

51





1080064335



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN.**

**TEMA**

**DISEÑO Y MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES ELECTRICAS.**

**TESINA**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

**PRESENTA**

**JOSE ANTONIO MAGAÑA RUEDA**

T  
TK1751  
M3

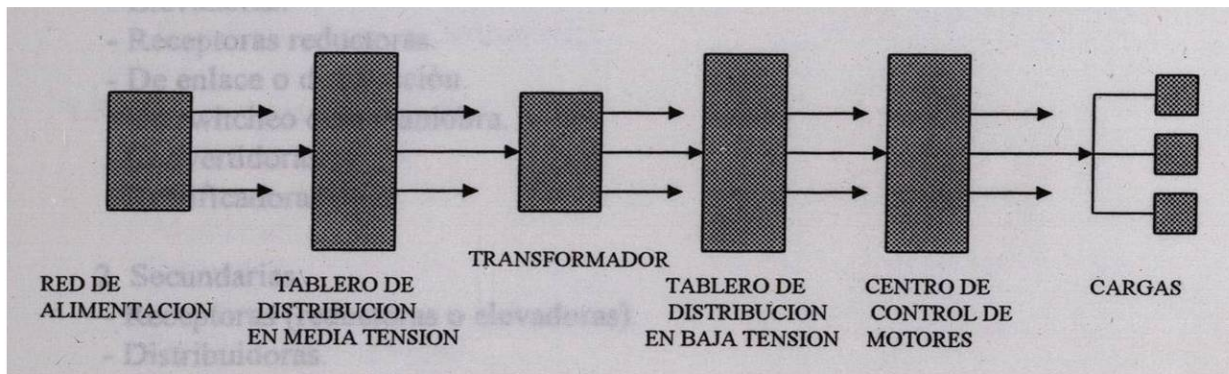
  
Biblioteca Central  
Magna Solidaria

*Handwritten signature*

  
BU Rauli Rando Fina  
UANG  
FONDO  
TESIS LICENCIATURA

## 1.1.- INTRODUCCION.

La parte inicial de un proyecto eléctrico es el establecimiento de las características generales del mismo desde el punto de vista de sus componentes y de las funciones de éstas, para esto, se puede representar por medio de diagramas de bloque las partes fundamentales de la instalación eléctrica, que se establecen a partir de los usuarios, y llegan hasta el sistema de alimentación de la compañía suministradora de energía eléctrica.



El proyecto de las instalaciones eléctricas en una industria comprende el dimensionamiento de todo el sistema, lo cual comprende la determinación de las características de los elementos contenidos en cada uno de los bloques y las características de los elementos que unen a cada uno de estos bloques.

Las cantidades que están en juego en el dimensionamiento de una instalación eléctrica industrial son :

- Potencia.
- Voltaje y frecuencia.
- Corrientes nominales y de corto circuito.
- Factor de potencia.
- Tipo de servicio y características de la demanda.

Al proyectista que se orienta hacia el proyecto de instalaciones industriales, por lo general, se le proporciona la potencia y la ubicación del usuario y el tipo de servicio, a partir de esta información calcula y suministra el resto de la información.

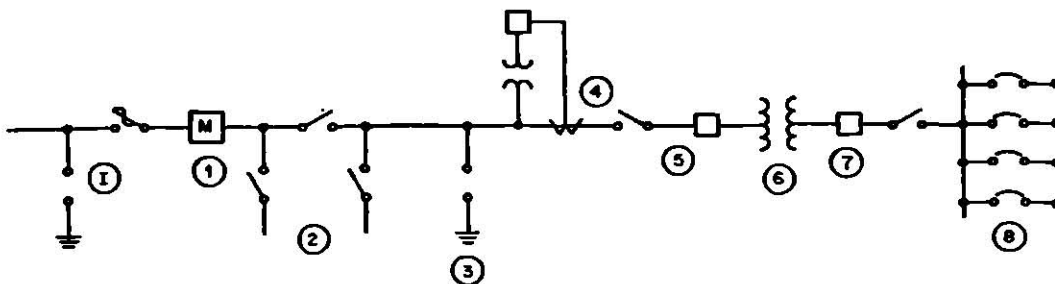
La energía eléctrica que es necesaria suministrar a una instalación eléctrica ya sea industrial, comercial o edificios habitacionales, puede ser a voltajes de alimentación que son muy altos para las cargas, por ejemplo, alimentar a 13.2 KV resulta un voltaje demasiado alto para motores eléctricos de 20 HP que se alimentan normalmente a 220V, por este motivo es necesario convertir o transformar los voltajes de alimentación a niveles adecuados utilizables directamente por las cargas dentro de sus rangos de alimentación.

Para esta transformación de la energía eléctrica de un nivel de voltaje a otro más adecuado, se usa un conjunto de equipos que no solo transforman, también controlan y regulan la energía eléctrica y reciben el nombre de **SUBESTACION ELECTRICA**.

## 1.2.- CLASIFICACION DE LAS SUBESTACIONES ELECTRICAS.

- a) Por su operación.
1. De corriente alterna.
  2. De corriente continua.
- b) Por su servicio.
1. Primarias:
    - Elevadoras.
    - Receptoras reductoras.
    - De enlace o distribución.
    - De switcheo o de maniobra.
    - Convertidoras.
    - Rectificadoras
  2. Secundarias:
    - Receptoras (reductoras o elevadoras).
    - Distribuidoras.
    - De enlace.
    - Convertidoras.
    - Rectificadoras.
- c) Por su construcción.
1. Tipo intemperie.
  2. Tipo interior.
  3. Tipo blindado.

## 1.4.- ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE UNA SUBESTACION ELECTRICA.



Los elementos constitutivos de una subestación eléctrica se pueden clasificar en elementos principales y elementos secundarios.

### 1.3.1. Elementos principales.

- Transformador.
- Interruptor de potencia.
- Cuchilla fusible.
- Cuchillas desconectoras y cuchillas de prueba.
- Apartarrayos.
- Tableros duplex de control.
- Transformadores de instrumento.

### 1.3.2. Elementos secundarios.

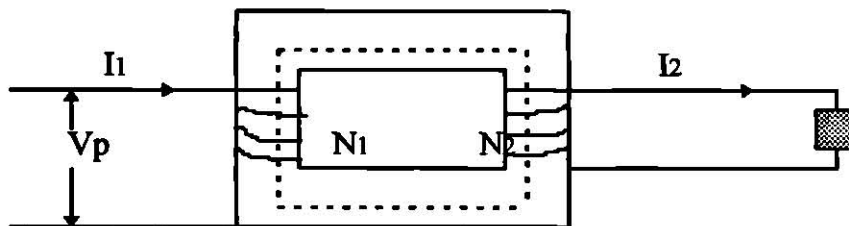
- Cables de potencia.
- Cables de control.
- Alumbrado.
- Estructura.
- Herrajes.
- Equipo contra incendio.
- Equipo de filtrado de aceite.
- Sistema de tierras.
- Equipo Carrier de comunicación.
- Cercas.

## TRANSFORMADOR

Un transformador es un dispositivo que:

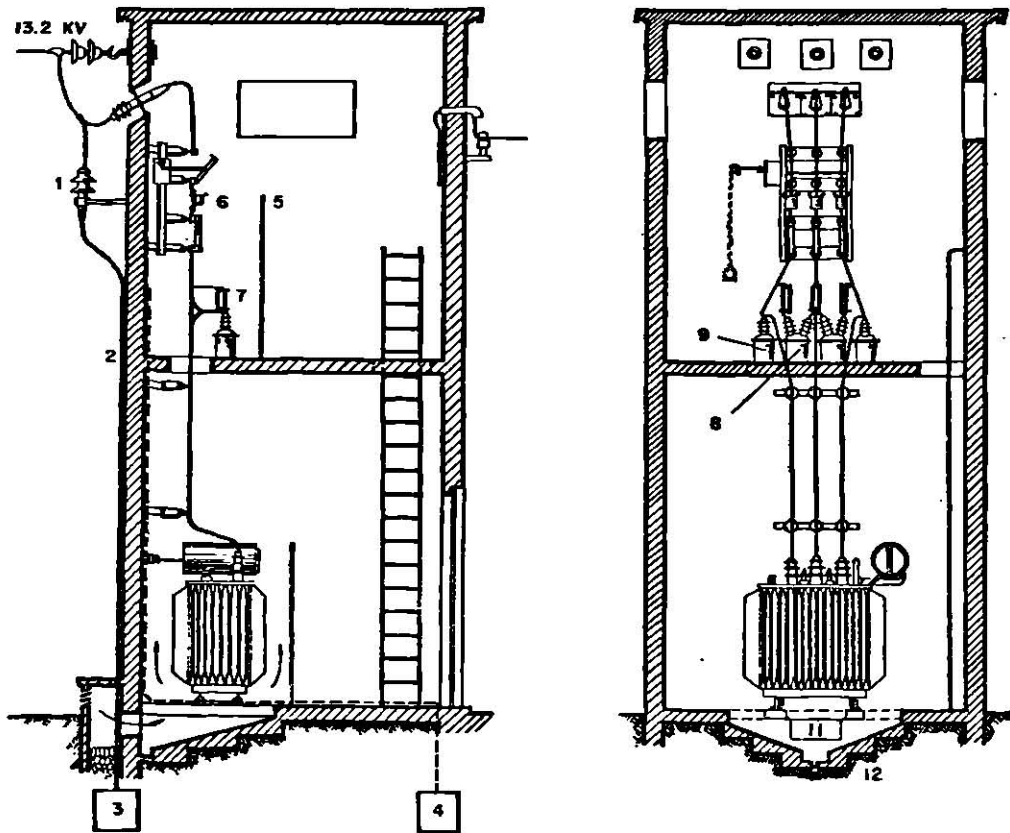
- Transfiere energía de un circuito a otro conservando la frecuencia constante.
- Lo hace bajo el principio de inducción electromagnética.
- Tiene circuitos eléctricos que están eslabonados magnéticamente y aislados eléctricamente.
- Usualmente lo hace con un cambio de voltaje, aunque esto no es necesario.

DIAGRAMA ELEMENTAL DE UN TRANSFORMADOR.

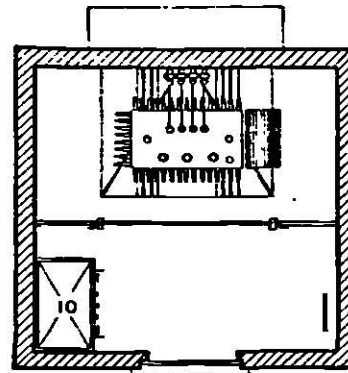




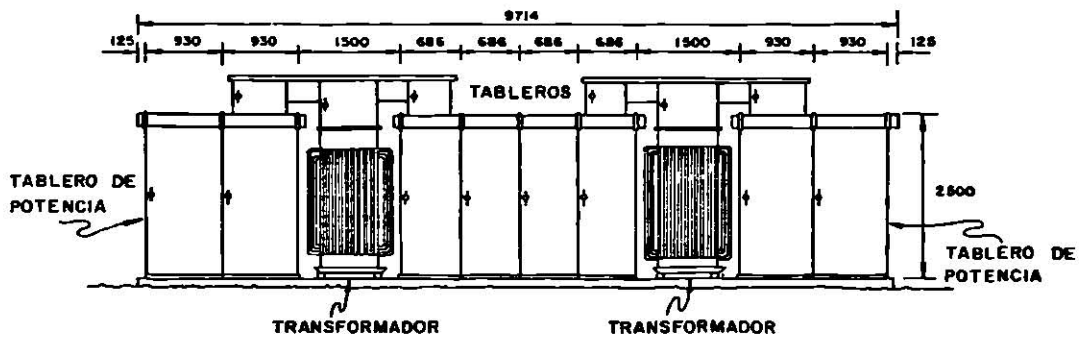
VISTA DE UNA SUBESTACION TIPO INTERIOR 13,200 / 440 - 220 VOLTS, 250 KVA.



- 1 - APARTARRAYOS
- 2 - CONDUCTOR DE TIERRA (SEC MINIMA 16 mm<sup>2</sup>)
- 3 - DISPERSOR (ELECTRODO) DEL APARTARRAYOS
- 4 - DISPERSOR (ELECTRODO) DE LA RED DE TIERRAS
- 5 - REJA DE PROTECCION
- 6 - CUCHILLA DESCONECTADORA
- 7 - FUSIBLES
- 8 - TRANSFORMADOR DE POTENCIAL
- 9 - TRANSFORMADOR DE CORRIENTE
- 10 - TABLERO DE MEDICION Y MANIOBRA
- 11 - DUCTO DE VENTILACION
- 12 - DRENAJE PARA EL ACEITE

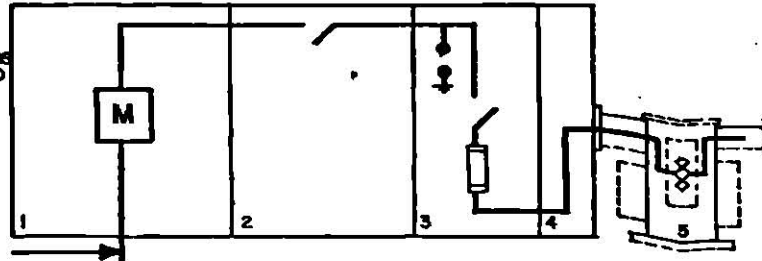


VISTA DE UNA SUBESTACION UNITARIA

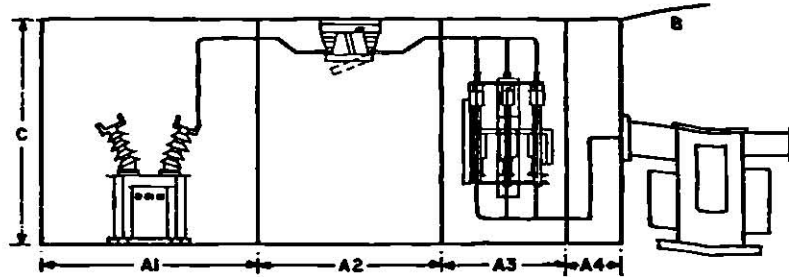


**SUBESTACION COMPACTA CON CUCHILLAS DE PASO,  
2½ SECCIONES Y ACOPLAMIENTO A TRANSFORMADOR**

- 1- SECCION DE MEDICION
- 2- SECCION DE CUCHILLAS  
DESCONECTADORAS
- 3- SECCION DE CORTACIRCUITOS
- 4- SECCION DE ACOPLAMIENTO
- 5- TRANSFORMADOR



- A. 1-2-3-4 FRENTE
- B FONDO
- C. ALTURA
- D. PESO



**ARREGLO FISICO**

**DIMENSIONES SUBESTACION INTERIOR**

TENSION	MEDICION (m.m.)				CUCHILLAS PRUEBA (m.m.)				CORTACIRCUITOS (m.m.)				ACOPLAMIENTO (m.m.)			
	A1	B	C	D	A2	B	C	D	A3	B	C	D	A4	B	C	D
7.5	1000	1200	2100	250	700	1200	2100	180	1000	1200	2100	325	300	1200	2100	150
15	1000	1200	2100	250	700	1200	2100	180	1000	1200	2100	325	450	1200	2100	175
25	2000	2000	2800	325	700	2000	2800	230	1300	2000	2800	425	550	2000	2800	200
34.5	1800	2000	3000	425	1000	2000	3000	450	1650	2000	3000	550	600	2000	3000	250

8. Enfriamiento FOW.
9. Enfriamiento A/A.
10. Enfriamiento AA/FA.

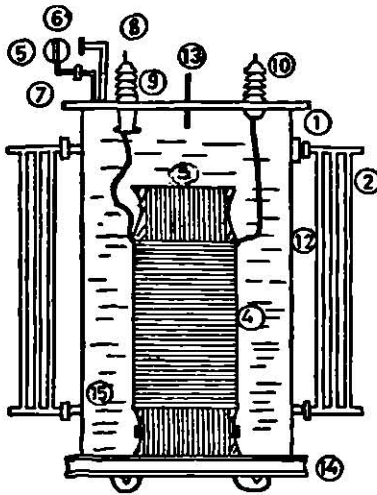
f) Por la regulación.

1. Regulación fija.
2. Regulación variable con carga.
3. Regulación variable sin carga.

g) Por la operación.

1. De potencia.
2. De distribución.
3. De instrumento.

### PARTES ESENCIALES DE UN TRANSFORMADOR.



1. Tanques.
2. Tubos radiadores.
3. Núcleo (circuito magnético).
4. Devanados.
5. Tanque conservador.
6. Indicador de nivel de aceite.
7. Relé de protección (Buchholz).
8. Tubo de escape.
9. y 10 Boquillas o aisladores de porcelana.
11. Tornillos opresores.
12. Conexión de los tubos radiadores.
13. Termómetro.
14. Bases de rolar.
15. Refrigerante.

### Especificaciones para transformadores.

1. Tipo de transformador.
2. Clase a que corresponde de acuerdo con las normas.
3. Frecuencia de operación.
4. Impedancia.
5. Números de devanados.
6. Relación de transformación en vacío.
7. Derivaciones a plena carga en el lado de alto voltaje.
8. Derivaciones a plena carga en el lado de bajo voltaje.
9. Conexiones entre fases para alto y bajo voltaje.
10. Capacidad continua con una elevación de temperatura en el cobre de 55°C medida por aumento de resistencia sobre una temperatura ambiente de 40°C.
11. Sistema de enfriamiento.
12. Desplazamiento angular.
13. Altura del sitio de instalación.

14. Clase de aislamiento en los devanados.
15. Boquillas del lado de alto voltaje, bajo voltaje y neutro.
16. Cambiador de derivaciones con carga y sin carga.
17. Tipo de control, manual o automático.
18. Equipo requerido para el control.
19. Accesorios.
20. Tipo de base, con riel o para rolar.
21. Refacciones.

### **PUESTA EN SERVICIO Y MANTENIMIENTO DE TRANSFORMADORES.**

Antes de poner en operación un transformador dentro de una subestación eléctrica conviene efectuar una revisión de lo siguiente:

1. Rigidez dieléctrica del aceite.

Una lectura baja de rigidez dieléctrica del aceite nos indicará suciedad, humedad en el aceite. Para corregir esto se filtra el aceite las veces que sea necesario hasta obtener un valor correcto.

2. Resistencia de aislamiento.
3. Secuencia de fases correctas (polaridad).
4. Tener cuidado de que las lecturas de parámetros (V, I, W) sean las adecuadas.

#### **Mantenimiento.**

Es el cuidado que se debe tener en cualquier tipo de máquinas durante su operación, para prolongar su vida y obtener un funcionamiento correcto.

En el caso particular de los transformadores se requiere poco mantenimiento, en virtud de ser máquinas estáticas. Sin embargo, conviene que periódicamente se haga una revisión de alguna de sus partes, como son:

1. Inspección ocular de su estado externo en gral., para observar fugas de aceite, etc.
2. Revisar si las boquillas no están flameadas por sobretensiones de origen externo o atmosférico.
3. Cerciorarse de que la rigidez dieléctrica del aceite sea la correcta, de acuerdo con las normas.
4. Observar que los aparatos indicadores funcionen debidamente.
5. Tener cuidado que los aparatos de protección y control operen en forma correcta.

### **INTERRUPTORES DE POTENCIA.**

Los interruptores de potencia interrumpen y restablecen la continuidad de un circuito eléctrico. La interrupción la deben de efectuar con carga (corriente nominal) o con corriente de corto circuito.

Se construyen en dos tipos generales:

- a) Interruptores de aceite.
- b) Interruptores neumáticos.

#### **a) Interruptores de aceite.**

Los interruptores en aceite se pueden clasificar en tres grupos:

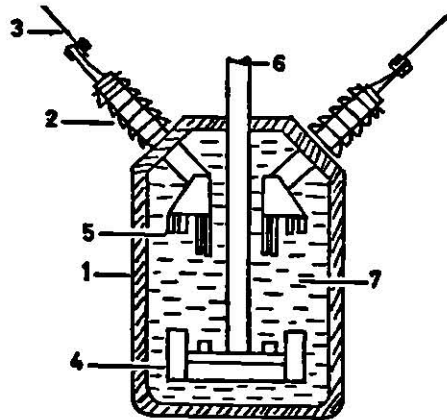
1. Interruptores de gran volumen de aceite.
2. Interruptores de gran volumen de aceite con cámara de extinción.
3. Interruptores de pequeño volumen de aceite.

### 1. Interruptores de gran volumen de aceite.

Estos interruptores reciben ese nombre debido a la gran cantidad de aceite que contienen; gralmente. se construyen en tanques cilíndricos y pueden ser monofásicos y trifásicos. Los trifásicos son para operar a voltajes relativamente pequeños y sus contactos se encuentran contenidos en un recipiente común, separados entre sí por aislantes.

Por razones de seguridad, en tensiones elevadas se emplean interruptores monofásicos (uno por base en circuitos trifásicos). Las partes fundamentales de estos interruptores son:

Tanque o recipiente .....	1
Boquillas y contactos fijos .....	2-5
Conectores (elementos de conexión al circuito) .....	3
Vástago y contactos móviles .....	4-6
Aceite de refrigeración .....	7

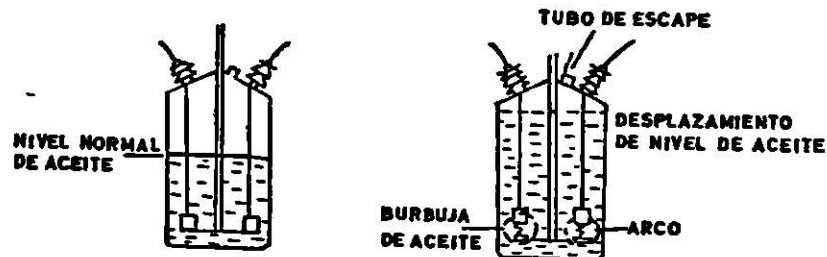


En general el tanque se construye cilíndrico, debido a las fuertes presiones internas que se presentan durante la interrupción. También el fondo del tanque lleva costillas de refuerzo, para soportar estas presiones.

#### *Proceso de interrupción.*

Cuando opera el interruptor debido a una falla, los contactos móviles se desplazan hacia abajo, separándose los contactos fijos.

Al alejarse los contactos móviles de los fijos se va creando una cierta distancia entre ellos, y en función de esta distancia está la longitud del arco. El arco da lugar a formación de gases, de tal manera que se crea una burbuja de gas alrededor de los contactos que desplaza una cantidad determinada de aceite.



Conforme aumenta la separación entre los contactos, el arco crece y la burbuja se hace mayor, de tal manera que al quedar los contactos en su separación total la presión ejercida por el aceite es considerable, por lo que en la parte superior del recipiente se instala un tubo de fuga de gases.

### Interrupidores en gran volumen de aceite con cámara de extinción.

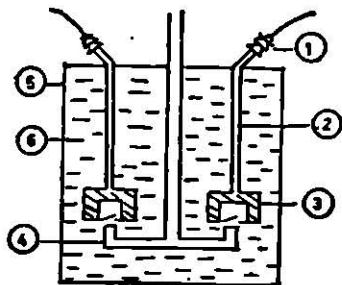
Los interruptores de grandes capacidades con gran volumen de aceite originan grandes presiones internas que en algunas ocasiones pueden ocasionar explosiones. Para disminuir estos riesgos se idearon dispositivos donde se forman las burbujas de gas, reduciendo las presiones a un volumen menor. Estos dispositivos reciben el nombre de *cámaras de extinción* y dentro de estas cámaras se extingue el arco. El procedimiento de extinción es el siguiente:

1. Al ocurrir una falla se separan los contactos que se encuentran dentro de la cámara de extinción.

2. Los gases que se producen tienden a escapar, pero como se hallan dentro de la cámara que contiene aceite, originan una violenta circulación de aceite que extingue el arco.

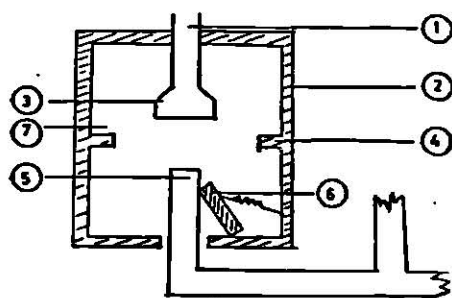
3. Cuando los arcos se han extinguido, se cierran los elementos de admisión de la cámara.

En la figura se ilustra el diagrama de un interruptor de gran volumen de aceite con cámara de extinción.



1. Boquillas de conexión al circuito.
2. Contactos fijos (dentro de la cámara).
3. Cámara de extinción.
4. Contactos móviles con su vástago.
5. Recipiente.
6. Aceite.

Los elementos principales de la cámara de extinción son:



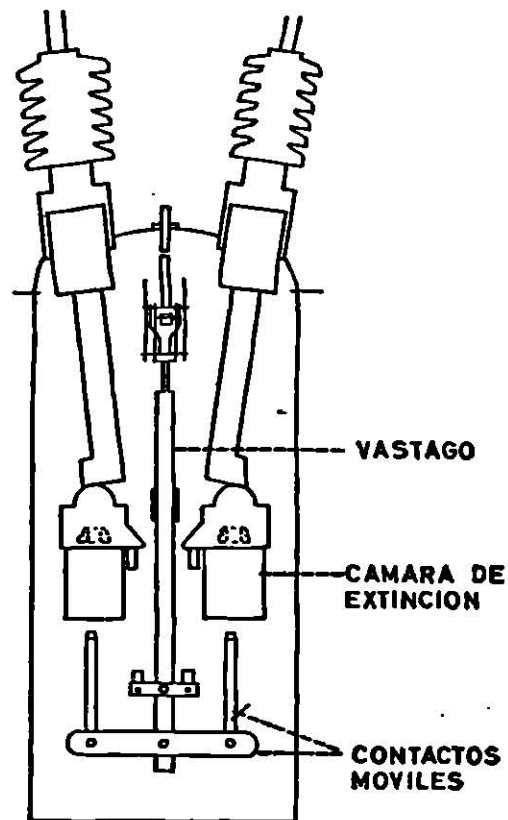
1. Parte interna de la boquilla que soporta la cámara.
2. Cuerpo de la cámara.
3. Contacto fijo dentro de la cámara.
4. Costillas de refuerzo de la cámara.
5. Contacto móvil.
6. Elemento de cierre de la cámara.
7. Aceite en el interior de la cámara.

El elemento de desconexión en los interruptores de gran volumen de aceite lo constituyen los móviles, los cuales se pueden accionar de tres maneras:

1. Mecánicamente, por medio de sistemas volante-bielas o engrane-bielas.

2. Magnéticamente, por medio de un electroimán conocido como bobina de disparo que acciona al trinquete de retención de los contactos móviles al ser energizado; se puede energizar manualmente (por medio de botón), o automáticamente (por medio de relevador).

3. La acción de conexión o desconexión se puede efectuar substituyendo el volante o los engranes con un motor eléctrico que puede operarse a control remoto.

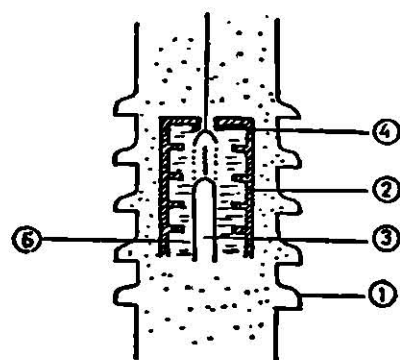


### Interruptores de pequeño volumen de aceite.

Los interruptores de reducido volumen de aceite reciben este nombre debido a que su capacidad de aceite es pequeña en comparación con los de gran volumen (su contenido de aceite varía entre 1.5 y 2.5% del que contienen los de gran volumen).

Se construyen para diferentes capacidades y voltajes de operación, y su construcción es básicamente una cámara de extinción modificada que permite mayor flexibilidad de operación.

En este tipo de interruptores la cámara de extinción del arco consiste fundamentalmente de las siguientes partes:



1. Parte externa.
2. Cuerpo de la cámara.
3. Contacto móvil.
4. Contacto fijo.
5. Arco eléctrico.
6. Aceite.

### *El funcionamiento de operación es el siguiente:*

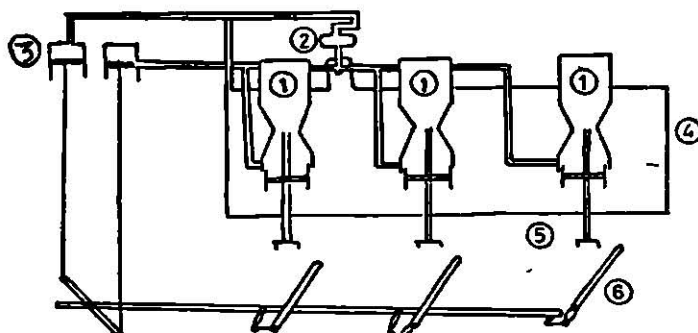
1. Al ocurrir la falla se desconecta el contacto móvil 3 originándose un arco eléctrico.
2. A medida que sale el contacto móvil se va creando una circulación de aceite entre las diferentes cámaras que constituyen el cuerpo.
3. Al alcanzar el contacto móvil su máxima carrera el aceite que circula violentamente extingue el arco por completo.

Estos interruptores se fabrican por lo general del tipo columna.

### **Interruptores neumáticos.**

Debido al peligro de explosión e incendio de los interruptores en aceite, se fabrican los interruptores neumáticos, en los cuales la extinción del arco se efectúa por medio de un chorro de aire a presión.

El aire a presión se obtiene por un sistema de aire comprimido que incluye una o varias compresoras, un tanque principal, un tanque de reserva y un sistema de distribución en caso de que sean varios interruptores. Se fabrican monofásicos y trifásicos, para su exterior e interior. El proceso general se ilustra en la siguiente figura:



Cuando ocurre una falla la detecta el dispositivo de control, de tal manera que una válvula de solenoide acciona a la válvula principal (2) y sigue una secuencia que puede describirse en general como sigue:

1. Al ser accionada la válvula principal (2), ésta se abre, permitiendo el acceso de aire a los aisladores huecos (1).

2. El aire a presión que entra a los aisladores huecos presiona por medio de un émbolo a los contactos (5).

3. Los contactos (5) accionan a los contactos (6) que operan simultáneamente abriendo el circuito.

4. Como los aisladores huecos (1) se encuentran conectados directamente a las cámaras de extinción (3), al bajar los contactos (5) para accionar a los contactos (6) el aire a presión que se encuentra en los aisladores huecos (1) entra violentamente a la cámara de extinción (3) extinguiéndose el arco.

### ***Ventajas del interruptor neumático sobre los interruptores de aceite.***

1. Ofrece mejores condiciones de seguridad, ya que evita explosiones e incendios.
2. Interrumpe las corrientes de falla en menos ciclos (3 a 5).
3. Disminuye la posibilidad de rancebados de arcos.
4. Es más barato.



## **PRUEBAS A INTERRUPTORES.**

Las pruebas que generalmete se efectúan a los interruptores son:

### **1. Prueba de prestación.**

Sirve para determinar el valor de la corriente de apertura o de la corriente de cierre en algunos casos (corriente de falla).

### **2. Prueba de sobrecarga.**

Sirve para comprobar si el interruptor soporta la corriente de sobrecarga fijada.

### **3. Prueba de temperatura.**

Sirve para observar el comportamiento del interruptor con temperaturas elevadas o con corrientes mayores que la nominal.

### **4. Prueba de aislamiento.**

Sirve para verificar el comportamiento del interruptor a la tensión nominal y comprobar la calidad de los aislantes empleados.

### **5. Prueba mecánica.**

Nos permite observar si el interruptor es lo suficientemente fuerte de acuerdo con su capacidad de diseño en MVA.

### **6. Prueba de presión.**

Nos permite comprobar la resistencia del tanque a las presiones internas originadas en una falla.

### **7. Prueba de funcionamiento.**

Es la última prueba y nos permite comprobar el funcionamiento correcto de los dispositivos de control y mecánico, fundamentalmente la operación simultánea de los polos de desconexión.

## **ESPECIFICACIONES PARA INTERRUPTORES DE POTENCIA.**

De todos los tipos estudiados hay una gran variedad y se deben especificar generalidades, función del interruptor en la subestación, si la subestación es del tipo interior o intemperie, si es de accionamiento manual o automático.

Entre los datos técnicos que se deben proporcionar se pueden mencionar como fundamentales los siguientes:

- a) Tensión normal de operación.
- b) Corriente nominal.
- c) Corriente de ruptura en KA.
- d) Capacidad de ruptura en MVA.

## **ALGUNAS CAPACIDADES COMERCIALES DE INTERRUPTORES.**

**Tipo "GC"** Un solo tanque.

Características.    14.4 KV            100, 250, 500 MVA.  
                                  23.0 KV            250 MVA.

**Tipo "G"** Tres tanques.

Características.    14.4 hasta 69 KV, -500 hasta 2500 MVA  
                                  Usados en transmisión de potencia.

**Tipo "GM"** Montado sobre el piso.

Características.    69 hasta 161 KV, -1500 hasta 1500 MVA.  
                                  Empleado en sistemas de transmisión.

**Tipo "GW"**

Características.    230 a 345 KV            1200 a 1600 Amp.

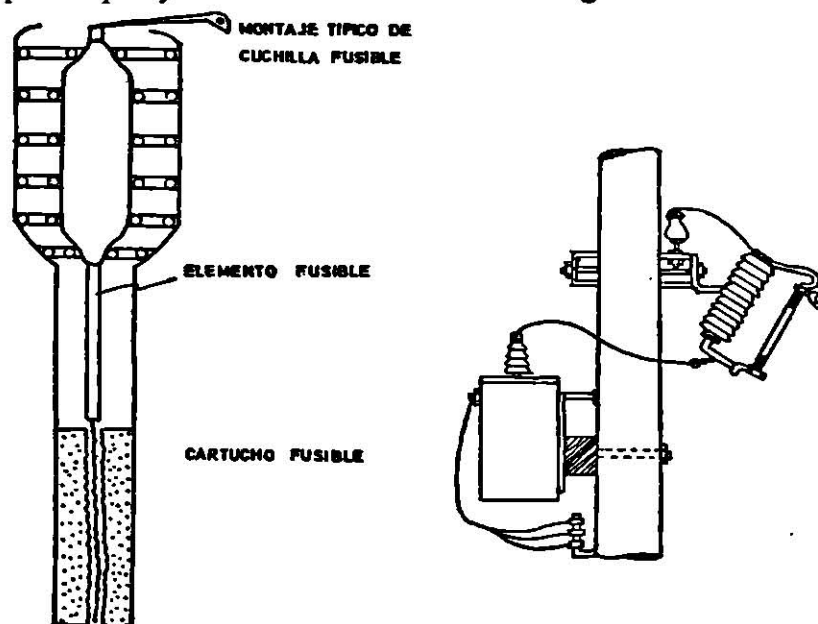
## CUCHILLA FUSIBLE.

La Cuchilla fusible es un elemento de conexión y desconexión de circuitos eléctricos. Tiene dos funciones: como cuchilla desconectadora, para lo cual se conecta y desconecta, y como elemento de protección.

El elemento de protección lo constituye el dispositivo fusible, que se encuentra dentro del cartucho de conexión y desconexión. El dispositivo fusible se selecciona de acuerdo con el valor de corriente nominal que va a circular por él, pero los fabricantes tienen el correspondiente valor de corriente de ruptura para cualquier valor de corriente nominal.

Los elementos fusibles se construyen fundamentalmente de plata (en casos especiales), cobre electrolítico con aleación de plata, o cobre aleado con estaño.

Existen diferentes tipos de cuchillas fusibles, de acuerdo con el empleo que se les dé. Entre los principales tipos y características tenemos los siguientes:



## CUCHILLAS DESCONECTADORAS.

La cuchilla desconectadora es un elemento que sirve para desconectar físicamente un circuito eléctrico.

Por lo general se operan sin carga, pero con algunos aditamentos se puede operar con carga, hasta ciertos límites.

### *Clasificación de cuchillas desconectadoras.*

**Por su operación:**

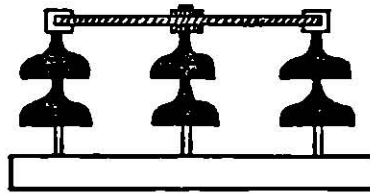
- a) Con carga (con tensión nominal).
- b) Sin carga (con tensión nominal).

**Por su tipo de accionamiento:**

- a) Manual.
- b) Automático.

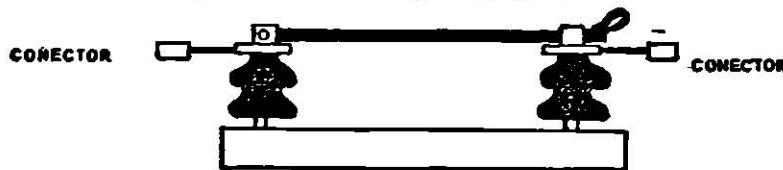
**Por su forma de desconexión:**

a) Con tres aisladores, dos fijos y un giratorio al centro (horizontal), llamado también de doble arco.



Estas cuchillas se emplean sobre todo en subestaciones tipo intemperie con corrientes elevadas y tensiones del orden de 34.5 KV; son generalmente operadas en grupo, por mando eléctrico. No representan peligro para el operario, ya que es grande la separación entre polos.

b) Con dos aisladores (accionados con pértiga), operación vertical.



Por la forma en que se instala, la cuchilla recibe el nombre de:

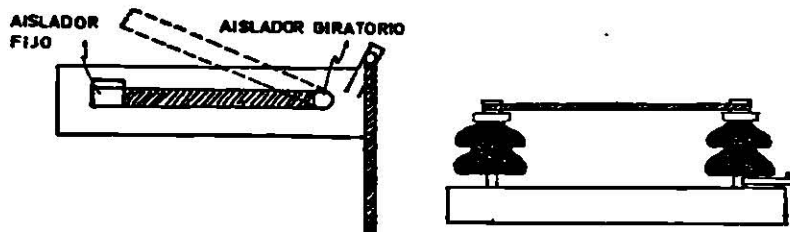
Vertical LCO.

Horizontal standard.

Este tipo de cuchillas es de los más usuales por su operación simple, puede emplearse en instalaciones interiores o a la intemperie. Para usos interiores se recomienda usarla en tensiones no mayores de 23 KV, para operación con pértiga, el lugar donde se pare el operario para efectuar la desconexión debe, ser de acuerdo con las normas de seguridad, una madera con capa de hule.

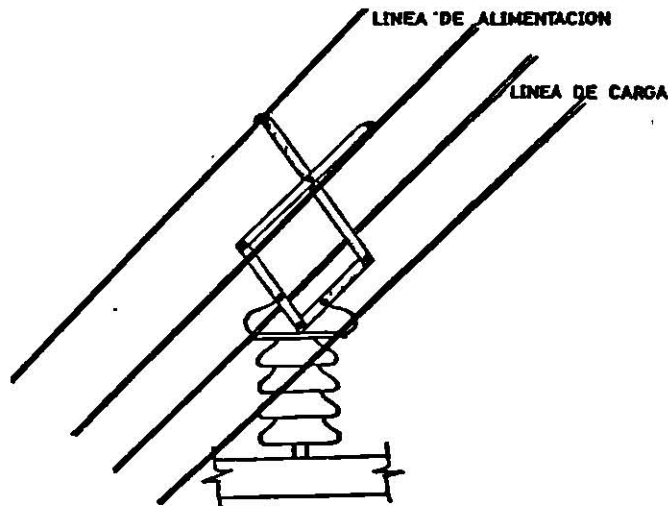
Para montaje a la intemperie puede usarse en cualquiera de las tensiones normales de operación, con mando por barra o motor eléctrico.

c) Con dos aisladores, uno fijo y otro giratorio en el plano horizontal.



Este tipo de cuchillas es de uso a la intemperie generalmente. Presentan muchas ventajas cuando son accionadas neumáticamente; por tal razón, es conveniente usarlas cuando se disponga de aire comprimido. Se usan para cualquiera de las tensiones normales de operación. Pueden accionarse también por barra o motor eléctrico. Tienen el inconveniente de que la hoja de desconexión se desajusta después de varias operaciones.

d) Pantógrafo o separador tijera.



En la actualidad este tipo de cuchilla no se emplea con frecuencia, sobre todo en América. La razón es que su mecanismo de operación es complicado y en ocasiones falla; además su costo es elevado y ocupa mucho espacio, lo cual va en contra de la tendencia actual de reducir el espacio en las instalaciones.

e) Cuchilla tipo "AV" (Tres aisladores de doble arco).



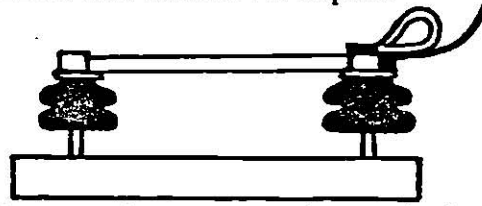
Estas cuchillas se emplean en instalaciones de corrientes elevadas y tensiones medias; se operan generalmente por barra o motor eléctrico, pero también pueden accionarse con aire comprimido. En sistemas de distribución a 33 y 23 KV se usan interconexiones de líneas.

f) Cuchilla de tres aisladores, el del centro movible por cremallera.



El rango de aplicación de estas cuchillas es semejante al de las cuchillas de operación vertical; debido a su tamaño, generalmente son accionadas por motor eléctrico, aunque se pueden accionar por barra o aire comprimido.

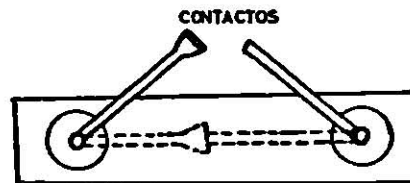
g) Cuchillas desconectoras con cuernos de arqueo.



Estas cuchillas pueden de operación horizontal o vertical. Se usan por lo general en sistemas que operan en tensiones elevadas, por ejemplo 66, 88, 115 KV, etc. Su empleo es indispensable en líneas largas. Los cuernos de arqueo sirven para que entre ellos se forme el arco al desconectar las cuchillas, y a la conexión a tierra para disipar la energía del arco.

El arco se forma debido a la energía residual que conservan las líneas largas al quedar en vacío después de la apertura del interruptor.

h) Cuchilla tipo tripolar, de doble aislador giratorio



### ***Cuchillas de operación con carga.***

Existen cuchillas que pueden desconectar circuitos con carga. Estas cuchillas reciben el nombre de *seccionadores* y son casi siempre cuchillas de operación vertical con accesorios especiales para desconexión rápida. Se fabrican para interrumpir corrientes hasta de 1000 Amps. A tensiones no mayores de 34.5 KV.

### ***Especificaciones.***

Los datos que se deben proporcionar para el pedido de cuchillas desconectoras son básicamente los siguientes:

1. Tensión nominal de operación.
2. Corriente nominal.
3. Corriente de corto circuito simétrica.
4. Corriente de corto circuito asimétrica.
5. Tipo de montaje (horizontal o vertical) y forma de mando.

### **CUCHILLAS DE PRUEBA.**

Generalmente estas cuchillas desconectoras son de operación en grupo y sin carga, su propósito es permitir la conexión de equipos de medición portátiles que permitan verificar al equipo instalado por la compañía suministradora.

## APARTARRAYOS.

Las sobretensiones que se presentan en las instalaciones de un sistema pueden ser de dos tipos:

1. Sobretensiones de origen atmosférico.
2. Sobretensiones por fallas en el sistema.

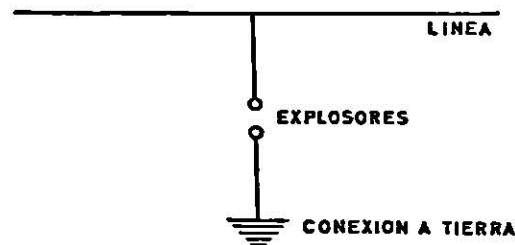
El apartarrayos es un dispositivo que nos permite proteger las instalaciones contra sobretensiones de origen atmosférico.

Las ondas que se presentan durante una descarga atmosférica viajan a la velocidad de la luz y dañan al equipo si no se le tiene protegido correctamente; para la protección del mismo se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

1. Descargas directas sobre la instalación.
2. Descargas indirectas.

De los casos anteriores el más interesante, por presentarse con más frecuencia, es el de las descargas indirectas.

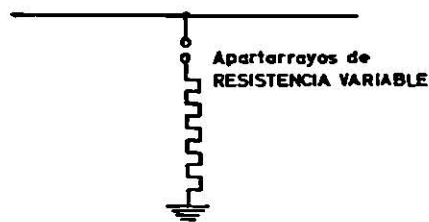
El principio general de operación del apartarrayos se basa en la formación de un arco eléctrico entre dos *explosores* cuya separación está determinada de antemano de acuerdo a la tensión que se va operar.



Se fabrican diferentes tipos de apartarrayos, basados en el principio gral. de operación; por ejemplo, los más usados son los conocidos como *apartarrayos tipo autovalvular* y *apartarrayos de resistencia variable*.

El apartarrayos tipo autovalvular consiste de varias chapas de explosores conectados en serie por medio de resistencias variables cuya función es dar una operación más sensible y precisa. Se emplea en los sistemas que operan a grandes tensiones, ya que representa una gran seguridad de operación.

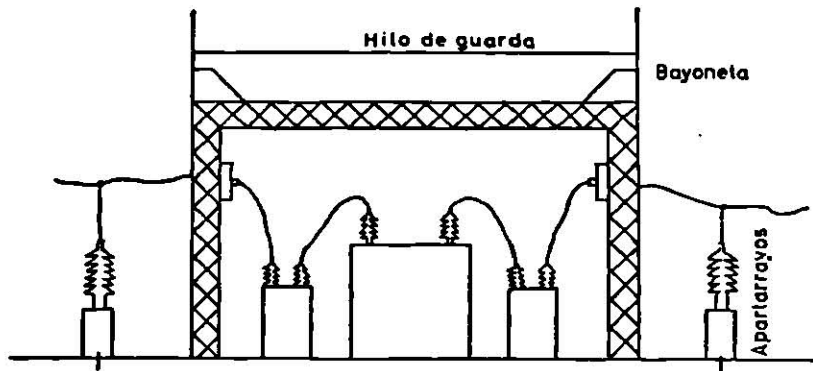
El apartarrayos de resistencia variable funda su principio de operación en el principio general, es decir, con dos explosores, y se conecta e serie a una resistencia variable. Se emplea en tensiones medianas y tiene mucha aceptación en sistemas de distribución.



La función de apartarrayos no es eliminar las ondas de sobretensión presentadas durante las descargas atmosféricas, sino limitar su magnitud a valores que no sean perjudiciales para las máquinas del sistema.

Las sobretensiones originadas por descargas indirectas se deben a que se almacenan sobre las líneas cargas electrostáticas que al ocurrir la descarga se parten en dos y viajan en ambos sentidos de la línea a la velocidad de la luz.

Los apartarrayos protegen también a las instalaciones contra descargas directas, para lo cual tiene un cierto radio de protección. Para dar mayor seguridad a las instalaciones contra descargas directas se instalan unas varillas conocidas como bayonetas e hilos de guarda semejantes a los que se colocan en las líneas de transmisión.



La tensión a que operan los apartarrayos se conoce técnicamente como *tensión de cebado del apartarrayos*.

## TRANSFORMADORES PARA INSTRUMENTO.

Se denominan transformadores para instrumento los que se emplean para alimentación de equipos de medición, control o protección. Los transformadores para instrumento se dividen en dos clases:

1. Transformadores de corriente.
2. Transformadores de potencial.

### *Transformadores de corriente.*

Es aquél cuya función principal es cambiar el valor de la corriente de niveles más o menos elevados a otros con los cuales se puedan alimentar instrumentos de medición, control o protección, como amperímetros, wáttmetros, instrumentos registradores, relevadores de corriente, etc.

Su construcción es semejante a la de cualquier tipo de transformador, ya que fundamentalmente consiste en un devanado primario y un devanado secundario. La capacidad de estos transformadores es muy baja, se determina sumando las capacidades de los instrumentos que se va a alimentar, y puede ser 15, 30, 50, 60 y 70 VA.

Estos transformadores son generalmente de tamaño reducido y el aislamiento que se emplea en su construcción tiene que ser de muy buena calidad, pudiendo ser en algunos casos resinas sintéticas (compound), aceite o líquidos no inflamables (pyranol, clorextol, etc.).

Hay transformadores de corriente que operan con corrientes relativamente bajas; estos transformadores pueden construirse sin devanado primario, ya que el primario lo constituye la línea a la que van a conectarse. En este caso se les denomina transformadores *tipo dona*.

Las relaciones de transformación son de diferentes valores, pero la corriente en el devanado secundario normalmente es de 5 amperes.

#### *Transformadores de potencial.*

Se denomina transformador de potencial a aquél cuya función principal es transformar *los valores de voltaje* sin tomar en cuenta la corriente. Estos transformadores sirven para alimentar instrumentos de medición, control o protección que requieran señal de voltaje.

Los transformadores de potencial se contruyen con un devanado primario y otro secundario; su capacidad es baja, ya que se determina sumando las capacidades de los instrumentos de medición que se van a alimentar, y varían de 15 a 60 VA. Los aislamientos empleados son de muy buena calidad y en general son los mismos que se usan en la construcción de los transformadores de corriente.

Se construyen para diferentes relaciones de transformación, pero el voltaje en el devanado secundario es normalmente de 115 volts.

Los transformadores de instrumento tienen diferente precisión de acuerdo con el empleo que se les dé. A esta precisión se le denomina *clase de precisión* y se selecciona de acuerdo con la siguiente lista:

#### *Clase de precisión.*

**0.1.** Los pertenecientes a esta clase son generalmente transformadores patrones empleados en laboratorios para calibración por contrastación.

**0.2.** Los de esta clase pueden emplearse como transformadores patrones o para alimentar instrumentos que requieran mucha precisión, como son instrumentos registradores, controladores, aparatos integradores, etc.

**0.5.** Los transformadores pertenecientes a esta clase se emplean comúnmente para alimentar instrumentos de medición normal, como son amperímetros, voltímetros, wattímetros, varímetros, etc.

**3.** Los transformadores para instrumento que pertenecen a esta clase son empleados normalmente para alimentar instrumentos de protección como son relevadores; la tolerancia permitida en esta clase es de 2.5 al 10 %.

#### *Especificaciones para transformadores de instrumento.*

##### a) Transformador de corriente.

1. Función a desempeñar.
2. Relación de transformación (corriente primaria).
3. Tensión de operación.
4. Clase de precisión y tolerancia.

##### b) Transformador de potencial.

1. Función a desempeñar.
2. Relación de transformación (voltaje primario).
3. Colocación de las boquillas (en caso de subestación a la intemperie).
4. Clase de precisión y tolerancia.

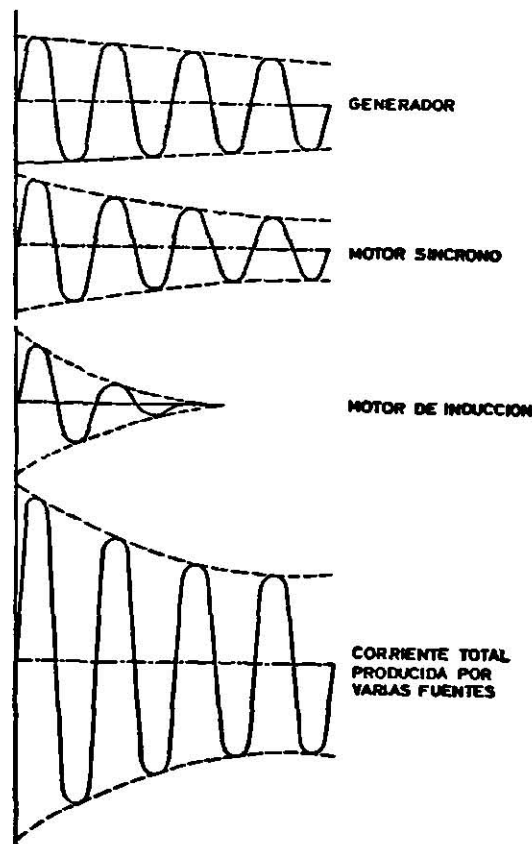


## 1.5.- ESTUDIO DEL CORTOCIRCUITO.

Las corrientes de corto circuito que se originan por diversas causas en los sistemas eléctricos son alimentadas por elementos activos, como son generadores, motores, etc. y se limitan por elementos pasivos del sistema, como son impedancias de motores, transformadores, generadores, etc.

La corriente de cortocircuito simétrica total puede estar formada, según sea el caso particular, de dos o tres fuentes. La primera la constituyen los generadores. La segunda de estas fuentes está constituida por los motores de inducción colocados en las instalaciones industriales. Por último, la tercer fuente la constituyen los motores y condensadores sincrónicos, si los hubiere.

Como estas corrientes disminuyen con el tiempo debido a la reducción del flujo en la máquina, después del cortocircuito, la corriente total de cortocircuito disminuye también con el tiempo y, de esta manera, aún cuando se considere solamente la parte simétrica de la corriente de cortocircuito, la intensidad es mayor en el primer medio ciclo y tienen valores menores unos ciclos después.



Para iniciar el estudio del cortocircuito es necesario primero la preparación del diagrama unifilar de la instalación que muestre la conexión de todas las fuentes de las corrientes de cortocircuito.

En segundo lugar se debe preparar el diagrama de impedancias que puedan tener influencia en el cálculo.

### ***Selección del tipo de cortocircuito.***

En la mayor parte de los sistemas industriales se obtiene la máxima corriente de cortocircuito cuando se produce una falla trifásica. Por lo consiguiente, para la selección de los dispositivos de protección en la mayoría de las plantas industriales basta calcular un cortocircuito trifásico. En cambio, en sistemas de plantas muy grandes de alta tensión que generalmente tienen el neutro conectado directamente a tierra, se presenta la corriente máxima de cortocircuito cuando la falla ocurre entre una fase y tierra.

### ***Localización del cortocircuito.***

La ubicación del cortocircuito en una instalación depende desde luego del fin perseguido; por ejemplo, la máxima corriente de cortocircuito que circula a través de un interruptor, un fusible o un arrancador se presenta cuando la falla se produce precisamente en las terminales de estos dispositivos.

## **METODOS DE CALCULO DE CORTOCIRCUITO.**

Existen diferentes métodos para el cálculo de los cortocircuitos en las instalaciones eléctricas. Dentro de estos métodos matemáticos se pueden mencionar los siguientes:

1. Método de las componentes simétricas (método exacto).
2. Método por medio de determinantes.
3. Método de las potencias (aproximado).
4. Método de la caída porcentual (aproximado).
5. Método por unidad (aproximado).

En este caso emplearemos el método por unidad, en el cual con el fin de poder efectuar los cálculos de cortocircuito se hace necesario transformar el sistema original a otro equivalente, en el cual los valores de impedancia, voltaje y corriente de todas las máquinas y líneas queden expresadas en valores referidos a una misma base común de voltaje y corriente. Los números de volts base y amperes base se pueden elegir arbitrariamente; caso que no sucede con los ohms base, ya que están determinados por las magnitudes elegidas y que están relacionadas por la ley de Ohm:

$$\text{Ohms base} = \frac{\text{volts base}}{\text{amperes base}}$$

Si se emplean los valores de base elegidos podemos expresar todas las partes de un circuito o sistema eléctrico en cifras por unidad utilizando las relaciones que siguen:

$$\text{Volt/unidad} = \frac{\text{volt}}{\text{volt base}}$$

$$\text{Amp/unidad} = \frac{\text{ampere}}{\text{ampere base}}$$

En la practica resulta más conveniente elegir volts de base y KVA de base; entonces quedan fijados automáticamente los valores de base de otras magnitudes. Para un sistema monofásico quedaría:

$$\text{Ampere base} = \frac{\text{KVA base}}{\text{KV base}}$$

$$\text{Ohms base} = \frac{\text{volts base}}{\text{amp. Base}}$$

En las que KVA base son los KVA monofásicos y los volts base son los volts entre línea y neutro.

Para un sistema trifásico las ecuaciones anteriores se modifican de la manera siguiente:

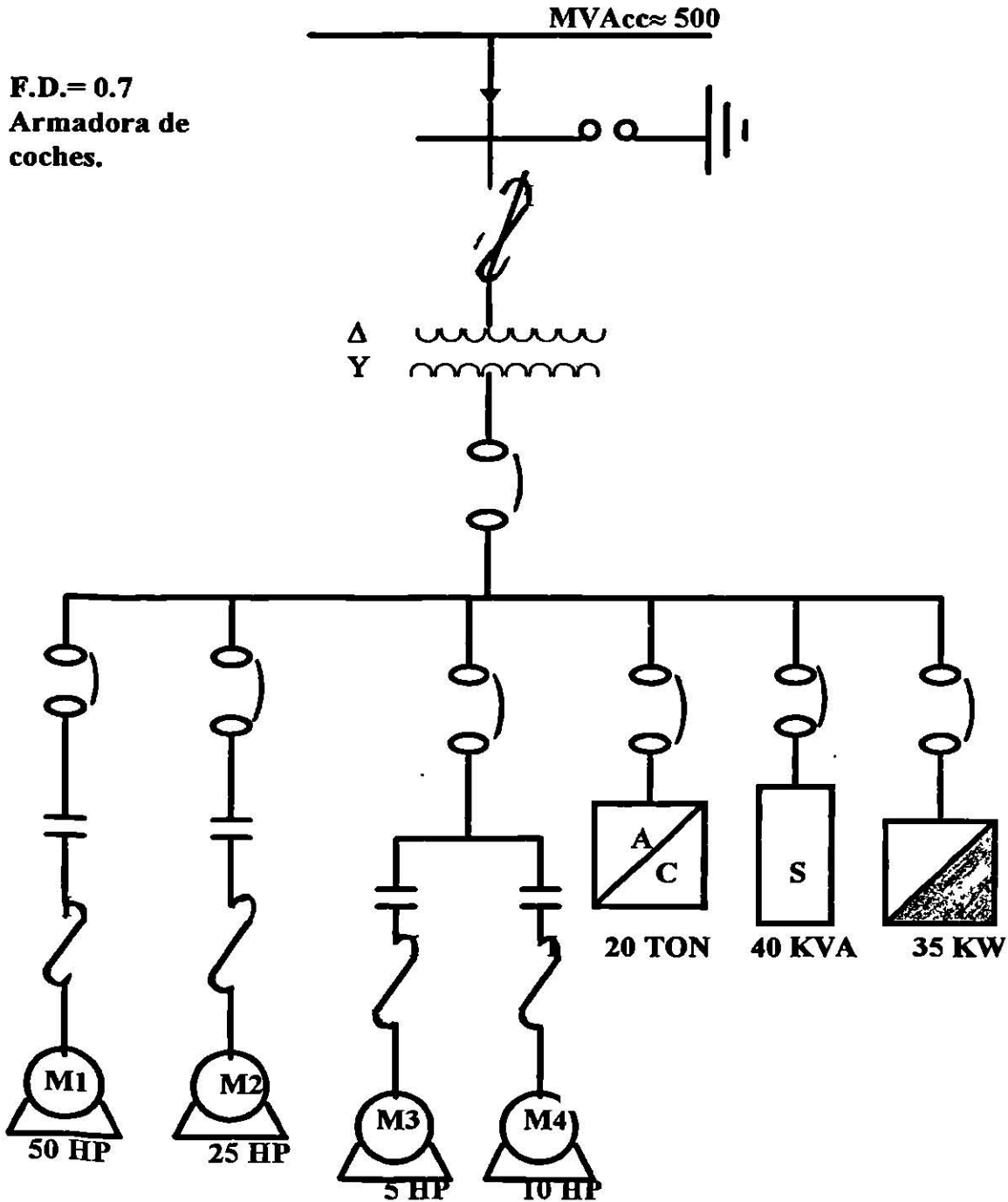
$$\text{Ampere base} = \frac{\text{KVA base}}{\sqrt{3} \text{ KV base}}$$

$$\text{Ohms base} = \frac{\text{volts base}}{\sqrt{3} \text{ amp. base}}$$

## EJEMPLO DE CALCULO DE UNA SUBESTACION ELECTRICA.

Supongamos que tenemos el siguiente diagrama unifilar:

**F.D.= 0.7**  
**Armadora de coches.**



**Consideraciones utilizadas en los cálculos:**

**Para motores de inducción:**

$$1 \text{ KVA} = \frac{0.746 \text{ HP}}{\eta \times \text{fp}} \approx 1 \text{ HP}$$

**Para aires acondicionados:**

$$1 \text{ TON} = 1.7 \text{ KW}$$

$$\text{KVA} = \frac{1 \text{ TON} \times 1.7 \text{ KW}}{\text{fp}}$$

**Para centros de carga:**

$$\text{KVA} = \frac{\text{KW}}{\text{fp}}$$

**Para la selección de fusibles de motores:**

- Pequeño ( 0 a 7½ HP ) =  $I_N \times 200 \%$ .
- Mediano ( 10 a 25 HP ) =  $I_N \times 165 \%$ .
- Grande ( 30 HP en adelante ) =  $I_N \times 140 \%$ .

**Para la selección del cable de alimentación:**

- El 25 % de  $I_N$ , excepto para efectos de caída de tensión o distancias grandes.

**Para la selección del fusible del aire acondicionado:**

$$I_{\text{FUSIBLE}} = I_N \times 150 \%$$

**Para la selección del fusible de la soldadora:**

$$I_{\text{FUSIBLE}} = I_N ( 200 - 300 \% )$$

**Para la selección del fusible para centro de carga:**

$$I_{\text{FUSIBLE}} = I_N \times 125 \%$$

**Para selección de la protección en baja tensión:**

- Se selecciona el que corresponda al valor de  $I_N$  o próximo superior.

### Cálculo de la capacidad del transformador.

$$KVA_{TRANSF} = KVA_{INST} \times F.D. + (20 - 30\%) KVA_{INST}$$

$$KVA_{INST} = KVA_{M1} + KVA_{M2} + KVA_{M3} + KVA_{M4} + KVA_{AC} + KVA_{SOLD} + KVA_{C.CARGA}$$

$$KVA_{INST} = 50 + 25 + 5 + 10 + \frac{20 \times 1.7}{0.9} + 40 + \frac{35}{0.92}$$

$$\underline{KVA_{INST} = 205.77}$$

$$KVA_{TRANSF} = (205.77 \times 0.7) + 25\% (205.77)$$

$$\underline{KVA_{TRANSF} = 180 \text{ KVA}}$$

∴ el transformador a seleccionar es de 225 KVA.

### Selección de la protección en alta tensión y baja tensión.

$$I_{A.T.} = \frac{KVA_{TRANSF}}{\sqrt{3} \text{ KVA.T.}}$$

$$I_{A.T.} = \frac{225 \text{ KVA}}{\sqrt{3} \times 13.2 \text{ KV}} = 9.84 \text{ Amp.}$$

∴ el fusible seleccionado es de 3 × 25 Amp.

$$I_{B.T.} = \frac{KVA_{TRANSF}}{\sqrt{3} \text{ KVB.T.}} = \frac{225 \text{ KVA}}{\sqrt{3} \times 0.22 \text{ KV}} = 590 \text{ Amp.}$$

∴ el fusible seleccionado es de 3 × 600 Amp.

### Selección de la protección y cableado para la carga.

Para el motor 1:

$$I_{M1} = \frac{50 \text{ KVA}}{\sqrt{3} \times 0.22 \text{ KV}} = 131.2 \text{ Amp.}$$

$$I_{TERMICO} = 131.2 \times 1.4 = 183.7 \text{ Amp.}$$

∴ el fusible seleccionado es de 3× 200 Amp. Tipo KA.

$$I_{\text{CABLE}} = 131.2 \text{ Amp} \times 1.25 = 164 \text{ Amp.}$$

∴ se usarán 3 - 2/0 - T51 mm  
1 - 6T

Para el motor 2:

$$I_{M2} = \frac{25 \text{ KVA}}{\sqrt{3} \times 0.22 \text{ KV}} = 65.6 \text{ Amp.}$$

$$I_{\text{TERMICO}} = 65.6 \times 1.65 = 108.2 \text{ Amp.}$$

∴ el fusible seleccionado es de 3 × 125 Amp. Tipo KA.

$$I_{\text{CABLE}} = 65.6 \times 1.25 = 81.5 \text{ Amp.}$$

∴ se usarán 3 - 2 - T32 mm  
1 - 6T

Para el motor 3:

$$I_{M3} = \frac{5 \text{ KVA}}{\sqrt{3} \times 0.22 \text{ KV}} = 13.12 \text{ Amp}$$

$$I_{\text{TERMICO}} = 13.12 \times 2 = 26.24 \text{ Amp.}$$

∴ el fusible seleccionado es de 3 × 30 Amp. Tipo FA

$$I_{\text{CABLE}} = 13.12 \times 1.25 = 16.4 \text{ Amp}$$

∴ se usarán 3 - 12 - T13mm  
1 - 12 T

Para el motor 4:

$$I_{M4} = \frac{10 \text{ KVA}}{\sqrt{3} \times 0.22 \text{ KV}} = 26.24 \text{ Amp}$$

$$I_{\text{TERMICO}} = 26.24 \times 1.65 = 43.3 \text{ Amp.}$$

∴ el fusible seleccionado es de 3 × 50 Amp. Tipo FA

$$I_{CABLE} = 26.24 \times 1.25 = 32.8 \text{ Amp.}$$

∴ se usarán 3 - 8 - T19mm  
1 - 10T

Para la alimentaci3n de M3 y M4:

$$I_{FUSIBLE} = I_{EQUIPO\ MAYOR} \times \% + \Sigma I_{N\ DEMAS\ MOTORES}$$

$$I_{FUSIBLE} = 26.24 \times 1.65 + 13.12 = 56.41 \text{ Amp.}$$

∴ el fusible seleccionado es de 3 × 70 Amp. Tipo FA

$$I_{CABLE} = (I_{M3} + I_{M4}) \times 1.25 = (26.24 + 13.12) \times 1.25 = 49.2 \text{ Amp.}$$

∴ se usarán 3 - 6 - T25 mm  
1 - 8T

Para el aire acondicionado:

$$I_N = \frac{20 \times 1.7}{\sqrt{3} \times 220 \times 0.9} = 99.2 \text{ Amp.}$$

$$I_{TERMICO} = 99.2 \times 1.5 = 148.68 \text{ Amp.}$$

∴ el fusible seleccionado es de 3 × 150 Amp. Tipo KA

$$I_{CABLE} = 99.2 \times 1.25 = 123.9 \text{ Amp.}$$

∴ se usarán 3 - 1/0 - T38mm  
1 - 6T

Para la soldadora:

$$I_N = \frac{40 \text{ KVA}}{\sqrt{3} \times 0.22 \text{ KV}} = 104.97 \text{ Amp}$$

$$I_{TERMICO} = 104.97 \times 2.5 = 262.42 \text{ Amp.}$$

∴ el fusible seleccionado es de 3 × 300 Amp. Tipo LA

$$I_{CABLE} = 104.97 \times 1.4 = 146.95 \text{ Amp.}$$

∴ se usarán 3 - 1/0 - T38mm  
1 - 4T



Para el centro de carga:

$$I_N = \frac{35 \text{ KW}}{\sqrt{3} \times 0.22 \times 0.92} = 99.72 \text{ Amp.}$$

$$I_{\text{TERMICO}} = 99.72 \times 1.25 = 124.65 \text{ Amp.}$$

**∴ el fusible seleccionado es de 3× 125 Amp. Tipo KA**

$$I_{\text{CABLE}} = 99.72 \times 1.25 = 124.65 \text{ Amp.}$$

**∴ se usarán 3 - 2 - T32mm  
1 - 6T**

Cable para el transformador:

$$I_N = 590 \times 1.25 = 737.5 \text{ Amp.}$$

Usando 2 cond/fase = cal. 500 MCM - 380 Amp c/u = 760 Amp.

Usando 3 cond/fase = cal. 250 MCM - 255 Amp c/u = 765 Amp.

**Seleccionando opción de 2 cond/fase se usarían 6 - 500MCM - T102mm  
1 - 2N  
1 - 2T**

Tabla No. 5.1. Capacidad de corriente de conductores de cobre aislado en Amperes (Reproducción de la tabla 302.4 de las NTIE, 1981).

Tipo de aislam.	Temp. máxima		60 °C		75 °C		85 °C		90 °C	
	en tubo	al aire	en tubo	al aire	en tubo	al aire	en tubo	al aire	en tubo	al aire
14	15	20	15	20	25	30	30	40	25	30
12	20	25	20	25	25	30	40	40	30	40
10	30	40	30	40	40	50	55	55	40	55
8	40	55	45	65	50	70	70	70	50	70
6	55	80	65	95	70	100	100	100	70	100
4	70	105	85	125	90	135	135	135	90	135
3	80	120	100	145	105	155	155	155	105	155
2	95	140	115	170	120	180	180	180	120	180
1	110	165	130	195	140	210	210	210	140	210
0	125	195	150	230	155	245	245	245	155	245
00	145	225	175	265	185	285	285	285	185	285
000	165	260	200	310	210	330	330	330	210	330
0000	195	300	230	360	235	385	385	385	235	385
250	215	340	255	405	270	425	425	425	270	425
300	240	375	285	445	300	480	480	480	300	480
350	260	420	310	505	325	530	530	530	325	530
400	280	455	335	545	360	575	575	575	360	575
500	320	515	380	620	405	660	660	660	405	660
600	355	575	420	690	455	740	740	740	455	740
700	385	630	460	755	490	815	815	815	490	815
750	400	655	475	785	500	845	845	845	500	845
800	410	680	490	815	515	880	880	880	515	880
900	435	730	520	870	555	940	940	940	555	940
1000	455	780	545	935	585	1000	1000	1000	585	1000

Tabla 5.1. Capacidad de corriente de conductores de cobre aislado (continuación).

Tipo de aislam.	Temp. max.		110 °C		125 °C		200 °C	
	en tubo	al aire	en tubo	al aire	en tubo	al aire	en tubo	al aire
14	30	40	30	40	30	40	30	45
12	35	50	35	50	40	50	40	55
10	45	65	45	65	50	70	55	75
8	60	85	60	85	65	90	70	100
6	80	120	80	120	85	125	95	135
4	105	160	105	160	115	170	120	180
3	120	180	120	180	130	195	145	210
2	135	210	135	210	145	225	165	240
1	160	245	160	245	170	265	190	280
0	190	285	190	285	200	305	225	325
00	215	330	215	330	230	355	250	370
000	245	385	245	385	265	410	285	430
0000	275	445	275	445	310	475	340	510
250	315	495	315	495	335	530	-	-
300	345	555	345	555	380	590	-	-
350	390	610	390	610	420	655	-	-
400	420	665	420	665	450	710	-	-
500	470	765	470	765	500	815	-	-
600	525	855	525	855	545	910	-	-
700	560	940	560	940	600	1005	-	-
750	580	980	580	980	620	1045	-	-
800	600	1020	600	1020	640	1085	-	-
900	-	-	-	-	-	-	-	-
1000	680	1165	680	1165	730	1240	-	-

Notas de la Tabla 5.1:

1. Los valores de la Tabla 5.1 son aplicables cuando se llenen, como n

Tabla No. 5.1. Capacidad de corriente de conductores de cobre aislado en Amperes (Reproducción de la tabla 302.4 de las NTE, 1981).

Tipo de aislam.	Temp. máxima		75°C		85°C		90°C	
	en tubo	al aire	en tubo	al aire	en tubo	al aire	en tubo	al aire
14	15	20	15	20	25	30	25	30
12	20	25	20	25	30	40	30	40
10	30	40	30	40	40	55	40	55
8	40	55	45	65	50	70	50	70
6	55	80	65	95	70	100	70	100
4	70	105	85	125	90	135	90	135
3	80	120	100	145	105	155	105	155
2	95	140	115	170	120	180	120	180
1	110	165	130	195	140	210	140	210
0	125	195	150	230	155	245	155	245
00	145	225	175	265	185	285	185	285
000	165	260	200	310	210	330	210	330
0000	195	300	230	360	235	385	235	385
250	215	340	255	405	270	425	270	425
300	240	375	285	445	300	480	300	480
350	260	420	310	505	325	530	325	530
400	280	455	335	545	360	575	360	575
500	320	515	380	620	405	660	405	660
600	355	575	420	690	455	740	455	740
700	385	630	460	755	490	815	490	815
750	400	655	475	785	500	845	500	845
800	410	680	490	815	515	880	515	880
900	435	730	520	870	555	940	555	940
1000	455	780	545	935	585	1000	585	1000

Tabla 5.1. Capacidad de corriente de conductores de cobre aislado (continuación).

Tipo de aislam.	Temp. máx.		110°C		125°C		200°C	
	en tubo	al aire	en tubo	al aire	en tubo	al aire	en tubo	al aire
14	30	40	30	40	30	40	30	45
12	35	50	40	50	40	50	40	55
10	45	65	50	65	50	70	55	75
8	60	85	65	85	65	90	70	100
6	80	120	85	120	85	125	95	135
4	105	160	115	160	115	170	120	180
3	120	180	130	180	130	195	145	210
2	135	210	145	210	145	225	165	240
1	160	245	170	245	170	265	190	280
0	190	285	200	285	200	305	225	325
00	215	330	230	330	230	355	250	370
000	245	385	265	385	265	410	285	430
0000	275	445	310	445	310	475	340	510
250	315	495	335	495	335	530	-	-
300	345	555	380	555	380	590	-	-
350	390	610	420	610	420	655	-	-
400	420	665	450	665	450	710	-	-
500	470	765	500	765	500	815	-	-
600	525	855	545	855	545	910	-	-
700	560	940	600	940	600	1005	-	-
750	580	980	620	980	620	1045	-	-
800	600	1020	640	1020	640	1085	-	-
900	-	-	-	-	-	-	-	-
1000	680	1165	730	1165	730	1240	-	-

Notas de la Tabla 5.1:

1. Los valores de la Tabla 5.1 son aplicables cuando se tienen, como n...

Tabla 5.2. Sección de conductores TW y TWH en mm<sup>2</sup> (continuación)

Cal AWG o MCM	Sección del cobre mm <sup>2</sup>	Diam. del condu mm	Suma de las secciones para cada cantidad de conductores						
			6	7	8	9	10		
14	1.107	2.08	3.43	55.44	64.68	73.9	83.2	92.4	
12	6.530	3.31	3.91	72.04	84.05	96.1	108.1	120.1	
10	10.38	5.26	4.52	96.28	112.32	128.4	144.4	160.5	
8	16.51	8.37	6.10	175.3	204.6	233.8	263.0	292.2	
6	26.50	13.30	7.82	288.2	336.2	384.2	432.3	480.3	
4	41.74	21.15	9.04	385.1	449.3	513.5	577.7	641.8	
2	66.37	33.63	10.57	526.5	614.2	702.0	789.7	877.5	
1/0	105.5	53.48	13.44	851.2	993.1	1135	1277	1419	
2/0	133.1	67.43	14.61	1005.9	1173.5	1341	1509	1676	
3/0	167.8	85.05	15.90	1191.3	1389.9	1589	1787	1986	
4/0	211.6	107.2	17.37	1421.8	1658.8	1896	2133	2370	
250	250	126.7	19.38	1769.9	2064.9	2360	2655	2950	
300	300	152.2	20.78	2034.8	2374.0	2713	3052	3391	
350	350	177.6	22.07	2295.3	2677.9	3060	3443	3826	
400	400	202.6	23.27	2551.8	2977.0	3402	3828	4253	
500	500	253.1	25.43	3047.4	3555.3	4063	4571	5079	
600	600	303.7	28.22	3752.8	4378.3	5004	5629	6255	
750	750	379.3	30.89	4496.5	5245.9	5995	6745	7494	
1000	1000	506.7	34.80	5706.9	6658.0	7609	8560	9512	

Tabla 5.3. Sección transversal de tuberías conduit cédula 20.

Tuberías Conduit		Área en mm <sup>2</sup>			
Díametro Pulgadas	mm	100%	40%	30%	20%
1/2	13	195	78	58.5	39
3/4	19	340	136	102.5	68
1	25	555	222	168.5	111
1 1/4	32	975	390	292.5	195
1 1/2	38	1325	530	397.5	265
2	51	2175	870	652.0	425
2 1/2	64	3100	1240	930.0	620
3	75	4767	1907	1430.0	953
3 1/2	88	6375	2550	1912.5	1275
4	102	8250	3300	2475.0	1650

Tabla 5.4. Sección transversal de ductos cuadrados.

Nombre comercial	Dimensiones en mm	Área en mm <sup>2</sup>	100%	40%	30%	20%
6.5 x 6.5	65 x 65	4225	1690	1267.5	844	
10 x 10	100 x 100	10000	4000	3000.0	2000	
15 x 15	150 x 150	22500	9000	6750.0	4500	

## ANALISIS DE CORTOCIRCUITO.

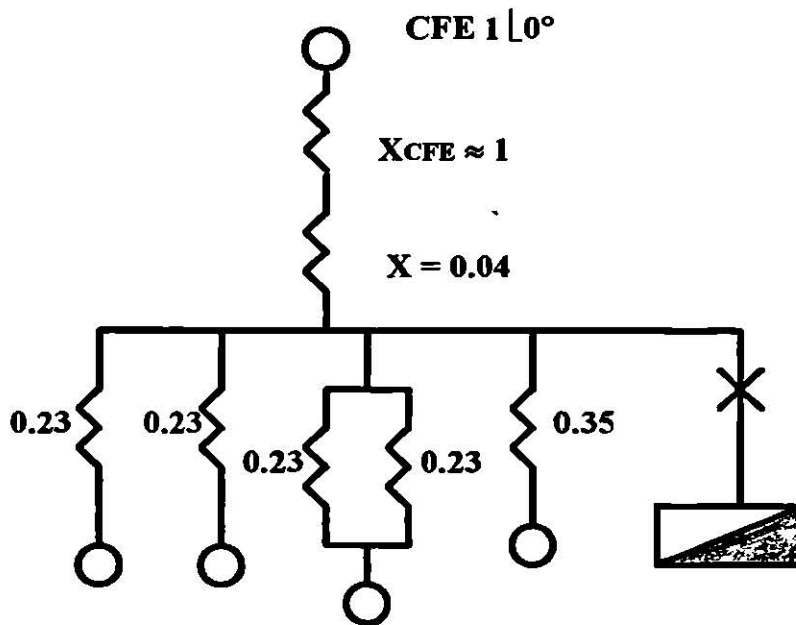
$$X_{M1} = X_{M2} = X_{M3} = X_{M4} = 23 \%$$

$$X_{TRANSF} = 4 \%$$

$$X_{A.C.} = 35 \%$$

La soldadora y el centro de carga no contribuyen al cortocircuito.

$$MVAc.c. \approx 500.$$



$$KV_{ABN} = 225$$

$$KV_{ABN1} = 13.2$$

$$KV_{ABN2} = 0.22$$

$$X_{P.U.BN} = X_{P.U.BD} \left( \frac{KV_{BD}}{KV_{BN}} \right)^2 \left( \frac{KV_{ABN}}{KV_{ABD}} \right)$$

$$X_{P.U.BNCFE} = 1 \left( \frac{13.2}{13.2} \right)^2 \left( \frac{225}{500\,000} \right) = 4.5 \times 10^{-4}$$

$$X_{P.U.BNTRANSF} = 0.04 \left( \frac{13.2}{13.3} \right)^2 \left( \frac{225}{225} \right) = 0.04$$

$$X_{P.U.BNMI} = 0.23 \left( \frac{0.22}{0.22} \right)^2 \left( \frac{225}{50} \right) = 1.035.$$

$$X_{P.U.BNM2} = 0.23 \left( \frac{0.22}{0.22} \right)^2 \left( \frac{225}{25} \right) = 2.07.$$

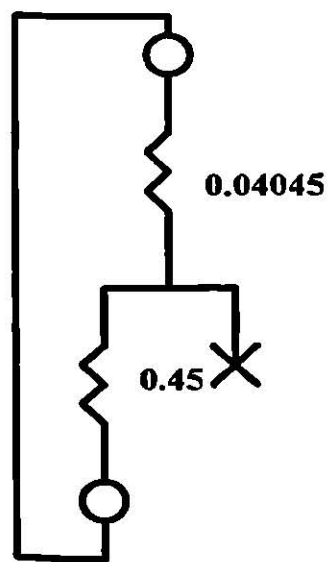
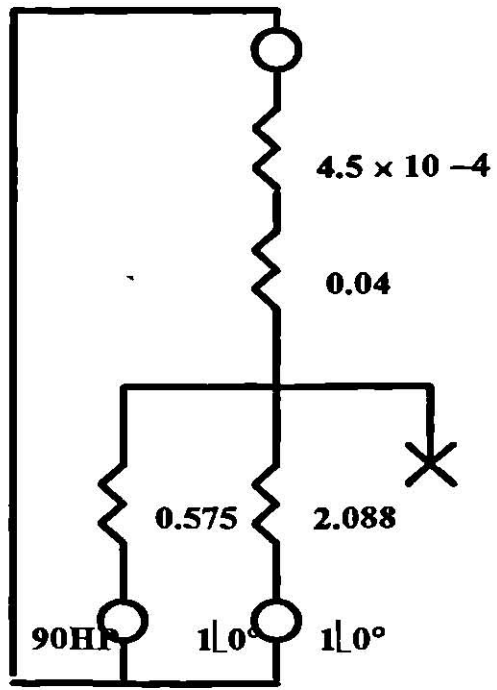
$$X_{P.U.BNM3} = 0.23 \left( \frac{0.22}{0.22} \right)^2 \left( \frac{225}{5} \right) = 10.35.$$

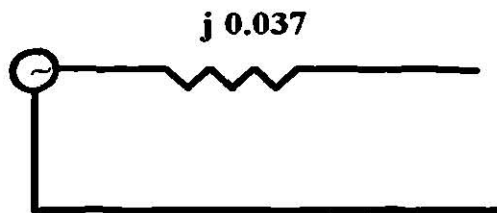
$$X_{P.U.BNM4} = 0.23 \left( \frac{0.22}{0.22} \right)^2 \left( \frac{225}{10} \right) = 5.175.$$

$$X_{P.U.BNA.C.} = 0.35 \left( \frac{0.22}{0.22} \right)^2 \left( \frac{225}{36.66} \right) = 2.088.$$

Otro método para cálculo de la  $X_{P.U.}$  para todos los motores juntos:

$$X_{P.U.BN} = 0.23 \left( \frac{0.22}{0.22} \right)^2 \left( \frac{225}{90} \right) = 0.575.$$





$$I_{P.U.} = \frac{1 \angle 0^\circ}{Z_{eq}}$$

$$I_{P.U.} = \frac{1 \angle 0^\circ}{j 0.037}$$

$$I_{P.U.} = 27.02 \text{ P.U.}$$

$$I_{P.U.} = 27.02 \times 590 = 15\,941.80 \text{ Amps.}$$

∴ por lo tanto el interruptor debe ser tipo KA  
con capacidad interruptiva de 25 000 Amp a 240 Vc.A.

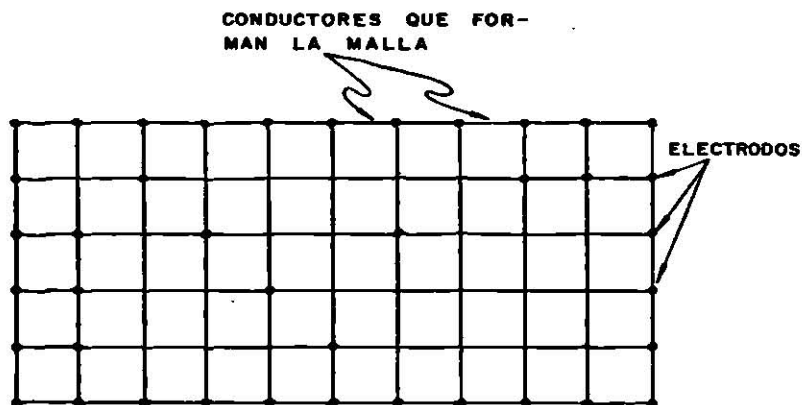
## 1.6.- LA CONEXION A TIERRA EN LAS INSTALACIONES.

El objetivo de un sistema de tierras en una instalación eléctrica es proporcionar una superficie debajo del suelo y alrededor de la instalación, que tenga un potencial tan uniforme como sea posible, y lo más próximo posible a cero, o al potencial absoluto de tierra, con vistas a asegurar que:

- 1) Todas la partes de los aparatos (distintas de las partes vivas), que se conecten al sistema de tierras (a través de conductores de puesta a tierra), estén al potencial de tierra.
- 2) Los operadores y personal de la instalación, estén siempre al potencial de tierra.

Hasta recientemente, el concepto de un buen sistema de tierras, ha sido obtener una resistencia de tierra tan baja como sea posible. Sin embargo, en sistemas donde las corrientes de falla son excesivamente altas, puede ser imposible mantener potenciales a tierra dentro de límites de seguridad, aunque la resistencia a tierra se mantenga baja.

En la actualidad los sistemas de tierra, especialmente en las subestaciones eléctricas, adoptan la forma de una malla que contiene un número determinado de pequeñas mallas rectangulares o cuadradas, de conductores de tierra instalados en forma horizontal, y conductores a electrodos (varillas) localizados a ciertos intervalos.

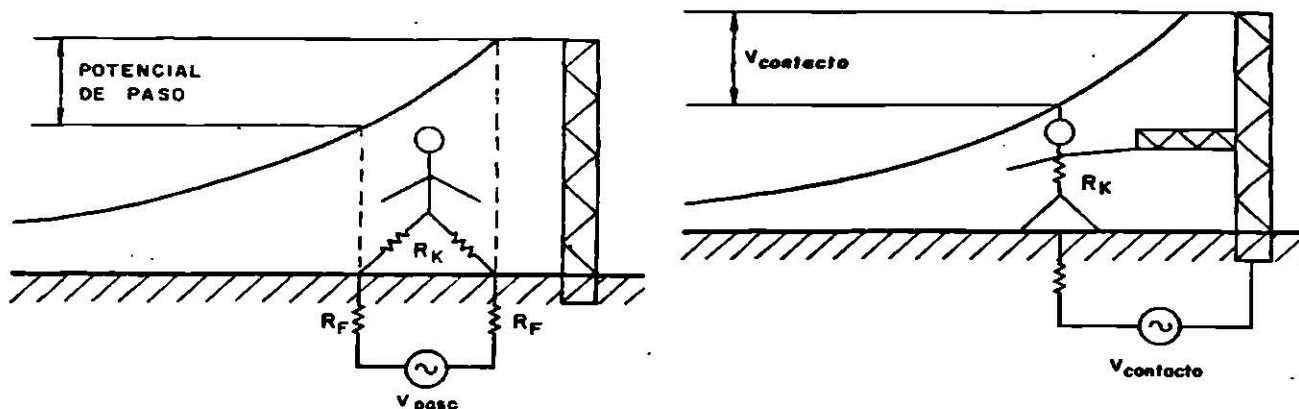


Los electrodos (varillas) de tierra se pueden usar o no, dependiendo del diseño de la malla de tierra. Todas las estructuras metálicas y carcasas de equipo, incluyendo las rejillas metálicas en el área de trabajo, se deben conectar por seguridad, a la malla de tierra.



## DEFINICION DE LOS POTENCIALES DE PASO, DE CONTACTO Y DE TRANSFERENCIA.

La circulación a tierra de las corrientes de falla, produce gradientes de voltaje sobre la superficie del suelo, en la vecindad de los sistemas de tierra. El voltaje que exista entre los dos pies de una persona parada sobre el suelo, se le conoce como **voltaje de paso**; en tanto que el voltaje que existe entre la mano y ambos pies de una persona, se le conoce como **potencial o voltaje de contacto**.



El valor del voltaje de paso tolerable es:

$$V_{paso} = ( R_k + 2 R_F ) I_k \text{ Volts.}$$

Donde :  $R_F$  = resistencia a tierra de un pie en ohms; para fines prácticos se puede tomar,

$$R_F = 3 \delta s \text{ siendo } \delta s \text{ la resistividad del suelo en ohms-metro.}$$

$R_k$  = resistencia del cuerpo en ohms, se puede tomar como 1000 ohms.

$I_k$  = valor eficaz de la corriente que circula por el cuerpo expresada en amperes, y se calcula como:

$$I_k = \frac{0.116}{\sqrt{T}}$$

$T$  = duración de la falla en segundos, y se toma generalmente menor de tres segundos.

Para fallas permanentes sostenidas se toma:

$$I_k = 0.009 \text{ Amp}$$

De lo anterior, para fallas con duración menor de 3 seg.:

$$V_{\text{paso}} = \frac{(100 + 6 \delta s) \times 0.165}{\sqrt{T}}$$

$$V_{\text{paso}} = \frac{(165 + \delta s)}{\sqrt{T}} \text{ Volts}$$

Para fallas sostenidas:

$$V_{\text{paso}} = (1000 + 6 \delta s) \times 0.009$$

$$V_{\text{paso}} = 9 + 0.054 \delta s \text{ Volts.}$$

Para una conexión a tierra segura para el contacto de paso, en condiciones de falla; el gradiente de potencial expresado en volts/metro sobre la superficie del suelo no debe exceder a los valores calculados con las fórmulas anteriores.

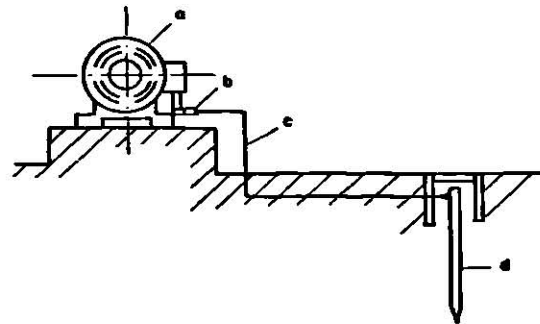
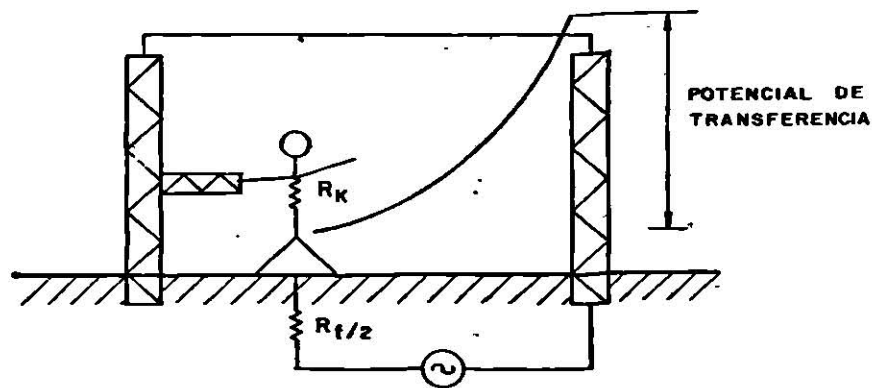
En forma semejante el voltaje de contacto tolerable se calcula como:

$$V_{\text{contacto}} = (R_k + R_F/2) \times I_k$$

Para fallas con duración menor de 3 segundos:

$$V_{\text{contacto}} = \frac{(165 + 0.25 \delta s)}{\sqrt{T}} \text{ Volts}$$

Si una persona toca un conductor conectado a tierra, a una distancia mucho mayor que las dimensiones del sistema de tierra; el impacto del voltaje puede ser esencialmente igual a la elevación total del voltaje del sistema de tierras, bajo condiciones de falla; tal voltaje de contacto se le llama **potencial de transferencia**.



#### ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE CONEXION A TIERRA.

- a) - OBJETO POR CONECTAR A TIERRA
- b) - CONEXION A TIERRA
- c) - CONDUCTOR DE TIERRA
- d) - DISPERSOR.

La resistividad del suelo varía dentro de límites muy amplios, entre 1 y 10 000  $\Omega$ -m; en el caso de las subestaciones eléctricas, es necesario obtener datos bastante aproximados de la resistividad del terreno y sus variaciones en el sitio de la instalación de la subestación; también la resistividad del terreno puede variar en forma considerable, dependiendo de la época del año en que se efectúen las mediciones. Se recomienda que los valores de resistividad del terreno se hagan en épocas de secas, para obtener el máximo valor. Esto se debe a que al terreno está seco.

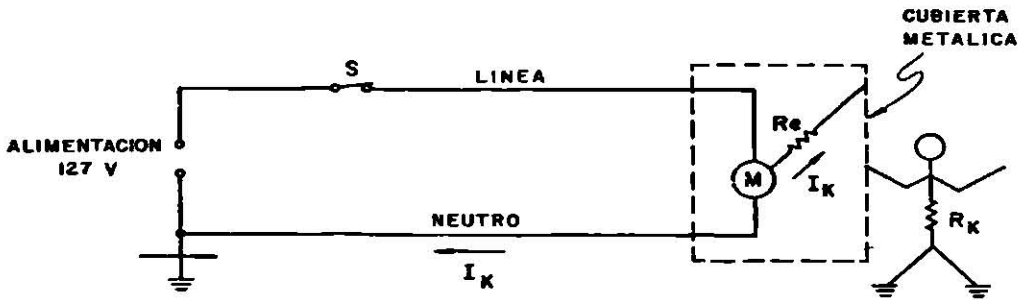
Cuando se trata de áreas considerables a cubrir por una instalación eléctrica, se deben efectuar mediciones en distintos puntos, y entonces la resistividad del terreno se puede tomar en forma aproximada como la media aritmética de las mediciones.

#### CONEXION A TIERRA DEL EQUIPO.

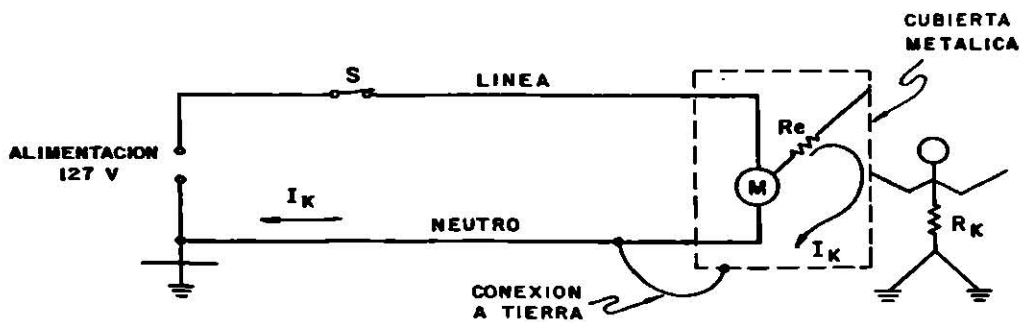
Los usuarios de las instalaciones eléctricas están tocando constantemente el equipo eléctrico o los equipos que hacen uso de dispositivos eléctricos, como es el caso de las herramientas como taladros, soldadoras eléctricas, etc. Debido a que los voltajes y corrientes asociados con estos equipos pueden exceder los valores que el cuerpo humano es capaz de soportar, es necesario adoptar precauciones especiales para garantizar que el equipo tenga las condiciones de seguridad requeridas..

Consideremos un motor eléctrico que forma parte de un equipo, que está dentro de una cubierta metálica no conectada a tierra. El neutro se encuentra sólidamente conectado a tierra, en el punto de alimentación de la compañía suministradora.

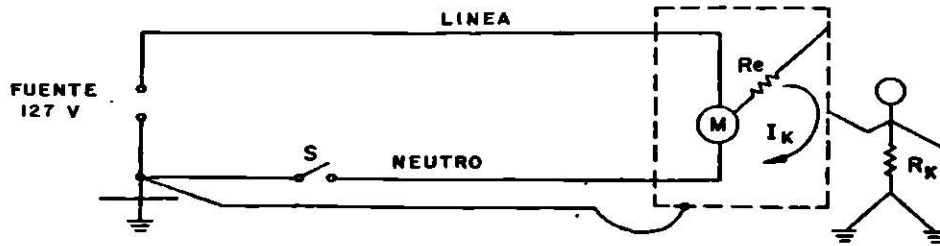
Si una persona toca la cubierta metálica nada sucederá si la instalación está operando correctamente; pero si por ejemplo, el aislamiento de los devanados falla, la resistencia  $R_e$  entre el motor y la cubierta metálica, puede reducir su valor de varios megohms a solo algunos cientos de ohms o menos; de manera que una persona conectada con una resistencia  $R_k$  puede acompletar el circuito cerrando la trayectoria de la corriente.



La situación potencialmente peligrosa, se puede remediar si se conecta a tierra la cubierta metálica; es decir, en este caso al neutro que se encuentra aterrizado; ahora la corriente  $I_k$  circulará del motor a través de la cubierta y regresará por el neutro; pero la cubierta permanece al potencial de tierra, y en consecuencia la persona no sufre ningún efecto.



La solución anterior puede parecer segura, pero el problema es que el neutro puede quedar abierto, ya sea en forma accidental o debido a una falla en la instalación; para evitar este problema, se acostumbra en algunas instalaciones eléctricas, instalar un tercer conductor llamado **conductor de tierra**, localizado entre la cubierta y la tierra del sistema.



### Elementos para el cálculo de la red de tierras.

Los elementos necesarios para el cálculo de una red de tierras son:

1. Selección del material de tierra.
2. Determinación del tamaño del conductor de tierra.
3. Arreglo preliminar de los conductores de tierra.
4. Determinación de la longitud requerida, para el control del gradiente.
5. Cálculo de la resistencia del sistema de tierras.

#### 1. Selección del material de tierra.

El conductor para el material de tierra debe cumplir con:

- Una alta conductividad, por lo cual se usa normalmente cobre.
- Un bajo índice de comisión, por efecto del terreno.
- Un bajo índice de corrosión, debido a la acción galvánica.

El cobre es el material que mejor cumple con estos requisitos; por lo que se usa en la mayoría de los casos. En algunas ocasiones se puede usar conductor de acero para la red de tierras; este material tiene las siguientes ventajas sobre el cobre:

- Se encuentra disponible en el mercado.
- Puede ser, en ciertos lugares, más barato que el cobre.

Su principal desventaja es su corrosión en el terreno, que se da aproximadamente 6 veces más rápido que en el caso del cobre. Para reducir este efecto se usa acero galvanizado, que retarda el efecto de la corrosión; pero que de cualquier manera es más acelerado que en el cobre.

#### 2. Determinación del tamaño del conductor de tierra.

En la selección del calibre del conductor usado en una malla de tierras, intervienen los siguientes factores:

- Que sea mecánicamente resistente.
- Que tenga una duración de al menos 50 años sin rupturas, en la red de tierras; debido al problema de la corrosión.
- Que tenga una conductividad adecuada, para no contribuir sustancialmente a los gradientes de potencial locales.

Desde el punto de vista de las consideraciones térmicas, el tamaño del conductor depende de los siguientes factores:

- El valor de la corriente de falla a tierra.
- El tiempo de interrupción de la falla.
- El material del conductor.

Estos factores se muestran en la tabla siguiente:

**CALIBRE DE CONDUCTORES PARA MALLA DE TIERRAS.**

TIEMPO DE DURACION DE LA FALLA (SEG)	TAMANO MINIMO DE CONDUCTOR EN CIRCULAR MIL POR AMPERE:					
	UNIONES SOLDADAS:			UNIONES ATORNILLADAS		
	COBRE	ACERO	ALUMINIO	COBRE	ACERO	ALUMINIO
30	50	120	91	64	143	123
3	16	38	29	21	46	39
1	9.5	22	17	12	27	23
0.5	6.5	16	12	8.5	19	16

$$1 \text{ CIRCULAR MIL} = 0.0005067 \text{ mm}^2$$

En subestaciones eléctricas por razones mecánicas, es frecuente usar como calibre mínimo el 4/0 AWG (107.2 mm<sup>2</sup>) de cobre.

De acuerdo con las normas técnicas para instalaciones eléctricas, se recomienda que el calibre del conductor del electrodo de tierra no sea menor que el que se indica en la siguiente tabla para conductores de cobre.

CALIBRE DEL CONDUCTOR MAS GRANDE DE LA ACOMETIDA, O DEL ALIMENTADOR GENERAL DE SERVICIO AWG O MCM. ( COBRE )	CALIBRE DEL CONDUCTOR DEL ELECTRODO DE TIERRA: AWG O MCM ( COBRE )
2 o MENOR.	8
1/0	6
2/0 o 3/0	4
4/0 A 350 MCM	2
400 A 600 MCM	1/0
MAYOR DE 600 MCM A 1100 MCM	2/0
MAS DE 1110 MCM	3/0

Con relación al calibre del conductor de puesta a tierra de equipos, las normas para instalación eléctrica establecen que no debe ser menor al indicado en la tabla siguiente:

CALIBRE DE LOS CONDUCTORES PARA PUESTA A TIERRA DE EQUIPOS, Y CANALIZACIONES INTERIORES:

CAPACIDAD NOMINAL O AJUSTE DEL DISPOSITIVO DE PROTECCION CONTRA SOBRECORRIENTE UBICADO ANTES DEL EQUIPO CONDUCTOR, ETC.	CALIBRE DEL CONDUCTOR DE PUESTA A TIERRA: ( AWG O MCM )	
	NO MAYOR DE (AMPERES)	COBRE
15	14	12
20	14	12
30	12	10
40	10	8
60	10	8
100	8	6
200	6	4
400	4	2
600	2	2/0
800	1/0	3/0
1 000	2/0	4/0
1 200	3/0	250 MCM
1 600	4/0	350 "
2 000	250 MCM	400 "
2 500	350 "	500 "
3 000	400 "	600 "
4 000	500 "	800 "
5 000	700 "	1 000 "
6 000	800 "	1 200 "

### 3. Arreglo preliminar de los conductores de tierra.

Un arreglo preliminar de los conductores de tierra se decide sobre las siguientes bases:

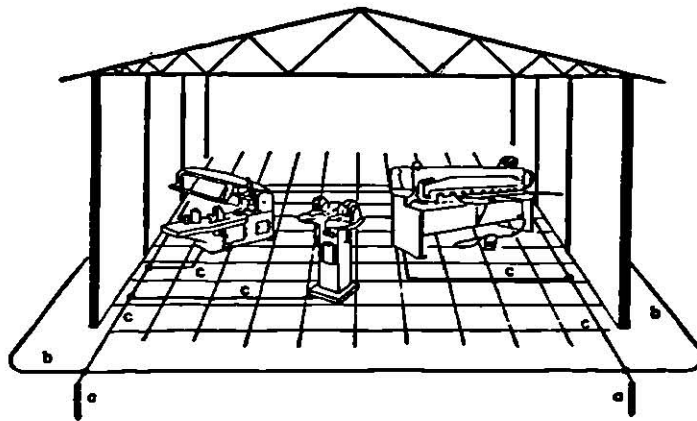
- Un conductor de tierra continuo, debe rodear el área de la instalación, particularmente de la subestación eléctrica, para encerrar la mayor parte posible de terreno.

- Conductores de tierra adicionales, se colocan en líneas paralelas distribuidos uniformemente en forma de cuadrícula, con separaciones razonables.

- Eventualmente, se puede usar en algunas áreas, placa de cobre en lugar de la malla cuadriculada; esto es especialmente donde la magnitud de las corrientes de falla es elevada, o bien, en donde la resistividad del terreno es muy elevada, o también en salas en donde se efectúan mediciones precisas y se requiere un buen blindaje con poca interferencia.

Las varillas o electrodos se consideran como un complemento de la malla de tierras y se deben distribuir de manera uniforme, y cercanos a puntos donde se encuentra el equipo instalado. Una regla práctica para determinar el número mínimo de electrodos es:

$$\text{NUMERO MINIMO DE VARILLAS DE 10 PIES} \times \frac{3}{8} = \frac{IFALLA}{500}$$



**ELEMENTOS PRINCIPALES DE UNA INSTALACION DE PUESTA A TIERRA.**

- a - DISPERSORES ( ELECTRODOS DE VARILLA )
- b - CONEXION ELECTRICA ENTRE DISPERSORES
- c - CONDUCTOR DE TIERRA.



#### 4. Determinación de la longitud requerida del conductor, para el control del gradiente.

Con el objeto de mantener los potenciales de paso y de contacto dentro del perímetro de la malla en sus valores de seguridad, se requiere de cierta longitud mínima del conductor, en la varilla de tierra.

La siguiente ecuación permite calcular la longitud aproximada de los conductores de la malla, para mantener el potencial dentro de sus límites de seguridad:

$$L = \frac{K_M \cdot K_I \cdot \delta \cdot I \sqrt{T}}{165 + 0.25 \delta s} \text{ metros}$$

Donde:

$$K_M = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{D^2}{16 H d} + \frac{1}{\pi} [ \ln (3/4) (5/6) (7/8) ]$$

donde:

D = separación entre conductores paralelos (20 metros en promedio).

H = profundidad de la malla.

d = diámetro equivalente del conductor de la malla.

K<sub>I</sub> = factor de irregularidad de la conexión.

Para prevenir el efecto de la no uniformidad de la distribución de la corriente de falla a lo largo de la malla, el valor de este factor se obtiene de la expresión:

$$K_I = 0.65 + 0.172 N$$

N = número de conductores en paralelo de la malla en una dirección

δ = resistividad aparente del terreno en ohms-metro.

I = corriente máxima de falla en amperes.

δ s = resistividad del terreno debajo del punto donde se pisa, expresada en ohms-metro (se puede tener con fines conservadores como 3000 ohms-metro).

## 5. Cálculo de la resistencia del sistema de tierras.

Para el cálculo del valor de esta resistencia, se puede usar la fórmula de Laurent:

$$R = \frac{\delta}{4R} + \frac{\delta}{L}$$

donde:

R = radio equivalente de la subestación.

L = longitud total del conductor de la malla, en metros.

$\delta$  = resistividad del terreno en ohms- metro.

## 1.8.- CORRECCION DEL FACTOR DE POTENCIA.

En las instalaciones eléctricas, las máquinas eléctricas y algunos otros elementos como las balastras de alumbrado fluorescente, demandan además de la corriente de trabajo, una componente reactiva desfasada 90° (retrasada con respecto al voltaje), y que sirve para crear el campo magnético. Tal corriente magnetizante que debe proporcionar la fuente de suministro, hace disminuir la potencia útil de la instalación.

Este inconveniente se puede reducir o eliminar con el uso de condensadores instalados en la proximidad de las cargas; y con capacidad para suministrar parte o toda la corriente de magnetización requerida por el usuario.

### Calculo de la potencia de los condensadores para la corrección del factor de potencia.

El factor de potencia de una instalación, dependiendo de su tamaño y sus características, se puede corregir, ya sea usando motores sincrónicos que inyecten potencia reactiva, o bien, por medio del uso de condensadores.

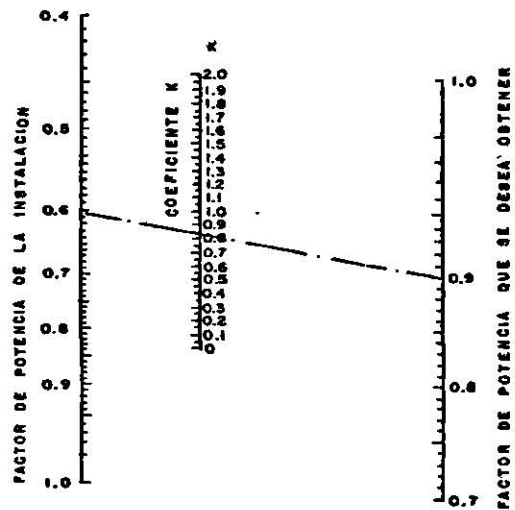
En cualquier caso, el cálculo de la potencia reactiva a suministrar en una instalación para corregir el factor de potencia; es relativamente sencillo, basta con hacer uso de tablas o nomogramas donde se lee directamente la potencia requerida por el condensador o banco de condensadores; en función del factor de potencia actual y el factor de potencia deseado. Enseguida se muestra un nomograma que relaciona el factor de potencia de la instalación y el factor de potencia que se desea obtener, con un coeficiente K, mediante el cual se calcula la potencia reactiva de los condensadores como:

$$Q = K.P$$

donde:

P = potencia activa de la instalación.

Q = potencia reactiva del banco de condensadores.



NOMOGRAMA PARA EL CALCULO DE LA  
 POTENCIA DE LOS CONDENSADORES PARA  
 MEJORAR EL FACTOR DE POTENCIA

$Q = K \cdot P$ ,  $Q =$  POTENCIA REACTIVA  
 $P =$  POTENCIA ACTIVA.

Por ejemplo, en una instalación con una potencia de 1000 KW, con un factor de potencia de 0.6; si se desea mejorar el factor de potencia a 0.9, del nomograma anterior el coeficiente K es de 0.8; por lo tanto la potencia necesaria de los condensadores es:

$$Q = K \cdot P = 0.8 \times 1000 = 800 \text{ KVAR.}$$

