14.3

CAJETINES DE DERIVACIÓN**APLICACIONES**

Los cajetines son instalados en sistemas rígidos conduit

para:

Actuar como caja de empalme.

Proveer acceso a conductores para su tendido, mantenimiento

y empalme.

Actuar como cajetín de pared o techo.



Figura 14.4

CAJETINES DE EMPALME CON**TAPA ROSCADA****APTO PARA ÁREAS CLASIFICADAS**

Clase I, Div. 1 y 2, Grupos C,D.

Clase II, Div. 1 Grupos E, F, G.

Clase II, Div. 2 Grupos F, G.

Clase III.

APLICACIONES

Conectar tramos de tubería conduit permitiendo ramificaciones

y cambios de dirección en la canalización.

Proveer acceso a los conductores para su tendido, empalme

y mantenimiento



Figura 14.5

CODOS PARA EMPALME**Y TENDIDO APTO PARA ÁREAS CLASIFICADAS**

Clase I, Div. 1 y 2, Grupo D.

Clase II, Div. 1 Grupos E, F, G.

Clase II, Div. 2 Grupos F, G.

Clase III.

APLICACIONES

Cambiar en 90 grados la dirección de la canalización.

Proveer acceso a los conductores para su tendido, empalme, futuras modificaciones y mantenimiento.

Actúa como caja de halado para conductores difíciles de manejar, por su gran diámetro o tipo de aislamiento.



Figura 14.6

CAJAS DE EMPALME Y CONTROL APTO PARA ÁREAS CLASIFICADAS

Clase I, Div. 1 y 2, Grupo D.

Clase II, Div. 1 Grupos E, F, G.

Clase II, Div. 2 Grupos F, G.

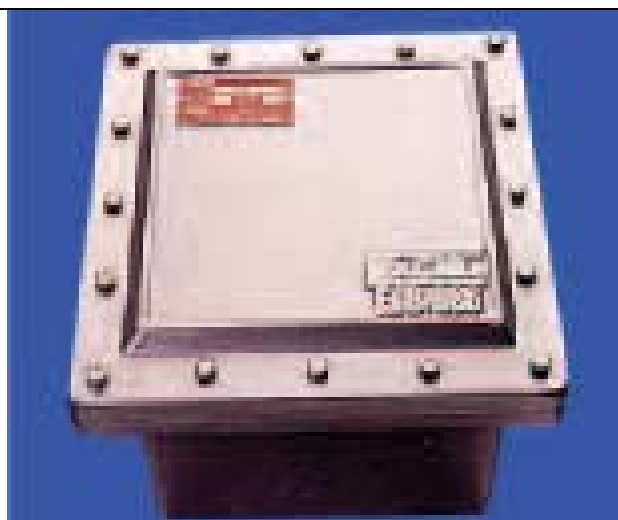


Figura 15.7

ACOPLES FLEXIBLES APTO PARA ÁREAS CLASIFICADAS

Clase I, Div. 1 y 2, Grupos A, B,
Clase II, Div. 1 Grupos E, F, G.
Clase II, Div. 2 Grupos F, G.
Clase III.



Figura 14.8

TABLERO DE UN CUERPO APTO PARA ÁREAS CLASIFICADAS

Clase I, Div. 1 y 2, Grupos B,
Clase II, Div. 1, Grupos E, F, G.
Clase II, Div. 2 Grupos F, G.
Clase III.

APLICACIONES

Para la distribución de redes de energía y protección de los circuitos a motores, válvulas, bombas, iluminación, hornos, etc.

Capacidad 100 Amp. Max.



Figura 14.9

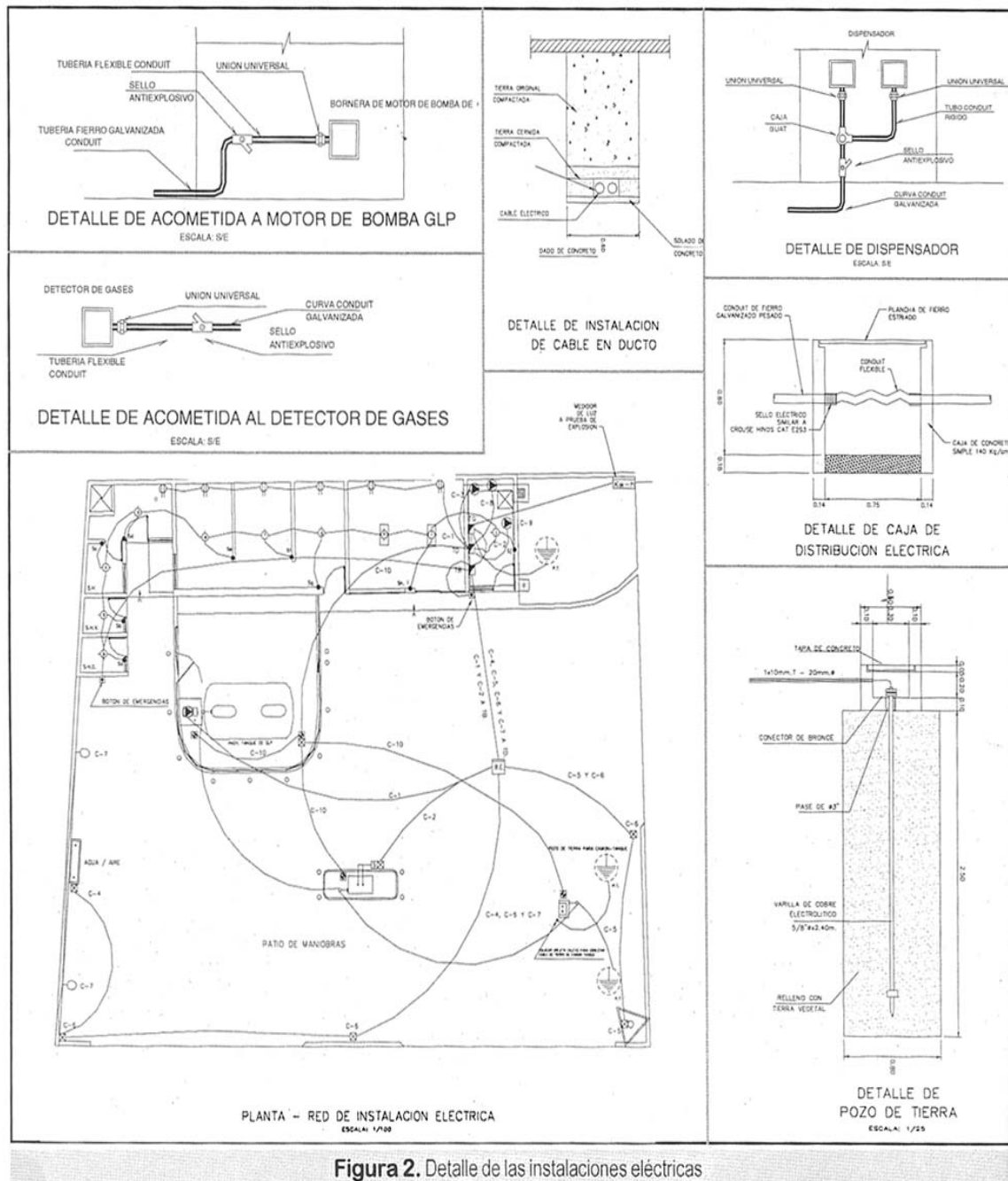


Figura 14.10 Planos de una instalación eléctrica para un gasocentro.

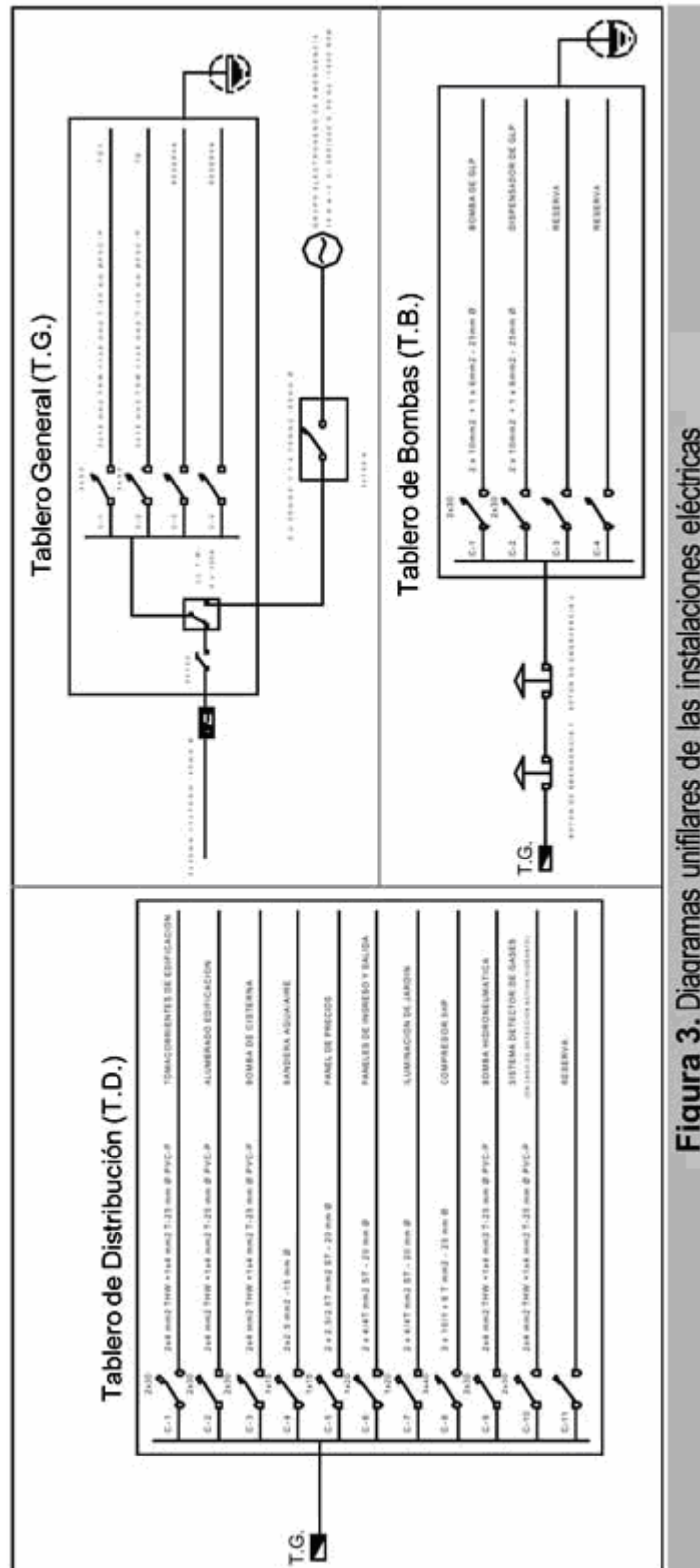
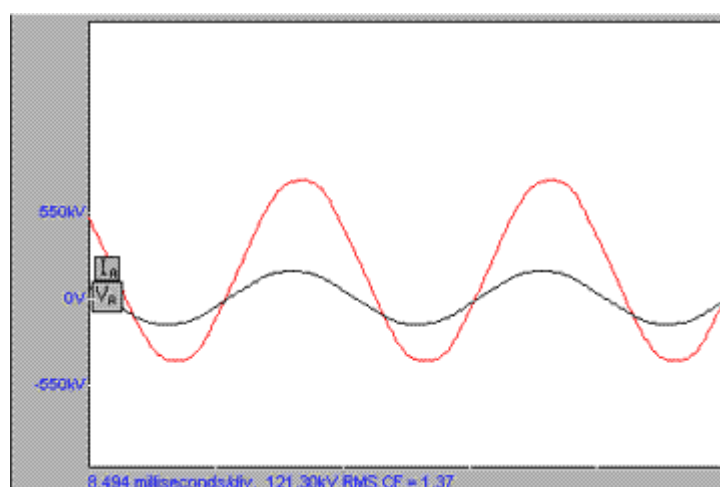


Figura 3. Diagramas unifilares de las instalaciones eléctricas

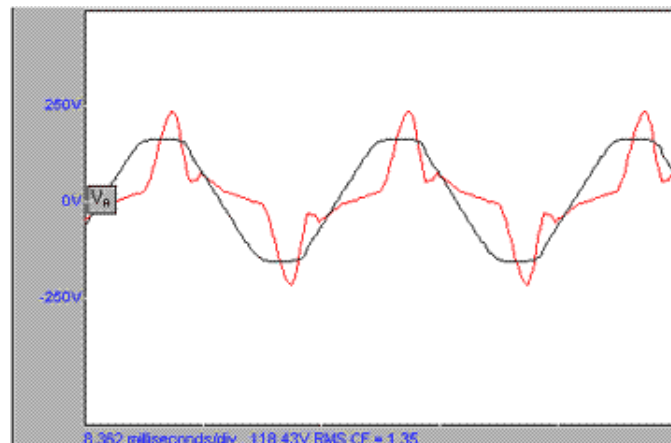
Figura 14.11

Unidad XIII**ATENUACIÓN DE ARMÓNICOS Y COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA****1. INTRODUCCIÓN**

El desarrollo tecnológico actual ha generado un nuevo concepto de calidad de energía. El cual está relacionado con las perturbaciones electromagnéticas y eléctricas que pueden afectar las condiciones eléctricas de un suministro (tensión y/o corriente) y ocasionar el mal funcionamiento o daño a equipos eléctricos y procesos industriales. El nuevo concepto de calidad de la energía eléctrica está relacionado básicamente en la calidad de voltaje y corriente. Las señales de voltaje y corriente suministrados son de característica senoidal.

**Figura 13.1**

La figura muestra la onda de voltaje y de corriente que utiliza una carga cualquiera, se observa que existe un desfase entre la onda de voltaje y corriente. Al coseno del ángulo de desfase se le denomina factor de potencia (PF). Existe mala calidad de energía cuando en un suministro las señales de voltaje o corriente se encuentran distorsionadas.

**Figura 13.2**

2. DEFINICIONES BÁSICAS

2.1. COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA

Capacidad de un aparato o de un sistema para funcionar en su entorno electromagnético de forma satisfactoria y sin producir él mismo perturbaciones electromagnéticas intolerables para todo aquello que se encuentre en este entorno.

2.2. NIVEL DE INMUNIDAD

Nivel máximo de una perturbación electromagnética de forma dada que actúa sobre un dispositivo, aparato o sistema particular, sin que este deje de funcionar con la calidad deseada.

2.3. DISTURBIO ELECTROMAGNÉTICO

Fenómeno electromagnético que pueda crear problemas en el funcionamiento de un dispositivo, de un aparato o de un sistema. Puede ser: ruido electromagnético, una onda no deseada o un cambio en el medio de propagación.

3. CARGA LINEAL

Son cargas donde la forma de onda de corriente tiene la misma forma que la onda de tensión suministrada

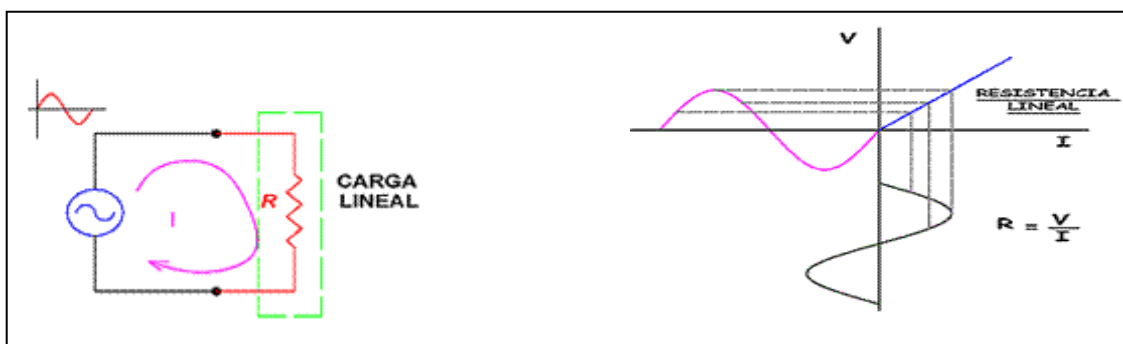


Figura 13.3

4. CARGA NO LINEAL

Son cargas donde la forma de onda de la corriente no se asemeja a la onda de voltaje suministrada

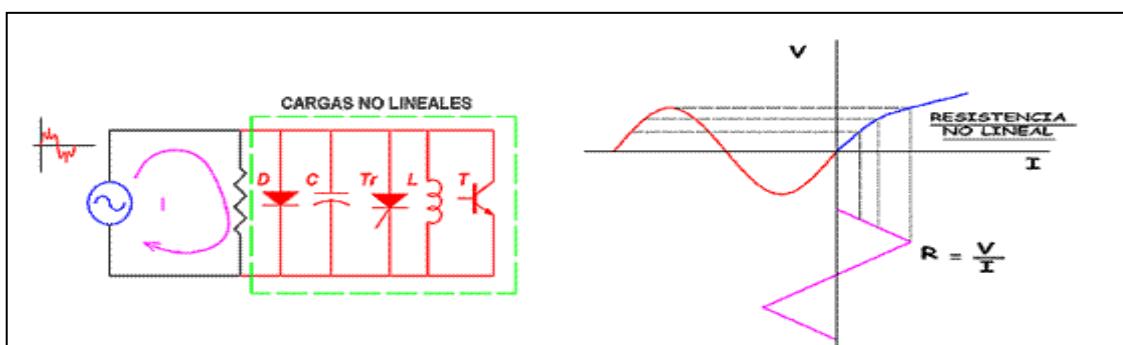


Figura 13.4

4.1. TEOREMA DE JOSEPH FOURIER

El teorema de Joseph Fourier indica que toda función periódica no senoidal se puede representar en forma de una suma de términos (serie) compuesta por funciones senoidales según la siguiente fórmula:

$$y(t) = Y_0 + \sum_{n=1}^{n=\infty} Y_n \sqrt{2} \text{sen}(n\omega t - \varphi_n)$$

Y_0 : valor de la componente continua, generalmente nula.

Y_n : valor eficaz del armónico de rango n.

ω : pulsación de la frecuencia fundamental.

φ_n : desfase de la componente armónica para $t=0$.

4.2. ESPECTRO DE FOURIER

El espectro de Fourier indica la magnitud de cada armónico representado (esta magnitud puede estar representado en porcentaje con respecto a la fundamental o las unidades del parámetro eléctrico registrado).

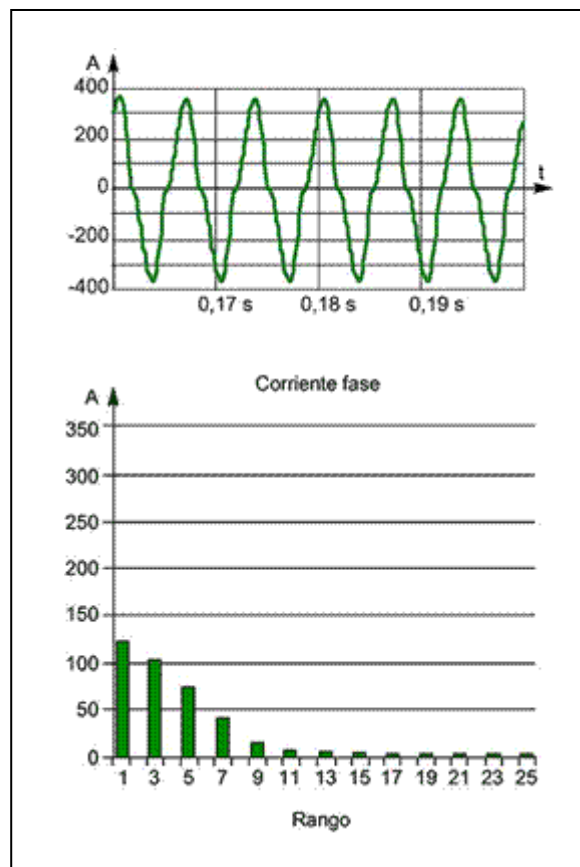


Figura 13.5

4.3. ARMÓNICOS

La distorsión de la forma de onda de corriente esta compuesto de una onda senoidal fundamental a 60Hz y corrientes de frecuencias múltiplos de 60Hz tal como de 3er orden (180Hz), de 5to orden (300Hz), las cuales se adicionan dando como consecuencia una onda distorsionada. A las ondas de frecuencia múltiplo de la fundamental se les denomina "armónicos".

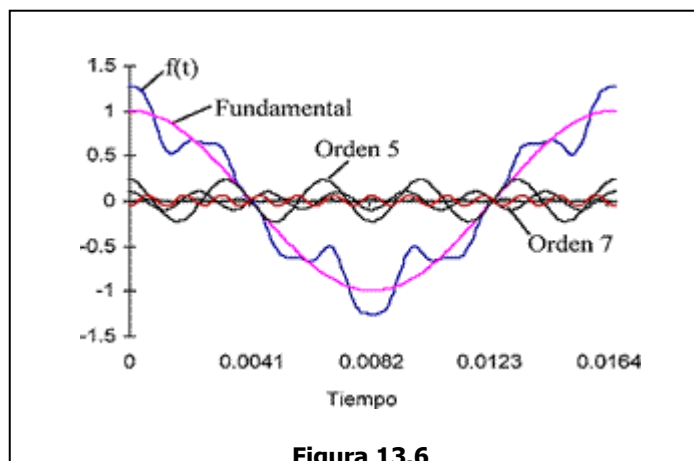


Figura 13.6

4.4. DISTORSIÓN ARMÓNICA

Las corrientes armónicas al circular por el sistema de potencia producen caídas de voltaje armónicos que son capaces de distorsionar la onda del voltaje de suministro.

La forma de evaluar un voltaje o una corriente distorsionada es a través del parámetro denominado distorsión armónica total THD (Total Harmonic Distorsion).

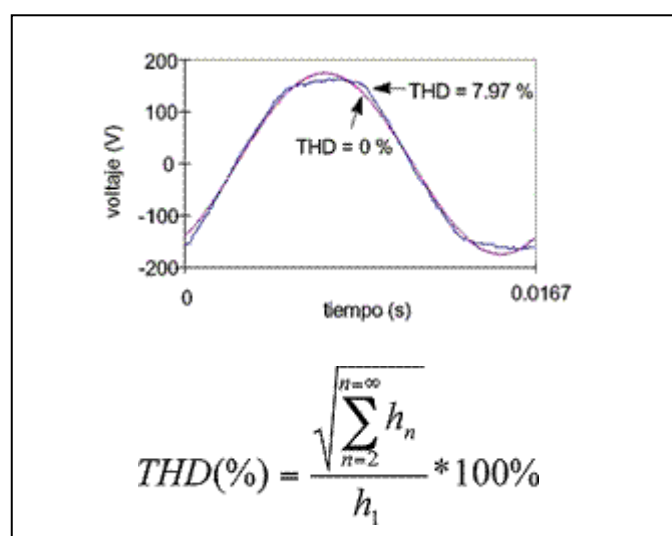


Figura 13.7

4.5. FACTORES IMPORTANTES

Porcentaje individual de los armónicos.

Esta magnitud representa la razón del valor eficaz de un armónico respecto al valor eficaz de la fundamental (V_1). Según la NTCSE el porcentaje de armónicos es con respecto al valor nominal.

$$V_n(\%) = \frac{V_n}{V_1} \times 100\%$$

Factor de cresta

Esta magnitud representa la medida de la corriente o voltaje pico (X_{pico}) en comparación con su valor rms (root mean square o valor medio cuadrático) a fin de establecer las especificaciones de corriente pico de dispositivos y componentes. El FC de la onda de entrada se define mediante:

$$FC = \frac{X_{pico}}{X_{RMS}}$$

5. DEFINICIONES BÁSICAS

5.1. EL FLICKER

El flicker es una impresión subjetiva de la fluctuación de iluminación o variación notoria instantánea de los niveles de iluminación, ocasionada por fluctuaciones de tensión en la red de alimentación eléctrica. Origina en quien la percibe una sensación desagradable.

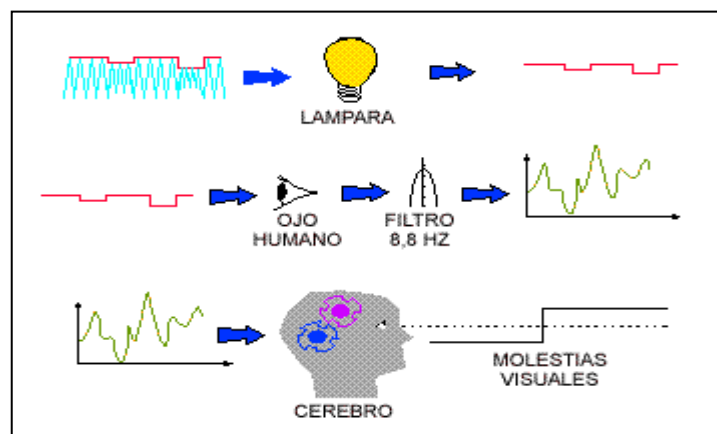


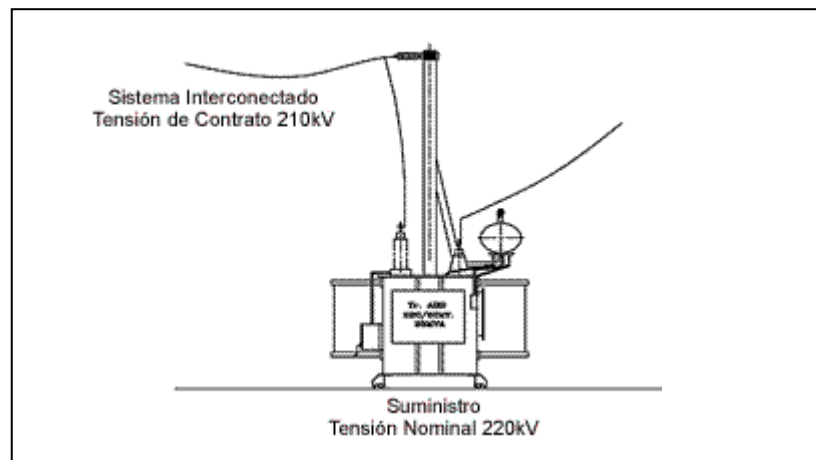
Figura 13.8

6. OBJETIVOS DE LAS NORMAS DE CALIDAD DE ENERGÍA

6.1. PROPÓSITO DE LAS NORMAS DE CALIDAD DE LA ENERGÍA

Definir las condiciones nominales de los equipos del sistema eléctrico.

La tensión de operación de la subestación Chavarría es de 210kV.

**Figura 13.9**

Definir una terminología nueva

Definir nuevos términos como fluctuación de tensión, indicadores de calidad, perturbaciones, etc.

**Figura 13.10**

Definir los límites a los problemas de calidad de la energía.

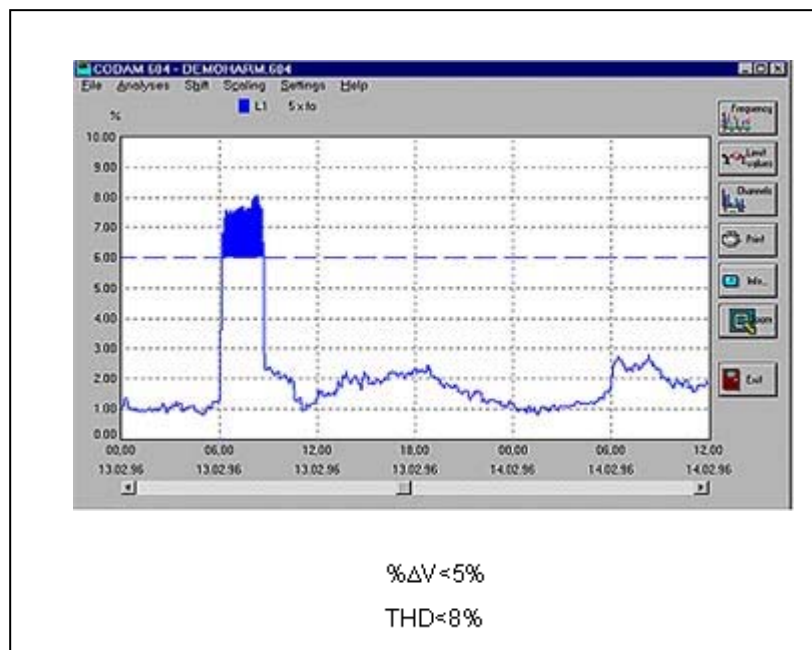


Figura 13.11

6.2. NORMATIVIDAD EN EL PERÚ

En nuestro país se ha elaborado la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (NTCSE) la cual fue aprobada mediante el decreto supremo No 020-97 –EM el 09 de octubre de 1997 con el fin de garantizar a los usuarios un suministro eléctrico continuo, adecuado, confiable y oportuno.

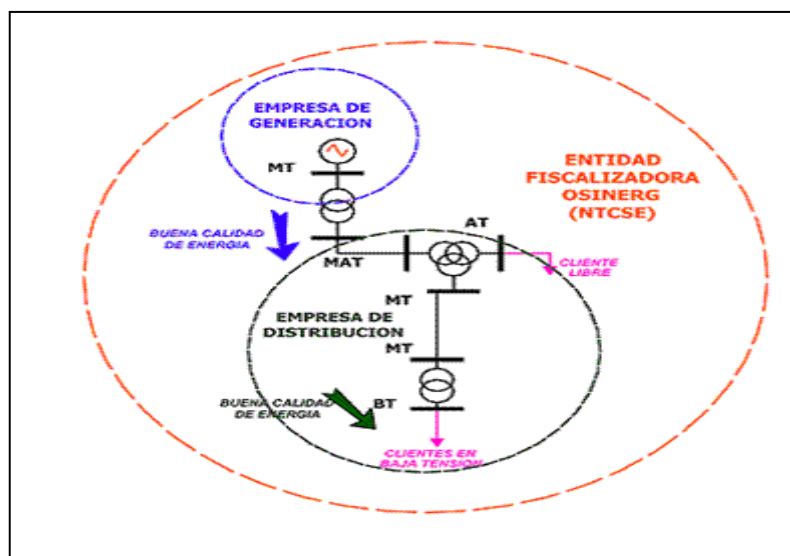


Figura 13.12

7. ARMÓNICOS

7.1. INTRODUCCIÓN

- Son ondas de corriente o tensión cuya frecuencia es múltiplo de la frecuencia fundamental.
- Los armónicos al superponerse a la onda fundamental dan como resultado una onda distorsionada.

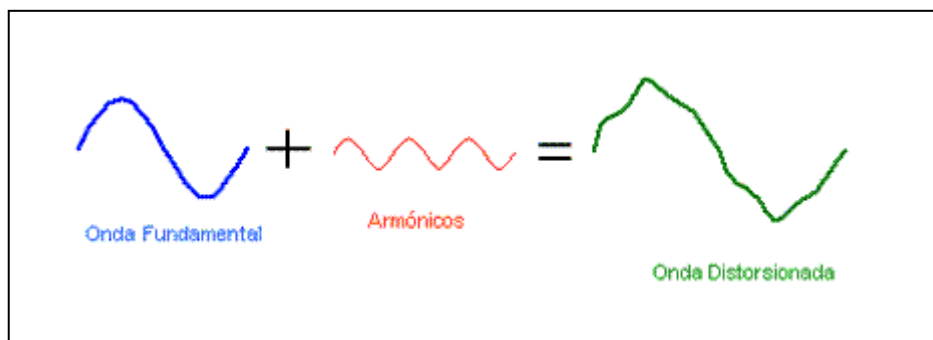


Figura 13.13

7.2. GENERACIÓN DE ARMÓNICOS

La generación de energía eléctrica en nuestro país se produce a frecuencias nominalmente constante de 60Hz y la fuerza electromotriz de los generadores puede considerarse prácticamente senoidal.

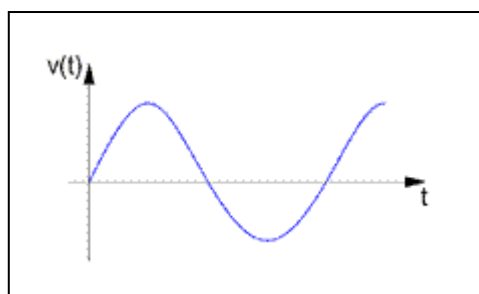


Figura 13.14

Por otra parte, cuando una fuente de tensión senoidal se aplica a una carga no lineal, la corriente resultante no es perfectamente senoidal la cual causa una caída de tensión no senoidal a través de la impedancia del sistema produciendo una distorsión en la tensión aplicada a la carga, es decir, la onda de tensión contiene armónicos de tensión.

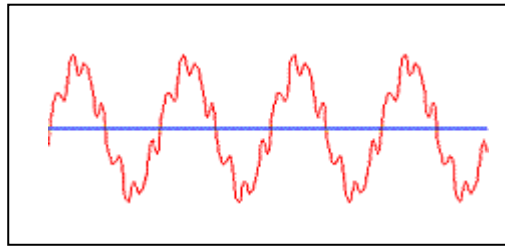


Figura 13.15

7.3. ORIGEN DE LOS ARMÓNICOS

7.3.1. CARGAS NO LINEALES

Las cargas no lineales producen corrientes armónicas, es decir, absorben una corriente que no tiene la misma forma de onda de tensión que los alimenta. Las cargas más comunes que producen este fenómeno son los circuitos rectificadores.

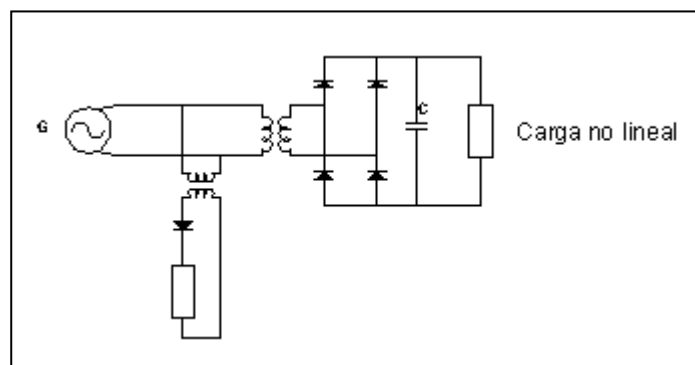


Figura 13.16

Forma de onda y espectro típico de una carga no lineal.

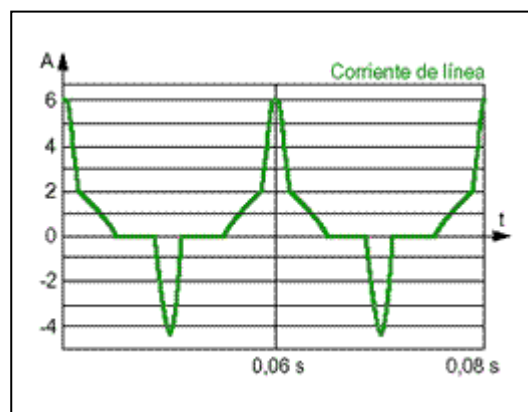


Figura 13.17

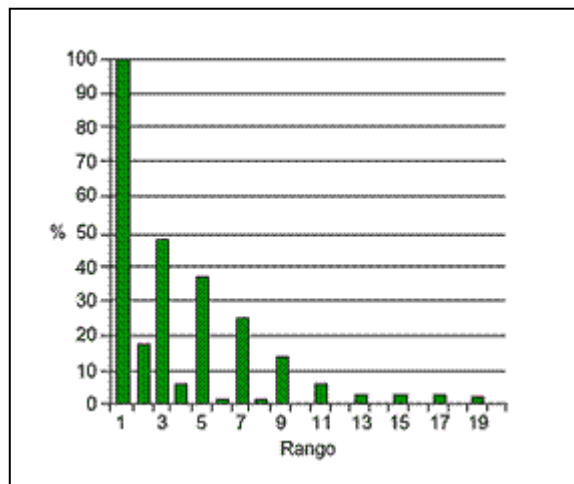


Figura 13.18

7.3.2. CARGAS NO LINEALES ASIMÉTRICAS

La mayor parte de las cargas conectadas a la red eléctrica son simétricas.

Una carga no lineal es simétrica cuando las dos semiondas ondas de corriente son iguales y opuestas.

Esto se puede expresar matemáticamente por la expresión:

$$F(\omega t + \pi) = -f(\omega t)$$

7.3.3. CARGAS MONOFÁSICAS

Un rectificador monofásico a diodos con filtro capacitivo es un ejemplo de una carga no lineal monofásica. Este tipo de carga genera el armónico de 3er orden el cual puede alcanzar el 80% de la fundamental.

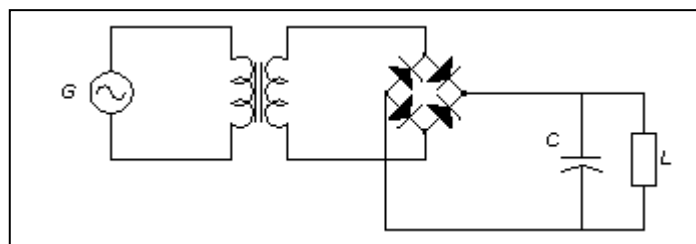


Figura 13.19

Forma de onda y espectro de armónicos del rectificador monofásico a diodos con filtro capacitivo:

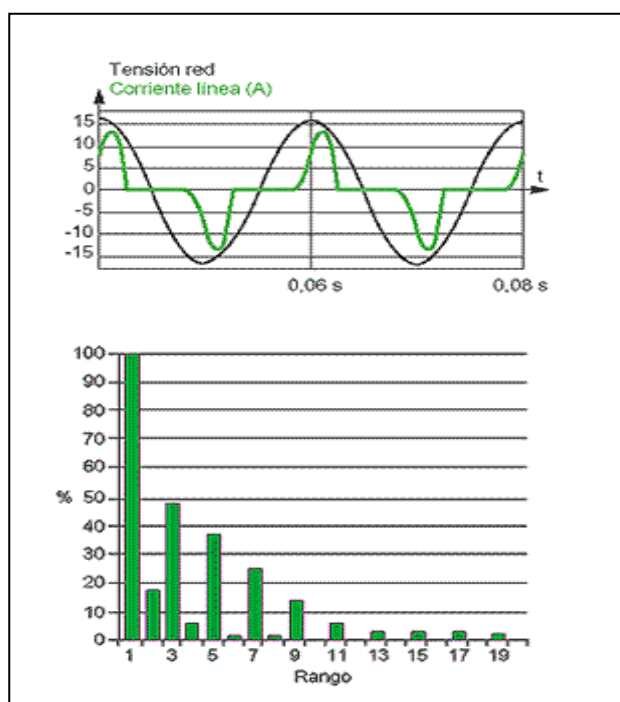


Figura 13.20

En los sectores eléctricos:

- Industrial
- Comercial
- Doméstico

Existen muchos aparatos con el tipo de circuito (rectificador monofásico) los cuales son los principales generadores de armónicos de 3er orden. Algunos ejemplos:

Actividad	Equipos
Industrial	Alimentación conmutada, variadores de velocidad
Comercial	Computadores, impresoras, fotocopadoras, fax, etc.
Doméstico	Televisores, VHS, Horno Microondas, etc.

7.3.4. TIPOS DE CARGAS QUE ORIGINAN ARMÓNICOS

Las componentes armónicas características generadas de las crestas de la corriente de alimentación de los rectificadores son de orden n , donde:

$$n=(k.p) \pm 1$$

Donde:

K=

1,2,3,4,5

P= Número de pulsos

Ejemplo:

No de Pulsos	Tipo de Carga	Armónicos Característicos
4	Computadoras, Impresoras, Televisores, etc.	3,5,7,9,11,13,15,17,19...
6	Motores trifasicos de corriente continua	5,7,11,13,17,19,23,25...
12	Convertidores	11,13,23,25,35,37...
18	Variadores de velocidad de 18 pulsos	17,19,35,37,53,55...
36	Palas Mecánicas	35,37,71,73...

7.4. FUENTES GENERADORAS DE ARMÓNICOS

Las fuentes de armónicos introducen corrientes distorsionadas al sistema eléctrico que al circular por las impedancias de los equipos (transformadores, líneas de transmisión, generadores, etc.) que conforman, producen caídas de tensión armónicos que degradan la forma de onda de tensión en los puntos de suministro de energía a los clientes del sistema eléctrico.

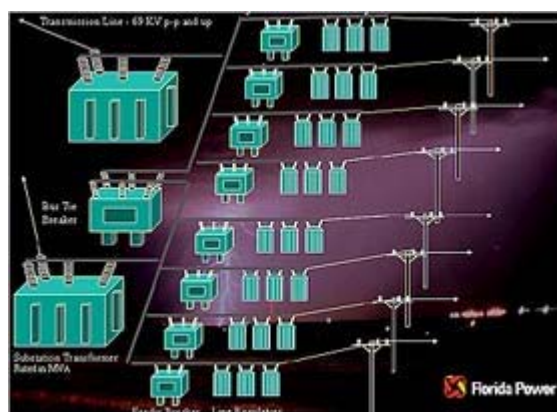


Figura 13.21

7.4.1. CONVERTIDORES DE HORNO DE ARCO

El horno de arco por ser una carga eléctrica de características no lineales, es una fuente de generación de corrientes armónicas en forma aleatoria.

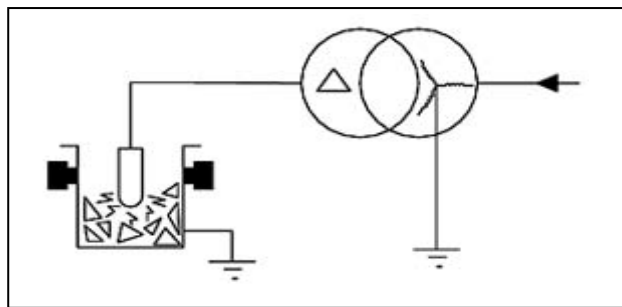


Figura 13.22 Configuración típica de hornos de arco.

7.4.2. HORNOS DE ARCO

Los hornos de arco utilizados en siderurgia pueden ser de corriente alterna o de corriente continua.

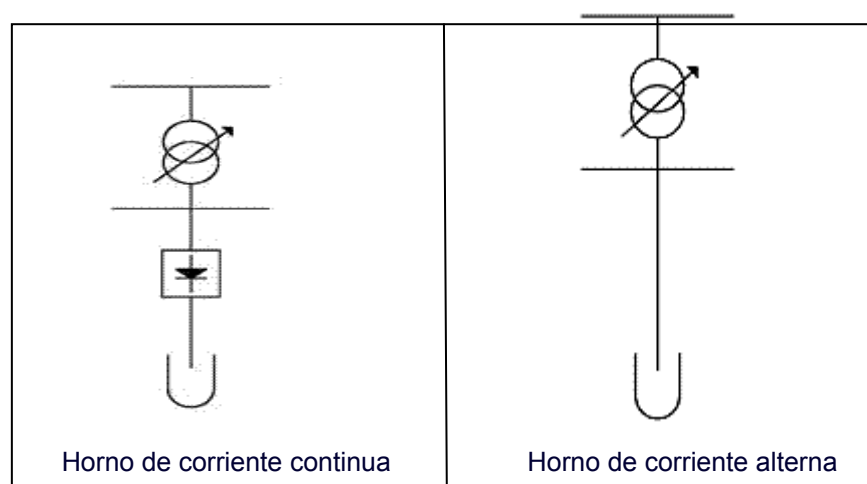


Figura 13.23

Niveles de armónicos generado por los hornos de Arco

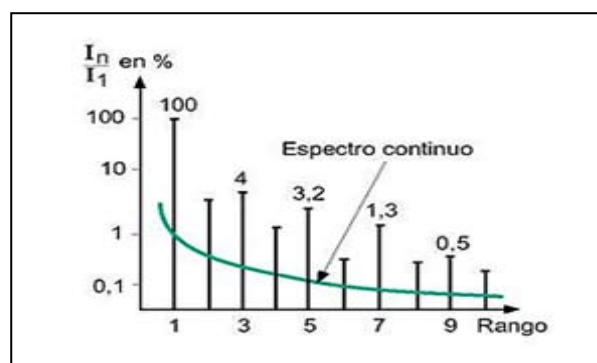


Figura 13.24

7.4.3. ARMÓNICOS CAUSADOS POR LAMPARAS DE ARCO

En las instalaciones modernas normalmente se utilizan el alumbrado con lámparas de descarga y tubos fluorescentes, las cuales son fuentes de corrientes armónicas.

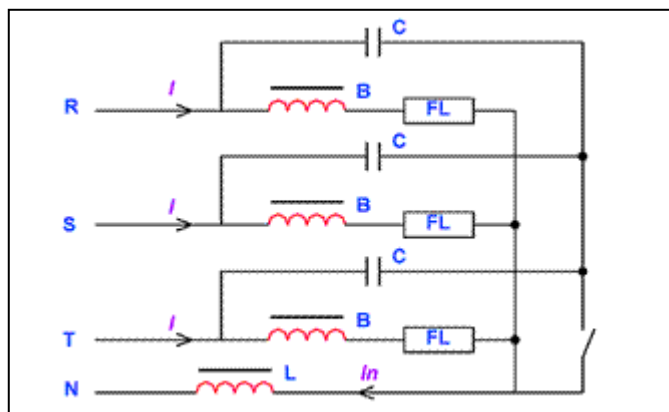


Figura 13.25

Voltaje de fase versus la corriente de línea (con balasto magnético)

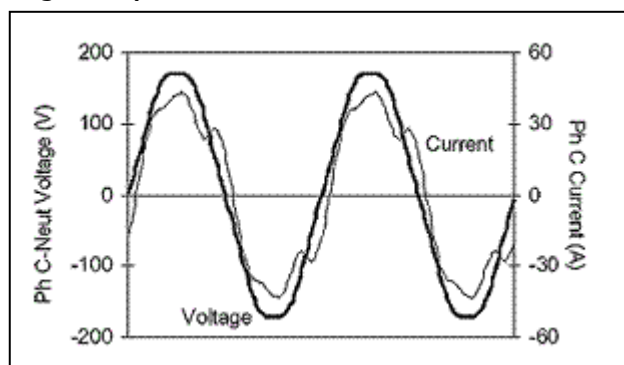


Figura 13.26

El porcentaje individual del armónico del 3er orden puede incluso sobrepasar el 100% para ciertas lámparas fluocompactas modernas, y por tanto hay que prestar una atención especial en el cálculo de la sección y la protección del neutro que transporta la suma de las corrientes armónicas del 3er orden de las tres fases, lo que implica un riesgo de calentamiento.

7.4.4. LOS CONVERTIDORES ESTÁTICOS EN LA RED TRIFÁSICA

Los puentes rectificadores y en general los convertidores estáticos (diodos y tiristores) son generadores de corrientes armónicas.

Por ejemplo, en un puente de Graetz, la corriente continua consumida hace aparecer una corriente no senoidal, que cuando la carga es muy inductiva, tiene forma escalonada.

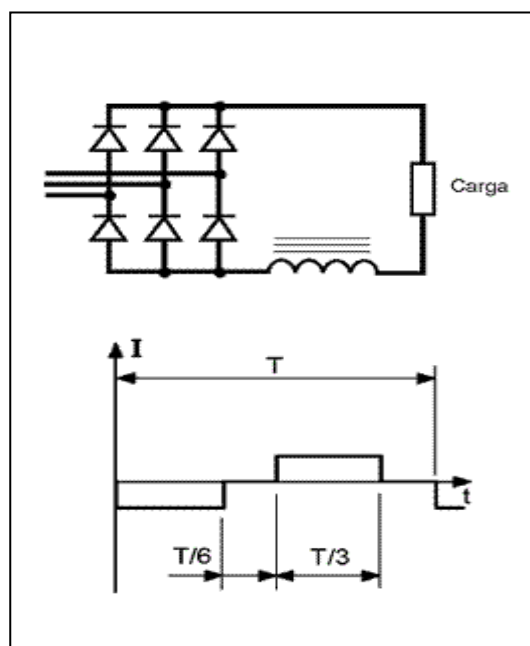


Figura 13.27

7.4.5. VARIADOR DE VELOCIDAD

Los variadores de velocidad son equipos que sirven para el control de motores y son utilizados en todos los sectores de producción.

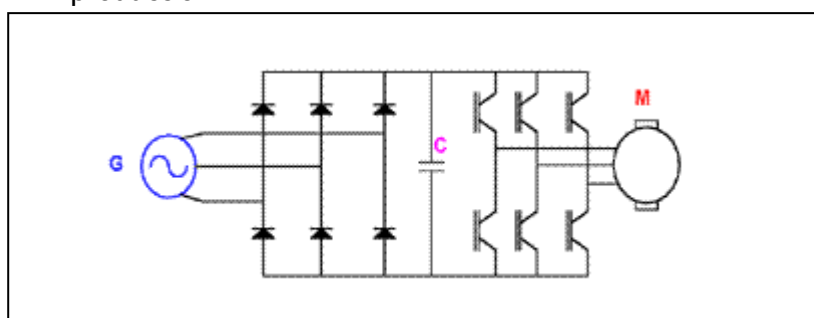


Figura 13.28 Circuito Eléctrico.

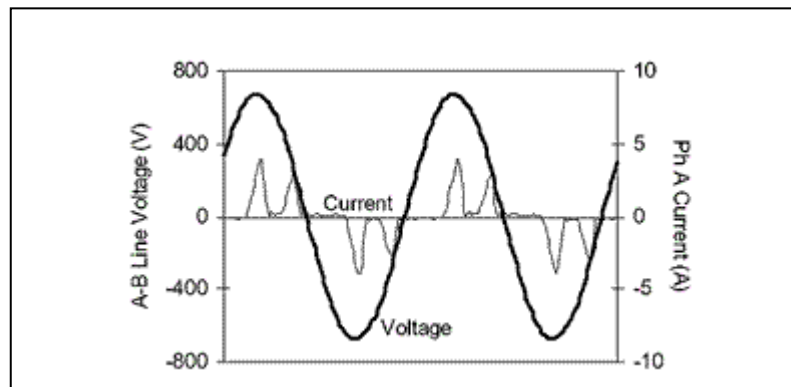


Figura 13.29 Forma de Onda

7.4.6. VARIADOR DE VELOCIDAD DE 6 PULSOS

Los variadores de velocidad son equipos que sirven para el control de motores y son utilizados en todos los sectores de producción.

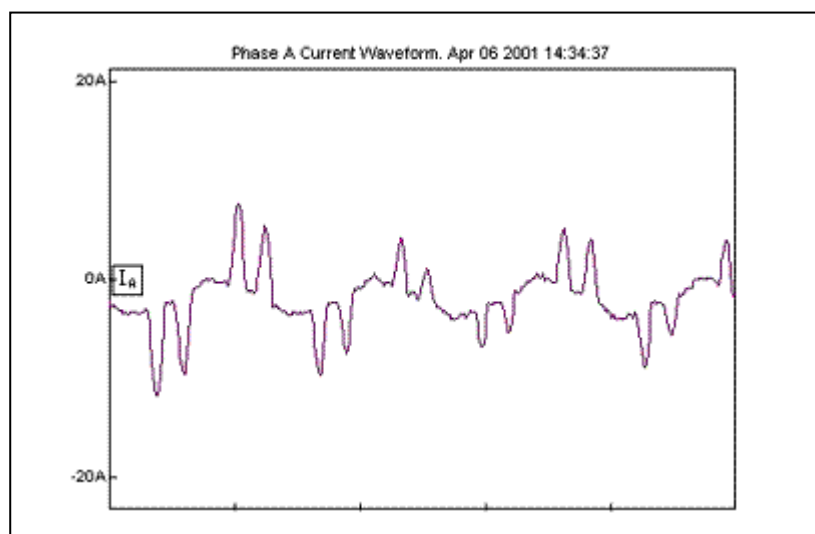


Figura 13.30 Forma de Onda.

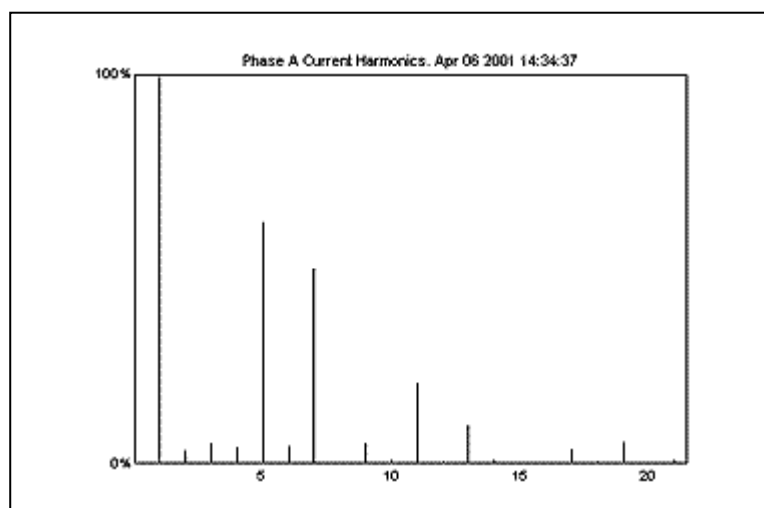


Figura 13.31 Espectro.

Harmonic	RMS Value	Phase	Percent
0	2.779A	180°	91.64%
1	3.033A	16.30°	100%
2	118.6mA	150.3°	3.913%
3	175.6mA	7.943°	5.791%
4	141.3mA	350.9°	4.660%
5	1.902A	144.3°	62.70%
6	150.7mA	310.1°	4.970%
7	1.537A	136.9°	50.68%
8	29.45mA	265.9°	0.971%
9	174.8mA	163.8°	5.763%
10	45.46mA	110.8°	1.498%
11	648.3mA	276.8°	21.37%
12	36.91mA	260.5°	1.217%
13	312.5mA	260.2°	10.30%
14	42.91mA	278.1°	1.414%
15	4.524mA	116.5°	0.149%
16	28.96mA	77.90°	0.955%

Odd Harmonics: 84.895%. Even Harmonics: 8.782%. Total: 93.677%.

7.4.7. LAS INDUCTANCIAS SATURABLES

La impedancia de estas inductancias depende de la amplitud de la corriente que las atraviesa y de hecho ellas mismas provocan deformaciones importantes en esta corriente.

Maquinas Rotativas

Las máquinas rotativas producen armónicos de orden elevado y de amplitud normalmente despreciable. Las pequeñas máquinas síncronas son sin embargo, generadores de armónicos de tercer orden que pueden tener una incidencia sobre:

- El calentamiento permanente de las resistencias de puesta a tierra del neutro de los alternadores.
- El funcionamiento de los relés amperimétricos de protección contra defectos de aislamiento.

7.5. EFECTOS DE LOS ARMÓNICOS



Figura 13.32

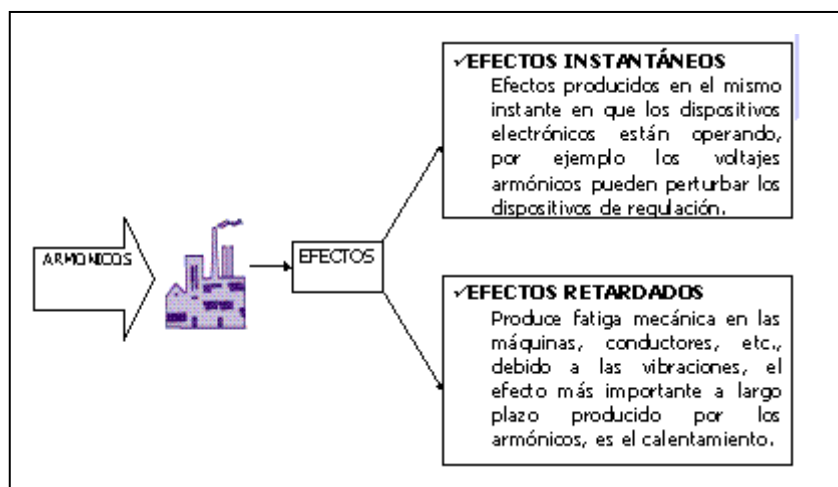


Figura 13.33

7.5.1. CALENTAMIENTOS EN CONDUCTORES, NEUTROS Y OTROS EQUIPOS

El “calentamiento” es uno de los efectos más importantes de los armónicos. Se puede producir en los devanados de los transformadores, motores, conductores en general y especialmente en el conductor neutro.

7.5.2. RESONANCIA

Un condensador en paralelo con una bobina forman un circuito resonante capaz de amplificar las señales de una determinada frecuencia. Cuando colocamos una batería de condensadores en una instalación eléctrica estamos formando un circuito resonante, ya que ponemos en paralelo la batería de condensadores con la instalación eléctrica que es inductiva.

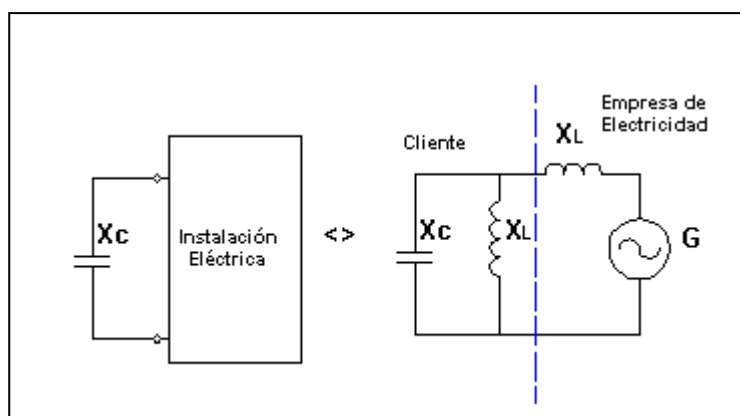


Figura 13.34

7.5.3. DETERIORO DE LA FORMA DE ONDA DE LA TENSIÓN

Los armónicos de corriente provocan una deformación de la forma de onda de tensión, llegando a presentar achatamientos o aplanamiento en la parte superior e inferior de la forma de onda.

Este aplanamiento hace que la señal no alcance el valor pico adecuado, lo cual puede ocasionar principalmente que los puentes de diodos no funcionen correctamente.

Esto hace que los diodos no trabajen en condiciones de operación nominales teniendo como consecuencia reducción del tiempo de vida, o provocando paradas intempestivas en los variadores de velocidad, discos duros quemados o reinicializaciones de las computadoras, parpadeo de la iluminación, etc.

7.5.4. MOTORES ASINCRONOS

Por otra parte, los armónicos pueden provocar que el motor tienda a ir más rápido o más lento de lo que debiera (debido a campos magnéticos del mismo sentido que la componente fundamental o de sentido contrario producido por los armónicos), esto provoca una pérdida de rendimiento, se acelera al motor, y a la larga se reduce la vida efectiva del mismo.

Básicamente, debido al armónicos de 5to orden que son armónicos de secuencia negativa que al circular crean un campo magnético en sentido contrario al establecido por la secuencia negativa y por tanto origina un frenado al motor.

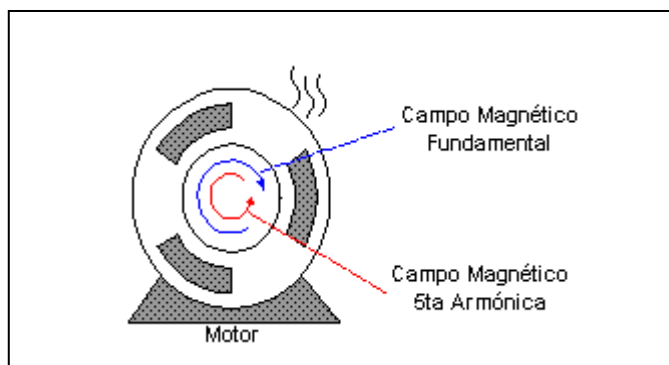


Figura 13.35

7.5.5. COMPUTADORAS

Las PC's son los elementos que más armónicos producen, y al mismo tiempo son las más sensibles a éstos.

Un dato importante a considerar es el número de computadoras instaladas que puede haber en un edificio. Esto provoca que por el circuito de las computadoras las componentes armónicas puede ser considerablemente altas, con lo que favorece a que se quemen los discos duros, mal funcionamiento y reinicializaciones esporádicas de las PC's.

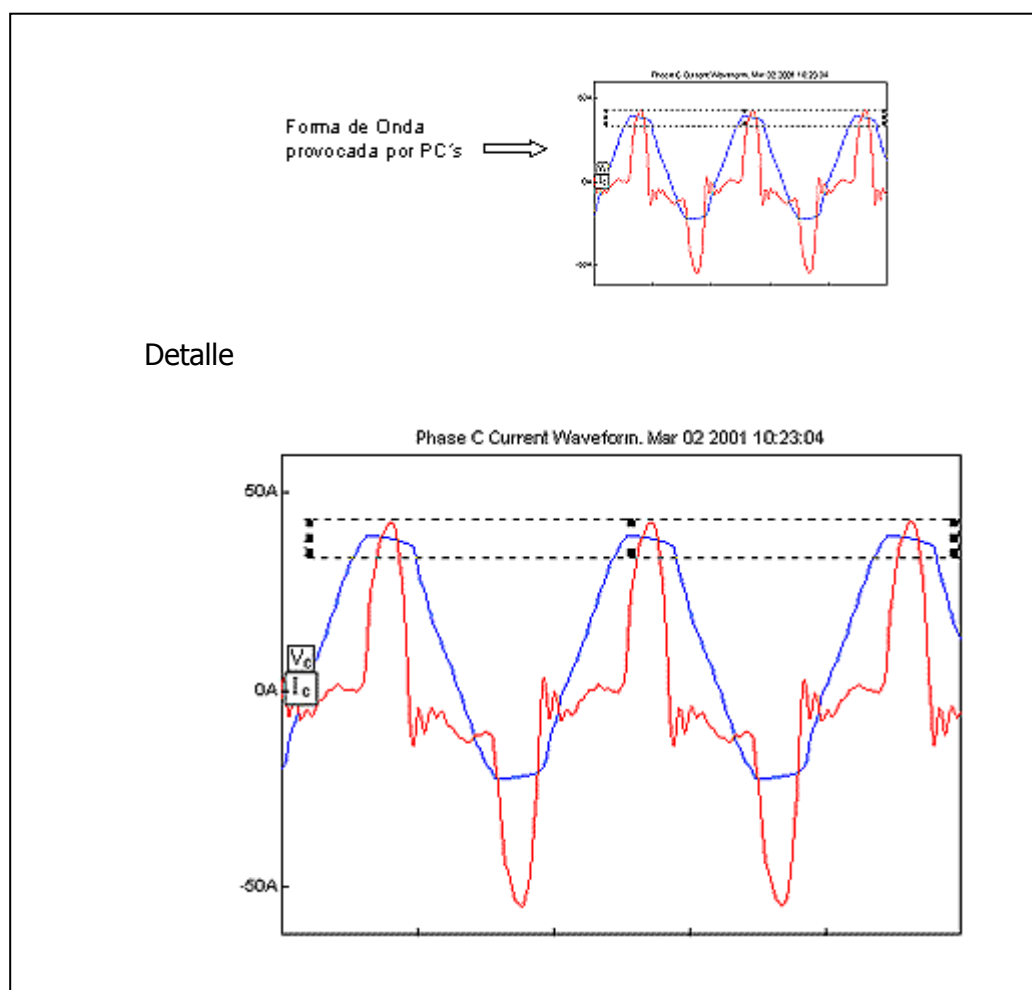


Figura 13.36

7.6. PROPAGACIÓN DE LOS ARMÓNICOS

Los armónicos tienden a fluir desde las cargas no lineales (fuentes de armónicos) hacia las cargas de menor impedancia, y viajan hacia la fuente de generación (G).

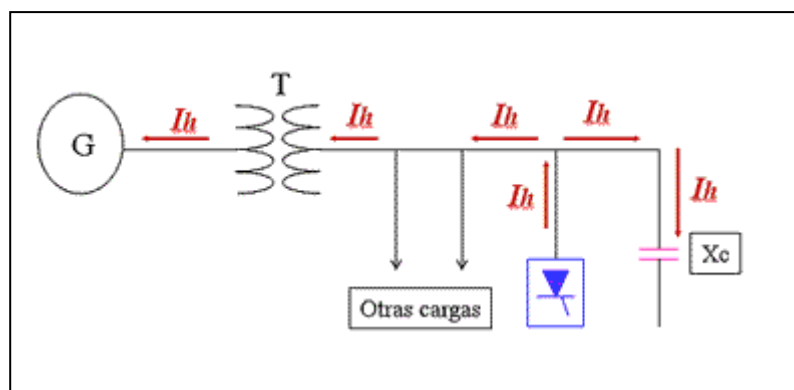


Figura 13.37

La impedancia de generación de la empresa de distribución es menor que las cargas que se encuentran en paralelo. Sin embargo, la corriente armónica se divide dependiendo de las relaciones de impedancia.

7.7. SOLUCIONES TRADICIONALES

7.7.1. BLOQUEO DE CORRIENTES ARMÓNICAS

Este método consiste en utilizar transformadores de aislamiento, los cuales están diseñados “a la medida” de la aplicación como:

- Tamaño de la carga.
- Espectro emitido por la misma.
- Impedancia de la fuente, etc.

Con blindajes y efectos capacitivos en el núcleo, para impedir el paso de altas frecuencias hacia el lado de la fuente, normalmente la relación es de 1/1.

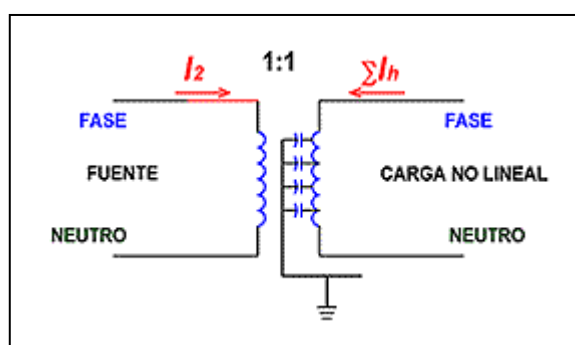


Figura 13.38

7.7.2. MODIFICACIONES DE LAS INSTALACIONES

Las principales soluciones a la sobrecarga del conductor neutro son las siguientes:

- Utilizar un conductor neutro separado para cada fase.
- Duplicar la sección del conductor neutro
- Hay que evitar conectar un receptor sensible en paralelo con cargas no lineales o perturbadoras.
- Cuando se tiene un equipo de gran potencia fuertemente perturbador, es preferible conectarlo directamente desde un transformador MT/BT independientemente.

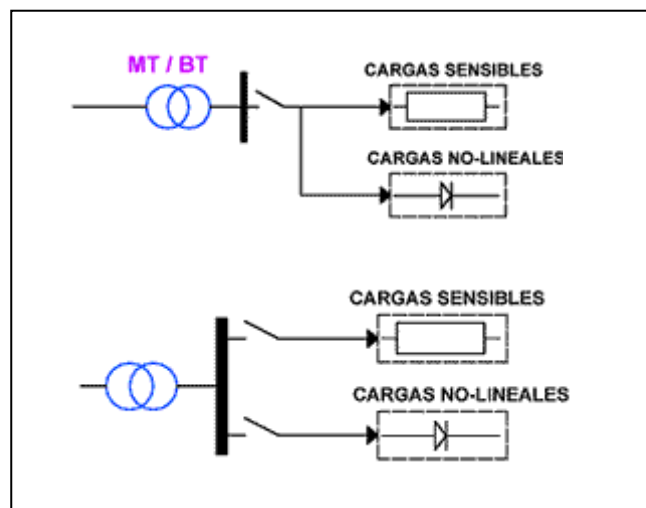


Figura 13.39

7.7.3. ENCERRANDO ARMÓNICOS

Consiste en utilizar transformadores delta-estrella a fin de filtrar los armónicos triplens. La secuencia cero conocidas como frecuencias triplens no rotan, se agregan en el neutro de un sistema de 04 cables trifásico. Las corrientes circulan por los arrollamientos primarios del transformador.

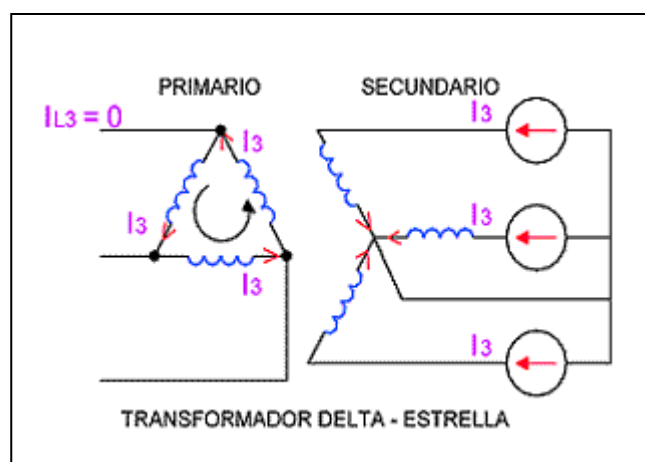


Figura 13.40

7.7.4. FILTRO DE ORDEN 3 EN EL NEUTRO

El principio de este dispositivo consiste en un circuito flotante al armónico 3 en serie con el conductor neutro.

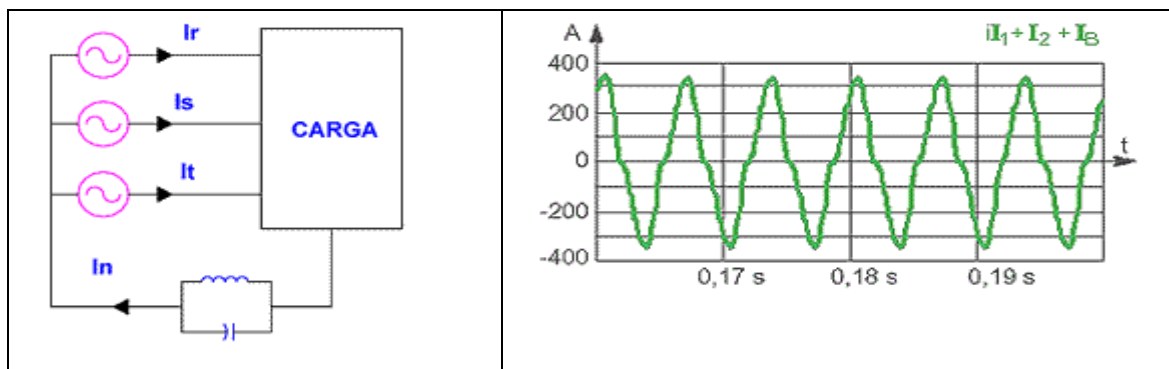


Figura 13.41

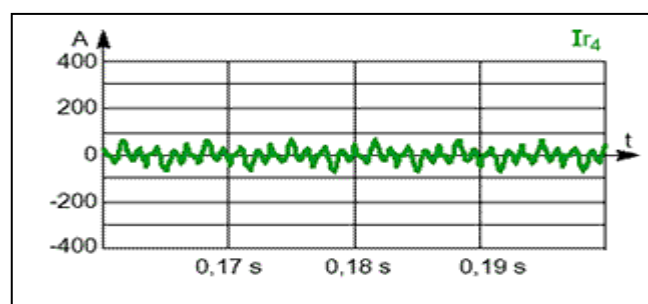


Figura 13.42

7.7.5. SOBREDIMENSIONAMIENTO DE LOS CONDUCTORES

Utilizar conductores:

- De tres fases con neutro separado por fase
- Conductor de tres fases con neutro de doble dimensión
- Conductor de tres fases con neutro de doble dimensión y aislamiento a tierra.

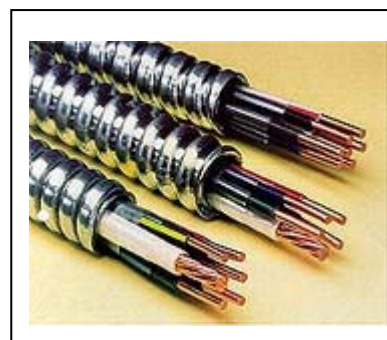


Figura 13.43

SOBREDIMENSIONAMIENTO DE LOS CONDUCTORES

- Balance de cargas
- Incremento de impedancias del sistema
- Reducción al mínimo de la longitud de los circuitos
- Incremento de la sección de los conductores de fase
- Aumento de cantidad de circuitos finales
- Selección de filtros.