

Capítulo

II

SUBESTACIONES ELÉCTRICAS.

Las subestaciones eléctricas, en la función de transformación, desempeñan un papel muy importante en los sistemas eléctricos de potencia, esta transformación se refiere al tipo de tensiones, manteniéndolas en la mayoría de los casos invariante en su potencia. En algunas ocasiones las subestaciones no requieren de transformación, simplemente desempeñan la función de enlace o interconexión entre las partes del sistema.

Podemos considerar que es el equipo básico de una industria, toda la energía eléctrica consumida por los diferentes equipos y áreas de iluminación provienen de una subestación eléctrica.

2.1. DEFINICIÓN.

Una Subestación Eléctrica es un conjunto de dispositivos, máquinas, aparatos y circuitos que forman parte de un sistema eléctrico de potencia, que tiene la función de modificar los parámetros de la potencia eléctrica, tensión y corriente, y de proveer un medio de interconexión que permite el suministro de la misma al sistema y líneas de transmisión existentes.

Sin embargo, uno de los objetivos primordiales de una subestación eléctrica es el de garantizar un servicio continuo de energía eléctrica, por lo que es indispensable que dicha subestación posea un medio de desconexión eficaz para efectos de control, protección, medición y mantenimiento.

2.2 CLASIFICACIÓN.

Las subestaciones eléctricas se pueden clasificar de acuerdo a su corriente, tensión, instalación o su construcción.

2.2.1 CLASIFICACIÓN POR SU INSTALACIÓN.

a) Subestación Eléctrica Intemperie

Se encuentra al aire libre sometida a condiciones atmosféricas adversas (lluvia, viento, nieve, contaminación e inclemencias atmosféricas diversas). Generalmente se usan para sistemas de alta y extra alta tensión.

b) Subestación Eléctrica Interior

Son instaladas en el interior de edificios, por lo tanto, no se encuentran sometidas a condiciones atmosféricas. Este tipo de subestaciones ocupa poco espacio y operan con potencias relativamente bajas.

c) Subestación Eléctrica Blindada

Se emplean en instalaciones de altos riesgos como son las áreas peligrosas. En estas subestaciones los aparatos y las máquinas se encuentran muy protegidos y el espacio necesario es muy reducido.

2.2.2 CLASIFICACIÓN POR LA CORRIENTE DE OPERACIÓN.

Debido a esto se puede clasificar al tipo de subestaciones eléctricas de la siguiente forma:

- a) Corriente Directa.*
- b) Corriente Alterna.*

a.1) Subestación Eléctrica de Corriente Directa Rectificadora.

Este tipo de subestación sirve para rectificar la corriente alterna en corriente directa, se usan de gran capacidad para la transmisión de corriente directa, utilizando para la rectificación tiristores e IGBT^S (Transistor bipolar de puerta aislada). Las de baja capacidad se usan principalmente en la industria. Podemos encontrar algunas ventajas al usar este tipo de subestación.

- Tienen bajas pérdidas (2-3%).
- Son económicas en altas potencias a través de largas distancias.
- Necesitan generación local para la rectificación.

a.2) Subestación Eléctrica de Corriente Directa Inversora.

En ocasiones es necesario transmitir energía eléctrica en corriente directa, por lo que la función principal de este tipo de subestaciones es realizar la inversión de corriente, es decir, pasar de corriente directa a corriente alterna, para así poder distribuir la energía eléctrica al consumidor.

b) Subestación Eléctrica de Corriente Alterna.

Este tipo de subestación es la más utilizada en nuestro país ya que aquí la transmisión de la energía eléctrica se hace con corriente alterna, añadiendo que se involucra en la generación, distribución y utilización, puesto que la energía eléctrica se genera a tensiones que van desde los 5 a 25 kV, para después elevarlas a tensiones apropiadas para la transmisión y después reducirla a valores óptimos de distribución.

2.2.3 CLASIFICACIÓN POR LA FUNCIÓN QUE DESEMPEÑAN.

a) Subestaciones eléctricas elevadoras.

Este tipo podemos encontrarlas dentro de una planta generadora para modificar los valores de tensión y corriente de generación a valores apropiados de transmisión. Esto con el fin de poder transmitir la energía eléctrica al menor costo, con un mínimo de pérdidas.

La potencia de los transformadores de estas subestaciones eléctricas por lo general corresponde al tipo de unidades generadoras. La potencia a transmitir en la salida de la subestación eléctrica generadora, así como la ubicación eléctrica del sistema es lo que determina la tensión de transmisión. Se pueden encontrar en un rango de 115 a 800 kV, encontrándose en algunos países valores aún superiores en corriente alterna de sus sistemas eléctricos.

De igual manera para la transmisión de corriente directa se pueden encontrar niveles de tensión en un rango de hasta 800 kV. En la siguiente tabla se muestran algunos valores típicos de tensión usados en los sistemas eléctricos de potencia, agrupándose en transmisión, subtransmisión, distribución y utilización.

Tabla 2.1 Niveles típicos de tensiones trifásicas en sistemas eléctricos de potencia (IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants. 1999).

Extra Alta Tensión (transmisión)	Alta Tensión (Subtransmisión)	Media Tensión (Distribución)	Baja Tensión (Utilización)
800 KV	115 KV	34.5 KV	600 V, 3Φ
765 KV	85 KV	23.0 KV	480 V, 3Φ
400 KV	69 KV	13.8 KV	440 V, 3Φ
365 KV		6.6 KV	240 V, 3Φ
230 KV		4.16 KV	220 V, 3Φ
220 KV		2.1 KV	120/240 V, 1Φ 127 V, 1Φ

Tabla 2.2 Niveles de tensiones eléctricas normalizadas en México (NOM-J-098-1999).

100 V <	Baja Tensión	≤ 1000 V
1000 V <	Media Tensión	≤ 34.5 KV
34.5 KV <	Alta Tensión	≤ 230 KV
230 KV <	Extra Alta Tensión	≤ 400 KV

Para interpretar de forma correcta los valores de las tablas 2.1 y 2.2, cabe señalar que la red de subtransmisión recibe potencia del sistema o red de transmisión en distintos puntos ubicados en las subestaciones de transmisión; a su vez la red de subtransmisión se utiliza para alimentar a la red de distribución por medio de las subestaciones de subtransmisión, y de estas redes de distribución se alimentan a los distintos tipos de usuarios (residenciales y comerciales). Para el caso de que se trate de usuarios o clientes tipo industrial, se puede alimentar de la red de subtransmisión, o bien, de la transmisión de acuerdo al tipo de tensión requerida; según el tamaño de la carga.

b) Subestaciones eléctricas reductoras (Receptoras primarias).

Ya que estas subestaciones eléctricas se encuentran alimentadas por las líneas de transmisión, son subestaciones en donde los niveles de tensión de transmisión se reducen al nivel de subtransmisión, de subtransmisión a distribución, o eventualmente a utilización. Estas subestaciones se localizan en las redes de transmisión, subtransmisión o distribución y son el mayor número de subestaciones que conforman el sistema eléctrico.

Ahora bien para cada nivel de tensión de la subestación se emplean normalmente un esquema con doble juego de barras colectoras y con interruptor en paralelo. Es importante notar que las conexiones para subestaciones receptoras son en general las mismas que para las subestaciones elevadoras.

c) Subestaciones eléctricas reductoras (Receptoras secundarias)

Estas subestaciones se caracterizan por estar alimentadas directamente por las líneas de subtransmisión, y tienen valores de tensión apropiada en el primario, para tener en un lado del secundario tensiones comprendidas entre 34.5 y 6.9 kV, las cuales son adecuadas para la distribución de la energía eléctrica. Sin embargo, estas subestaciones eléctricas se distinguen por tener un juego sencillo de barras colectoras que conecta directamente la línea de alimentación con el transformador de la instalación.

En estas subestaciones se utilizan interruptores tripolares de gran capacidad para evitar problemas en la red de suministro en caso de desconexión por alguna falla técnica o eléctrica.

Es práctica normal no usar más de dos transformadores en este tipo de subestaciones y con potencias que no excedan a los 25 MVA. Para la selección de tensión media es posible adoptar un sistema que prevea la barra de translación.

Es importante mencionar que cuando los generadores se encuentran conectados a la barra por medio de un transformador, entonces se dice que cada generador forma con cada transformador una unidad de bloque. La conexión de bloque es de las más empleadas, y se utilizan en aquellos casos en que la tensión de transmisión es mayor a la de generación.

d) Subestación eléctrica de distribución.

La construcción de estas subestaciones eléctricas se debe principalmente a la importancia que tiene el tener unidos todos los sistemas de potencia, sin que exista necesariamente transformación de los valores de tensión y corriente.

Sin embargo, en los sistemas eléctricos, se requiere tener mayor flexibilidad de operación para poder incrementar la continuidad del servicio y consecuentemente la confiabilidad, por lo que es conveniente el uso de este tipo de subestaciones para distribuir la energía en áreas de abastecimiento específicas y con niveles de tensión adecuados.

e) Subestaciones eléctricas maniobra

Dentro de los sistemas de potencia normalmente se tienen variaciones considerables de carga, por lo que surge la necesidad de realizar maniobras de conmutación para modificar la estructura del sistema para lograr con esto un régimen de operación económico, confiable y seguro.

Cabe señalar, que por las noches cuando existe poca demanda energética se desconectan las líneas y por las mañanas se vuelven a conectar. Algunas subestaciones muy importantes del sistema sirven para este propósito y se les conoce como subestaciones de maniobra.

f) Subestaciones eléctricas convertidoras.

Para este tipo de subestaciones mencionaremos las características que tienen:

- Son propiedad de las compañías suministradoras.
- En lo general por su volumen son de diseño convencional intemperie.
- La capacidad instalada en sus bancos es de MVA.
- Son capaces de enviar o recibir gran cantidad de potencia eléctrica a tensiones muy elevadas.

g) Subestaciones eléctricas rectificadoras.

Este tipo de subestaciones convierte la energía de corriente alterna a corriente directa para después transmitirla a través de líneas aéreas o conductores de corriente alterna. Estas subestaciones pueden ser de gran capacidad, en los sistemas eléctricos de potencia y de mediana o baja capacidad para sistemas de transporte tales como el metro, trolebús, ferrocarriles eléctricos, etc.

2.2.4 CLASIFICACIÓN POR SU CONSTRUCCIÓN.

Esta es otra de las clasificaciones que podemos tener de acuerdo al tipo de estructura física de las subestaciones eléctricas, de las cuales podemos encontrar la de tipo interior y la de tipo intemperie. A su vez podemos clasificarlas en convencional y compacta, así como también blindada en hexafluoruro de azufre (SF_6), la cual mencionaremos posteriormente.

a) Subestación eléctrica interior convencional.

En este tipo de subestación eléctrica todos los elementos que la conforman se localizan dentro de un local que los protege de las condiciones atmosféricas adversas como pudiesen ser la lluvia, viento, rayos del sol, nieve y otro tipo de inclemencias.

La característica principal de este tipo de subestación consiste en que las barras colectoras son desnudas, por lo que a mayores tensiones es más grande el área ocupada, estas barras se encuentran soportadas por aisladores, y la mayor parte de los accesorios y equipo que componen la subestación eléctrica se encuentran soportadas por estructuras de hierro galvanizado diseñadas de acuerdo al arreglo deseado, lo que representa una gran ventaja pues se pueden prever ampliaciones futuras dada la accesibilidad de las barras.

Sin embargo, desde el punto de vista de seguridad significa un alto riesgo para las personas con acceso a estas, ya que al menor descuido podría ocasionar un contacto con las partes energizadas (partes vivas)

b) Subestación eléctrica interior compacta.

En este tipo de subestación eléctrica, todos los accesorios y equipo que la integran, tales como barras, cuchillas, interruptor, apartarrayos, etc., se encuentran contenidos en gabinetes de lámina estirada en frío que están diseñados para estar dentro un local que los proteja de los agentes atmosféricos; dichos gabinetes se encuentran aislados de las partes vivas y conectados sólidamente a tierra.

Estos gabinetes brindan protección de cualquier contacto involuntario, a todas las personas que tienen acceso a está. Debido a ello todas las operaciones o maniobras que se realizan en los equipos, tales como son cuchillas e interruptores, son por medio de palancas colocadas en el frente del tablero con un mecanismo totalmente aislado.

Además de esto, podemos decir que tienen mayor seguridad ya que en caso de falla por cortocircuito, y debido a las normas de fabricación, las subestaciones eléctricas deben estar diseñadas mecánicamente para soportar los efectos dinámicos provocados por esta falla, evitando con ello el peligro de explosión en caso de siniestro.

Para estos casos podemos mencionar los principales elementos de este tipo de subestación eléctrica; estos se encuentran en gabinetes o celdas individuales con sus correspondientes barras colectoras y en forma típica pueden describirse en el orden siguiente:

- Celda de medición.

Una celda de medición tiene el espacio adecuado para alojar el equipo de medición de la compañía suministradora y para la colocación de una terminal (mufa) tripolar o monopolar. Esta celda generalmente tiene dos puertas en la parte frontal.

- Celda de cuchillas de prueba.

Esta celda aloja en su interior una o tres cuchillas tripolares de operación en grupo y desconexión sin carga. La operación de estas cuchillas se puede efectuar por medio de volantes o bien con una palanca que acciona un mecanismo para abrir o cerrar las cuchillas.

- Celda de interruptor.

En esta celda se encuentra alojado un interruptor tripolar de operación con carga, el cual es utilizado como dispositivo de conexión y desconexión de la subestación. También se encuentran alojados tres fusibles limitadores de corriente de alta capacidad interruptiva, además tres apartarrayos que protegen la subestación contra efectos de descargas atmosféricas.

- Celda de acoplamiento.

Esta es una celda de transmisión entre la subestación y el transformador conteniendo en su interior un juego de barras de cobre o aluminio apoyadas en aisladores de resina sintética y necesaria para la conexión del transformador.

c) Subestación eléctrica interior blindada en hexafluoruro de azufre (SF_6).

Esta subestación eléctrica tiene como característica principal, que todos sus elementos que la integran como son interruptores, barras, dispositivos de protección, etc., se encuentran aislados en SF_6 , debido a la alta rigidez dieléctrica de este compuesto se reduce el área de montaje considerablemente, , además de poseer la gran habilidad para absorber los electrones producidos durante el arqueo. Como dato adicional y estimativo se considera que el espacio ocupado por una subestación eléctrica blindada en SF_6 es aproximadamente 1/10 de lo ocupado por una subestación eléctrica convencional, teniendo en cuenta que ambas son de características similares en tensión y potencia.

Entre las principales ventajas de esta subestación eléctrica podemos enunciar las siguientes:

- Alta seguridad para el personal con acceso a la subestación ya que las partes con tensión se encuentran contenidas en envolventes metálicos conectados sólidamente a tierra con lo cual se disminuye la probabilidad de un contacto accidental en las partes vivas.

- La construcción blindada protege la instalación de los efectos de la contaminación.

- Disminuye los efectos de la subestación eléctrica sobre el medio ambiente, evitando la radio interferencia y disminuyendo el nivel de ruido debido a la operación de interruptores.

- La dimensión de la subestación eléctrica y especialmente la altura mejora la apariencia y permite realizar en caso necesario, instalaciones subterráneas.

Ahora se mencionarán ciertas propiedades que tiene el SF_6 que lo han colocado como el aislante por excelencia:

- Alta rigidez dieléctrica.
- Estabilidad química.
- Estabilidad térmica.
- Baja temperatura de licuefacción.
- No inflamabilidad.
- Inerte fisiológico.

- Habilidad para contrarrestar el arco eléctrico.

De igual forma sus principales propiedades químicas más importantes son las siguientes:

- Puede calentarse sin descomposición hasta 500 °C.
- Es insoluble en el agua.
- No es atacado por los ácidos.
- El hidrógeno, y oxígeno no ejercen acción química sobre él.

d) Subestación eléctrica intemperie convencional.

Son aquellas que se encuentran instaladas en el exterior. Tienen sus elementos y dispositivos en lugares visibles, por lo tanto, están diseñados para resistir los efectos de los agentes atmosféricos externos tales como lluvia, viento, humo, salinidad, etc.

Se usan generalmente cuando las tensiones son muy altas, debido a que las distancias que deben existir entre conductores, así como respecto a tierra, son muy grandes.

e) Subestación eléctrica intemperie Compacta.

Esta subestación eléctrica tiene las mismas características de construcción que la interior compacta, con la diferencia que están contenidas dentro de un gabinete tipo metálico fabricado de lámina calibre 12 que permite el resguardo de los elementos naturales; como son, lluvia, viento, polvo, contaminación, salinidad, etc.

f) Subestación eléctrica intemperie blindada en hexafluoruro de azufre SF₆.

Al igual que la de tipo interior tiene todo su equipo y dispositivos dentro de una envolvente metálica y aislados en SF₆, y solo el diseño es lo que varía, puesto que estas subestaciones eléctricas están fabricadas para soportar de forma eficaz los agentes atmosféricos.

Sin embargo, es preciso describir las principales ventajas de este tipo de subestación eléctrica:

- A tensiones del orden de 230kV y en lugares céntricos de ciudades grandes, las subestaciones en SF₆ de esta índole comienzan a ser más baratas que las convencionales al intemperie, de igual capacidad y con igual disposición física. Para tensiones menores de 230kV el costo de las subestaciones en gas crece, por lo que solo se recomienda su uso en lugares de alta contaminación o en donde se tenga problemas de espacio disponible.

- Para tensiones superiores a 400kV, el costo de las subestaciones en SF₆ desciende a valores en donde puede ser económica su instalación aun en lugares periféricos de ciudades grandes.

- Debido a que todas las partes sometidas a tensión están contenidas en envolventes metálicas conectadas a tierra, se elimina el peligro de un contacto

accidental con las partes bajo tensión, mejorándose la seguridad del personal y la continuidad del servicio.

- En lugares donde la contaminación atmosférica es muy alta, por ejemplo en las cementeras, este tipo de subestación, a su vez protegida bajo techo, protege perfectamente la instalación.

- La construcción blindada evita la radio interferencia y disminuye el nivel de ruido, debido a la operación de los interruptores.

Sin embargo dentro de las subestaciones blindadas en SF₆ hay que tomar en cuenta los siguientes factores:

Humedad. El contenido de humedad en el SF₆ no debe exceder ciertos valores, de acuerdo con el fabricante, ya que los productos de descomposición del gas debidos al arco eléctrico, en presencia de humedad forman compuestos corrosivos que atacan la porcelana y la hacen conductora.

2.3 ELEMENTOS QUE INTEGRAN UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA

Es importante tener la noción de cuáles son los elementos que integran una subestación eléctrica, así como la función que desempeñan cada uno de ellos. Se puede mencionar que todos los elementos de una subestación tienen una función primordial y cada uno es indispensable de acuerdo al tipo de ubicación que tenga dentro de la instalación, sin embargo, hay que hacer énfasis en los elementos que representan mayor importancia dentro del sistema.

2.3.1 TRANSFORMADOR DE POTENCIA.

El transformador es una máquina estática eléctrica, que por inducción electromagnética transforma energía eléctrica. Usualmente cambia los valores de tensión y de corriente, manteniendo constante la frecuencia. Un transformador es la parte más importante de una subestación eléctrica, ya sea por la función que representa de transferir la energía eléctrica de un circuito a otro -que son por lo general de diferente tensión y sólo están acoplados magnéticamente-, o bien por su costo en relación a otras partes de la instalación.

Clasificación de los transformadores:

a) Operación.

- 1.-De potencia, arriba de 500 kVA y 69kV.
- 2.-De distribución, menores de 500 kVA y 69kV.
- 3.-De instrumento.
- 4.-De horno eléctrico.

b) La forma de su núcleo.

- 1.-Tipo columna.
- 2.-Tipo acorazado.

3.-Tipo envolvente.

4.-Tipo radial.

c) Por el número de fases.

1.-Monofásico.

2.-Trifásico.

d) Por el número de devanados.

1.-Dos devanados.

2.-tres devanados.

e) Por el medio refrigerante.

1.- Aire.

2.-Aceite.

3.-Líquido inerte.

f) Por la regulación.

1.-Regulación fija.

2.-Regulación variable con carga.

3.-Regulación variable sin carga.

g) Por el tipo de enfriamiento.

1.- Enfriamiento OA.

Sumergido en aceite con enfriamiento propio

2.- Enfriamiento OA/FA.

Sumergido en aceite con enfriamiento propio, por medio de aire forzado.

3.- Enfriamiento OA/FA/FOA.

Sumergido en aceite con enfriamiento propio a base de aire forzado y aceite.

4.- Enfriamiento OW.

Sumergido en aceite y enfriado con agua.

5.- Enfriamiento FOA.

Sumergido en aceite, enfriado con aceite forzado y con enfriador de aire forzado.

6.- Enfriamiento AA.

Tipo seco con enfriamiento propio. No contiene aceite ni otros líquidos para enfriamiento.

7.- Enfriamiento AFA.

Tipo seco, enfriado por aire forzado.

Partes principales del transformador:

a) Parte activa. Esta formada por un conjunto de elementos separados del tanque principal que agrupa los siguientes elementos:

1.- Núcleo. Constituye el circuito magnético, que está fabricado en lámina de acero al silicio, con un espesor de 0.28mm. El núcleo puede ir unido en la tapa y

levantarse con ella o puede ir unido en la pared del tanque, lo cual produce mayor resistencia durante las maniobras mecánicas de transporte.

2.- Bobinas. Constituyen el circuito eléctrico, se fabrican utilizando alambre o solera de cobre o de aluminio. Los conductores se forran de material aislante, que pueden tener diferentes características, de acuerdo con la tensión de servicio de la bobina, la temperatura y el medio en que va estar sumergida. Los devanados deben tener conductos de enfriamiento radiales y axiales que permitan fluir el aceite y eliminar el calor generado en su interior.

Las bobinas, según la capacidad y tensión del transformador, pueden ser de tipo rectangular para pequeñas potencias, de tipo cilíndrico para potencias medianas y de tipo galleta para las potencias altas.

3.- Cambiador de derivaciones. Constituye el mecanismo que permite regular la tensión de la energía que fluye en un transformador. Puede ser de operación automática o manual; puede instalarse en el lado de alta o de baja tensión dependiendo de la capacidad y tensión del aparato, aunque conviene instalarlos en alta tensión, debido a que su costo disminuye en virtud de que la intensidad de corriente es menor.

4.- Bastidor. Formado por un conjunto de elementos estructurales que rodean el núcleo y las bobinas, y cuya función es soportar los esfuerzos mecánicos y electromagnéticos que se desarrollan durante la operación del transformador.

b) Parte pasiva. Consta del tanque donde se aloja la parte activa; se utiliza en los transformadores cuya parte activa va sumergida en líquidos. El tanque debe ser hermético, soporta el vacío absoluto sin presentar deformación permanente, protege eléctrica y magnéticamente el transformador, ofrece puntos de apoyo para su transporte y su carga, soporta los enfriadores, bombas de aceite, ventiladores y los accesorios especiales.

La base del tanque debe ser lo suficientemente reforzada para soportar las maniobras de levantamiento durante la carga o descarga de éste. El tanque y los radiadores de un transformador deben tener un área suficiente para disipar las pérdidas de energía desarrolladas dentro del transformador, sin que su elevación de temperatura pase de 55 °C o más, dependiendo de la clase térmica de aislamiento especificado.

A medida que la potencia de diseño de un transformador se hace crecer, el tanque y los radiadores, por si solos, no son capaces de disipar el calor generado, por lo que en diseños de unidades de alta potencia se hace necesario adicionar enfriadores, a través de los cuales se hace circular aceite forzado por bombas, y se forza aire sobre ellos, por medio de ventiladores. A este tipo de eliminación térmica se le llama enfriamiento forzado.

c) Accesorios. Los accesorios de un transformador son un conjunto de partes y dispositivos que auxilian en la operación y facilitan las labores de mantenimiento. Entre ellos podemos destacar los siguientes:

1.- Tanque conservador. Es un tanque extra colocado sobre el tanque principal del transformador, cuya función es absorber la expansión del aceite debido a los cambios de temperatura, provocados por el incremento de carga. El tanque se mantiene lleno de aceite aproximadamente en la mitad. En caso de una elevación de temperatura, el nivel de aceite se eleva comprimiendo el gas contenido en la mitad superior si el tanque es sellado, o expulsando el gas hacia la atmósfera si el tanque tiene respiración.

En el conservador no debe permanecer al aceite en contacto con el aire ya que al estar variando el nivel de aceite, el aire que penetra tiene humedad que se condensa en las paredes y escurre hacia adentro del transformador. Por otro lado, porque el aceite en contacto con el aire se oxida y pierde también características dieléctricas. Para evitar lo anterior, se utilizan diferentes métodos de protección; uno es por medio de una lámina de neopreno que se mueve simultáneamente con la variación del nivel de aceite y evita el contacto aire-aceite, y otro es llenar la parte superior del conservador con nitrógeno seco y sellar el tanque conservador.

2.- Boquillas. Son los aisladores terminales de las bobinas de alta y baja tensión que se utilizan para atravesar el tanque o la tapa del transformador. Sin embargo es de gran importancia mencionar que para mejorar la resistencia sísmica de estas conviene tomar en cuenta lo siguiente.

- Fabricar las boquillas en forma cónica, reduce peso.
- Al reducir peso disminuye la carga sísmica en la magnitud del orden de un 30%.
- Utilizar porcelanas de alta resistencia mecánica (óxido de aluminio).
- Cuando las características de contaminación lo permitan utilizar resinas epóxicas, que logran reducir el peso en un 60%.

3.- Tablero. Es un gabinete dentro del cual se encuentran los controles y protecciones de los motores de las bombas de aceite, de los ventiladores, de la calefacción del tablero, del cambiador de derivaciones bajo carga, etc.

4.- Válvulas. Es un conjunto de dispositivos que se utilizan para el llenado, vaciado, mantenimiento y muestreo del aceite.

5.- Conectores a tierra. Son piezas de cobre soldadas al tanque, de donde se conecta el transformador y la red de tierra.

6.- Placa de características. Esta placa se instala en un lugar visible del transformador y en ella se graban los datos más importantes como son potencia, tensión, por ciento de impedancia, número de serie, diagramas fasorial de conexiones, número de fases, frecuencia, elevación de temperatura, altura de operación sobre el nivel del mar, tipo de enfriamiento, por ciento de variación de tensión en los diferentes pasos del cambiador de derivaciones, peso y año de fabricación.

2.3.2 INTERRUPTOR DE POTENCIA.

Un interruptor de potencia consiste en un juego de contactos que se separan en gas o en aceite bajo la influencia de un mecanismo acelerador puesto en operación al ocurrir una falla en el sistema; por un solenoide excitado por un sistema eléctrico detector; el arco se extingue fundamentalmente desplazándolo de tal manera que aumenta su longitud enfriándolo para desionizarlo y sustituyendo los gases ionizados por fluidos no ionizados.

El interruptor es un dispositivo destinado para cerrar y abrir en condiciones normales, y está en su función principal bajo condiciones de cortocircuito. Sin embargo, el interruptor sirve para insertar o retirar de cualquier circuito energizado máquinas, aparatos, líneas aéreas o cables.

El interruptor y el transformador son dispositivos importantes de una subestación eléctrica. Su comportamiento determina el nivel de confiabilidad que se puede tener en un sistema eléctrico de potencia.

El interruptor debe ser capaz de interrumpir corrientes eléctricas de intensidades y factores de potencia diferentes, pasando desde las corrientes capacitivas de varios cientos de amperes a las inductivas de varias decenas de kiloamperes.

Las partes principales que conforman el interruptor de potencia son las siguientes:

- a) Parte activa. Constituida por las cámaras de extinción, donde se encuentran los contactos fijos y el mecanismo de operación que soportan los contactos móviles.
- b) Parte pasiva. Está formada por una estructura que soporta uno o tres depósitos de aceite, en lo que se aloja la parte activa. La parte pasiva desempeña las siguientes funciones:
 - Protege eléctrica y mecánicamente el interruptor.
 - Ofrece puntos para el levantamiento y transporte del interruptor, así como espacio para la instalación de los accesorios.
 - Soporta los recipientes de aceite, si los hay, y el gabinete de control.
- c) Accesorios. En esta parte se consideran incluidas las siguientes partes:
 - Boquillas terminales que a veces incluyen transformadores de corriente.
 - Válvulas de llenado, descarga y muestreo del fluido aislante.
 - Conectores de tierra.
 - Placa de datos.
 - Gabinete que contiene los dispositivos de control, protección, medición, accesorios como: compresora, resorte, bobinas de cierre o de disparo, calefacción, etc.

2.3.3 CUCHILLAS.

Son dispositivos que sirven para conectar y desconectar diversas partes de una instalación eléctrica, para afectar maniobras de operación o bien para darles mantenimiento. Las cuchillas pueden abrir circuitos con la tensión nominal pero nunca cuando esté fluyendo corriente a través de ellas. Antes de abrir un juego de cuchillas siempre deberá abrirse el interruptor correspondiente.

Las cuchillas están formadas por una base metálica de lámina galvanizada con un conector para puesta a tierra, dos o tres columnas de aisladores que fijan el nivel básico de impulso, y encima de éstos la cuchilla.

2.3.4 FUSIBLES.

Son dispositivos de protección eléctrica de una red que hacen las veces de un interruptor, siendo más baratos que éstos. Se emplean en aquellas partes de una instalación eléctrica en que los interruptores no se justifican económicamente.

Su función es la de interrumpir circuitos cuando se produce en ellos una sobre corriente, y soportar la tensión transitoria de recuperación que se produce posteriormente.

Un juego de fusibles de alta tensión, en su parte fundamental, está formado por una base metálica semejante a las utilizadas en las cuchillas, dos columnas de aisladores que pueden ser de porcelana o de resina sintética y cuya altura fija el nivel básico de impulso a que trabaja el sistema. Sobre los aisladores se localizan dos mordazas, dentro de las cuales entra a presión el cartucho del fusible.

Dentro del cartucho se encuentra el elemento fusible, que normalmente está formado por un alambre o tiras metálicas con una sección reducida, que esta calibrada de acuerdo con su capacidad de corriente. Para los elementos fusibles se utiliza como material un alambre de aleación a base de plomo, para el caso de bajas tensiones y corrientes, y una cinta de aleación a base de cobre o de aluminio, para el caso de mayores corrientes.

2.3.5 CUCHILLAS DESCONECTORAS.

Las cuchillas desconectoras se utilizan para seccionar una red de distribución. Su empleo puede ser para separar los equipos de alta tensión, seccionando las barras colectoras. Además deben ser operadas bajo tensión pero sin carga, de lo contrario el arco producido puede dañar los contactos. No obstante, para pequeñas capacidades pueden operarse con carga. Para mantenimiento del equipo es conveniente conectar a tierra las líneas de alimentación por medio de unas cuchillas auxiliares que van montadas en este equipo o cuchillas.

2.3.6 BARRAS COLECTORAS.

Se llaman barras colectoras al conjunto de conductores eléctricos que se utilizan como conexión común de los diferentes circuitos de que consta una

subestación; se puede tener uno o varios juegos de barras que agrupan diferentes circuitos en uno o varios niveles de tensión, dependiendo del propio diseño de subestación.

Las barras colectoras están formadas de los siguientes elementos:

- 1.- Conductores eléctricos.
- 2.- Aisladores, que sirven de elemento aislante eléctrico y de soporte mecánico del conductor.
- 3.- Conectores y herrajes, que sirven para unir los diferentes tramos de conductores y para sujetar el conductor al aislador.

El elemento principal de que se componen las barras colectoras es el conductor eléctrico que se denomina barra. Cada juego de barras consta de tantos conductores como fases o polos que integran el circuito, ya sea que se tenga corriente alterna o directa.

2.3.7 APARTARRAYOS.

Son dispositivos eléctricos formados por una serie de elementos resistivos no lineales y explosores que limitan la amplitud de las sobretensiones originales por descargas atmosféricas, operación de interruptores o desbalance de sistemas.

Los apartarrayos cumplen con las siguientes funciones:

- 1.- Descargar las sobretensiones cuando su magnitud llega al valor de la tensión disruptiva de diseño.
- 2.- Conducir a tierra las corrientes de descarga producidas por las sobretensiones.
- 3.- Deben desaparecer la corriente de descarga al desaparecer las sobretensiones.
- 4.- No deben operar con sobretensiones temporales, de baja frecuencia.
- 5.- La tensión residual debe ser menor que la tensión que soportan los aparatos que protegen.

2.3.8 TABLERO DE CONTROL.

Los tableros de una subestación contienen una serie de dispositivos que tienen por objeto soportar los aparatos de control, medición y protección, así como los indicadores luminosos y alarmas. Los tableros pueden fabricarse con lamina de acero de 3mm de espesor, o bien de plástico reforzado, y se montan sobre bases formadas por acero estructural tipo canal de 100mm de ancho, que van ancladas en la base de concreto del salón de tableros.

Podemos encontrar diferentes tipos de tableros como son:

Tableros de un solo frente. Son tableros de tipo vertical, que se utilizan en subestaciones pequeñas, aprovechando el mismo frente para montar la protección, la medición y el control. Son los tableros con mayor uso en las subestaciones. En la

parte media inferior se fijan los relevadores, más abajo se fijan las cuchillas de prueba y las tablillas de conexión de los cables que llegan al tablero desde el exterior. Arriba de los relevadores se montan los conmutadores y la señalización.

Tableros de doble frente o duplex. Estos tableros son de tipo vertical con frentes opuestos, con un pasillo al centro, techo y puertas a los extremos de los pasillos. Se pueden utilizar en subestaciones de tamaño mediano, En estos tableros se acostumbra instalar, en el frente principal, los dispositivos de control, de medición y la señalización, mientras que en la parte posterior se montan los diferentes relevadores de protección.

Tableros separados por mando y protección. Se acostumbra utilizar tableros separados en tableros grandes y muy grandes en donde, debido al complejo sistema de protecciones, los relevadores no cabrían si se usaran los tableros antes mencionados. En un tablero, fácilmente visible y accesible al operador, se instalan los elementos de control, los aparatos de medición, y los indicadores luminosos y de maniobra. En tableros separados se montan los relevadores de las protecciones, en otro frente colocado en un plano posterior al de los tableros de mando, o bien, en casetas situadas en las cercanías del equipo de alta tensión desde donde, por medio de transductores de corriente y tensión, se transmiten las señales a través de cables con calibres de tipo telefónico hasta el tablero principal de la subestación.

Tablero tipo mosaico. Este tipo de arreglo con elementos modulares, se utilizan en tableros de frente vertical o tipo consola, que se instalan generalmente en subestaciones operadas a control remoto, los relevadores se fijan en tableros separados, dentro del edificio principal de tableros, o en casetas. Estos tableros son sumamente compactos y esta reducción se debe al uso de transductores para la medición, relevadores de interposición y cable de control tipo telefónico.

2.3.9 TRANSFORMADORES DE 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) Transformador de corriente.

En los sistemas eléctricos de potencia, de distribución y de utilización industrial, resulta de gran importancia el uso de transformadores de corriente debido al flujo de energía que se maneja, pues esta se presenta en grandes cantidades de corriente y tensión, Dichos equipos cubren las siguientes finalidades:

- Facilitar las mediciones de corriente elevadas en los circuitos principales, permitiendo el empleo de instrumentos de medición de bajo alcance.
- Obtener niveles de aislamiento y corriente razonables para que los relevadores de protección (diferencial, distancia, sobrecarga, tierra, etc.) e instrumento de medición trabajen a una base común de 5 A y una frecuencia industrial de 60Hz.

- Aislar eléctricamente los instrumentos de medición y relevadores de protección del circuito principal, lo que permite la utilización de equipos de medición y de protección de baja tensión en los circuitos principales de alta tensión (generadores, bancos de transformadores, líneas de transmisión, cables subterráneos, banco de capacitores, etc.).

- Lograr una buena protección para la seguridad de los operadores y equipos eléctricos secundarios, contra las corrientes y tensiones elevadas, que normalmente se tienen en los sistemas eléctricos.

Los transformadores de corriente se utilizan en los sistemas como sensores de las señales primarias, que a su vez las transforman a valores apropiados para los sistemas de medición y protección. Tales aplicaciones imponen dos requerimientos técnicos:

- a) Medición. Exige alta precisión en cuanto al tipo de relación de transformación y ángulo de fase durante las condiciones normales de operación (estado estable).

- b) Protección. Requiere una razonable precisión en cuanto a relación de transformación, durante las condiciones de cortocircuito (estado dinámico), cuando circula una corriente como máximo de 20 veces la corriente nominal.

2) Transformador de potencial.

Se denomina transformador de potencial a aquel cuya función principal es transformar los valores de tensión manejables (220V, 110V). Estos transformadores sirven para alimentar instrumentos de medición, control y protección que requieren señal de tensión.

Los transformadores de potencial se construyen con un devanado primario y otro secundario; su capacidad es baja ya que se determina sumando las capacidades bajas de los instrumentos de medición que se va a alimentar, y varía de 15 a 60 VA. Los aislamientos usados son de muy buena calidad y son por lo regular los mismos que se emplean en la fabricación de los de corriente.

Se construyen para diferentes relaciones de transformación, pero la tensión en el secundario es normalmente 115V, para sistemas trifásicos se conectan en cualquiera de las conexiones trifásicas conocidas, según las necesidades técnicas.

2.3.10 EQUIPO DE MEDICIÓN.

Se entiende por sistema de medición de un sistema eléctrico y en particular de una subestación, al modo de operación de un conjunto de diferentes aparatos conectados a los secundarios de los transformadores de instrumentos de corriente y potencial, que miden las magnitudes de los diferentes parámetros eléctricos de las instalaciones de alta y baja tensión, así como los dispositivos auxiliares de la subestación de que se trate.

2.3.11 AISLADORES

Son los elementos que fijan las barras conductoras a la estructura y proporcionan además el nivel de aislamiento necesario. La selección adecuada para determinado tipo de aislador depende de varios factores, como son; el tipo de barra que se usará, el nivel de aislamiento que se determine para el juego de barras, los esfuerzos a que se esté sujeto, condiciones ambientales, etc.

Se usan tres tipos de aisladores: los aisladores rígidos, las cadenas de aisladores y los aisladores de tipo especial.

1.- Aisladores rígidos. Este tipo de aisladores se usan para soportar barras rígidas como son los tubos, las soleras, etc. Podemos encontrar dos tipos: alfiler y columna.

2.- Cadena de aisladores. Se emplean para soportar conductores. La selección del aislador adecuado se hace de acuerdo a los esfuerzos mecánicos que se van a sujetar. Se enlaza un aislador con otro formando una cadena hasta obtener el nivel de aislamiento deseado.

3.- Aisladores especiales. Son todos los aisladores que tienen un diseño especial debido al acondicionamiento del lugar en donde se van a instalar. Algunos de ellos, son de tipo aislamiento reforzado que se usan en los casos en que las subestaciones están ubicadas en zonas con alto nivel de contaminación (polvo, humo químico, humedad, etc.).

2.3.12 CONECTORES.

Son los elementos que nos sirven para unir al sistema de red de tierras, los electrodos profundos, las estructuras, los neutros de los transformadores, etc.

Los conectores utilizados en los sistemas de tierras son principalmente de tres tipos:

1.- Conectores atornillados. Se fabrican con bronce de alto contenido de cobre, formando dos piezas que se unen por medio de tornillos cuyo material está formado por bronce al silicio que le da alta resistencia mecánica al deterioro por corrosión.

2.- Conectores a presión. Son más económicos que los atornillados y proporcionan mayor garantía de buen contacto.

3.- Conectores soldados (cadweld). Son los más económicos y seguros por lo que se usan con mucha frecuencia. Los conectores para sistemas de tierras difieren de los usados en barras colectoras, que se fabrican para unir los electrodos de tierra al cable, es decir, de la malla de tierra al cable de las estructuras.

2.3.13 BLINDAJE.

Es una malla formada por cables de guarda que se instala sobre la estructura de la subestación. Llamamos cables de guarda a una serie de cables desnudos, generalmente de acero, que se fijan sobre la estructura de una subestación formando una red que actúa como blindaje, para proteger las partes vivas de la subestación de

las descargas directas de los rayos. La red de cables de guarda actúa como contraparte del sistema de tierra. A veces se complementa o se sustituye por una serie de bayonetas de tubo de acero galvanizado, también conectadas al sistema de red de tierras de la instalación, que se fijan en la parte superior de los remates de las columnas de la estructura de la subestación.

2.3.14 SISTEMA DE TIERRA.

Uno de los aspectos principales para la protección contra sobretensiones en las subestaciones es el de disponer de una red de tierra adecuada al lugar donde son conectados los neutros de los trafos, los cables de guarda, las estructuras metálicas, los tanques de los aparatos y todas aquellas partes metálicas que deben estar a potencial de tierra.

La necesidad de contar con una red de tierra en las subestaciones es la de cumplir con las siguientes funciones:

- Limitar las sobretensiones por descargas atmosféricas o por operación de interruptores.
- Proporcionar un circuito de muy baja impedancia para la circulación de las corrientes de tierra, ya que se deben a una falla de cortocircuito u operación de un apartarrayos, sin exceder los límites de operación de los equipos.
- Evitar que durante la circulación de estas corrientes de tierra en condiciones de cortocircuito puedan producirse diferencias de potencial entre distintos puntos de la subestación, lo cual significa un peligro para el personal,
- Dar mayor confiabilidad y continuidad al servicio eléctrico.

Elementos que constituyen el sistema de tierra.

Conductores. Los conductores que se utilizan en la red de tierra deberá de ser cable de cobre, cuyo calibre es arriba de 4/0 AWG, dependiendo del sistema que vaya a instalarse. Se emplea el cobre por su mayor conductividad eléctrica y térmica además de poseer una alta resistencia al deterioro por corrosión.

Electrodos. Reciben el nombre de electrodos las varillas que se clavan en los diversos tipos de terrenos y tienen la función de aumentar la longitud del conductor de la red de tierra. Podemos encontrar electrodos de tubos o varillas de hierro galvanizado o bien con varillas de copperweld que consiste en una varilla de hierro con un recubrimiento de lámina de cobre.

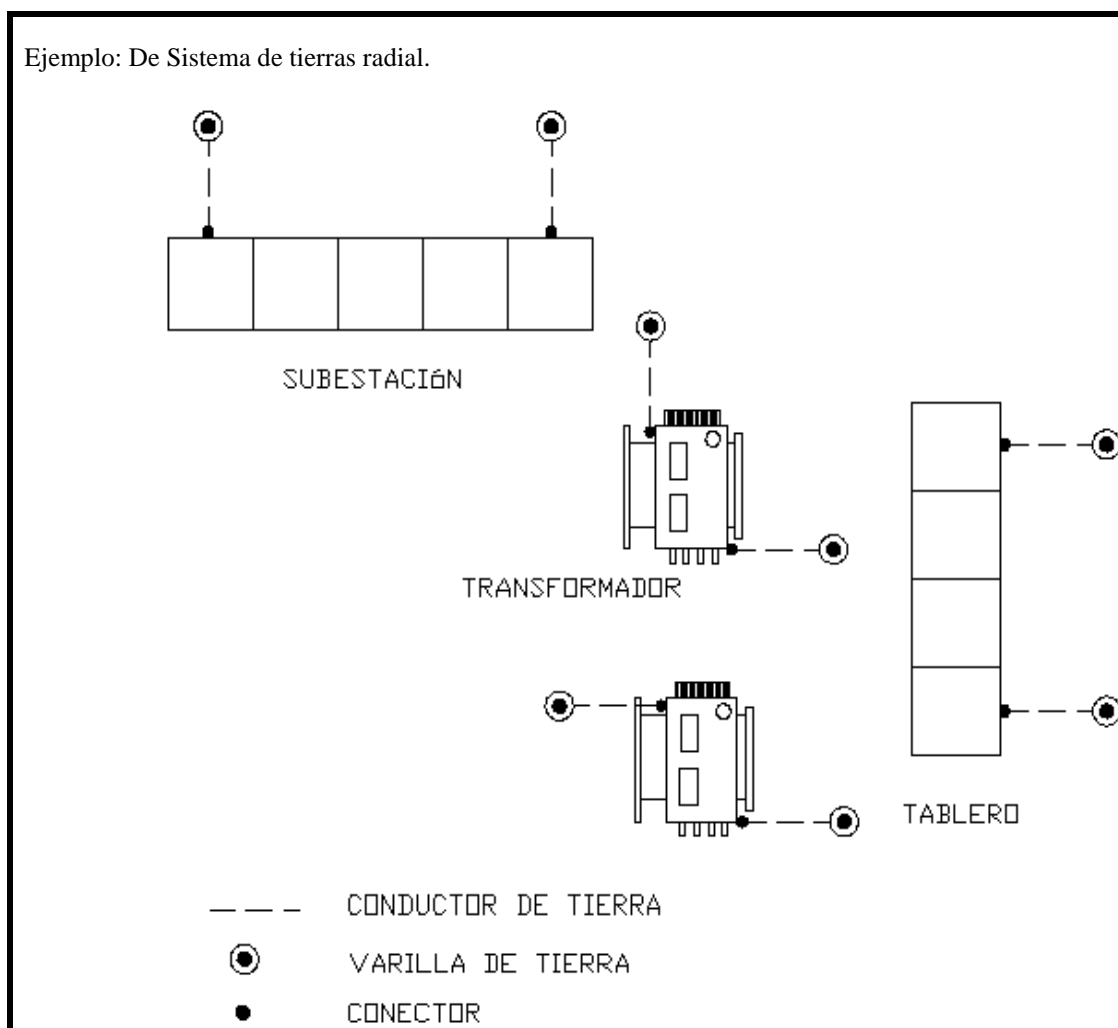
Por lo general los electrodos se instalan en las esquinas de la red, en cada tercera conexión sobre el perímetro de la malla, y en especial en la zona próxima que rodea la instalación del equipo principal (transformadores, interruptores y pararrayos de estación), en donde es conveniente aumentar el número de electrodos. La profundidad de una red de tierra puede variar entre 20 y 120 cm, pero lo más común es 40 cm a 50 cm, dando la separación apropiada entre conductores. En la tabla 2.3 se ilustran los valores de resistividad de los diferentes terrenos que se pueden encontrar.

Tabla 2.3 Resistividad de los diferentes tipos de terreno (Sverko, 1999).

Terreno	Resistividad ($\Omega\text{-cm}$)	
	Inferior	Superior
Superficie de los suelos	100	5,000
Arcilla	200	10,000
Arcilla arenosa	10,000	15,000
Grava húmeda	5,000	70,000
Grava seca	70,000	120,000
Caliza	500	1,000,000
Arenisca	2,000	200,000
Granitos	90,000	110,000
Hormigón	30,000	50,000

Con lo anterior podemos considerar los siguientes sistemas de tierra:

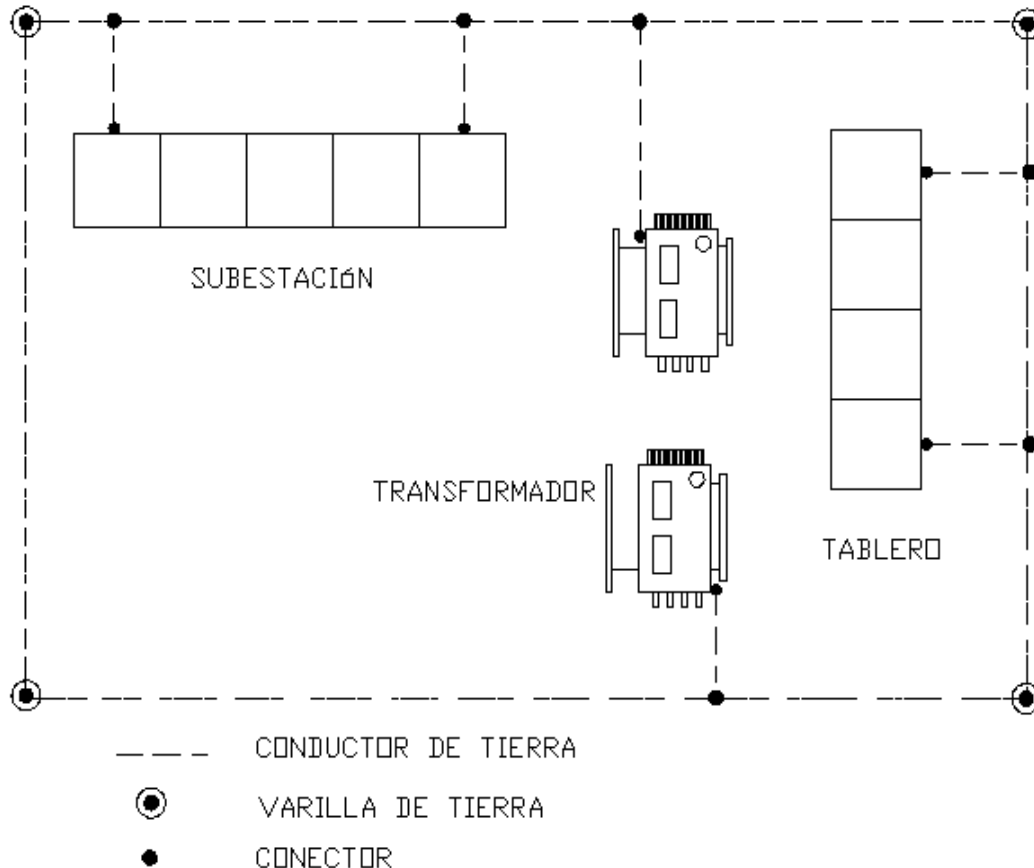
Sistema radial. Este sistema es el más económico, consiste en uno o varios electrodos de tierra a los cuales se conecta la derivación de cada uno de los equipos. Este sistema es el menos seguro ya que al producirse una falla en cualquier parte de la subestación se obtienen grandes gradientes de potencial.



Sistema de anillo. Consiste en instalar un cable de suficiente calibre alrededor de la superficie ocupada por el equipo de la subestación, conectando derivaciones a cada aparato mediante un cable más delgado. Es un sistema menos económico que el anterior. Los potenciales peligrosos disminuyen al dispararse la corriente de falla por varios caminos, lo que da origen a gradientes de potenciales menores. Es empleado para corrientes de cortocircuito intermedias.

Ejemplo:

Anillo de tierra. Un anillo de tierra alrededor del edificio o estructura, en contacto directo con la tierra, por lo menos a 76 cm bajo tierra y formado por conductor desnudo de cobre de calibre 2 o mayor.



Sistema de malla. Es el sistema más confiable y utilizado en los sistemas eléctricos y consiste en un retícula formada por cables de cobre, conectada a través de electrodos de varillas copperweld a partes más profundas para buscar zonas de menor resistividad. Debido a los tipos de materiales este sistema resulta ser el más caro de los dos anteriores.

Ejemplo:

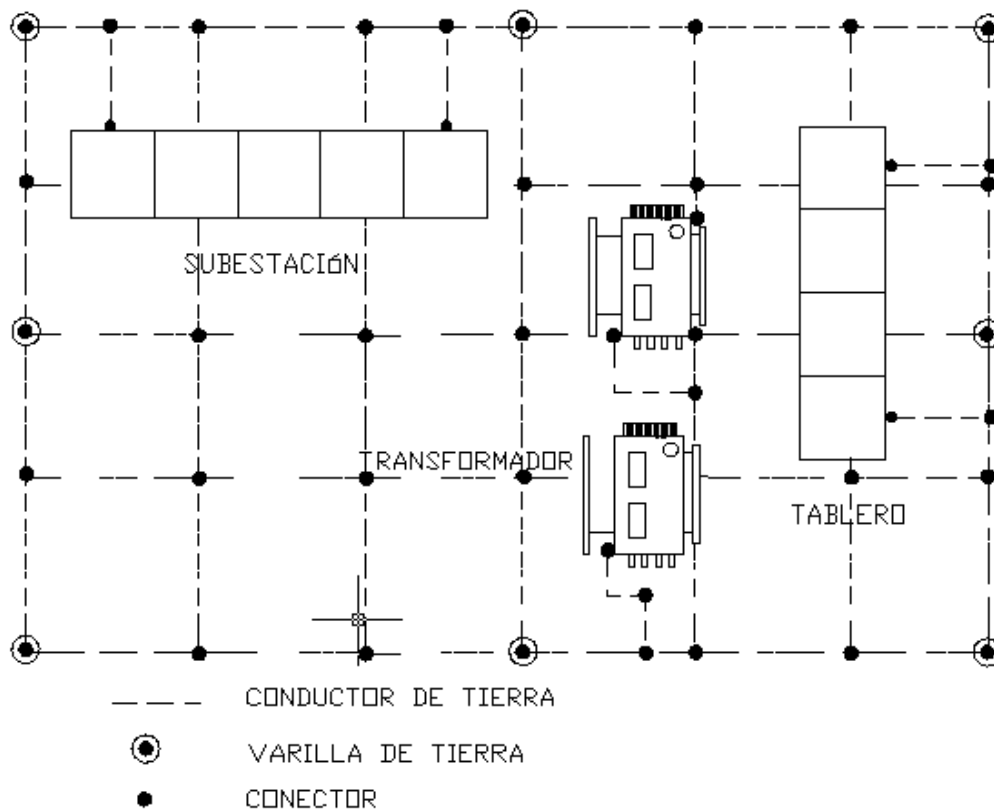
La malla de tierra. Es un conjunto de conductores desnudos que permiten conectar los equipos que componen una instalación a un medio de referencia, en este caso la tierra. Tres componentes constituyen la resistencia de la malla de tierra:

- La resistencia del conductor que conecta los equipos a la malla de tierra.
- La resistencia de contacto entre la malla y el terreno.
- La resistencia del terreno donde se ubica la malla.

Una malla de tierra puede estar formada por distintos elementos:

- Una o más barras enterradas.
- Conductores instalados horizontalmente formando diversas configuraciones.
- Un reticulado instalado en forma horizontal que puede tener o no barras conectadas en forma vertical en algunos puntos de ella.

En la figura se muestra un esquema general de una malla de puesta a tierra.



Configuración general de una malla. Las barras verticales utilizadas en la construcción de las mallas de tierra reciben el nombre de barras copperweld y están construidas con alma de acero revestidas en cobre. El valor de la resistencia de una malla de tierra depende entre otros parámetros de la resistividad del terreno.