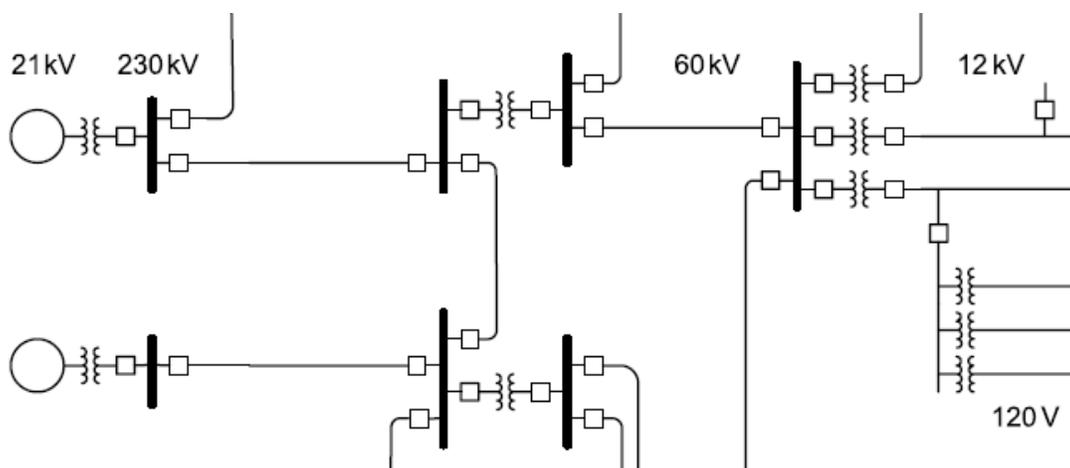


2. Sistemas de distribución

Un sistema de distribución eléctrico o planta de distribución como comúnmente es llamado, es toda la parte del sistema eléctrico de potencia comprendida entre la planta eléctrica y los apagadores del consumidor.



Estructura básica de un sistema eléctrico

El problema de la distribución es diseñar, construir, operar y mantener el sistema de distribución que proporcionará el adecuado servicio eléctrico al área de carga a considerarse, tomando en cuenta la mejor eficiencia en operación. Desafortunadamente, no cualquier tipo de sistema de distribución puede ser empleado económicamente hablando en todas las áreas por la diferencia en densidad de carga, por ejemplo: no aplica el mismo sistema para una zona industrial que una zona rural debido a la cantidad de carga consumida en cada uno de ellos; también, se consideran otros factores, como son: la planta de distribución existente, la topografía, etcétera.

Para diferentes áreas de carga o incluso para diferentes partes de la misma área de carga, el sistema de distribución más efectivo podría tomar diferentes formas. El sistema de distribución debe proveer servicio con un mínimo de variaciones de tensión y el mínimo de interrupciones, debe ser flexible para permitir expansiones en pequeños incrementos así como para reconocer cambios en las condiciones de carga con un mínimo de modificaciones y gastos. Esta flexibilidad permite guardar la capacidad del sistema cercana

a los requerimientos actuales de carga y por lo tanto permite que el sistema use de manera más efectiva la infraestructura. Además y sobre todo elimina la necesidad para predecir la localización y magnitudes de las cargas futuras¹.

Los sistemas pueden ser por cableado subterráneo, cableado aéreo, cableado abierto de conductores soportado por postes o alguna combinación de estos.

2.1 Tipos de sistemas de distribución.

Existen tres tipos de sistemas básicos de distribución, los cuales son:

- Sistema radial
- Sistema anillo
- Sistema en malla o mallado

Estos tipos de sistemas, son los más comúnmente utilizados, por lo que en los siguientes temas se dará una explicación de su funcionalidad, características, ventajas, desventajas y particularidades que tiene cada uno de ellos.

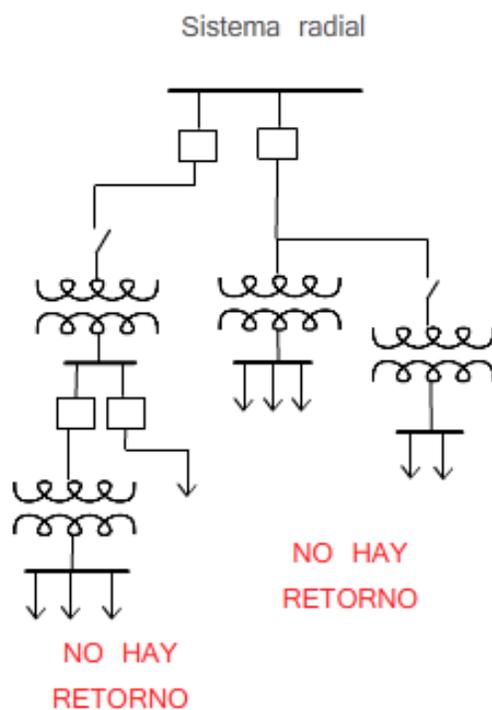
Al utilizar un sistema de distribución este estará expuesto inevitablemente a un buen número de variables tanto técnicas como locales y ante todo una variable económica por lo que los sistemas de distribución no tienen una uniformidad, es decir, que un sistema eléctrico será una combinación de sistemas.

¹ Transmission and distribution, chapter 20 Distribution systems

2.1.1 Sistema radial

Es aquel que cuenta con una trayectoria entre la fuente y la carga, proporcionando el servicio de energía eléctrica.

Un sistema radial es aquel que tiene un simple camino sin regreso sobre el cual pasa la corriente, parte desde una subestación y se distribuye por forma de “rama”, como se ve en la siguiente figura.



Forma más simple del sistema de distribución radial.

Este tipo de sistema de distribución tiene como característica básica, el que está conectado a un sólo juego de barras.

Existen diferentes tipos de arreglo sobre este sistema, la elección del arreglo está sujeta a las condiciones de la zona, demanda, confiabilidad de continuidad en el suministro de energía, costo económico y perspectiva a largo plazo.

Este tipo de sistema, es el más simple y el más económico debido a que es el arreglo que utiliza menor cantidad de equipo, sin embargo, tiene varias desventajas por su forma de operar:

- El mantenimiento de los interruptores se complica debido a que hay que dejar fuera parte de la red.
- Son los menos confiables ya que una falla sobre el alimentador primario principal afecta a la carga.

Este tipo de sistemas es instalado de manera aérea y/o subterránea. A continuación, se explicará cada una de estas formas ya que tienen características particulares.

Sistemas radiales aéreos

Los sistemas de distribución radiales aéreos se usan generalmente en las zonas urbanas, suburbanas y en las zonas rurales.

Los alimentadores primarios que parten de la subestación de distribución están constituidos por líneas aéreas sobre postes y alimentan los transformadores de distribución, que están también montados sobre postes. En regiones rurales, donde la densidad de carga es baja, se utiliza el sistema radial puro. En regiones urbanas, con mayor densidad de carga se utiliza también el sistema radial, sin embargo, presenta puntos de interconexión los cuales están abiertos, en caso de emergencia, se cierra para permitir pasar parte de la carga de un alimentador a otro, para que en caso de falla se pueda seccionar esta y mantener su operación al resto mientras se efectúa la reparación.

La principal razón de ser de los sistemas radiales aéreos radica en su diseño de pocos componentes, y por ende su bajo costo de instalación aunque puede llegar a tener problemas de continuidad de servicio.

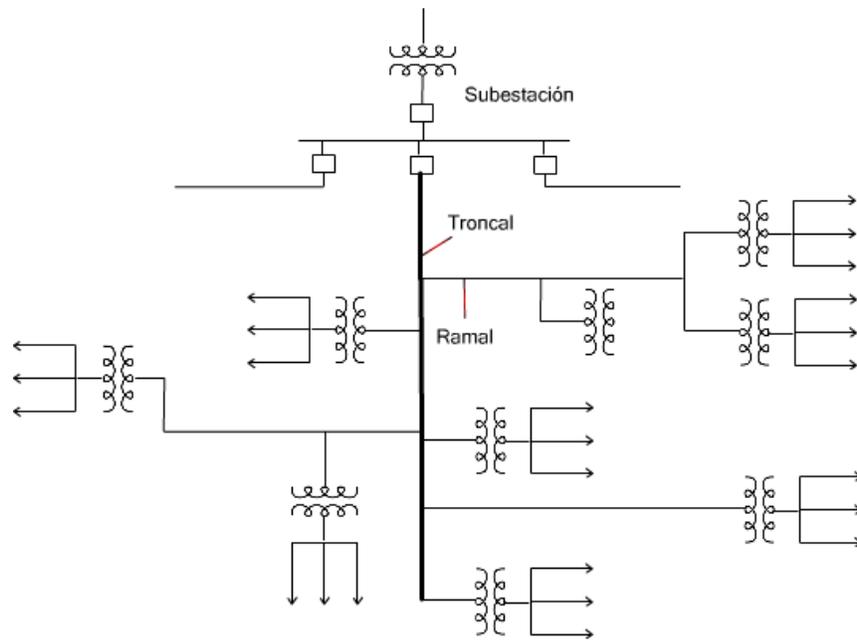


Diagrama unifilar de un sistema de distribución radial aéreo

Sistemas radiales subterráneos

La necesidad de líneas subterráneas en un área en particular es dictaminada por las condiciones locales. La elección del tipo de sistema depende sobre todo de la clase de servicio que se ofrecerá a los consumidores en relación al costo.

Los sistemas de distribución radiales subterráneos se usan en zonas urbanas de densidad de carga media y alta donde circulen líneas eléctricas con un importante número de circuitos dando así una mayor confiabilidad que si se cablearan de manera abierta.

Los sistemas de distribución subterráneos están menos expuestos a fallas que los aéreos, pero cuando se produce una falla es más difícil localizarla y su reparación lleva más tiempo. Por esta razón, para evitar interrupciones prolongadas y proporcionar flexibilidad a la operación, en el caso de los sistemas radiales subterráneos se colocan seccionadores para permitir pasar la carga de un alimentador primario a otro. También se instalan seccionadores para poder conectar los circuitos secundarios, para que en caso de falla o de desconexión de un transformador, se puedan conectar sus circuitos secundarios a un transformador contiguo.

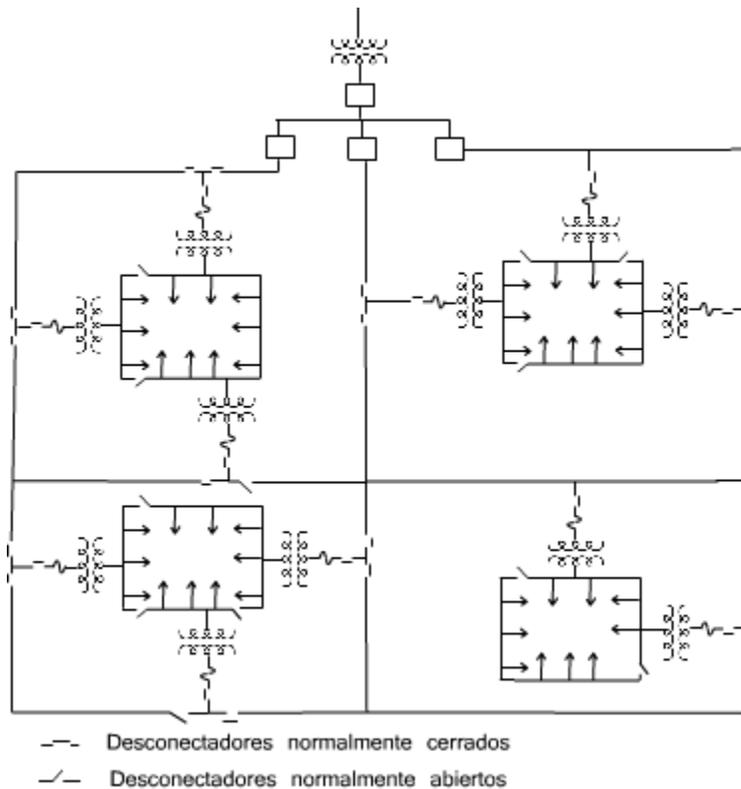


Diagrama unifilar de un sistema de distribución radial subterráneo

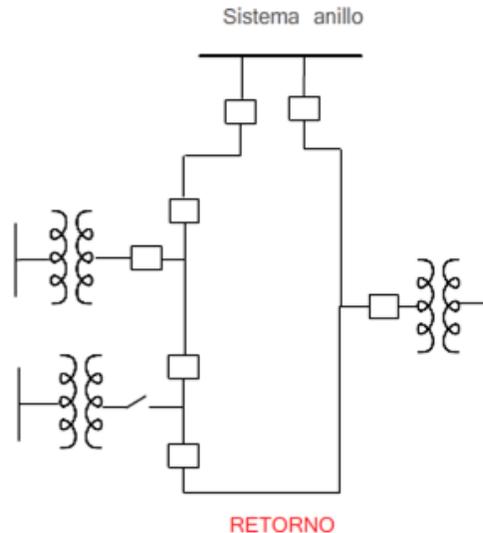
Existe la tendencia a realizar la distribución eléctrica de zonas residenciales suburbanas mediante instalaciones subterráneas. Generalmente los alimentadores primarios consisten en cables subterráneos dispuestos formando un anillo, que funciona normalmente abierto, conectados a un alimentador aéreo próximo.

2.1.2 Sistema Anillo

Es aquel que cuenta con más de una trayectoria entre la fuente o fuentes y la carga para proporcionar el servicio de energía eléctrica.

Este sistema comienza en la estación central o subestación y hace un “ciclo” completo por el área a abastecer y regresa al punto de donde partió. Lo cual provoca que el área sea abastecida de ambos extremos, permitiendo aislar ciertas secciones en caso de alguna falla.

Este sistema es más utilizado para abastecer grandes masas de carga, desde pequeñas plantas industriales, medianas o grandes construcciones comerciales donde es de gran importancia la continuidad en el servicio.



Cualquier variante del sistema en anillo, normalmente provee de dos caminos de alimentación a los transformadores de distribución o subestaciones secundarias. En general, la continuidad del servicio y la regulación de tensión que ofrece este sistema son mejor que la que nos da el sistema radial. La variación en la calidad del servicio que ofrecen ambos sistemas, depende de las formas particulares en que se comparen.

Regularmente, el sistema anillo tiene un costo inicial mayor y puede tener más problemas de crecimiento que el sistema radial, particularmente en las formas utilizadas para abastecer grandes cargas. Esto es principalmente porque dos circuitos deben ponerse en marcha por cada nueva subestación secundaria, para conectarla dentro del anillo. El añadir nuevas subestaciones en el alimentador del anillo obliga a instalar equipos que se puedan anidar en el mismo.

A continuación, mostramos las ventajas en operación de este sistema:

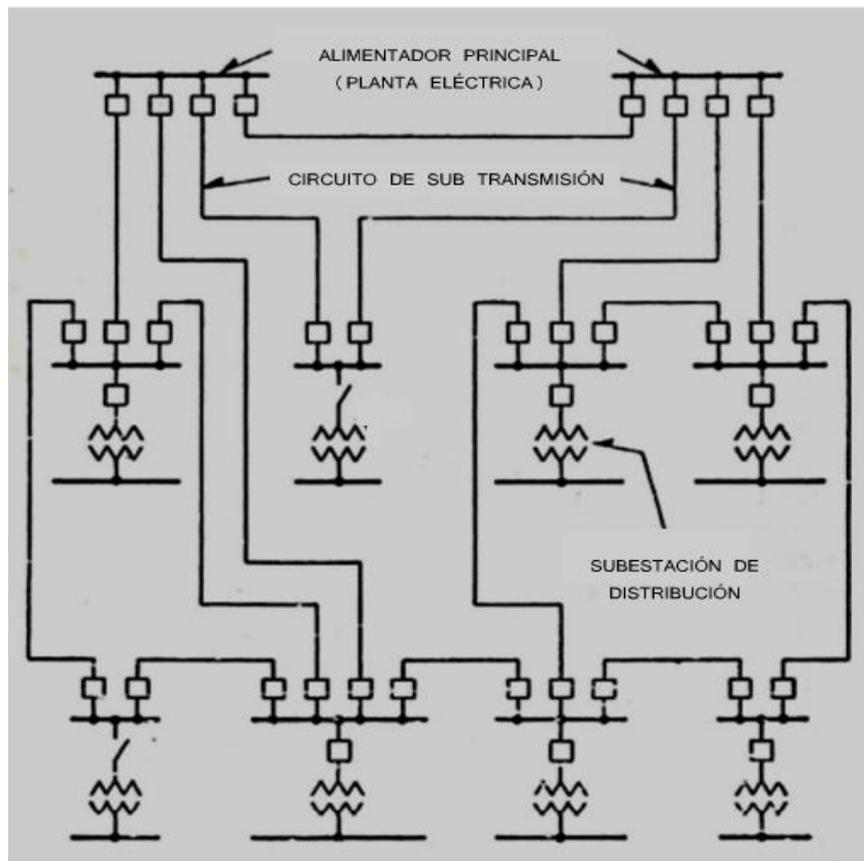
- Son los más confiables ya que cada carga en teoría se puede alimentar por dos trayectorias.

- Permiten la continuidad de servicio, aunque no exista el servicio en algún transformador de línea.
- Al salir de servicio cualquier circuito por motivo de una falla, se abren los dos interruptores adyacentes, se cierran los interruptores de enlace y queda restablecido el servicio instantáneamente. Si falla un transformador o una línea la carga se pasa al otro transformador o línea o se reparte entre los dos adyacentes.
- Si el mantenimiento se efectúa en uno de los interruptores normalmente cerrados, al dejarlo desenergizado, el alimentador respectivo se transfiere al circuito vecino, previo cierre automático del interruptor de amarre.

Sistema red o malla

Una forma de subtransmisión en red o en malla provee una mayor confiabilidad en el servicio que las formas de distribución radial o en anillo ya que se le da alimentación al sistema desde dos plantas y le permite a la potencia alimentar de cualquier planta de poder a cualquier subestación de distribución.

Este sistema es utilizado donde la energía eléctrica tiene que estar presente sin interrupciones, debido a que una falta de continuidad en un periodo de tiempo prolongado tendría grandes consecuencias, por ejemplo: en una fundidora.



Sistema red o malla

2.2 Subestaciones industriales

Es esencial tener la idea clara de una subestación. Una subestación es un punto que permite cambiar las características de energía eléctrica (tensión, corriente, frecuencia, etcétera) ya sea corriente alterna o corriente directa, con la capacidad de reconfigurar las conexiones de las líneas de transmisión o distribución.

Existen varias formas de clasificar una subestación, las clasificaremos en 4 tipos, que son:

1) Subestación de maniobra en una estación de generación

Tiene como objetivo facilitar la conexión de la planta generadora hacia la red eléctrica, transformando la energía eléctrica para su transmisión.

2) Subestaciones de enlace

Se encuentra dentro de la red de transmisión de la energía eléctrica, tiene la función de facilitar el enlace y/o direccionamiento de la misma, normalmente con estas subestaciones finaliza la línea de transmisión desde la subestación de maniobra

3) Subestaciones de distribución

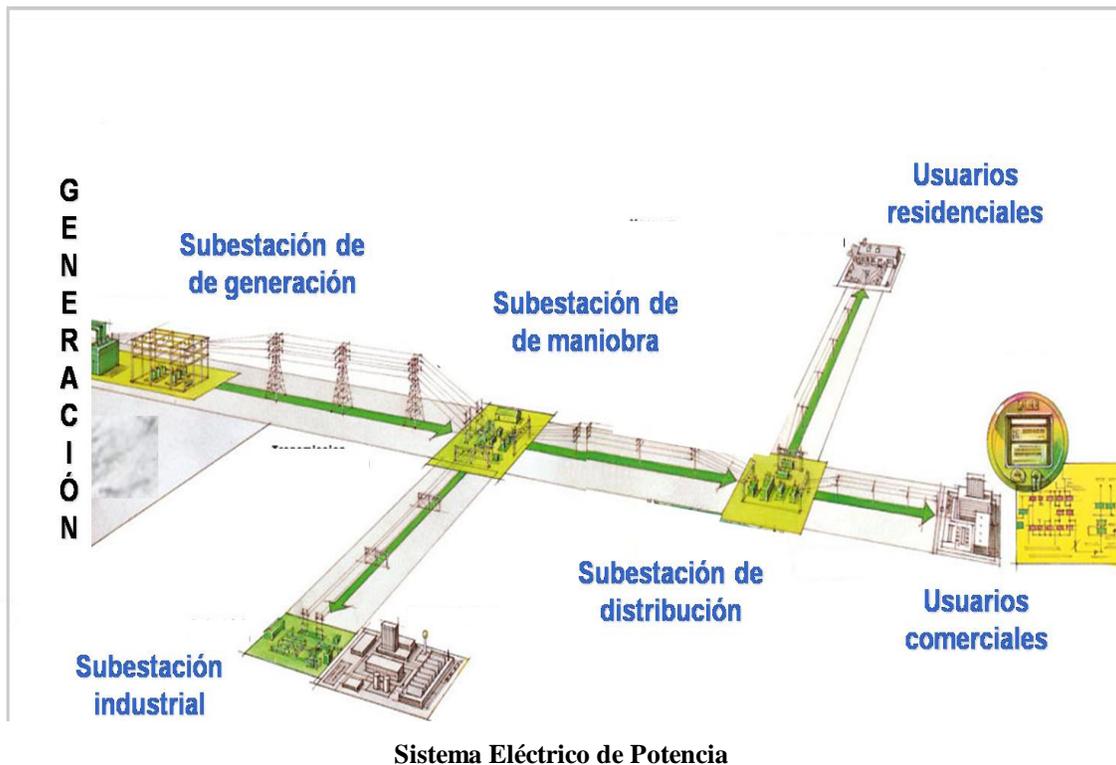
Son las más comunes dentro del sistema eléctrico, los cuales se encuentran cerca de los centros de carga, en su caso, una ciudad.

4) Subestaciones industriales

Funciona a partir de una línea principal del sistema eléctrico o acometida que nos entrega CFE, tiene la característica de cumplir con los requerimientos técnicos del cliente. Este tipo de subestación será estudiado en este capítulo.

Las subestaciones industriales son un eslabón del sistema eléctrico. Su necesidad y existencia radica en brindar las necesidades que requiera la industria. En la mayoría de las industrias, existe un lazo fuerte entre energía eléctrica y procesos de producción, debido al

equipo que requiera de la energía eléctrica. Dependiendo de la región o localidad, las industrias están apartadas o ubicadas en una cierta zona que tiene características particulares para el tratamiento de las materias, transporte, materia y suministro de la energía eléctrica.



La energía eléctrica es transmitida de algún punto del sistema eléctrico, al llegar a la zona industrial requiere transformar esta acorde a sus necesidades, esto lo realiza mediante una subestación que se ajustará a la carga necesaria y futuras expansiones de la planta industrial.

La construcción de una subestación tiene que cumplir con distintos lineamientos y entre los más importantes se encuentra su bajo costo económico, simplificación y estandarización. Estos puntos se analizarán de manera más extensa en los siguientes capítulos.

2.2.1 Esquemas básicos

En la actualidad gran parte de los usuarios industriales y comerciales requieren de la energía eléctrica para abaratar sus costos por el diferencial tarifario y costos menores en la instalación a tensiones mayores con el fin de lograr ser más competitivos, para los usuarios que buscan estos fines, se instalan subestaciones eléctricas. Una subestación eléctrica se integra básicamente por:

- Uno o varios transformadores
 - Elementos de protección contra sobrecorriente, tanto en baja como en alta tensión.
 - Elementos de protección contra descargas atmosféricas y maniobras (Apartarrayos).
 - Elementos de desconexión (cuchillas desconectoras operadas en grupo e interruptores).
 - Sistemas de Tierra.
 - Estructura que soporta el equipo.
 - Barras Conductoras.
 - Sistemas de medición.
-
- **Un Transformador.**- Es el dispositivo que permite operar en dos diferentes niveles de tensión. Por ejemplo, a los usuarios alimentados en alta tensión que tienen subestación eléctrica propia, la acometida de la compañía suministradora generalmente es proporcionada en voltajes de 13200V, 23000V y 34500V, reduciendo estas tensiones en los transformadores de la subestación del usuario. Las tensiones en baja tensión más comunes a las cuales se reducen son 220/127 V, 480/277 V y 440/254 V.

Existen transformadores monofásicos y trifásicos, siendo estos últimos utilizados principalmente para la industria y comercio.

- **Elementos de protección contra sobrecorrientes, tanto en baja como en alta tensión.**- Son dispositivos que monitorean continuamente la tensión y la corriente asociados con la línea y sus terminales detectando el mal funcionamiento del equipo o la línea. Las fallas pueden ser debido a contacto entre una o más fases y tierra, sobrecargas y fallas de tensión eléctrica en alguna fase.
- **Elementos de protección contra descargas atmosféricas y maniobras (apartarrayos).**- Son los elementos de protección del transformador contra transitorios provocados por descargas atmosféricas (rayos), así como los provocados por el switcheo o maniobra en el sistema eléctrico de la compañía suministradora.
- **Elementos de desconexión (cuchillas desconectadoras operadas en grupo e interruptores).**- Son usados primordialmente para conectar o desconectar una sección o transformadores que no tienen corriente de carga. También, son usados en conjunto con los seccionadores para proporcionar una forma segura de aislar un circuito, en caso de falla o de mantenimiento. Asociados con el equipo de protección, son los encargados de liberar las fallas.
- **Barras conductoras (bus).**- Se le da el nombre a todo lo referente a la estructura eléctrica a la cual todas las líneas y transformadores son conectados. El diseño de la estructura debe cumplir con mecanismos que soporten fuerzas grandes debido al resultado de los campos producidos por altas corrientes de cortocircuito.

Existen dos tipos de enlazado: abierto y cerrado.

El bus cerrado es usado cuando la subestación está localizada en algún edificio o lugar abierto donde el espacio es vital y limitado. Para ello se utiliza aisladores de SF_6 para permitir reducir el espacio entre las fases energizadas.

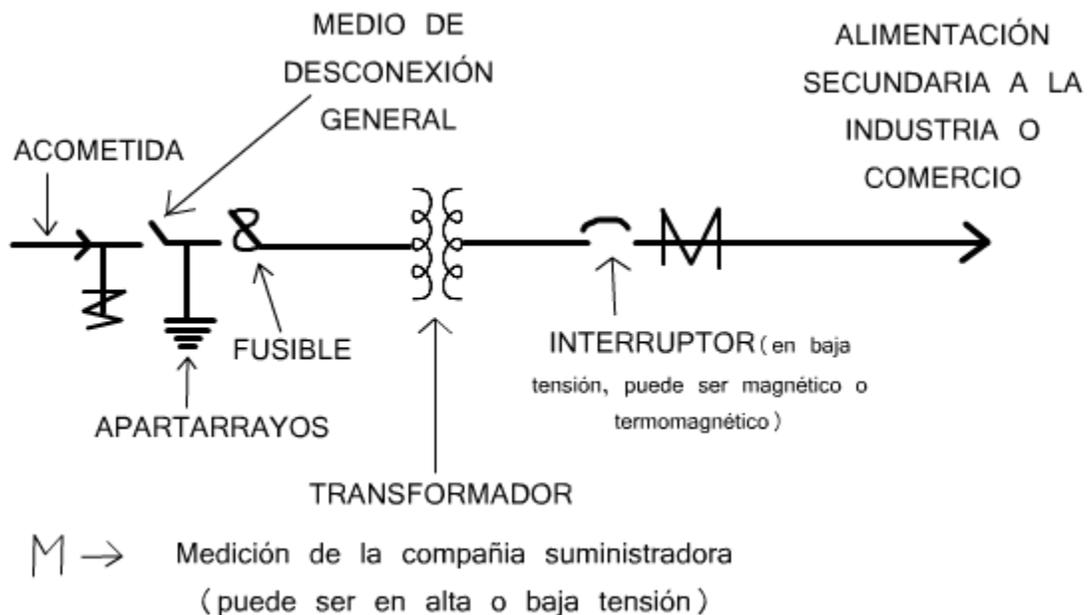
- **Sistemas de medición.**- Tienen la función de proporcionar una medición de la carga de la línea, transformadores así como tensiones para que el personal a cargo

tenga la facilidad de poder observar que se encuentra el equipo dentro de los límites aceptables.

- **Sistemas de Tierra.**
- **Estructura que soporta el equipo.**
- **Aislamiento.**

Estos últimos tres puntos se explicarán a detalle más adelante durante el presente documento.

En el siguiente diagrama se muestran los elementos que componen a una subestación eléctrica tipo industrial:



Otra forma de clasificar las subestaciones, es desde el punto de vista constructivo que se muestra a continuación:

- a) Intemperie. Las podemos encontrar en tres tipos: estructura de celosía, fierro estructural u otro tipo de estructura.

- b) Tipo Interior. Se encuentran dentro de algún recinto con características específicas para un solo propósito.
- c) Tipo Sumergible, existen dos tipos, bóveda o directamente enterrado.
- d) Tipo encapsulado, se encuentra en ambientes húmedos y corrosivos.
- e) Tipo Poste, se puede encontrar en tres tipos, poste de concreto, poste de madera o poste metálico.
- f) Tipo pedestal, que se pueden encontrar para distribución anillo o para distribución radial tanto de frente vivo como de frente muerto.

Es indispensable mencionar, que una subestación está fuertemente ligada a la maniobrabilidad y flexibilidad al operar, por lo que una parte importante de cualquier tipo de subestación es la llegada y conexión de la línea de transmisión; a continuación se mencionan las más comunes.

Nota: Para las subestaciones industriales, dependiendo el tamaño e importancia puede ser factor de tener otro alimentador aparte del principal.

Configuración de conexiones en los alimentadores.

Existen 6 tipos, los cuales son los más comunes:

- 1) Arreglo sencillo del alimentador
- 2) Arreglo con dos alimentadores y dos interruptores
- 3) Arreglo de un alimentador principal y otro de transferencia
- 4) Arreglo con dos alimentadores y un interruptor
- 5) Arreglo de alimentador en anillo
- 6) Arreglo con un interruptor en medio.

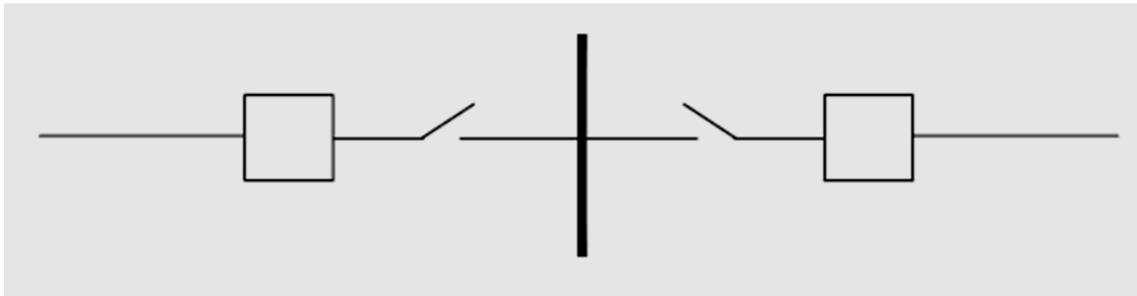


Figura de un arreglo sencillo del alimentador

Es un arreglo sencillo de un alimentador, donde todo está conectado directamente al alimentador principal.

La confiabilidad de esta configuración es baja, si existiese alguna falla en alguna parte de la configuración provocaría la desconexión completa. Para el mantenimiento de los interruptores, es necesaria la desconexión de la línea.

El costo es bajo, sin embargo, es muy limitada la flexibilidad. Para poder realizar un cambio es necesario adicionar otros interruptores. Sin embargo, es la más utilizada en la industria y comercio.

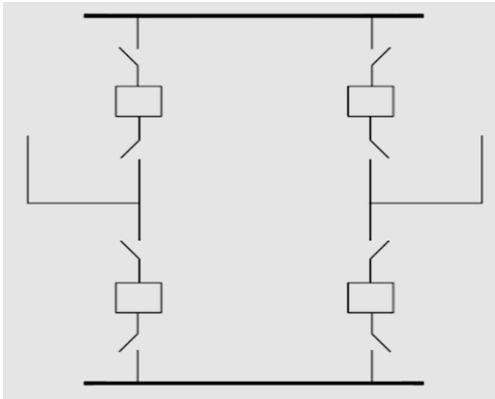
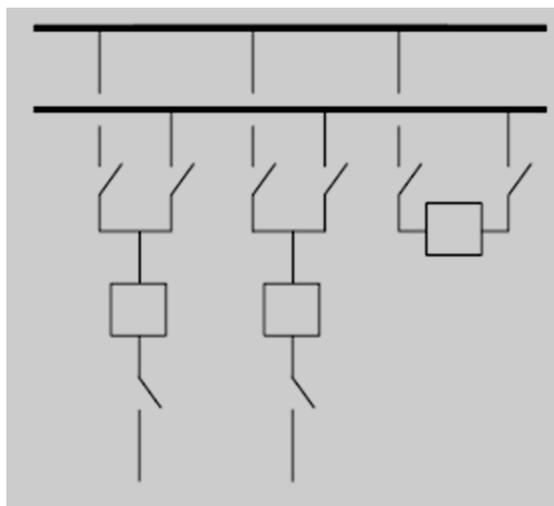


Figura de un arreglo con dos alimentadores y dos interruptores

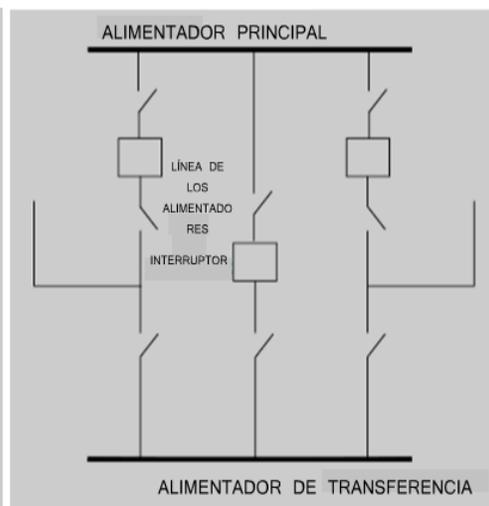
Con el arreglo de dos alimentadores y dos interruptores por cada circuito, es posible aislar cualquier falla en alguno de los alimentadores y no interrumpir la carga hacia los otros circuitos. Además, de que si falla algún circuito tampoco interrumpirá en otros circuitos u alimentadores. La confiabilidad de esta configuración es alta.

El mantenimiento de los interruptores en este arreglo es relativamente fácil, ya que pueden dejarse sin servicio sin afectar la operación y continuidad de la carga hacia los circuitos. Sin embargo, el costo incrementa sustancialmente al tener el doble de equipo además de espacio.

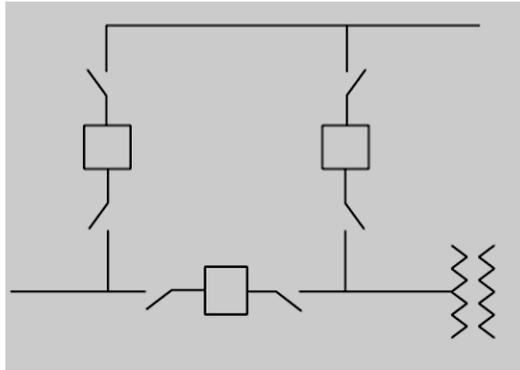
De los dos anteriores, se derivan otros, los cuales cumplen con ciertas características. Se menciona su forma sin detallar.



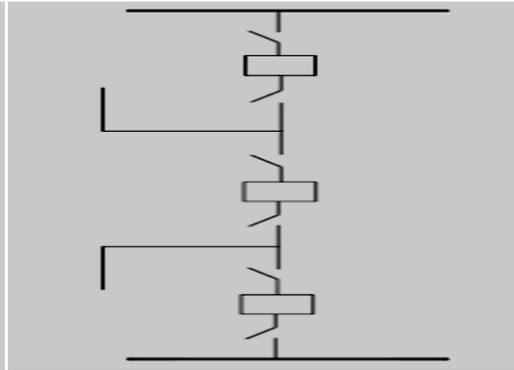
Alimentador con dos alimentadores y un Interruptor



Arreglo con alimentador principal y otro de transferencia



Arreglo con alimentador en anillo



Arreglo de interruptor y medio

A continuación se muestra una comparación de los arreglos en función de su operación, costo y área ocupada.

Comparación de los arreglos

ARREGLO	CONFIABILIDAD/OPERACIÓN	COSTO	ÁREA OCUPADA
Alimentador sencillo	Poco confiable, en caso de falla causa una desconexión total Flexibilidad de operación limitada	Costo bajo Pocos componentes	Menor área Pocos equipos
Dos alimentadores y dos interruptores	Alta confiabilidad Dispositivos se duplican Mayor flexibilidad de operación y mantenimiento	Alto costo Se duplica material.	Mayor área mas material y mas equipo
Alimentador principal y de transferencia	Poco confiable, su confiabilidad es similar a la del alimentador sencillo pero tiene mayor flexibilidad de operación y mantenimiento por el alimentador de transferencia	Costo moderado Mas equipo y material que el alimentador sencillo	Menor área
Dos alimentadores y un interruptor	Moderada confiabilidad con el interruptor de la línea de alimentación, las secciones de alimentación y circuito son aisladas. Buena flexibilidad de operación	Costo moderado, permite adicionar componentes y materiales	Área moderada
Alimentador anillo	Alta confiabilidad, un circuito o una sección del alimentador en caso de falla puede ser aislado Buena flexibilidad de operación y mantenimiento	Costo moderado Adicionar componente y materiales	Área moderada, depende del tamaño de la subestación
Interruptor y medio	Alta confiabilidad, en caso de falla en el alimentador no impacta en los	Costo moderado El costo es	Mayor área Más componente,

	<p>circuitos, y en caso de falla en los circuitos se aísla el circuito que falló. La mejor flexibilidad de operación y mantenimiento</p>	<p>basado en la flexibilidad de operación y fiabilidad</p>	<p>en alto voltaje incrementa substancialmente el área.</p>
--	--	--	---

El tipo de arreglo estará sujeto a la maniobrabilidad y flexibilidad que se requiera, estos arreglos son utilizados en alguna red de distribución y/o enlace para dar continuidad a la energía eléctrica, no se puede valer de una sola forma, ya que tanto los equipos como el sistema no es confiable al 100 %, se necesita ver otras alternativas.

2.2.2 Tipos de subestaciones

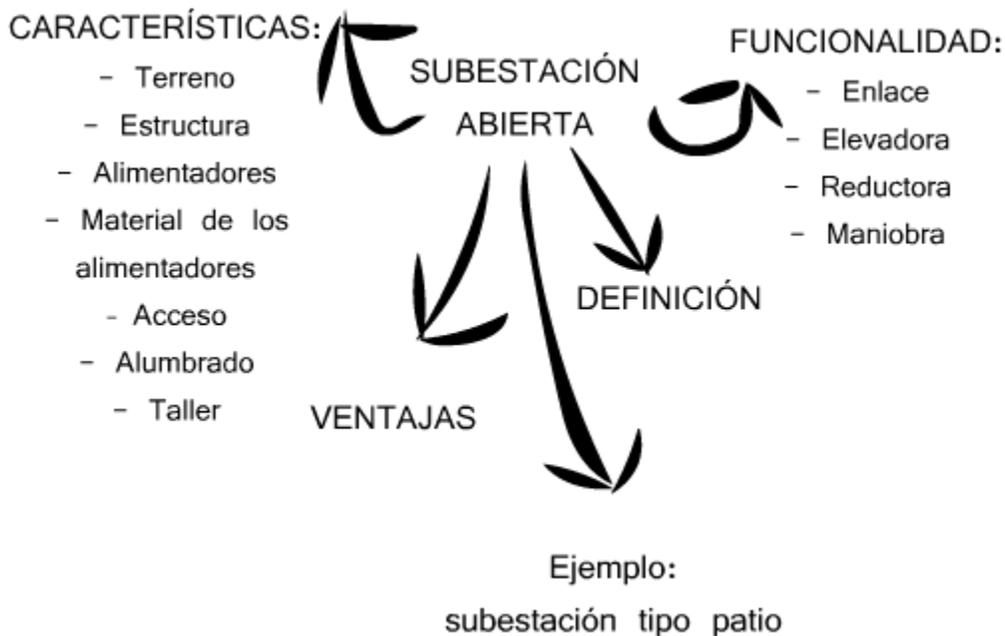
Así como existen diferentes necesidades para cada proyecto y/o demanda de energía eléctrica también hay distintas formas de cumplirlas, sin embargo, esto dependerá de las especificaciones que se pida, costo económico de la construcción y mantenimiento de la misma.

Existen distintos tipos de subestaciones que han surgido debido a las necesidades que se tengan que cumplir y de acuerdo al área donde se tengan que instalar, las principales subestaciones son:

- Abiertas
- Compactas
- Gas (Hexafluoruro de Azufre)
- Pedestal

Subestaciones Abiertas.

En este tema, se tratará de dar un panorama de lo más relevante de una subestación abierta

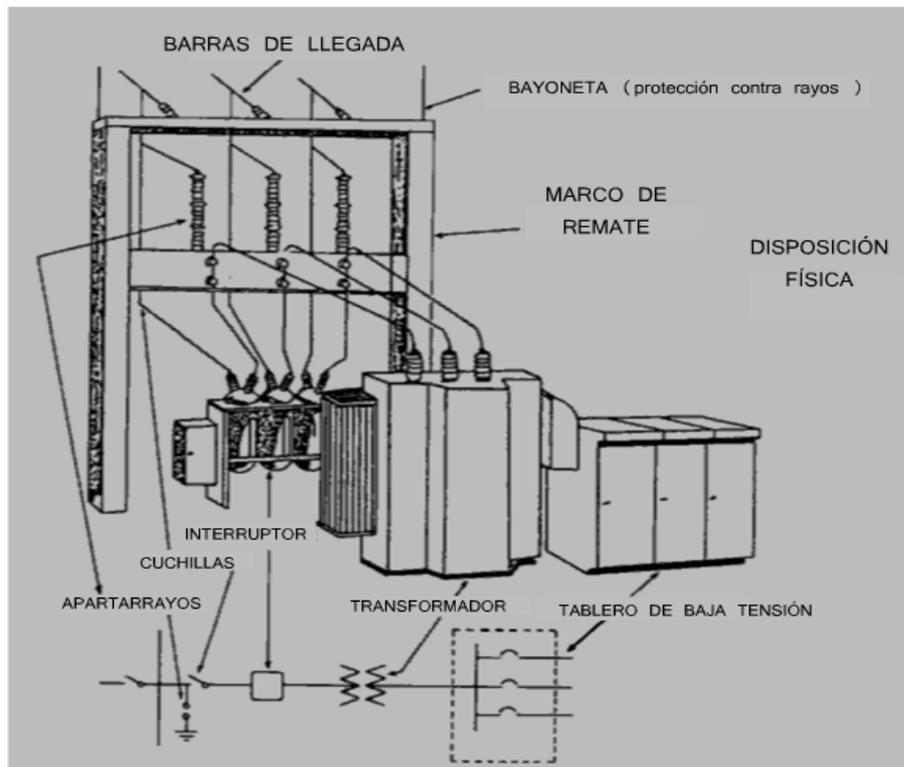


Definición

Se define la subestación abierta ya que la mayoría de sus elementos se encuentran a la intemperie por lo que está sujeto a condiciones atmosféricas adversas.

La configuración de los elementos de este tipo de subestación va acorde al espacio requerido y posteriores maniobras de mantenimiento preventivo y/o correctivo. Sin embargo, la principal desventaja deriva en que a medida que va aumentando la capacidad de la subestación se necesita mayor espacio de terreno por lo que en centros urbanos es un factor de vital trascendencia.

En la siguiente figura, se muestra lo que es un esquema básico de una subestación abierta donde se muestra la llegada de la línea de alta tensión pasando por los elementos de protección (apartarrayos, interruptores), transformador y tablero de baja tensión.



Esquema básico de una subestación abierta

Características

El hecho de que una subestación se diseñe para operar al exterior, requiere más especificaciones para su buen funcionamiento, a continuación se menciona las que son imprescindibles:

Terreno.- Es necesario un estudio previo de la topografía del lugar para asegurar que el lugar es viable para la construcción de la subestación, así como evitar algún desastre por alguna catástrofe natural. Si las características del terreno, no son aptas, se debe adicionar más ingeniería al diseño.

Estructura.- Los materiales pueden ser de acero, aluminio, concreto o madera y/o una asociación de los anteriores para la elaboración de la estructura o cimiento. Deben ser lo suficientemente fuertes y durables para soportar los conductores de la línea de transmisión, interruptores, transformadores de corriente y potencial, apartarrayos y demás equipo instalado.

En caso de que el material se oxide con el tiempo, se requiere que tenga un recubrimiento de galvanizado o pintura para evitar dicho proceso.

Las estructuras de aluminio son más ligeras, tienen un buen soporte y se les da poco mantenimiento aunque su costo inicial es mayor que una estructura metálica.

De igual manera, se debe trabajar en la preparación de la subestación: caminos, carreteras, conductores, drenajes, entre otros.

Alimentadores.- Los alimentadores en un exterior, son colocados en proporción a su tensión con respecto a la altura al nivel del terreno, es decir, que entre mayor sea la tensión, mayor es la altura, esto es evidente por la situación de seguridad.

Material de los alimentadores.- Cuando uno se refiere a un alimentador, es la línea o guía de conducción de la energía eléctrica, se utilizan de dos tipos: alimentador rígido o alimentador tenso.

Alimentador rígido

El material generalmente se usa aluminio y cobre, su forma puede ser tubular debido a que existe una mejor distribución de la corriente, sin embargo, al ser poca la superficie no disipa el calor generado; se prefiere utilizar el aluminio por sus propiedades.

Las ventajas y desventajas de utilizar este tipo de alimentador, son:

Ventajas	Desventajas
Menos acero se utiliza y las estructura son más sencillas	Mas soportes y aisladores son usualmente necesarios para este tipo de diseño
Los conductores rígidos no están bajo constante tensión	El alimentador es más sensible al movimiento de la estructura, causando problemas de alineamiento y posible daños en el alimentador
Los aisladores pedestales individuales son más accesibles para limpiar	Se requiere de más espacio que el alimentador de tensión
Proporciona buena visibilidad a los conductores, equipo y dan buena apariencia a la subestación	Los diseños con este tipo de alimentador son más caros.

Alimentador tenso

Es un conductor (cables de varios hilos) instalado bajo tensión. Consisten en conductores ACSR (cable de aluminio con acero reforzado) o cobre.

Ventajas	Desventajas
Es de bajo costo en comparación a un alimentador rígido	Las estructuras y cimientos son mas grandes
Ocupa menos área que un alimentador rígido	Los aisladores no son accesibles para su mantenimiento
Pocas estructuras son requeridas	Pintar las estructuras altas son costosas y peligrosas
	Reparar un conductor es más difícil

Acceso a la subestación.- Estas instalaciones deben cerrarse para impedir el acceso a personas ajenas, pueden emplearse una pared de cerca o mediante rejas dependiendo de la importancia y capacidades de la subestación, el cierre debe estar provisto de puertas del tamaño necesario para la entrada de vehículos destinados al transporte de los materiales en caso de ser necesario y otra para el acceso de personal. Debe cumplir con las dimensiones que marca la norma en sus artículos destinados a este fin.

Alumbrado.- El alumbrado en las instalaciones abiertas debe ser abundante con los puntos de luz situados de forma que no den lugar a sombras y puedan contemplarse de noche todos los aparatos, barras y conexiones.

Taller.- En este tipo de instalaciones puede requerirse la construcción de un taller para realizar operaciones de revisión y reparación de los interruptores y transformadores, tales como sustitución de bobinas, y la puesta en servicio de aquellos mediante la depuración del aceite que contienen.

El diseño de una subestación abierta se basa en cuál será la función que cumplirá, como puede ser:

- Subestación de enlace
- Subestación elevadora
- Subestación reductora
- Subestación de maniobra

Ventajas de la subestación abierta

Al contrario de la desventaja del espacio requerido para la subestación se tienen beneficios que cumple con distintos aspectos, dentro de las cuales se pueden mencionar:

- Las estructuras metálicas de una subestación abierta no alcanza a ser ni siquiera un cuarto del costo del edificio que requiere una instalación interior.
- El material y aparatos son más caros cuando están dispuestos para trabajar a la intemperie pero el aumento de precio es solo de un 10 o 20% mayor al de los aparatos para trabajar en interiores.
- La subestación tiene mayor claridad por lo que las maniobras se pueden realizar con mayor facilidad y se reduce en un alto grado la posibilidad de que se produzcan incendios generales, además de que en caso de este, el personal no sería afectado por el calor y el humo.
- La ampliación en este tipo de instalaciones se pueden hacer con mayor facilidad.

Ejemplo de una subestación abierta

Entre los distintos tipos de configuraciones que existen, podemos mencionar la subestación tipo patio.



Transformador tipo patio

Este tipo de subestación, tiene la característica de que los transformadores pueden estar montados sobre postes de madera, concreto armado o en estructuras metálicas las cuales están construidas por perfiles laminados de sección reducida.

El equipo de medición se debe encontrar alojado en una celda tipo intemperie de fácil acceso para que el personal no tenga que entrar al patio de conexiones.

En la actualidad, las subestaciones abiertas no son comúnmente usadas a nivel industrial dado que las subestaciones compactas y SF_6 tienen mayores ventajas como el espacio que utilizan así como facilidad de mantenimiento.

2.2.2.2 Subestaciones Eléctricas Compactas.

Definición

Este tipo de subestaciones, también denominadas unitarias es una buena alternativa para resolver las necesidades de energía eléctrica en la industria, ya que integra en un gabinete las funciones de desconexión y protección en media tensión de la instalación. Se ofrecen para servicio tanto interior como exterior.



La subestación unitaria está compuesta básicamente de tres unidades, como se muestra en la figura:

1. Unidad de alta tensión.
2. Unidad del transformador.

3. Unidad de baja tensión.

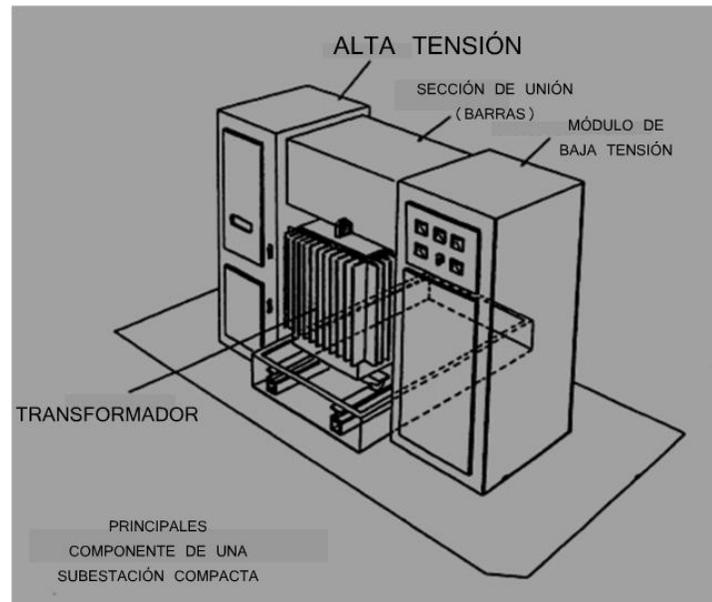
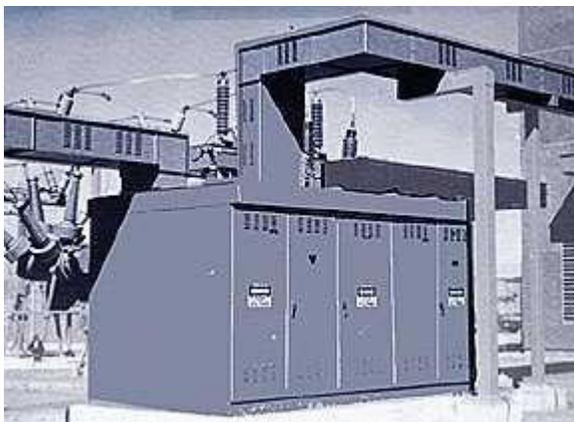


Figura que nos muestra los tres módulos que componen a la subestación.

Dependiendo del servicio o la instalación, se anexa módulos o unidades adicionales de acuerdo a las necesidades específicas.

Los gabinetes o módulos pueden estar en algún interior o exterior. Como su nombre lo dice, un exterior debe soportar las condiciones del ambiente mientras que el interior tiene que estar resguardado en algún recinto



Gabinete exterior



Gabinete interior

Para el caso específico de las instalaciones industriales o comerciales, dentro de la clasificación de las subestaciones eléctricas, las subestaciones más usadas son las denominadas abiertas y las de tipo compacto.²

Aplicación.

Este tipo de subestaciones gracias a su diseño, pueden ser instaladas en cualquier proyecto que requiera el uso directo de energía eléctrica de las redes de distribución de media tensión de las compañías suministradoras, por lo que son ideales para:

- Plantas Industriales
- Redes de distribución urbanas y rurales
- Grandes complejos como hospitales o centros comerciales
- Industrias pesadas como refinerías
- Bancos
- Generadores Eólicos.

Pueden utilizarse ya sea como subestación de acometida principal o derivada.

Fabricación.

La esencia de este tipo de subestación es que la mayoría de los elementos de una subestación se encuentran resguardada en algún recinto. El recinto se fabrica con lámina de acero con un calibre generalmente de 12 para la estructura y 14 o 12 para las tapas, dependiendo del fabricante (para subestaciones de media tensión de entre 13.8 y 34.5kV), y se le da un acabado con pintura de aplicación electrostática a base de polvo epóxico. El material y diseño (cubiertas frontales, laterales superiores e inferiores) deben evitar

² El ABC del Alumbrado y las Instalaciones Eléctricas en Baja Tensión, Gilberto Enríquez Harper, Edición: 2 - 2006 - 351 páginas, Editorial Limusa, Página 332

cualquier tipo de riesgo para el personal de operación por contactos involuntarios con partes vivas portadoras de energía en alta tensión.

La subestación es ensamblada sobre una base estructural en la que se encuentran todos los accesorios debido a que la estructura y envolvente está fabricada en secciones de fácil armado (atornillables), lo que proporciona una gran versatilidad.

Elementos de resguardo

Una subestación compacta reduce espacio, debido a que tiene los elementos resguardados en secciones, como son:

- *Una cuchilla de paso de operación sin carga*, debe ser de un tiro, operada desde el frente por medio de un mecanismo de palanca. Dependiendo del fabricante, se puede suministrar con mecanismos de puesta a tierra para mantenimiento. La capacidad nominal de corriente es de 400A para media tensión aunque puede variar mucho de acuerdo a las características que requiera cada instalación. Su función es aislar la subestación de alimentación cuando se requieran trabajos de mantenimiento en el interior de la misma o puede utilizarse como acometida de la compañía suministradora cuando no se requiera celda de medición.
- *Un seccionador tripolar de operación con carga de accionamiento rápido*, se utiliza para la conexión y desconexión con carga. Su finalidad es la de proteger en caso de corto circuito por medio de fusibles de alta tensión o cualquier elemento que sea conveniente de acuerdo a nuestro diseño de la subestación. Además protege la línea contra operación monofásica o bifásica en caso de que se funda algún fusible ya que desconecta automáticamente las tres fases.

El seccionador debe abrirse para poder accionar la cuchilla de paso para evitar que el personal no capacitado realice maniobras.

La finalidad principal es la protección contra corto circuito, la cual se logra a través de los fusibles o relevadores de alta tensión y alta capacidad interruptiva. Sin el fusible adecuado se estaría poniendo en riesgo el equipo, el tipo de fusible está en función de la capacidad kVA y la tensión de operación kVA.



- *Tres apartarrayos.* Sí la celda del seccionador se instala como principal, se debe incluir tres apartarrayos los cuales se montan en la base superior.
- *Un acoplamiento a transformador.* Todo elemento mecánico, está sujeto a las condiciones físicas y más cuando su condición es dinámica y puesta al límite de sus condiciones físicas; por ejemplo: las cuchillas deben soportar el calentamiento por el paso de la corriente eléctrica que dependerá en gran medida de su resistencia al paso de la misma.



Imagen que muestra una subestación compacta tipo interior en SF₆.

Instalación.

Se deben tomar en cuenta diversos factores para la instalación y puesta en servicio de este tipo de subestaciones que garanticen un trabajo satisfactorio, libre de interrupciones y una vida útil prolongada, entre los cuales están:

- Localización
- Montaje, que incluye cimentación y sistema de tierras.
- Inspección Física
- Pruebas de puesta en servicio
- Conexión de la subestación.

La localización debe ser en un lugar accesible, con buena ventilación para que escape fácilmente el aire caliente y con facilidad de acceso para inspeccionar la subestación.

En la cimentación se debe poner especial atención en revisar la plataforma, registros, ductos, coladeras y accesorios del lugar. Esta obviamente debe ser acorde a las dimensiones de la base de la subestación que se marca en los planos de la misma otorgados por el fabricante. Para el montaje de la subestación es conveniente que el sistema de Tierra se encuentre previamente instalado antes de fijar el equipo en su posición definitiva con el fin de facilitar la maniobra.



Imagen que muestra la inspección visual a una subestación compacta a la intemperie.

Cuando se instala se debe dar una inspección física del mismo, con el fin de verificar que los instrumentos hayan sido montados y ensamblados de manera adecuada y acorde a la solicitud correspondiente. Además de corroborar que la placa de datos coincida con los requerimientos de la instalación, como son capacidad, tensión, fases, etc. Esto es elemental para minimizar la probabilidad de riesgo.

El sistema de puesta a tierra de este tipo de subestaciones generalmente contempla una interconexión entre las cuchillas y los apartarrayos el cual permite aterrizar las cargas residuales y tiene la finalidad de dar más protección en el momento de efectuar algún mantenimiento.

Por lo menos se debe hacer una prueba de puesta en servicio en campo que es la de resistencia de aislamiento de la subestación, la cual se hace una vez instalada la subestación y antes de conectarla a la red de suministro de alta tensión, con el objeto de verificar la rigidez de aislamiento de la misma en todos sus componentes como pueden ser el aislamiento de las barras principales a tierra, etc.

La conexión de la subestación se debe hacer únicamente habiendo cubierto los puntos anteriores y según la información contenida en los planos del proyecto, con la cuchilla y el seccionador que alimenta al transformador en la posición de abierto. Se debe tener mucha atención en la secuencia de fases y polaridad de las mismas para las conexiones con el tablero principal de baja tensión y la acometida de la compañía suministradora de la energía.

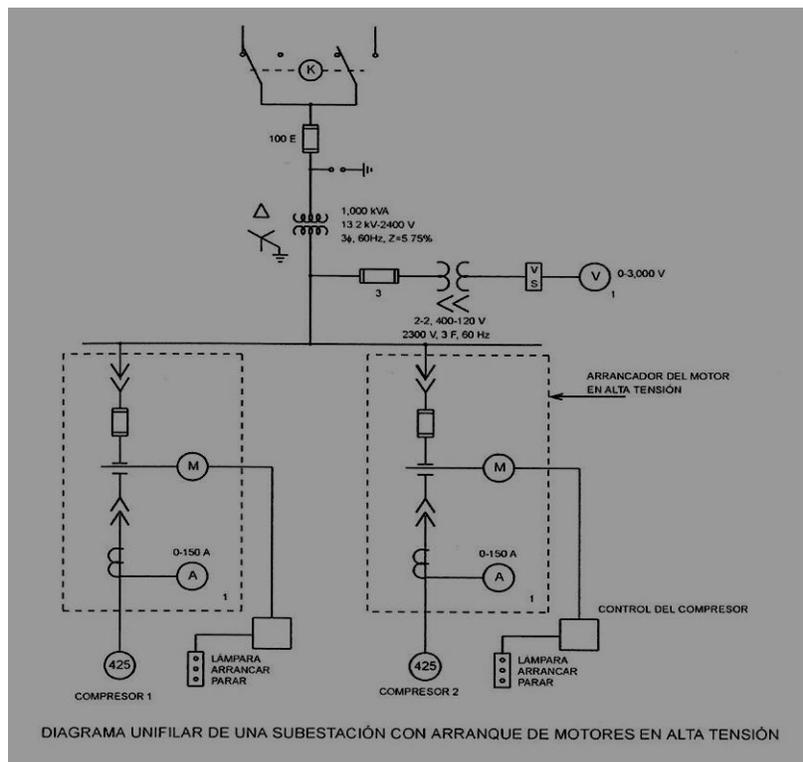
Antes de poner en servicio el sistema se debe revisar que su sistema de Tierra esté conectado, las conexiones entre las subestaciones y el transformador y de éste al tablero de baja tensión sean las correctas, el cambiador de derivaciones está en la posición deseada para proporcionar la relación de tensión adecuada, los fusibles están correctamente conectados y que todos los accesorios están correctamente instalados y es sumamente importante corroborar el par de puntos de todas las conexiones.

La subestación compacta no requiere generalmente de cuidados particulares o mantenimiento, aunque de cualquier forma para asegurar una operación confiable, se deben hacer una serie de revisiones en intervalos de tiempo definidos, dependiendo las condiciones ambientales y de operación de la subestación. El acabado de lámina garantiza un uso en intemperie por 1000 horas en cámara salina debido a su recubrimiento anticorrosivo que permite la óptima conservación del equipo. En caso de presentar algún deterioro, se debe hacer un retoque con pintura.

Estos trabajos deben hacerse cuando el equipo no esté energizado y siguiendo las reglas de seguridad requeridas.

Tipo de arreglo

Los arreglos típicos de subestaciones unitarias parten del elemento de la distribución del equipo eléctrico y valores de carga que se requieran dentro de la instalación, por ejemplo, en el siguiente diagrama unifilar se muestra una subestación compacta utilizada para dar carga a motores que operan a grandes tensiones mayores de 600V.



Ventajas.

- Requiere poco espacio para su instalación y funcionamiento
- Recomendable para instalaciones tanto industriales como comerciales
- Se pueden instalar en recintos que son de acceso general, con algunas restricciones mínimas.
- Están protegidos contra efectos o agentes externos.
- Los módulos se diseñan para su conexión en distintos arreglos y se pueden equipar con distintos tipos de equipos: de protección, medición o equipos mayores como interruptores, fusibles, desconectores, apartarrayos, etcétera.
- No requiere de mantenimiento especial

Mantenimiento

La subestación compacta generalmente no requiere de cuidados particulares de atención o mantenimiento. De cualquier modo, para asegurarse de una operación segura y confiable, deberá ser necesaria una serie de revisiones en intervalos de tiempo definidos.

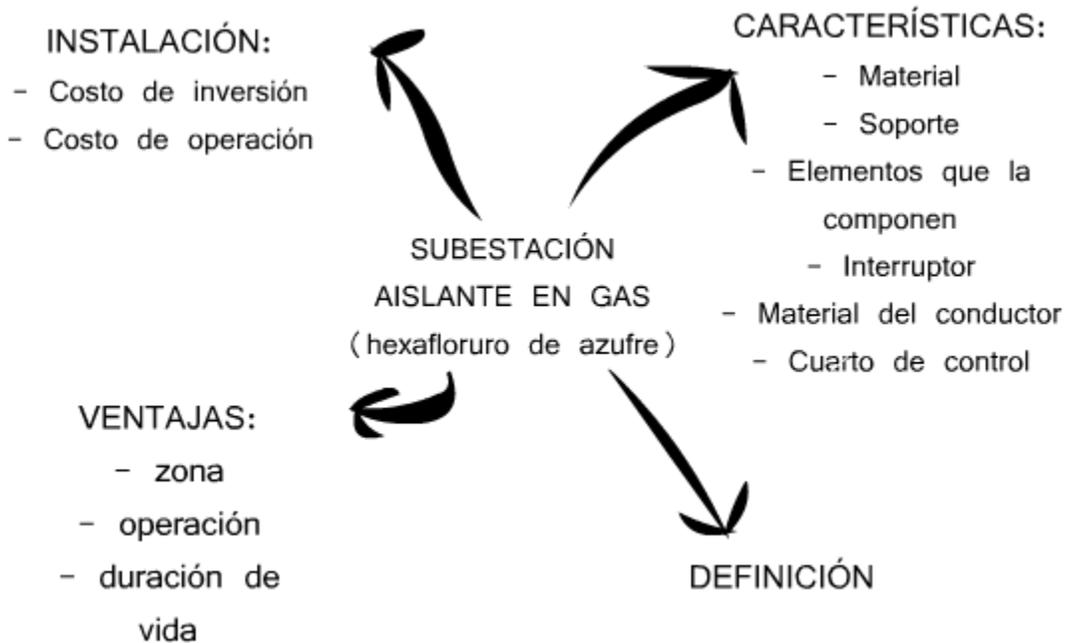
Se debe revisar el estado que guarda la pintura como se había mencionado.

Posibles fallas en una subestación compacta:

- 1) Fallas en los fusibles. Se pueden presentar fallas de corto circuito en instalaciones, lo que provoca la operación de los fusibles
- 2) Falla en los apartarrayos. Se pueden presentar fallas de sobretensiones provocadas por descargas atmosféricas, lo que propicia falla de los mismos.
- 3) Falla en los devanados del transformador. Para resolver este tipo de fallas es muy importante que sean atendidas por personal capacitado y que sepa interpretar el funcionamiento del equipo.
- 4) Conexiones flojas
- 5) Corto circuito externo
- 6) Sobretensiones
- 7) Sobrecarga

2.2.2.3 Subestaciones aisladas en gas SF_6 (Hexafloruro de azufre)

A través del tiempo, las variables anteriores que se han mencionado en la descripción de subestaciones anteriores como son espacio, requisitos de instalación, mantenimiento, inversión, capacidad, etc., se volvieron fundamentales por lo que se realizó un nuevo diseño de subestaciones con el propósito principal de mejorar la seguridad, confiabilidad y sobre todo el espacio que requieran conocidas como subestaciones aisladas de gas; el diseño surgió en la década de los 70's y se elabora conforme a la función final o cargas que alimentará dicha situación reduce la construcción del local donde se colocará dentro de la instalación.

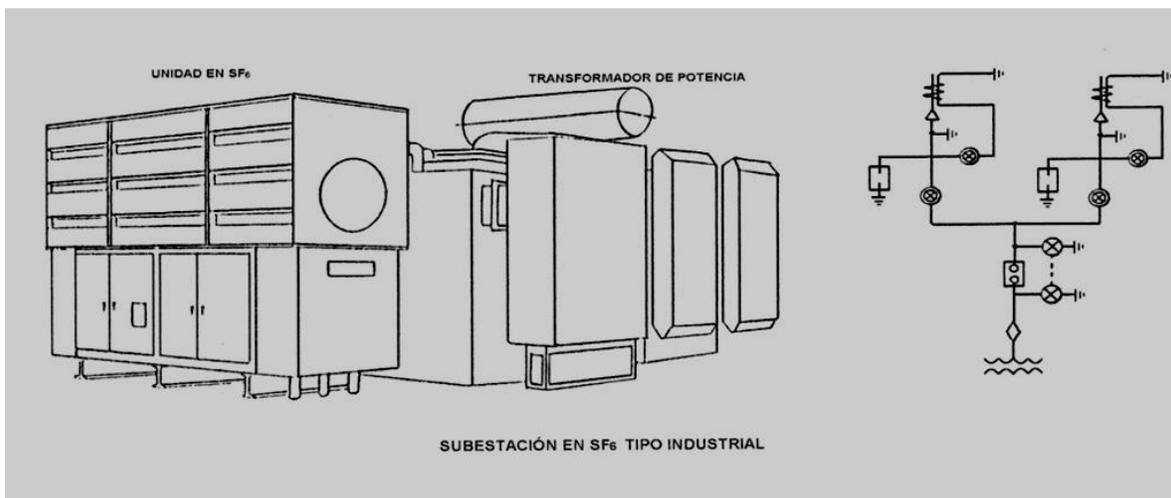


Se denomina así este tipo de subestación porque utiliza como aislante el gas hexafloruro de azufre (SF_6) que tiene un nivel alto de aislamiento y propiedades de enfriamiento de arco; es un gas elaborado por el hombre y que es utilizado en equipos eléctricos como son: hornos de arco, ventanas aislantes, neumáticos y calzado deportivo; siendo uno los seis gases del efecto invernadero enumerado por el protocolo de Kyoto.

El nivel de la presión de gas en el cual los equipos operaran estará en función del diámetro del conductor, el recinto, y la temperatura de operación del equipo; en caso de una baja presión se afectaría el nivel de efectividad de la fuerza dieléctrica y eliminación del arco eléctrico.

Las partes activas, como son: conductores de alta tensión, interruptores, transformadores de corriente, se encuentran dentro de la subestación aislada en gas y son protegidas del deterioro que pudiera surgir debido al medio ambiente que lo rodea y a su vez proteger que el SF_6 no contamine la atmosfera, con lo que a través del tiempo requiere menos mantenimiento que una subestación aislada en aire. Como consecuencia, los equipos son más reducidos, y por ende, la subestación ocupa menos espacio reduciendo entre el 10 % o 25 % con respecto a una subestación convencional.

A continuación se muestra el esquema de lo que es una subestación en SF_6



Características de una subestación aislada de gas

Material.- Los recintos son comúnmente hechos de aluminio, sin embargo, también pueden ser acero, en caso del acero es pintado por afuera y adentro para prevenir la oxidación. Por las propiedades del aluminio no es necesario pintarlo pero puede ser limpiado para mantenerlo limpio para que tenga una mejor apariencia. La elección de entre

aluminio y acero es basado en el costo (el acero es más barato) pero sobre todo de la zona donde se instalen, por ejemplo en zonas costeras el aluminio es absorbido por la sal, es por eso que ahí necesariamente la instalación debe ser de acero.

Soporte.- Las partes internas de la subestación se encuentran sobre aisladores epoxy los cuales son colocados de manera muy cuidadosa para prevenir la formación de huecos o grietas durante su instalación. El soporte de los aisladores debe inducir una baja tensión eléctrica

La experiencia muestra que la tensión de campo eléctrico dentro de los aisladores de epoxy debe estar por debajo de un cierto nivel para evitar el desgaste del material sólido dieléctrico.

Elementos que componen la subestación aislada en gas.- Esta conformada por módulos (interruptor de circuito, transformador de corriente, cuchillas de desconexión y puesta a tierra, bus interconector, protecciones y conexiones al resto del sistema eléctrico de potencia) para que al final sea ensamblada por lo que en sí este tipo de subestación eléctrica es de diseño compacto.

Interruptores.- El funcionamiento de los interruptores de circuito en una subestación aislada en gas provoca importantes aumentos internos de tensiones con un muy rápido tiempo de elevación del orden de nanosegundos, y un nivel de tensión pico de alrededor de dos por unidad. Estas sobre tensiones transitorias no representan un problema dentro de la subestación debido a su mínima duración. Aunque sí podrían afectar los cables de control, es por esta razón que es necesario tener estos cables blindados y aterrizados, ya que si se llegara a dañar por una sobre tensión transitoria, esta provocará una operación con fallas de los dispositivos de control.

La capacidad de los aisladores e interruptores de SF_6 influye en la densidad del gas, la presurización de este varía con la temperatura. En las subestaciones SF_6 el gas está a una

densidad por encima de la densidad mínima para el pleno dieléctrica y la interrupción de la capacidad, a fin de que el 10 % al 20 % del SF_6 de gas pueda perderse ante el deterioro.

Material del conductor.- La mayoría de los conductores de estas subestaciones también son de aluminio aunque hay fabricantes que utilizan el cobre, también podemos encontrar conectores con superficies de plata en caso de que estos transfieran corriente. Los aisladores son llenados cuidadosamente de resina epoxy para evitar la formación de vacíos y/o estallidos durante su funcionamiento.

Cuarto de control.- Para una fácil operación y conveniencia el cableado de la subestación SF_6 debe estar a espaldas de la subestación, se pone un cuarto de control; una cabina de control es proporcionado por cada posición de interruptor. Los cables de control y potencia de todos los mecanismos operativos, cuchillas auxiliares, alarmas; se llevan de los módulos de la subestación a la cabina de control local utilizando cables multi conductores de control blindados. Además, debe existir un mímico de un diagrama de la parte de la subestación que está siendo controlado, asociado con el mímico del diagrama deben indicar la posición del interruptor.

Esta cabina ofrece la ventaja de hacer la división de responsabilidades entre el fabricante de la subestación y el usuario en términos de abastecimiento de equipamiento.



Cuarto de control de una subestación aislada en gas

Además de los tipos de alarmas que usualmente se encuentra en el gabinete de control. El gabinete de control resulta ser muy caro comparándolo con el de una subestación de aire.

Ventajas

Existen varias ventajas al utilizar este tipo de subestación, por lo que a continuación se menciona las más representativas:

- *Simplificar* el diseño y mejorar la disponibilidad de las subestaciones, mediante el uso de módulos multifuncionales con diseños confiables.
- *Optimizar* la economía del ciclo de vida de las subestaciones en alta tensión, reduciendo los costos de instalación, operación y mantenimiento, y permitiendo también ampliaciones rápidas cuando es requerido.
- *Reducir* el impacto ambiental con un mínimo de uso de espacio (estéticamente hablando) y material (concreto, acero, fierro, cobre, aluminio, porcelana, aceite, gas).
- Instalaciones en áreas urbanas e industriales (reduce problemas de espacio)
- En áreas montañosas (reduce problemas de preparación de sitio, efectos dieléctricos de altura, problemas de nieve y hielo)
- Áreas costeras (reduce los problemas asociados con la contaminación salina)
- Subestaciones subterráneas (no requieren preparación de sitio).

Dentro de las cuestiones técnicas las ventajas de utilizar esta subestación:

- Flexibilidad en el arreglo
- Aislamiento protegido
- Alta confiabilidad y disponibilidad
- Larga vida de operación
- Seguridad para el personal
- Mejoría en la planeación y coordinación (dado que son ensambladas de fábrica)

Instalación

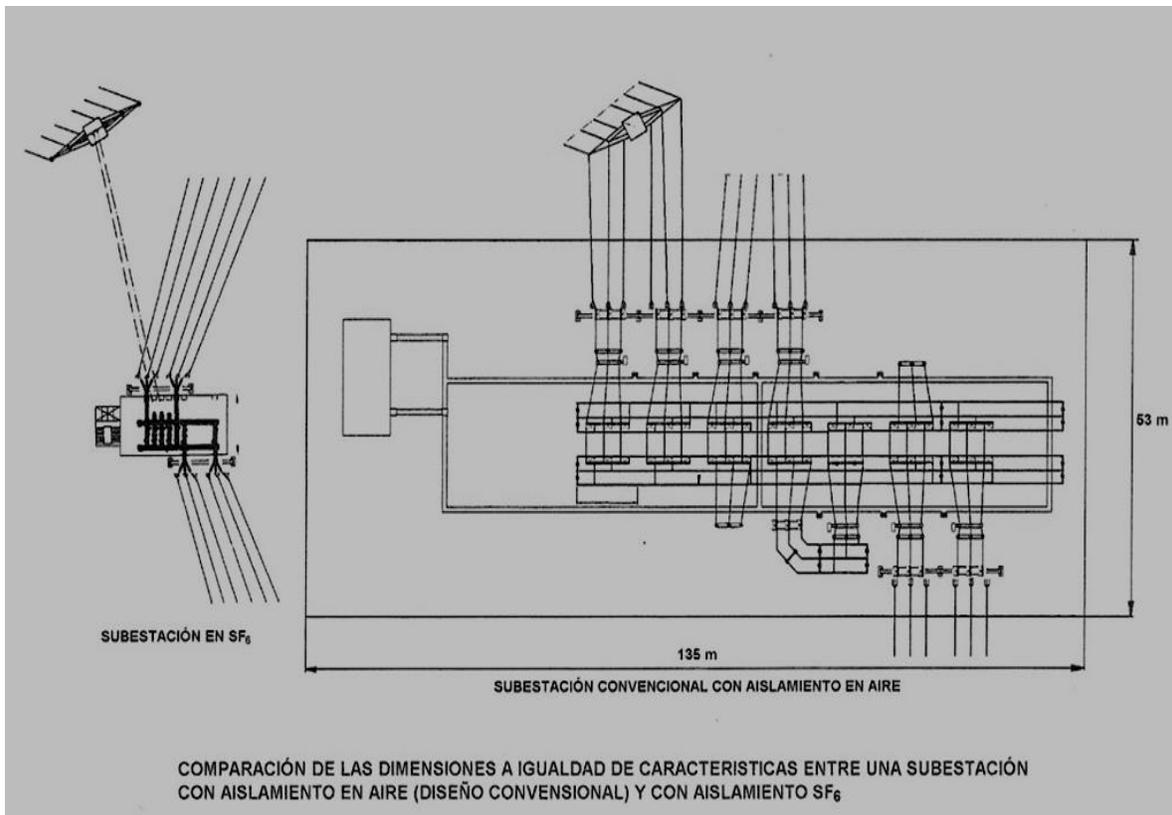
Existen distintos factores para poder hacer un diseño de una subestación, y la primera variable que conlleva a instalar una subestación **SF₆**, es el costo que tendrá a corto y largo plazo; por lo que a continuación se muestran los costos de inversión de la subestación **SF₆** que consiste en sus elementos, construcción y mantenimiento, a continuación se muestran los factores trascendentes a este:

Costos de inversión

- Equipo de alta tensión
- Estructuras de acero
- Equipo periférico
- Transporte, montaje y puesta en servicio
- Cimentaciones, ductos, bardas
- Costos del terreno
- Costos de preparación del terreno
- Costos de construcción de la obra civil

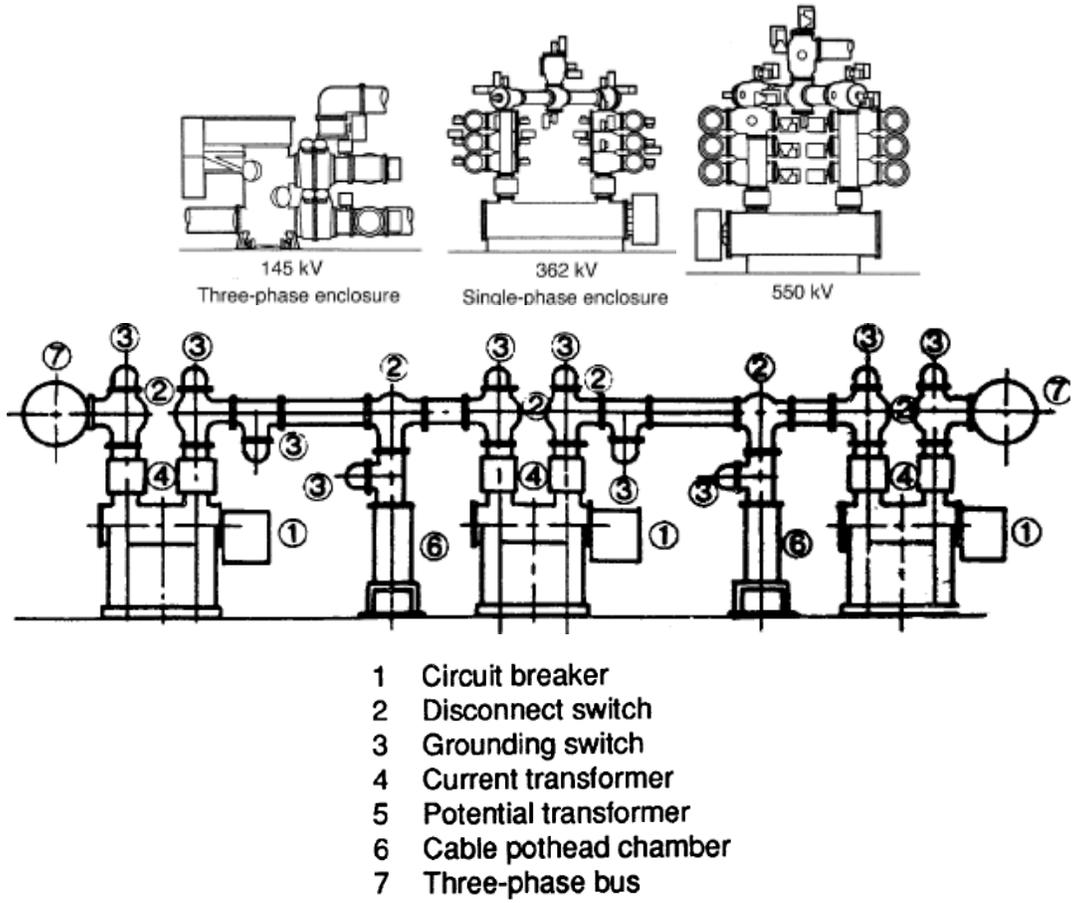
Costos de operación

- Rapidez de mantenimiento
- Partes de repuesto
- Costos generales de operación
- Resulta ser mayor la inversión con respecto a una convencional (aislada en aire), sin embargo tiene la ventaja de que su mantenimiento resulta ser más económico.



Duración de vida

El servicio de vida de las subestaciones **SF₆**, ha demostrado por experiencia que puede durar más de 30 años aunque durante ese período es probable que se requiera de alguna reparación o servicio mayor a la misma. Además que no necesita una inspección periódica interna o mantenimiento. Dentro del encapsulado hay un gas seco inerte que por sí mismo no es sujeto a envejecimiento al no haber ninguna exposición de las partes internas a la luz del sol. Eso debido a que dentro del recinto es seco y lo que tiene en su interior no está expuesto al exterior.



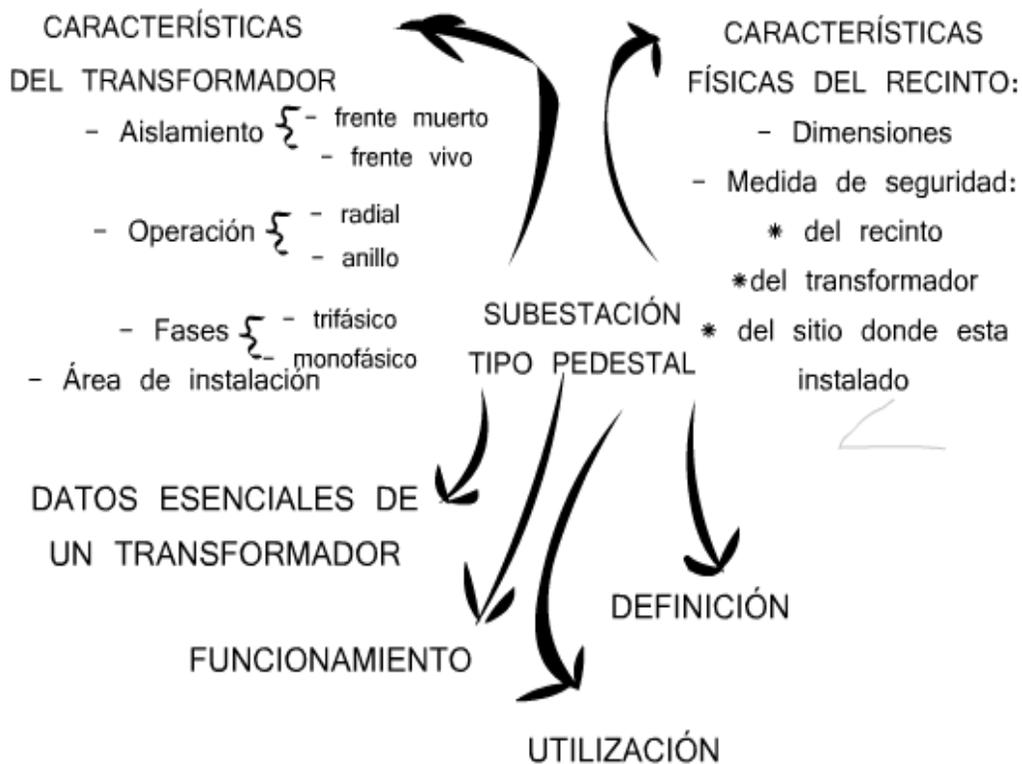
Todo equipo debe cumplir con ciertos estándares y normas mínimas de seguridad, lo que concierne para subestación **SF₆** está descrito en la IEEE Std. C37.122-1993; IEC, 1990.

En Media tensión, se encuentran subestaciones de **SF₆** de tres fases, mientras que en alta tensión, sólo existe un recinto por fase, esto debido a la magnitud de energía eléctrica.

2.2.2.4 Subestaciones tipo Pedestal.

Definición

Se le llama subestación tipo pedestal, aunque en realidad es un tipo de transformador. Tienen su aplicación en sistemas de distribución subterráneos, como son: centros comerciales, fraccionamientos, residenciales y lugares en donde la continuidad de servicio es un factor determinante.



Funcionamiento de la subestación tipo pedestal

La característica principal de la subestación tipo pedestal, se encuentra en que en el recinto se incorporan todos los componentes eléctricos, desde los aparatos de media tensión, elementos de control y hasta los cuadros de baja tensión, incluyendo el transformador, dispositivo de control e interconexiones.

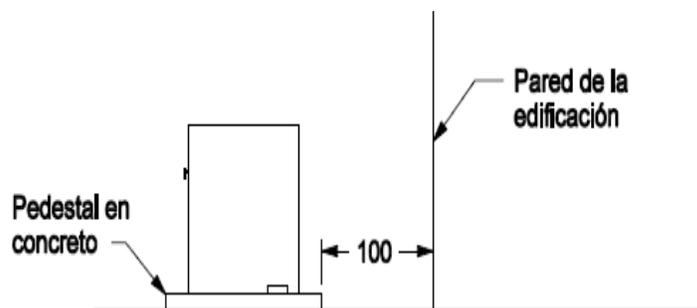
Su diseño de frente muerto lo hace seguro además de que tiene una apariencia muy estética.



Típico transformador tipo pedestal

Los transformadores tipo pedestal pueden ser instalados en el exterior o interior, utilizados como parte de un sistema de distribución subterráneo; este tipo de transformadores están integrados a un gabinete de servicio intemperie de frente muerto; cuando son instalados en bóvedas debajo del nivel del terreno, pueden quedar sumergidos totalmente en agua o lodo, por lo que la tapa, accesorios, boquillas, registros de mano y manijas de operación deberán estar selladas herméticamente.

Cuando se tiene un circuito de distribución subterránea, es conveniente tener acceso a los transformadores para su revisión y mantenimiento, el transformador se ubicará sobre una base o pedestal de concreto; como se muestra a continuación:





VISTA EN CORTE

Nota: Medidas en centímetros

Además tienen la ventaja de que al ser subterráneos, reducen los impactos visuales sobre el entorno. Su instalación es sencilla ya que únicamente se mete el monobloque dentro de la excavación dejándolo sobre una capa de concreto y se conectan los cables de acometida y tierra.

Utilización de una subestación tipo pedestal

Generalmente son utilizados en fraccionamientos residenciales, desarrollos turísticos y habitacionales, centros comerciales, edificios de oficinas, hoteles, hospitales y en aquellos lugares en donde la continuidad de servicio, la seguridad y la estética son un factor determinante, debido a este último punto, los fabricantes en competencia han reducido el volumen de los transformadores con el propósito de hacerlo más atractivo a la vista.

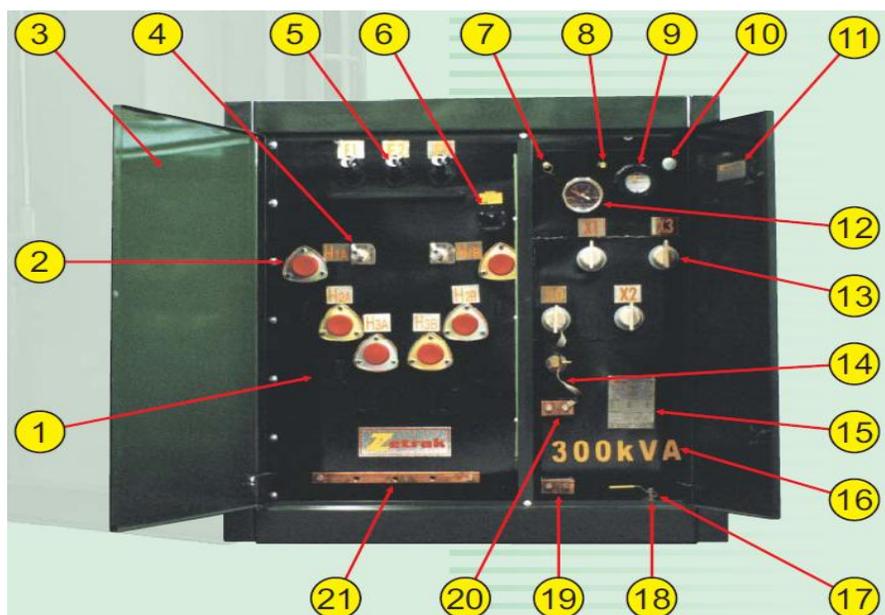


Además su instalación no es complicada, ya que puede reducirse a su posicionamiento donde haya una previa excavación, conectando los cables de acometida que entran a los centros de transformación precisamente por estas perforaciones en la base.



Los transformadores tipo pedestal también están siendo utilizados en pequeñas industrias. Su apariencia estética es agradable y requieren de un mínimo de espacio para su instalación.

Partes que contiene un transformador tipo pedestal



1) Soporte para conectores tipo codo	2) Boquilla de alta tensión
3) Gabinete	4) Seccionadores
5) Fusibles	6) Cambiador de variaciones

7) Válvula de alivio de sobrepresión	8) Provisión para manovacuometro*
9) Indicador del nivel del líquido aislante	10) Conexión superior para filtro
11) Placa de datos de accesorios	12) Termómetro tipo cuadrante*
13) Boquilla de baja tensión	14) Puente de baja tensión a tierra
15) Placa de datos	16) Datos estarcido de la capacidad
17) Válvula de drenaje y válvula de muestreo	18) Tapón de drenaje y válvula de muestreo
19) Conexión de la baja tensión a tierra	20) Conexión del tanque a tierra tipo B
21) Barra para conexión a tierra en alta tensión	<ul style="list-style-type: none"> • Aplican a partir de 225 kVA

Características del transformador

Los transformadores tipo pedestal, pueden clasificarse según el tipo de aislamiento de sus accesorios:

- De frente muerto: son aquellos que no tienen partes vivas expuestas en el compartimiento de Alta Tensión, estando el transformador energizado.
- De frente vivo: son aquellos que tienen partes vivas expuestas en el compartimiento de Alta Tensión.

Las características determinantes para el tipo de transformador deseado, son:

1) Operación radial

Se aplica en sistemas de distribución subterráneos donde la acometida es terminal. Tiene la desventaja de que si por alguna razón la energía en las líneas de alimentación se interrumpe, el transformador no podrá ser energizado de manera rápida.

2) Operación anillo

Se aplican en sistemas de distribución subterráneos, donde la acometida corre de un equipo a otro hasta llegar a un equipo terminal, otras de las veces corre hasta llegar la otra acometida llegando a formar un sistema en anillo, garantizando el suministro de energía.

3) Transformadores trifásicos

Puede ser de operación radial y anillo en capacidad de 30 hasta 2500 kVA, en tensiones de 13.2, 23 KV. Para transformadores mayores de 225 KVA, los requisitos de la norma NOM-001-SEDE-2005 (Utilización) son más extensos, y se requiere de equipo adicional de seccionamiento.

4) Transformadores monofásicos

Puede ser de operación anillo.

Prácticamente cada empresa eléctrica que se dedica a la manufacturación de transformadores, los construye con sus propias características y adecuándose a las necesidades del cliente, condiciones de carga, de terreno, climatológicas, etc.

Datos esenciales en un transformador pedestal

La siguiente tabla muestra los datos que se tienen que proporcionar para elegir el transformador idóneo a la necesidad del usuario final

Fases	Capacidad en kVA		Tensión Primaria Kv	Tensión Secundaria V	Operación	Conexión	Norma de fabricación
	Monofásicas	Trifásicas					
Monofásica	25	30	13.2	220/127	Radial	Delta - Estrella	NMX-J-285
Trifásica	37.5	45	23	440/254	Anillo	Estrella - Estrella	
	50	75	33/19	480/277			
	75	112.5					
	100	150					
	167	225					
		500					
		750					
		1000					
		1250					
		1500					
		2000					
		2500					

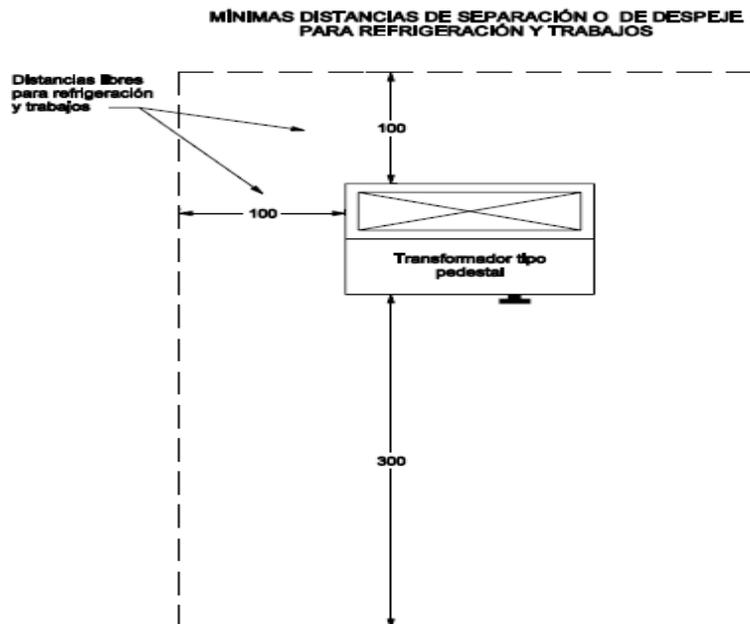
Existen otros datos, sin embargo, se dan en casos particulares como son:

- Elevación de temperatura
- tipo de enfriamiento
- líquido aislante
- número de derivación

Características del área de instalación

El transformador debe mantener ciertas medidas de seguridad, por lo que cabe decir que este tipo de transformador debe ser instalado en lugares de poco tránsito y en los cuales sólo debe tener acceso personal autorizado; esto puede garantizarse por medio de cercas, barreras de contención o lo necesario para evitar el acceso.

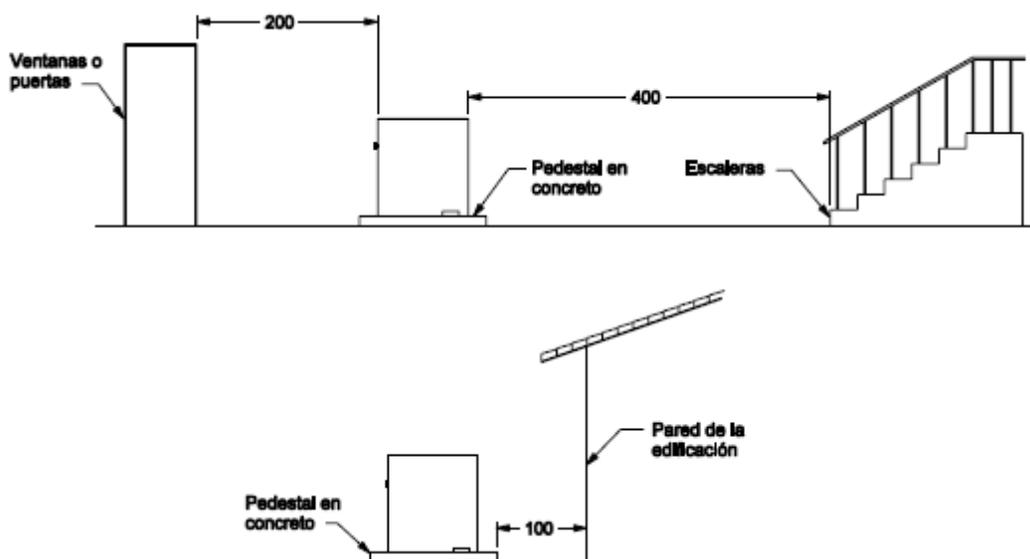
Si el transformador se encuentra en interiores, por ejemplo: una bóveda, se debe cumplir con las medidas de seguridad³, a continuación se muestra la ubicación que deben tener el transformador dentro del local.



³ Con lo establecido al artículo 450 “Transformadores bóvedas para transformadores” de la NOM-001-SEDE-2005

Notas:

- 1) Dentro del área demarcada no podrán existir estructuras permanentes, cercas fijas o plantaciones de arbustos o flores. Estas son las distancias mínimas para la existencia de cualquiera de ellas.
- 2) Tres metros libres como mínimo son requeridos desde la parte frontal de la puerta del transformador pedestal, para su operación.
- 3) Un metro libre es la distancia mínima a cualquier pared combustible



Notas:

- 1) Dos metros es la distancia libre que debe existir entre el transformadores pedestal y puertas o ventanas
- 2) Cuatro metros es la mínima distancia libre que deben existir entre el transformador pedestal y escaleras de acceso.
- 3) Los transformadores pedestal no deben ser localizados directamente en frente o debajo de ventanas, puertas o escaleras.

Los transformadores tipo pedestal los cuales son refrigerados en aceite no deben ser instalados en niveles o pisos que estén por encima de sitios de habitación, oficinas y en general lugares destinados a ocupación permanente de personas.

Características físicas de un transformador pedestal (ANS C57.12 PAD –MOUNTED ENCLOSURE)

Existen distintas normas, sin embargo cada una de ellas vigila el buen funcionamiento y seguridad del equipo y personal, existen pequeñas diferencias entre estas, sin embargo se asemejan y persiguen los mismos fines.

Un recinto tipo pedestal contiene aparatos eléctricos y normalmente se encuentra localizado en el exterior a nivel de la superficie donde la gente está en contacto directo con el recinto, por tal razón es fundamental cuidar y asegurar que el lugar donde se encuentre deba tener las siguientes características para transformadores tipo pedestal que manejan más de 600 V.

Medidas de seguridad del recinto tipo Pedestal

- El borde inferior del recinto debe proveer una altura al nivel del piso, este tiene que ser rígido.
- El recinto debe estar sellado de manera que el agua no se introduzca dentro para no deteriorar la operación de los aparatos.
- Las esquinas del recinto deben ser lo menos afiladas.
- El ensamble de los paneles debe asegurar la resistencia contra golpes, fisuras y tratos de desembalaje, en posición en que el recinto se encuentre cerrado; la única manera de abrirlo será mediante su apropiado acceso.
- No se expondrán tornillos, cerrojos u otro dispositivo que sea posible de remover y que proporcionaría acceso a los equipo de alta tensión del recinto.
- Los pernos y cerrojos que se utilicen para la construcción del recinto deben ser de acero o de material resistente a la corrosión

- El recinto debe ser de un material resistente al fuego
- Debe tener una cerradura específica para que no sea abierto por alguna persona no autorizada.
- Los compartimientos serán accesibles solamente desde el interior.
- La pintura de todo transformador deberá ser durable y resistente a la corrosión.
- Los materiales del recinto deben ser anticorrosivos, protección ultravioleta.
- El color del recinto debe ser verde.

Medidas de seguridad del transformador

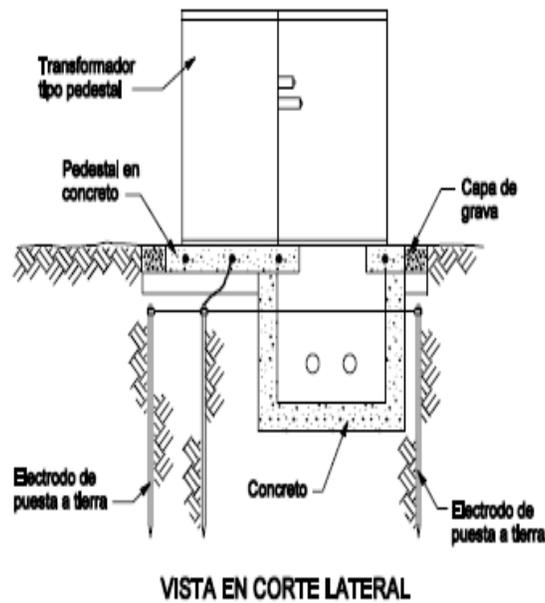
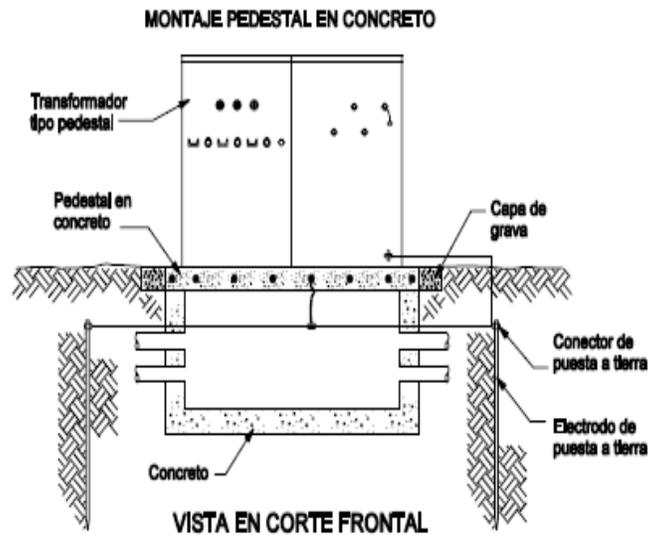
- Los comportamientos de alta y baja tensión deben estar localizados uno al lado del otro, en un lado del tanque del transformador. Visto desde el frente, el compartimiento de baja tensión debe estar a la derecha.
- El transformador contará con un indicador de nivel del aceite localizado en el compartimiento de baja tensión. Así mismo, contará también con dos válvulas, una de entra para el relleno del aceite y otra de salida, para el vaciado.
- Para eliminar sobre presiones internas, el tanque deberá estar equipado con una válvula de alivio.

Medidas de seguridad del sitio donde está instalado la subestación tipo pedestal

- Accesibilidad, todo el exterior del recinto debe ser accesible para el propósito de inspección y mantenimiento.
- Acumulación de contaminación, el recinto debe ser diseñado para minimizar la contaminación y expuestos a elementos corrosivos.
- En caso de deterioro del recinto, debe tener un mantenimiento correctivo de acuerdo a los lineamientos establecidos por la empresa.
- En ambientes de costa, debe estar en tierra a no menos de 762 metros de alguna línea principal de agua, ya sea río, tubería o mar.

Dado el trabajo que va a realizar el transformador y el lugar donde se va a localizar es necesario unir la malla de puesta a tierra del transformador a la malla de hierro que

constituye el refuerzo estructural de la base pedestal de concreto, cabe decir que el conector y el par galvánico en la unión entre el hierro y el cobre debe evitar la corrosión. De igual manera el tanque o chasis del transformador se conectará también a la malla de puesta a Tierra.



Notas:

- 1) La estructura, dimensiones y ubicación de los pernos de anclaje del pedestal de concreto, deben ser acordadas con el fabricante del transformador pedestal.

Más adelante, se profundizará en el tema de sistemas de Tierra.

En el caso de que el transformador se ubique dentro de un interior, es primordial para la seguridad la necesidad de construir una fosa para contener el derrame del aceite y evitar la propagación de un incendio; las paredes deben ser resistentes al fuego de mínimo tres horas y ser impermeabilizados para evitar humedad y oxidación.



Transformador tipo pedestal en interior

El acceso del personal, se realiza por un hueco que está cubierto por una tapa.

2.3 Elementos que componen la subestación

Se da el nombre de subestación eléctrica, al conjunto de elementos que sirven para alimentar el servicio eléctrico de alta tensión, a un local con una demanda grande de energía para obtener luz, fuerza, calefacción y otros servicios, dichos elementos intervienen en el proceso de generación-consumo de energía eléctrica de tal forma que nos permiten cambiar o mantener las características de dicha energía en tensión, frecuencia, corriente, etc. a lo largo de una trayectoria.

No obstante el elevado costo inicial de las subestaciones, le convienen al usuario debido a que las cuotas de consumo medidas en alta tensión son mucho más económicas que cuando los servicios son suministrados por la empresa en baja tensión.

El buen funcionamiento de una subestación está basado en su funcionalidad, confiabilidad y durabilidad a través del tiempo, estas variables están en función del diseño y equipo instalado en la subestación.

Al diseñar una subestación, se puede hacer cumplir con los requerimientos que se piden y finalmente hacer que esta funcione, sin embargo con el transcurso del tiempo, el medio ambiente, tipo de uso y tiempos de mantenimiento el equipo se desgasta y en consecuencia deja de operar para posteriormente deteriorarse y quedar inservible.

El transformador al ser el equipo que da vida operacional a una subestación debe desde su diseño, instalación, puesta en marcha, operación y mantenimiento ser manejado de manera responsable para evitar daños al mismo, además del equipo concerniente (cuchillas, interruptores, etc.) y una preparación de los operadores que se encuentren cerca de él. En este tema se explicará su función, características, definición en media tensión e importancia.

Dentro de los elementos que componen a una subestación, existe gran cantidad de equipos que son primordiales para evitar un daño severo a todo el sistema de la subestación en caso

de alguna emergencia y así evitar que el equipo quede fuera de servicio por un período prolongado, dentro de ellos se pueden mencionar los aparatos de corte (seccionadores, cuchillas, interruptores, etc.) y distintos tipos de protecciones a los equipos que en este tema se mencionarán. La importancia de cuidar la continuidad de la energía eléctrica se debe a distintas necesidades donde los equipos eléctricos deben estar funcionando todo el tiempo, como son: la alimentación a las computadoras con bancos de memoria o servidores, servicios médicos y áreas industriales.

Sobrecargas

Las sobrecargas se definen como corrientes que son mayores que el flujo de corriente normal, están confinadas a la trayectoria normal de circulación de corriente y pueden causar sobrecalentamiento del conductor si se permite que continúe circulando.

Las sobrecargas se pueden producir de distintas maneras, por ejemplo, cuando el circuito de un motor, las chumaceras del mismo o las chumaceras del equipo que acciona el motor operan calientes porque falta de lubricación, provocando que se transmita calor sobre el eje lo que puede ejercer cierto frenado, lo cual se traduce como una sobrecarga ya que no puede girar a su velocidad y es posible que se pare totalmente.

El exceso de corriente que demanda es “visto” por el dispositivo de protección de sobrecorriente como una sobrecarga. Otro ejemplo más común puede ser el de un circuito derivado en una casa- habitación, que puede estar dimensionado en forma conveniente y protegido por un dispositivo de sobrecorriente, pero sí un aparato adicional se conecta, causa un exceso de corriente sobre la capacidad del circuito y el fusible se funde. Esto ocurre también en una situación de sobrecarga.

En general una sobrecorriente que no excede de cinco a seis veces la corriente normal cae dentro de la clasificación de una sobrecarga, aún cuando pudiera ser un cortocircuito y ser “visto” por el dispositivo de protección como una sobrecarga.

Cortocircuito

El cortocircuito se puede definir como una corriente que se encuentra fuera de sus rangos normales. Algunos cortocircuitos no son mayores que las corrientes de carga, mientras que otros pueden ser muchas veces más los valores de la corriente normal.

Un cortocircuito se puede originar de distintas maneras, por ejemplo, la vibración del equipo puede producir en algunas partes pérdida de aislamiento, de manera que los conductores queden expuestos a contacto entre sí o a tierra.

Otro caso puede ser el de los aisladores que pueden estar excesivamente sucios por efecto de la contaminación, y en presencia de lluvia o llovizna ligera, puede producir el flameo del conductor a la estructura (Tierra), cualquiera que sea la causa; los cortocircuitos son por lo general el resultado de una ruptura dieléctrica del aislamiento, esta ruptura se puede presentar ya sea que el aislamiento sea hule, madera, cinta de lino barnizada, o bien una distancia en aire.

El cortocircuito tiene por lo general tres efectos:

- 1) Arco eléctrico. Este es similar al que se presenta cuando se usa soldadura eléctrica, ya que es un arco muy brillante y caliente y se puede presentar en un rango de corriente que va de unos cuantos hasta miles de amperes. El efecto de la falla es muy dramático, ya que el arco quema prácticamente todo lo se encuentra en su trayectoria.
- 2) Calentamiento. Cuando un cortocircuito tiene una gran magnitud de corriente, causa severos efectos de calentamiento, por ejemplo, una corriente de falla en un conductor de cobre, puede producir una elevación de temperatura mayor a los 100° C en menos de un ciclo de duración de la falla, estas temperatura podrían iniciar el fuego en algunos materiales vecinos.

- 3) Esfuerzos magnéticos. Debido a que un campo magnético se forma alrededor de cualquier conductor cuando circula por él una corriente., se puede deducir fácilmente que cuando circula una corriente de cortocircuito de miles de amperes, el campo magnético se incrementa muchas veces y los esfuerzo magnéticos producidos son mayores.

Podremos tener uno de los mejores diseños de una subestación que sea seguro y confiable, sin embargo, sí el lugar donde se encuentra la subestación es propicio a inundaciones, terremotos, deslaves, erupción volcánica o algún otro agente, no cumplirá con su objetivo por lo que otro punto a explicar de importancia son tanto los locales como los terrenos donde se lleve a cabo la construcción.

2.3.1 Aparatos de corte

Definición

Un aparato de corte es un aparato destinado a cortar o establecer la continuidad de un circuito eléctrico con o sin carga.

Clasificación

La parte crucial para definir un aparato de corte es la finalidad que desempeña. Por ejemplo, funciona para dejar fuera una parte del circuito de la red eléctrica logrando así que dicha parte se quede completamente sin carga o como medida de protección para evitar la propagación de de una falla sobre toda la red. Cada aparato de corte tiene un fin por lo que para su entendimiento, lo desglosamos en:

Tipo 1 Cuchillas

Su función es conectar y desconectar diversas partes de una instalación eléctrica, se encuentra normalmente al inicio de las líneas principales de alimentación. Tiene la característica de que no puede interrumpir una corriente de falla o cuando esté fluyendo corriente.

Las cuchillas en media tensión y alta tensión deben manejarse de una manera específica dado que un mal uso puede provocar un daño personal a quien esté operando el equipo, por lo que el proceso de abrir y cerrar una cuchilla es una actividad muy importante; y mencionamos este proceso:

- 1) Desconexión del interruptor principal.
- 2) Abrir la cuchilla que se tiene contemplado
- 3) Colocación del candado de seguridad en el interruptor principal y cuchilla (siempre que sea posible), de esta forma evitamos que otro operario involuntariamente conecte el circuito.

- 4) Colocación del cartel indicativo de avería eléctrica, mantenimiento o similar
- 5) Ahora se puede manipular la instalación afectada.

Para el proceso de conexión, se procede de forma inversa.

Clasificación de cuchillas

- 1) Por su operación (con carga o sin carga)
- 2) Por ser manuales o motorizadas
- 3) Por su forma de desconexión

La anterior clasificación parte de las bases de una cuchilla y en el mercado existe una gran variedad de estas, al escoger el tipo de cuchilla adecuada de acuerdo a nuestras necesidades, necesitamos los siguientes valores:

- 1) Tensión nominal de separación
- 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.

Tipo 2 Fusibles

En una instalación eléctrica, los equipos eléctricos pueden ser dañados debido a fallas en el sistema eléctrico, como es una sobrecorriente que es causado por sobrecargas o cortocircuito. Para proteger dichos efectos se utilizan los fusibles que en sí, son dispositivos que evitan la propagación de la anomalía en la red eléctrica.

Clasificación.

Existe una gran variedad de fusibles, los cuales van acorde a su capacidad continua de conducción de corriente. Analizaremos los fusibles para sistemas arriba de 600 V.

En cualquiera categoría de fusibles, la información que debe ser proporcionada son:

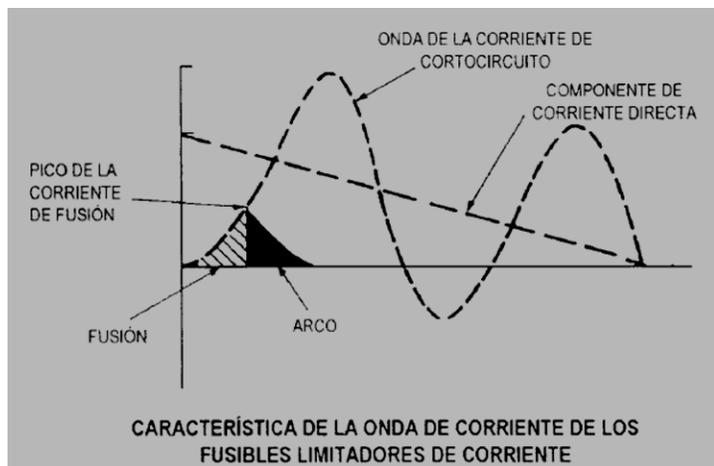
- 1) Capacidad normal (continúa)
- 2) Capacidad anormal (de interrupción)

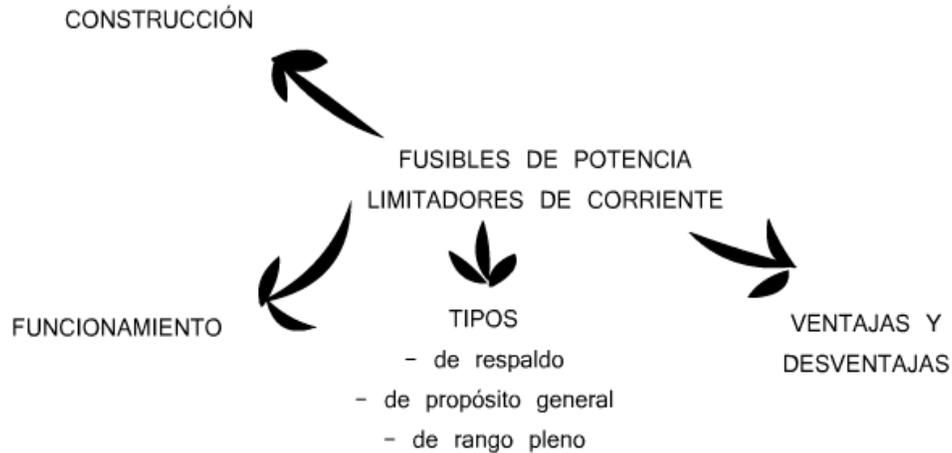


Tipos de fusibles

- a) Fusibles de potencia limitadores de corriente

Antes de que la corriente de cortocircuito tenga tiempo de alcanzar su valor pico se funde el fusible, por lo que limita la corriente a niveles seguros para equipo.





Construcción

El fusible limitador de corriente está integrado por uno o más elementos de cintas metálicas perforadas o con determinada configuración dentro de un tubo aislante, resisten a grandes presiones provocadas por las energías térmicas generadas durante el arqueo. Las cintas metálicas (comúnmente de plata o elementos sensibles a la corriente) están rodeadas íntimamente por arena sílica (SiO_2) o de cuarzo con la finalidad de extinguir el arco eléctrico producido por alguna falla y soportar la alta presión durante su operación.

Funcionamiento

Durante la operación por corto circuito, con valores de corriente comprendidos entre su rango limitador de corriente, el fusible operará (romperá) simultáneamente en todas las zonas que se diseñen para esta finalidad (perforaciones o secciones transversales reducidas) generando tensiones de arco, en cada una de estas secciones reducidas, de aproximadamente 50 volts (plata) que al reaccionar con la arena sílica que lo rodea se forma fulguritas, dando lugar a la inserción de una alta resistencia en un tiempo muy pequeño, originando así la aparición de una tensión de arco cuasi instantánea a través del fusible de magnitud apreciablemente mayor a la tensión normal del sistema. Y puesto que la magnitud de resistencia óhmica del fusible, durante el arqueo y posterior a éste, es muy grande, origina en el circuito eléctrico un factor de potencia cercano a la unidad (durante el tiempo que toma el fusible para interrumpir la falla) y motiva a alcanzar a la tensión,

lográndose la extinción total muy cerca del cero de tensión; por este motivo, los fusibles limitadores son prácticamente insensibles a las condiciones de la TTR.

El éxito de un fusible limitador de corriente dependerá de la tensión de arco generada y mantenida a través de los múltiples arcos que se originan durante la operación del fusible.

Tipos de limitadores de corriente

- 1) Fusible de respaldo, es aquel que puede interrumpir cualquier corriente desde su valor máximo hasta su corriente mínima de ruptura (diseñado para tiempos cortos).
- 2) Fusible de propósito general, Es el que puede interrumpir cualquier corriente desde su máxima nominal, hasta una corriente que funda el elemento en una hora (3600 segundos)
- 3) Fusible de rango pleno o rango completo, puede interrumpir cualquier corriente desde su máximo valor nominal hasta cualquier corriente que funda el fusible en tiempos mayores a una hora.

Ventajas	Desventajas
Posee una excelente capacidad de limitación de corriente	Costo alta del fusible
Su capacidad de limitación de corriente se mantiene aún cuando se incrementa la tensión del sistema	Costo alto del porta fusible
Interrumpe con seguridad aún cuando las condiciones de la tensión transitoria de restablecimiento sean muy severas	Manejo delicado
Algunos diseños pueden sumergirse en líquidos	Cuidado en el ajuste del mecanismo de disparo del porta fusible
Operación silenciosa	Mayor peso y dimensiones
No contaminan	El diseño para operar a bajas corrientes de falla, es más complicado, al igual que su fabricación
No contribuye a incrementar la presión del tanque del transformador	No son fácilmente coordinables con otros tipos de protección, ya que poseen una característica corriente – tiempo muy inversa

- b) Fusibles de potencia no limitadores de corriente.

Es más usado en sistemas de 600V o menores, su estructura básica es un tubo de aislante con extremos atornillables y un eslabón conectado entre los dos contactos en los extremos

del tubo para el paso de corriente. Algunos están hechos de tipo expulsión lo que significa que expulsan gases calientes al momento de operar.

Fusible tipo expulsión.

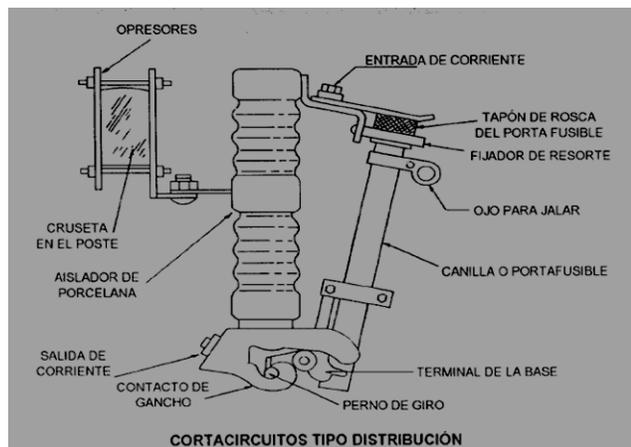
Construcción

Está formado por un pequeño eslabón fusible, el cual al fundir provoca que el arqueo producido genere gases desionizantes del material vecino (ácido bórico, melanina, resinas fenólicas, fibra vulcanizada, resinas termo plásticas, tetacloruro de carbono, hexafloruro de azufre y otras) provocando una gran turbulencia alrededor del arco, de manera que cuando la corriente pasa por un valor natural cero, el canal de arco se reduce a un mínimo quedando interrumpido el flujo de corriente, pudiéndose expulsar los gases hacia el exterior del fusible, por lo que no se usa en interiores

Ventajas	Desventajas
Son de operación de rango pleno	Operación ruidosa
Menor costo del fusible	Generación de gases contaminantes
Menor costo del porta fusible	Diseños con menor capacidad interruptiva
Menor peso y dimensiones	Contribuye a incrementar la presión del tanque del transformador
Fácil manejo	
Menor tiempo en la reposición	
Mayor rango de capacidades de corriente	

c) Fusible tipo distribución para uso en cortocircuitos

Se utilizan principalmente en redes de distribución aéreas, su uso en instalaciones industriales está limitado debido a la restricción de su aplicación en instalaciones tipo interior. Se caracteriza porque la mayoría emplea un aislador de porcelana que soporta el cartucho que contiene el elemento fusible



Definiciones

Para poder determinar y escoger el tipo de fusible acorde a una necesidad, es necesario comprender los conceptos que se manejan para el tema.

- 1) Corriente mínima de fusión, es la corriente mínima que provoca la operación del elemento sensible a la corriente en un tiempo especificado y bajo condiciones establecidas, siempre es mayor que la corriente nominal.
- 2) Tiempo de fusión o prearqueo, es el tiempo desde el instante que el fusible detecta la sobrecorriente, hasta el momento en que ocurre la fusión y la separación del elemento sensible a la corriente.
- 3) Tiempo de arqueo, es el tiempo inmediato después de haber terminado la fusión hasta la extinción total del arco.
- 4) Tiempo de interrupción total, es la suma de los tiempos de fusión y de arqueo.
- 5) Corriente de corto circuito o prospectiva, es la corriente de corto circuito que fluiría en un circuito eléctrico, sino fuera limitada por la apertura de un fusible limitador.
- 6) Corriente instantánea de paso libre o corriente pico de fuga, es la corriente máxima que circula por un fusible, durante el tiempo total de interrupción.
- 7) Característica It^2 , es la energía resultante del flujo de corriente a través del fusible y se aplica normalmente para el tiempo de fusión, el de arqueo o el de interrupción total que es la energía requerida por el fusible para operar.
- 8) Capacidad interruptiva, es la máxima corriente simétrica o la más alta corriente directa que un fusible puede interrumpir satisfactoriamente.
- 9) Tensión de restablecimiento o de recuperación, es la tensión que aparece en las terminales de un fusible después que la corriente ha sido interrumpida y está formada por la tensión transitoria de restablecimiento y la tensión de restablecimiento a frecuencia industrial.
- 10) Tensión transitoria de restablecimiento (TTR), es aquella que aparece en condiciones transitorias inmediatamente después de la fusión del elemento sensible a la corriente y sus características dependen básicamente de los parámetros R, L y C del circuito en donde se encuentra instalado.

- 11) Tensión de restablecimiento a frecuencia industrial, esta, aparece inmediatamente después de que termina la parte transitoria.
- 12) Curvas características corriente – tiempo, son las curvas que muestran la relación entre la corriente alterna simétrica o la corriente directa y el tiempo de operación de los fusibles, generalmente dentro del intervalo de 0.01 a 1000 segundos. También se le conoce como características de tiempo inverso.

Tipo 3. Interruptores.

Así como las cuchillas, los interruptores cumplen con la función de conectar y desconectar un circuito; con la ventaja de que este cambio se puede realizar con o sin carga.

Los interruptores pueden funcionar con corrientes, ya sea de naturaleza capacitiva (líneas en vacío, maniobras con bancos de capacitores), resistiva o inductiva (como lo son la mayoría de las cargas). Y esto es cuando los equipos están energizados, como son: máquinas, aparatos, líneas aéreas o cables ya sea en condiciones normales o en cortocircuito.

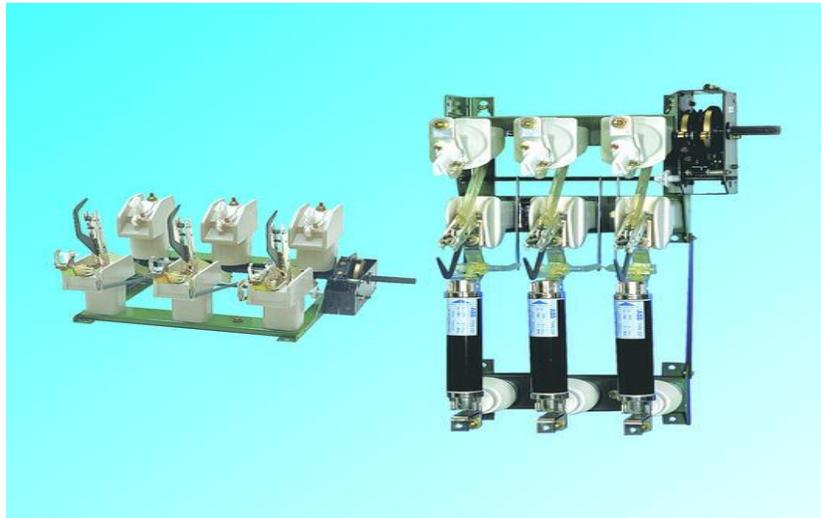
Un interruptor debe ser capaz de “cortar” desde corrientes débiles capacitivas o inductivas hasta elevadas corrientes de cortocircuitos, y por ende, extinguir los potentes arcos eléctricos resultantes.

El interruptor es junto con el transformador, el dispositivo más importante de una subestación debido a que su comportamiento determina el nivel de confiabilidad que se puede tener en un sistema eléctrico de potencia.

El interruptor está formado por tres partes principales:

- a) Parte activa. Constituida por las cámaras de extinción que soportan los contactos fijos y el mecanismo de operación que soporta los contactos móviles.
- b) Parte pasiva. La cual desarrolla las funciones siguientes:
 - 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 incluidos los siguientes componentes:
- Boquillas, terminales que a veces incluyen transformadores de corriente.
 - Válvulas de llenado, descarga y muestreo de fluido aislante.
 - Conectores de tierra.
 - Placa de datos.
 - Gabinete que contiene los dispositivos de control, protección, medición, y accesorios como compresora, resorte, bobinas de cierre de disparo, calefacción, etc.



Interruptor aislado en aire
Puede ser utilizado en celdas de Media Tensión y en Sistemas Modulares Compactos
Tensión nominal (kV)12 - 24 Intensidad nominal (A)400 - 1250

Parámetros de los interruptores.

- Tensión nominal.
- Tensión máxima.
- Corriente nominal.
- Corriente de cortocircuito inicial.

- Corriente de cortocircuito.
- Tensión de restablecimiento.
- Resistencia de contacto.
- Cámaras de extinción del arco.

Existen distintos tipos de interruptor y pueden clasificarse por su capacidad, por su tensión de operación o por sus clases, sin embargo, por regla general se agrupan según el tipo de medio de interrupción usado. Para voltajes de media tensión, se dividen en 4 grupos principales:

- Interruptores en aire
- Interruptores en vacío
- Interruptores en aceite
- Interruptores en gas.

Interruptores en aire.

Existen dos tipos de interruptores de aire, los de sople de aire y los de aire comprimido, en ambos casos como su nombre lo indica, interrumpen solo con aire entre sus contactos, es decir el arco se disipa por enfriamiento en las placas cerámicas, se pueden usar en instalaciones al exterior siempre y cuando se instalen en casetas a prueba de intemperie y de lo que conlleva (polvo, lluvia, etc.).

Los interruptores de sople de aire, tienen una forma de extinguir el arco mediante la utilización de energía exterior para soplar y apagarlo. Todos estos interruptores siguen el principio de separar sus contactos en una corriente de aire que se establece al abrir una válvula de soplado. Entre sus ventajas encontramos las siguientes:

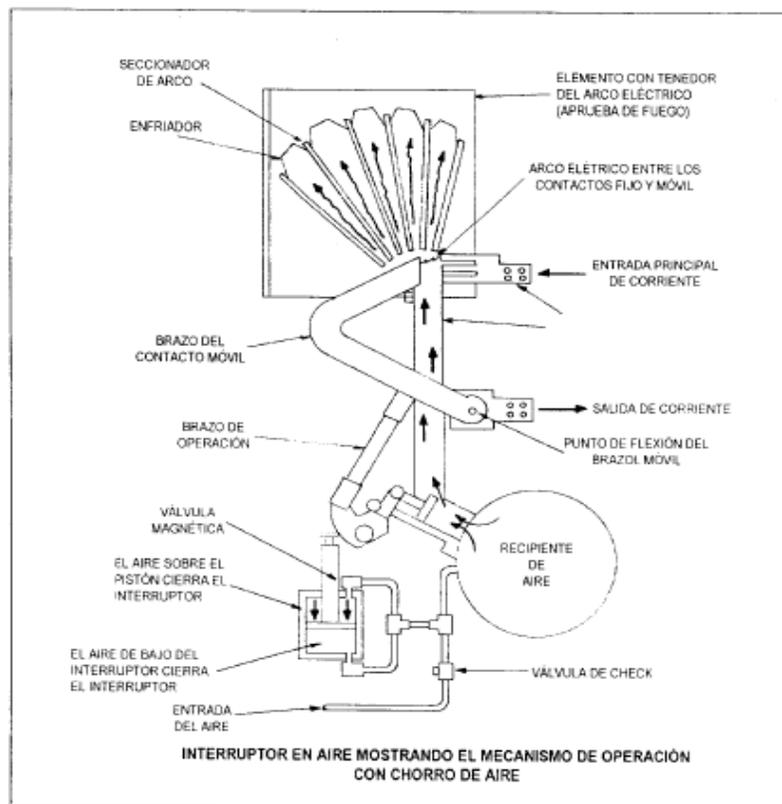
- No implican peligro de explosión ni de incendio.
- Su operación es muy rápida.
- Son adecuados para el cierre rápido.
- Su capacidad de interrupción es muy alta.
- La apertura de las líneas de transmisión sin carga o la de sistemas altamente capacitivos, no representa mucha dificultad.
- Se tiene fácil acceso a sus contactos.
-

Estos interruptores de sople de aire han dominado las aplicaciones de alta y muy alta tensión. A partir de 170 kV hasta 800 kV y con capacidades de ruptura de 20 kA hasta 100 kA. Por tal motivo únicamente los mencionamos durante el presente documento.

Los interruptores de aire comprimido se pueden usar tanto para exteriores como para interiores, pero los mecanismos del interruptor deben estar instalados en una caseta a prueba de intemperie. Los podemos encontrar para tensiones en un rango de 2.4kV y 34.5kV, con el paso del tiempo cada fabricante ha implementado innovaciones en estos dispositivos y al igual que los otros componentes de la instalación eléctrica, se escogen de

acuerdo a los regímenes de operación de la subestación para brindar seguridad y confiabilidad en la operación de la misma.

En el siguiente esquema se muestra una sección transversal del mecanismo de un interruptor en aire. *El aire de una fuente de aire comprimido se usa, ya sea para abrir o para cerrar la navaja de los contactos móviles bajo carga eléctrica, un arco se iniciará entre la navaja móvil y los contactos fijos. Para prevenir daño por calentamiento, se inyecta un chorro de aire justo en el momento en que se debe extinguir el arco.*⁴



Esquema que nos muestra el funcionamiento de un interruptor de aire comprimido.

Interruptores en vacío.

Los mejores aisladores de electricidad o dieléctricos son aquellos materiales que presentan la mayor separación entre electrones libres y así el menor número de estos. Debido a su naturaleza, el vacío constituye una ausencia de cualquier sustancia, la alta rigidez dieléctrica que presenta (es el aislante perfecto) ofrece una excelente alternativa para apagar en forma efectiva el arco. Este tipo de interruptores tienen principalmente aplicación en voltajes medios hasta 35kV, aunque existen también para alta tensiones de hasta 70kV.

Cuando un circuito en corriente alterna se desenergiza separando un juego de contactos ubicados en una cámara en vacío, la corriente se corta al primer cruce por cero o antes, con la ventaja de que la rigidez dieléctrica entre los contactos aumenta en razón de miles de veces mayor a la de un interruptor convencional (1 KV por μ s para 100A en comparación con 50V/ μ s para el aire). Esto hace que el arco no vuelva a reencenderse. Basándonos en esta teoría, si operan mecánicamente los contactos eléctricos cuando abren en una cámara de vacío, puede representar una opción interesante y representar algunas ventajas sobre otros tipos de interruptores.

Su funcionamiento y manera de extinguir el arco se da en los contactos, con la separación de estos se verifica la generación de un arco eléctrico que está constituido exclusivamente por la fusión y vaporización del material de los contactos. Con los contactos ranurados se tienen arcos difusos a bajos niveles de corriente, así que cerca del cruce por cero de la señal se tienen este tipo de arcos que son más fáciles de ser extinguidos. A continuación, la brusca reducción de la densidad de carga transportada y la rápida condensación del vapor metálico lleva a un inmediato restablecimiento de las propiedades dieléctricas.

Para evitar un sobre calentamiento de los contactos en el punto donde se presenta el arco, las ranuras diagonales hacen que el arco gire alrededor de los contactos y no se concentren en un solo punto. Desde el punto de vista operacional, el vapor metálico resulta ser una de las características más relevantes en estos dispositivos, ya que su dosificación regula o nivela la intensidad de corriente del arco, evitando que por exceso de vapor se produzca un

reencendido del arco y por el contrario, si su nivel es muy bajo se produzca una elevada sobretensión muy peligrosa.

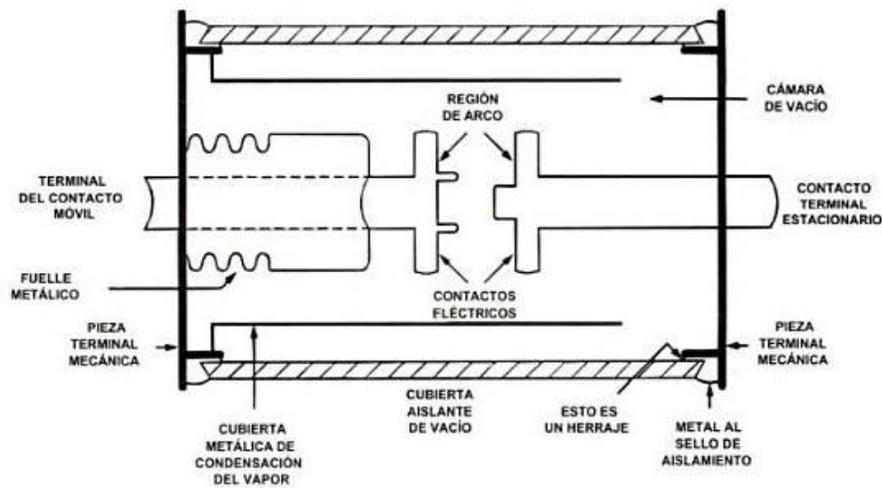


Imagen que nos muestra las ranuras que presentan los contactos.

La botella de vacío vuelve a adquirir su poder aislante y la capacidad de sostener la tensión transitoria de retorno, extinguiendo definitivamente el arco. Como en el vacío es posible alcanzar una elevada rigidez dieléctrica, incluso con distancias mínimas, la interrupción del circuito está garantizada también cuando la separación de los contactos se verifica pocas milésimas de segundo antes de que pase la corriente por el cero natural. El particular diseño de los contactos y del material, así como también la reducida duración y la baja tensión del arco, garantizan un desgaste mínimo de los contactos y una gran durabilidad. El vacío además impide su oxidación y contaminación. Por tal motivo se recalca la elección adecuada del material de los contactos, ya que es crucial para limitar las emisiones de vapores y favorecen su condensación dentro de microsegundos, de otro lado se destruyen. La elección del fabricante, influirá en los tipos de materiales que se utilicen para los contactos, en varios casos, la aleación de cobre cromado libre de oxígeno puede representar el mejor material para los interruptores automáticos de alta tensión y se usa comúnmente la forma de tope para los contactos.

El interruptor es simple en su construcción, se tienen dos contactos tipo disco dentro de un cilindro contenedor o envase. La cámara es evacuada para proporcionar el vacío, un

contacto es fijo y el otro móvil, el cual se desplaza hacia el primero o se aleja de él según sea el caso de cierre o apertura. Este movimiento se controla por medio de una barra de acero o fuelle que se acciona desde el exterior. La separación entre los contactos depende del tipo de fabricante pero va desde 6 milímetros hasta alrededor de 2.5cm, lo cual se debe a la alta capacidad dieléctrica del vacío, esto produce una interrupción segura y rápida de las corrientes de carga o de falla.



Esquema que nos muestra los contactos de un interruptor de vacío.

Ventajas.

- Es un interruptor muy compacto.
- Prácticamente no necesita mantenimiento debido al poco esfuerzo que realizan las partes en movimiento, además de que no es necesaria la lubricación bajo condiciones normales de operación.
- Tiene una larga vida de operación, dependiendo del fabricante, algunos ofrecen más de 30,000 interrupciones a corriente nominal. O hasta 20 años de operación

Desventajas.

- Es difícil mantener un buen vacío debido al arqueo y desgasificación de los electrodos metálicos.

- Durante el arqueo se produce una ligera emisión de rayos X.
- Aparecen sobretensiones, sobre todo en circuitos inductivos.
- Tienen la limitación de trabajar básicamente para media tensión alcanzando márgenes de hasta 34.5kV, despejando corrientes de aproximadamente 45kA. Es difícil utilizarlo en alta tensión por la dificultad que representa el conectar varias cámaras o unidades en serie.

Interrupedores en Aceite.

Este tipo de interruptores trabajan por medio de flujos de aceite como medio de extinción del arco, y se utiliza la energía propia del mismo para generar dichos flujos, para fracturar las moléculas de aceite y producir gas hidrogeno, éste se usa para adelgazar, enfriar y comprimir el plasma del arco lo que provoca que se desionice y genere un proceso de auto extinción. Aunque los contactos del interruptor estén inmersos en aceite, la presencia del arco se da durante la separación de los contactos.

El calor proveniente del arco evapora el aceite circundante y lo disocia en carbón (razón por la cual se requiere mantenimiento de estos interruptores) y en una gran cantidad de hidrogeno a alta presión, la conductividad del calor del hidrogeno es alta, resultando como un enfriamiento del arco y los contactos; esto incrementa el voltaje de ignición y extingue el arco.

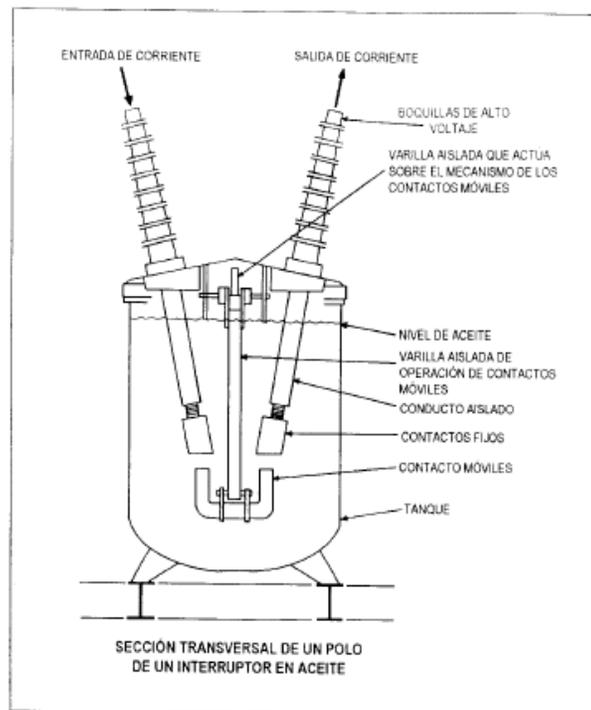


Diagrama que nos muestra los principales componentes de un interruptor en aceite.

Fueron los más utilizados para sistemas que operan a más de 13.8kV, principalmente para instalaciones a la intemperie aunque existen interruptores de aceite para interiores, se

conforman básicamente por un tanque o recipiente que contiene el aceite, dentro del cual se instalan los contactos y el mecanismo de operación. Existen varios diseños desarrollados por los fabricantes para minimizar los efectos del arco y la manera en que se extingue este dentro del tanque.

Podemos encontrar este tipo de interruptores en dos modalidades, los de gran volumen y los de volumen reducido de aceite.

Los interruptores de gran volumen de aceite tienen un tanque de acero parcialmente lleno de aceite a través de cuya cubierta se monta la porcelana o los aisladores de aislamiento compuesto. Los contactos en la parte inferior de los aisladores están puenteados por una cabeza de conducción la cual puede ser de madera o de una varilla compuesta para elevación, la que en los diseños comunes cae por efecto de la gravedad seguido por la separación de los contactos por un sistema de resortes, abriendo de esta manera el interruptor.



Interruptor de gran volumen de aceite.

Un colchón de aire sobre el nivel de aceite sirve como una expansión del volumen para prevenir que se forme la presión dentro de la cámara luego de la interrupción de la corriente de cortocircuito.

Este tipo de interruptor presenta algunas desventajas como gran peso y volumen, riesgo de incendio en las instalaciones, fuerte reacción para hacer tierra, fallas frecuentes de los aisladores, etc.

Por otro lado encontramos a los interruptores de volumen reducido de aceite, que fueron creados a raíz de los problemas que se derivaron de los de gran volumen así como reducir la cantidad de aceite en los patios y llaves a una cantidad que no pudiera representar algún peligro. El volumen de aceite se reduce en un factor de 10 o hasta 20. Los contactos son colocados en un envase cilíndrico, aislado con conexiones para terminales en cada extremo y colocados en un soporte aislado.

Comparado al interruptor en gran volumen de aceite, se ha mejorado considerablemente el aislamiento a tierra por la eliminación de los vulnerables bushings de aislamiento y del tanque metálico en la proximidad del arco. El aceite ya no aísla a la tierra.

Estos utilizan un dispositivo de control de arco en la cámara de arco, que reduce físicamente el arco y el tiempo del arco, y por lo tanto se reduce la energía de este.

Cuando el interruptor interrumpe pequeñas corrientes, el arco se extingue por un flujo axial forzado de aceite. A niveles de cortocircuitos, el arco se reduce como una función de la corriente. El arco explota por un chorro de aceite en ángulos perpendiculares a sus ejes, y se apaga.

La mayor parte de los interruptores de mínimo volumen de aceite son diseñados para un rápido recierre. Ellos deben tener la capacidad de interrumpir las corrientes de cortocircuito dos veces seguidas en intervalos de 0.2 segundos a 0.3 segundos, por lo tanto el dispositivo de control del arco debe contener suficiente aceite para que se realice la segunda interrupción.

A tensiones de transmisión por debajo de 3465kV, los interruptores automáticos en aceite solían ser muy populares. Éstos han ido gradualmente perdiendo terreno a los interruptores

automáticos de soplado de gas tales como los interruptores automáticos de soplado de aire y los interruptores automáticos de SF_6 .

Interruptores de Hexafluoruro de Azufre (SF_6).

Ciertos gases, llamados electronegativos, tiene mayor calidad de aislamiento que el aire. Entre ellos está el hexafluoruro de azufre, SF_6 , que ha tenido mucho éxito en el diseño de aparatos eléctricos porque tienen excelentes propiedades de aislamiento e increíbles propiedades de extinción de arco.

Son cinco veces más pesados que el aire, sin olor, sin color, no es inflamable y no es tóxico cuando está nuevo. Su esfuerzo dieléctrico es tres veces el del aire dieléctrico.

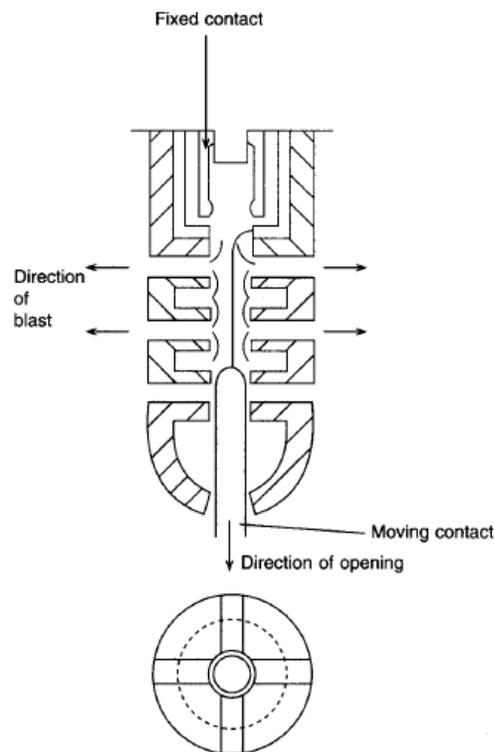
Cuando se le somete a un arco eléctrico se descompone parcialmente. En la presencia de la humedad y de impurezas produce un residuo ácido que ataca al metal y los sellos de aislamiento. Un método eficiente para reducir los residuos es con la utilización de alúmina activada dentro de las cámaras que contienen el gas.

El SF_6 es un gas en temperaturas normales, y a la presión atmosférica se vuelve líquido a -60°C , y a 20 bars se vuelve líquido a 20°C , lo cual es muy negativo para sus cualidades de aislamiento. Para aplicaciones de bajas temperaturas, deberá calentarse o mezclarse con otros gases como el Nitrógeno o el CF_4 . Este gas es estable incluso a temperaturas a las que el aceite se oxida o se descompone.

Debido a todo esto es considerado el gas más efectivo para proveer aislamiento e interrupción del arco. Fue inicialmente introducido y utilizado en un principio en interruptores de transmisión pero se usó de manera masiva en voltajes de distribución a finales de la década de los 70.

Existen varios tipos de interruptores de hexafloruro de azufre, uno de estos son los interruptores conocidos como “sopladores” , los cuales utilizan un pistón y un arreglo de cilindro, operados o manejados por un mecanismo de operación.

En apertura, el cilindro que contiene el gas SF_6 es comprimido contra el pistón incrementando la presión del gas lo cual fuerza el gas por una boquilla anular en el contacto provocando un soplo de este en el área del arco. El gas ayuda a enfriar y desionizar el arco lo que provoca una interrupción del mismo al cruce de la corriente por cero. Las propiedades dieléctricas del SF_6 . son rápidamente restablecidas en el calor del arco, dando un rápido incremento en la fuerza dieléctrica cuando el voltaje alrededor de los contactos empieza a elevarse. La energía requerida para manejar el tipo de soplo del circuito interruptor es relativamente alta, por lo cual provoca la necesidad de un mecanismo de cierta potencia.

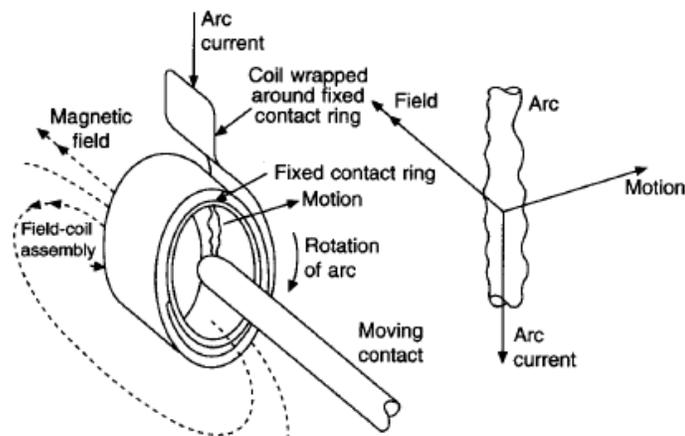


Dispositivo de control de la explosión axial.

Otros diseños de circuitos interruptores de SF_6 empezaron a desarrollarse en la década de los 80s, estos hacen más uso de la energía del arco para ayudar a la interrupción,

permitiendo el uso de un mecanismo de operación más ligero y más económico. Mientras que en el diseño del soplador la compresión del SF_6 se hace para impulsar un flujo sobre un arco que es básicamente estacionario, estos nuevos diseños mueven el arco por el gas para ayudar a su interrupción. En el circuito interruptor de arco rotante, una bobina se enrolla alrededor de un contacto fijo. Como el contacto móvil se retira del contacto fijo, la corriente es transferida a un contacto de arqueo y pasa por la bobina. La corriente en la bobina establece un campo magnético axial con el camino del arco en perpendicular al flujo magnético y la rotación del arco se induce de acuerdo a la regla de la mano izquierda de Fleming y la magnitud de su rotación es proporcional a la magnitud de la corriente. Se requiere un diseño cuidadoso para asegurar un adecuado cambio de fase entre el flujo y la corriente para mantener un adecuado movimiento del arco cuando la corriente cae hacia su cruce por cero.

Otros tipos de circuito interruptor auto- extinguidor utilizan una boquilla aislada que es similar a la del interruptor de soplado pero con una bobina para producir un campo magnético para mover el arco. La energía térmica en el arco es utilizada para incrementar la presión local. Esto resulta en movimiento de arco el cual nuevamente es proporcional a la corriente, y provoca una interrupción exitosa. En algunos diseños se utiliza un pequeño soplador para asegurar que hay suficiente flujo de gas para interrumpir niveles bajos de corriente donde la energía térmica en el arco es relativamente baja.

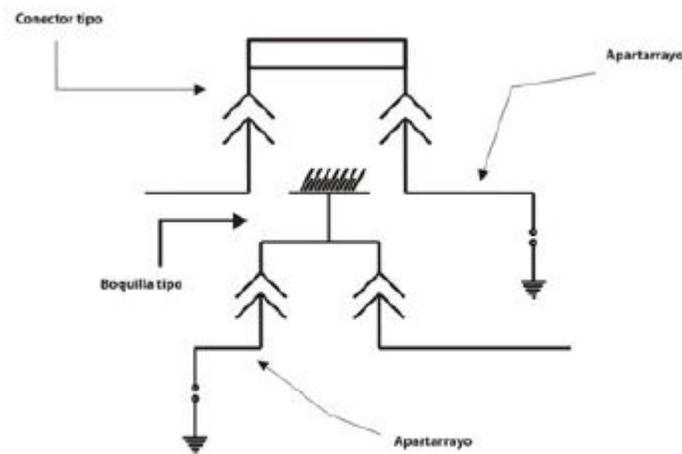


Esquema que nos muestra el funcionamiento.

La principal alternativa al circuito interruptor de SF_6 en el rango de media tensión es el interruptor de vacío. Este es un dispositivo simple, comprimiendo solo un contacto fijo y uno móvil localizados en un cilindro vacío, pero se ha demostrado que es el dispositivo que ha representado más dificultad para ser desarrollado en el laboratorio, las primeras investigaciones se comenzaron en la década de los 20s pero no fue sino hasta la década de los 60s que los primeros interruptores de vacío fueron capaces de interrumpir grandes corrientes en los laboratorios, mientras que a nivel comercial se empezaron a encontrar hasta alrededor de 1970.

Tipo 4. Apartarrayos.

Básicamente es un dispositivo que nos sirve para eliminar sobrevoltajes transitorios de las líneas de distribución eléctrica. Estos sobrevoltajes se producen por descargas atmosféricas sobre las líneas o por cambios repentinos en las condiciones del sistema (como operaciones de apertura/cierre, fallas, cierre de cargas, etc.). CFE actualmente requiere que en la mayoría de los diseños de subestaciones se integren apartarrayos.



2.3.2 Transformadores.

Es el principal elemento dentro de una subestación eléctrica porque es el encargado de alimentar la carga total de la industria o proyecto correspondiente, es decir nos permite manejar los voltajes a niveles de utilización adecuados según sean los requerimientos de la instalación, este dispositivo se encarga de transferir energía eléctrica de un circuito a otro sin alterar la frecuencia, trabaja mediante el principio de la inducción electromagnética, dependiendo su tipo, tiene circuitos eléctricos que están eslabonados magnéticamente y aislados eléctricamente ya que el cable mediante el cual se hacen sus arrollamientos es barnizado para evitar el contacto eléctrico, “en su forma más simple, un transformador consiste en dos devanados conductores que se ejercen inducción mutua. El primario es el devanado que recibe la potencia eléctrica y el secundario es el equipo que puede entregarla a una red exterior. Suelen estar sobre un núcleo laminado de material magnético o constituido por una aleación pulverizada y comprimida, y entonces se habla de un transformador con núcleo de hierro”⁵. Podemos decir que entre sus principales funciones están:

- Modificar los valores de tensión y corriente con el fin de que éstos tomen los niveles más adecuados para el transporte y distribución de la energía eléctrica.
- Permite transmitir energía a grandes distancias y distribuirla en forma segura.
- Permiten reducir los niveles de tensión a valores de utilización por ejemplo en el hogar o en la industria.
- Pueden proporcionar aislamiento de circuitos entre sí.
- Puede modificar (al aumentar o disminuir) valores de capacitores, inductores o resistencias en los circuitos eléctricos.
- Cuando se requiere más potencia de un transformador y esta excede sus capacidades en KVA o cuando se necesita suministrar energía eléctrica una ampliación en la instalación eléctrica que no se había planeado en un principio, necesitamos cubrir esta demanda. Cambiar el transformador por uno nuevo de mayor capacidad podría representar una solución pero económicamente

⁵ Circuitos Magnéticos y Transformadores, E.E. Staff del M.I.T., Edit. Reverté, 2003, Página 254.

hablando no es lo más viable, en estos casos podemos acoplar en paralelo (borne a borne tanto en el primario como en el secundario) el transformador que se tenía en la instalación con un nuevo transformador ampliando así su capacidad.

En las instalaciones eléctricas de media tensión industriales es más utilizada la transformación de potencia trifásica para cubrir la demanda que se requiere, para llevar a cabo sus funciones se prefiere utilizar un transformador trifásico ante un banco de tres unidades monofásicas debido al ahorro que esto conlleva económicamente hablando básicamente por el material que se utiliza en los núcleos.

Los transformadores se pueden clasificar de varias formas porque existen muchos rasgos característicos para cada tipo de transformador y características que los diferencian entre sí como pueden ser la forma o tipo de su núcleo (tipo columnas, acorazado, envolvente o radial), su número de fases (pueden ser monofásicos o trifásicos), número de devanados (dos o tres), medio de aislamiento (aceite, aire, hexafluoruro de azufre, etc.) además de su tipo y medio de enfriamiento, ya que existen varias formas de hacerlo siendo el principal factor que afecta al tomar la decisión de por cual inclinarnos, la capacidad y alcances, entre los principales medios podemos mencionar (OA, OW, OW/A, OA/AF, OA/FA/FA, FOA, OA/FA/FOA, FOW, A/A, ONAN, AA/FA, etc.) se nombran de esta manera por sus siglas en inglés, para mayor información sobre este tema, consulte: “*Fundamentos de Instalaciones Eléctricas en Mediana y Alta Tensión*”, Gilberto Enríquez Harper, Editorial Limusa, páginas 31-38. También pueden distinguirse de acuerdo al tipo de regulación con la que se manejan, la cual puede ser fija, variable con carga o variable sin carga.

Pero la principal forma de clasificar estos elementos de acuerdo a nuestro criterio y enfoque del documento, es de acuerdo a su tipo de operación, existen tres tipos básicos:

- De potencia
- De distribución
- De instrumento

Los transformadores de distribución representan la última fase para la utilización de la energía eléctrica ya sea en alta, media o baja tensión, tienen una capacidad nominal de 5KVA a 500KVA y su tensión eléctrica nominal es de hasta 34.5KV en el lado del primario y hasta 1.5KV nominales en el lado del secundario. Existen cuatro tipos de transformadores de distribución, el tipo pedestal, el tipo subestación (el más utilizado), tipo sumergible y el tipo poste, siendo este último el más utilizado por la compañía suministradora para utilizar la energía eléctrica a nivel residencial.



Gabinete para Exteriores.



Gabinete para Interiores.

Gabinetes de Transformadores.

Algunos de estos tipos de transformadores ya se explicaron previamente en el apartado 2.2 del presente documento en el que se detallaron las características de algunos tipos de subestaciones eléctricas industriales, dado que estos elementos son el elemento principal de estas instalaciones e incluso dependiendo del tipo de transformadores, nombramos al tipo de subestación. Las que mencionamos anteriormente son las instalaciones a la intemperie o abiertas, las compactas, las aisladas por medio de hexafloruro de azufre y las tipo pedestal.

Este último tipo de instalaciones y en particular sus transformadores son muy utilizados actualmente ya que son de fácil instalación, mantenimiento y bajo costo, reciben este nombre ya que se montan sobre una base de concreto, se les conoce también como pedestal.



Tipos de transformadores.

Para los transformadores que se deben instalar a la intemperie es necesario asegurarse que se fabriquen para esta aplicación específica (por ejemplo con todas las uniones selladas con aisladores tipo campana y las distancias de fuga apropiadas para el tipo de contaminación que se espera que la instalación provoque en el sitio de las instalaciones además de las condiciones adversas que pueda presentar el medio ambiente).

Un aspecto que se debe tomar en cuenta al inclinarnos por algún tipo de transformador es el tipo de instalación que este requiera. En el caso de los sistemas industriales se encuentran cierto tipo de transformadores que por sus características pueden ser instalados dentro o fuera del edificio, pueden instalarse en un poste, en piso o incluso de manera subterránea. Los lugares en los que generalmente se instalan los transformadores son cuartos mecánicos, paredes y áreas de techos de manera que se tienen que cubrir necesidades de los

transformadores como ventilación, blindaje, conexión a tierra, accesibilidad, etc. Lo cual será explicado de manera detallada en el capítulo 4 del presente, inciso 5 de acuerdo a la norma donde explicamos todos los requerimientos y aspectos que son importantes a cubrir dentro de una instalación en media tensión NOM-001-SEDE-2005.

Para escoger los transformadores de manera adecuada, se deben considerar diversos aspectos como la demanda inicial que deben cubrir tomando en cuenta su precio, la demanda que se planea cubran en N años y el precio de esto conllevará además y sobretodo su eficiencia.

En la elección de un transformador intervienen diversos factores que se deben tomar en cuenta además de los ya mencionados, se debe considerar precio del transformador y demanda futura así como el costo del transporte aunque en algunas ocasiones es despreciable dependiendo el tipo de transformador que se escoja y dadas las características particulares de diseño de la planta que esperamos que abastezca, probablemente este se tenga que exportar, otro costo que se debe tomar en cuenta es el del tipo de operación que cubre servicio, mantenimiento y reparación en caso de ser necesario (por tal razón se recomienda cubrir pólizas de garantía ante el instalador o bien el fabricante) y eficiencia también quizá hoy en día el más importante; el último pero que consideramos el costo más importante a considerarse es el de la instalación, es decir la adecuación del espacio donde planeamos colocar el transformador para que cubra las características que nos exige la norma para que opere de manera segura y adecuada tanto para el equipo como para las personas que lo utilicen.

Existen diversos textos donde podemos encontrar información detallada para realizar un adecuado análisis económico a la hora de tener que tomar la decisión por algún tipo de transformador, incluso en algunas páginas de fabricantes se encuentran herramientas que nos ayudan a hacer este cálculo de manera más sencilla.

2.3.3 Protecciones.

El equipo eléctrico independientemente de que sea para instalaciones aéreas o subterráneas debe ajustarse para las aplicaciones y situaciones en particular que se requieran. Los transformadores están sujetos a pocos tipos diferentes de cortocircuitos y condiciones anormales. Las fallas o condiciones anormales a las que pueden estar sometidos son: fallas internas, sobrecalentamientos o cortocircuitos externos. Las características eléctricas más importantes a considerar en transformadores son:

- 1) El nivel de aislamiento.
- 2) La habilidad del equipo para responder tanto a las condiciones normales como de cortocircuito sin dañar el equipo o al personal que éste operando.
- 3) La capacidad y nivel de interrupción del equipo de protección.
- 4) Velocidad de operación.

Es deseable que se seleccione un nivel de aislamiento para cada tensión nominal de los circuitos y que generalmente todo el equipo a utilizarse en ese circuito sea seleccionado de acuerdo con el nivel básico de aislamiento. El seleccionar equipo de un menor nivel de aislamiento provoca un alto grado de fallas en el equipo y al contrario el seleccionar equipo con un mayor nivel, acarrea mayores costos.

Además hay que tomar en cuenta un factor que generalmente no se considera y es el que si un sistema subterráneo va a conectarse con líneas aéreas el efecto de la luz, el grado de exposición a ésta dependerá sobre todo de la localización geográfica, del nivel de protección o recubrimiento que tengan los cables en las líneas y las características de los dispositivos protectores de luz utilizados en los empalmes entre las líneas aéreas y las subterráneas.

Los transformadores están sujetos a pocos tipos diferentes de cortocircuitos y condiciones anormales. Las fallas o condiciones anormales a las que pueden estar sometidos son: fallas internas, sobrecalentamientos o cortocircuitos externos. La protección de transformadores

de más de 600V en instalaciones industriales requiere por norma, al menos, la llamada protección contra sobre corriente.

Protección contra sobre corriente

El dispositivo de sobre corriente del alimentador primario es el dispositivo que está localizado en la fuente de alimentación del transformador. Por ejemplo: los fusibles o los interruptores conectados al bus.

Protección primaria (para corto circuito)

- Cuando se usan fusibles, su capacidad se debe designar a no más del 250 % de la corriente nominal o de plena carga en el primario del transformador.
- Si se usa un interruptor, su valor no debe ser mayor del 300 % de la corriente nominal primaria. Cuando el valor calculado con el 300 % no corresponde con una cantidad normalizada, entonces, se usa el valor normalizado anterior.

Protección de transformadores de potencia

Los transformadores de potencia constituyen la parte más importante de una subestación eléctrica, una falla en éstos puede producir una pérdida de alimentación a cargas importantes.

La protección que se va a estudiar está enfocada principalmente a los grandes transformadores y consiste de la aplicación de los siguientes esquemas:

- Protección diferencial
- Protección contra presencia de gases (Buchholz)

Protección Diferencial

Similar principio de comparación serie que se emplea para detectar fallas en los enrollados del estator de un generador puede utilizarse para detectar fallas en un transformador. En este caso, la comparación tiene que efectuarse entre todos los enrollados que posee el transformador. En condiciones normales existirá una razón precisa entre las corrientes en los enrollados, la cual depende de la razón de transformación. De tener lugar una falla interna cambiará esta razón y la mayoría de los casos cambiará de signo. Al operar la protección diferencial debe desenergizarse completamente el transformador, lo que exige contar con interruptores en cada uno de sus enrollados. La orden de apertura de los interruptores se da a través de un relé auxiliar de reposición manual que asegura que no se reconectará el transformador al servicio de manera inadvertida, sometiéndolo a nuevos daños sino que luego de haberse constatado la causa de la operación de la protección.

Adicionalmente a los problemas que deben tenerse en cuenta con los generadores, en el caso de la protección diferencial de transformadores surgen los siguientes inconvenientes:

- a) diferencias en magnitud y ángulo de las corrientes que entran y salen de un transformador, lo cual está sujeto a la razón de tensión y de la conexión de los enrollados,
- b) corriente de magnetización, y c) corriente de energización en vacío (in rush).

Debido a que una protección diferencial debe ser estable para fallas externas y para condiciones de carga normal, las diferencias en la magnitud y ángulo de las corrientes deben ser tomadas en cuenta al aplicar la protección.

La diferencia de ángulo puede solucionarse a través de la conexión de los secundarios de los transformadores de corriente de manera de compensarla. Esta solución cuenta con la ventaja de impedir que la componente de secuencia cero que circula en el lado estrella para un cortocircuito externo que involucre tierra no llegue al relé, debido a que no tiene compensación con la corriente del lado delta en la que circulan sólo componentes de secuencias positiva y negativa. Otra alternativa es emplear transformadores de corriente auxiliares, cuyos secundarios se conectan de modo de corregir las diferencias de ángulo.

Para corregir las diferencias en la magnitud de las corrientes es necesario seleccionar las razones de transformación de los transformadores de corriente en la razón inversa a la razón de transformación del transformador de potencia. Como consecuencia de que lo expuesto conduciría a razones muy poco normalizadas, se utiliza una de las siguientes alternativas:

Utilizar relés diferenciales que posean derivaciones en sus enrollados de manera de compensar las diferencias..

Utilizar transformadores de corriente auxiliares que tienen razones que corrigen la diferencia en las magnitudes y que se coordina con la alternativa de corregir la diferencia de ángulo mediante transformadores auxiliares. En este caso, el relé no requiere derivaciones en sus enrollados.

Como consecuencia de estos problemas de diferencias de magnitud y ángulo de las corrientes, y la existencia de as corrientes de magnetización del transformador, los relés empleados para protección diferencial de transformadores deben hacerse menos sensibles que los utilizados para generadores.

Al energizar un transformador en vacío, este actúa como una simple inductancia. En dichas condiciones circulan corrientes extremadamente altas, pero de corta duración. Estas corrientes de magnetización en vacío, como consecuencia de las condiciones saturadas del hierro del transformador, presentan una forma altamente distorsionada, con una gran cantidad de armónicas. El mayor porcentaje de armónicas corresponde a la segunda, la cual puede llegar a un 63% de la fundamental, siguiéndole la tercera con 27%.

Estas corrientes de magnetización en vacío, cuya magnitud está sujeta al punto de la onda de tensión en que se cierre el interruptor, pueden originar una falsa operación del relé diferencial si no se ponen en práctica medidas especiales. Las alternativas que pueden llevarse a cabo son:

- Desensibilizar el relé diferencial durante la maniobra de energización del transformador en vacío.
- Suprimir temporalmente la orden de apertura impartida por el relé diferencial.

- Diseñar el relé diferencial de manera que pueda distinguir entre corriente de energización en vacío y corriente de fallas.

1.1. Empleo de cuchillas monofásicas de cortocircuito de una fase a tierra

Al trabajar la protección diferencial es necesario desenergizar rápidamente el transformador a través de la apertura de los interruptores de todos sus enrollados. No obstante, en el caso de líneas radiales que finalizan en un transformador, o en las subestaciones reductoras de tensión que se construyen en las primeras etapas de desarrollo de un sistema eléctrico, es usual tratar de reducir las inversiones evitando la instalación de interruptores en el lado de alta tensión del transformador. Bajo estas condiciones, para lograr la desenergización del transformador es necesario obtener la apertura de los interruptores remotos. Esto se logra mediante el empleo de cuchillas monofásicas que al operar producen un cortocircuito de una fase a tierra. El cortocircuito es detectado por las protecciones contra fallas a tierra instaladas en los interruptores remotos, que al abrir desenergizan el transformador.

1.2. Protección diferencial de transformadores de centrales con esquema en bloque

Esta protección consiste en que la protección diferencial del transformador normalmente se alarga de manera de incluir en esta protección al generador. Sin perjuicio de la protección diferencial longitudinal que se instala en el generador.

El relé diferencial que se emplea para esta protección diferencial alargada o de bloque podría no disponer de medios especiales para evitar la falsa operación por corrientes de energización en vacío, debido que el transformador se conecta a la barra sólo a plena tensión; no obstante, puede producirse una pequeña corriente de energización en vacío cuando se despeja una falla cercana a la barra.

Protección Buchholz

El rele Buchholz (que lleva el nombre de su creador), no es más que un dispositivo con una combinación de un colector de gas y presión. Funciona bajo el modelo tradicional (tipo conservador) de los transformadores, en donde el tanque de los mismos se encuentra completamente lleno con aceite y a su vez se une mediante una tubería a otro tanque "auxiliar", el cual actúa como una cámara de expansión.

En dicha tubería de unión entre los tanques se encuentran dos elementos del rele, uno de ellos es la cámara colectora de gas, en donde cuando cierta cantidad de gas ha sido recolectada se cierra un contacto y, usualmente, suena una alarma. El gas colectado es analizado dentro de un dispositivo especial para determinar cuál de los aislamientos está dañándose y verificar cual de los principales aislamientos se está deteriorando. Cabe destacar que este dispositivo que analiza el gas no es parte del relé como tal.

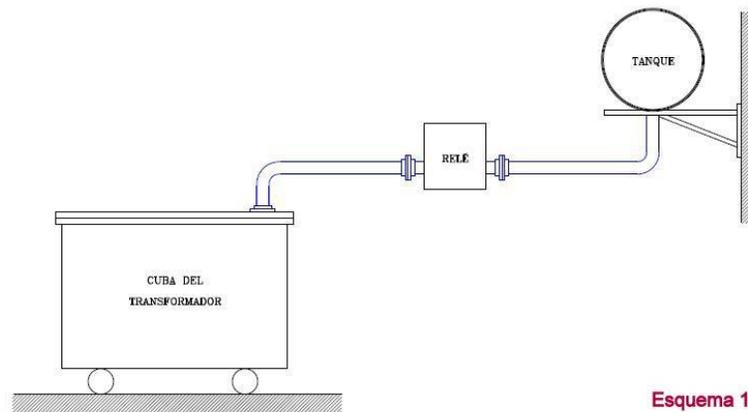
El otro elemento, cuya pieza es operada por el chorro de aceite que pasa por la tubería cuando ocurren fallas, cierra los contactos que disparan los interruptores del transformador.

Por lo que se sabe, será evidente que los relés colectores de gas y de presión son principalmente suplementarios a otras formas de protección. Empezando por el hecho de que un transformador debe de ser del tipo que permita tal tipo de protección; con ello se nota que las fallas dentro del tanque del mismo solo serán las que estos relés puedan detectar, porque protecciones como los relés diferenciales u otros tipos de relés son los que se encargarán de detectar fallas externas, inclusive entre las conexiones del transformador y los interruptores.

Existen muchísimos otros tipos de protecciones para transformadores las cuales pueden combinarse entre si para brindar mayor seguridad en la operación, entre las cuales están:

- **Protección restringida - fallas a tierra**
- **Protección a masa o de estanque**

- Protección contra sobrecalentamiento
- Protección de respaldo - fallas externas
- Protección de respaldo
- Protección de respaldo local



Esquema 1

Protección Contra Falla a Tierra Buchholz.

2.3.4 Locales

Cuando se diseña una subestación, se contempla su funcionamiento, operación y mantenimiento; todo ello de manera segura, por lo que el sitio, la ubicación del equipo y resguardo de la misma es un punto de gran relevancia. Debido a que este, asegurará el minimizar algún accidente, ya sea provocado por error humano o falla del equipo.

La mayor parte del diseño de una subestación se encuentra en lugares interiores, por lo que la forma del lugar, los materiales utilizados y la ubicación del equipo lleva un orden que es regido por normas; con el fin principal de buscar la seguridad primero del operador y después del equipo. Cabe aclarar que las normas no se rigen por algún concepto de gusto, estética o capricho sino se basan en la seguridad.

De lo ideal a la realidad existe una distancia la cual se debe acortar, con ello decimos que al diseñar la subestación así como sus recintos interiores, nos encontraremos con varios impedimentos para hacer cumplir la norma; estas circunstancias son debido al espacio que se deja para la subestación, ya sea por diseño del arquitecto o cuestiones de espacio se tiene que colocar en una cierta zona reducida.

Al diseñar una subestación lo primero que tenemos que hacer es definir el arreglo que vamos a utilizar y las dimensiones del mismo, por lo que cada diseño requiere de una solución diferente para cumplir con las especificaciones y medidas de seguridad lo que a continuación se describirá los elementos principales a considerar para cumplir con lo anteriormente estipulado.

Recalcando la importancia de una subestación como suministro de energía para una instalación industrial, comercial o residencial; es imprescindible que su funcionamiento y operatividad sea continua por lo que ningún agente externo a la subestación debe ser una variable que interrumpa alguna operación de la subestación. Como agente externo, se encuentran los fenómenos naturales como lluvia, relámpago, terremoto, huracán y todo aquel que provoque una avería en el equipo o cableado de la subestación; de igual manera,

el elemento humano es un factor donde la probabilidad de error y/o accidente ronda del 0.01 % al 99.99 %, ya sea por un experto o por alguna persona con nula experiencia. El diseño tiene que contemplar todos estos agentes.

La mayor parte del diseño de las subestaciones se desarrolla en sitios interiores, por lo que aparte de tener el área y forma del lugar, se tiene que contemplar las características constructivas del local, no podemos resguardar los equipos que van dentro de un interior con material barato que con el agua se deshaga el muro o se incendie en menos de dos minutos (llevándolo a un caso extremo pero posible). Es necesario y forzoso que las paredes y techos tengan resistencia al fuego con un mínimo de tiempo de 3 horas. (Dependiendo del tipo de aceite del transformador).

La tendencia a reducir el área de una subestación no indica que es mejor sino la accesibilidad para operar, detectar, reparar y reemplazar algún equipo. Desde que se entra a un recinto hasta la dirección y operación de los equipos debe ser estudiado para evitar los errores más simples, como son: el de confundir equipos, señalar mal la posición de un interruptor, etcétera.

El tamaño de las puertas ha de ser tal que se puedan introducir por ellas sin impedimento alguno las partes de la instalación que haya que sustituir siendo conveniente que la entrada principal al local de la subestación conduzca directamente al pasillo principal o al exterior. Las puertas tienen que abrir hacia afuera o pueden ser corredizas siempre y cuando esté bien señalado el lado al que abren, deben llevar en la parte exterior una placa de aviso de peligro y la cerradura tiene que estar ejecutada de tal manera que quede impedido el acceso al personal no autorizado, pero las personas que se encuentran en la instalación puedan salir sin impedimento alguno.

Los recintos interiores normalmente no contienen ventanas a menos que se especifique y tenga un fin, sin embargo, en un lugar cerrado es indispensable la iluminación cuando exista personal del lugar; por lo que la iluminación debe ser adecuada, además se debe

proveer un sistema de emergencia que garantice la iluminación de donde se encuentre personal dentro del recinto y hasta la salida por un periodo de tiempo de una hora y media.

En caso de que no existiera una buena ventilación en un interior, deben colocarse ventanas para que el local este bien ventilado considerando que deben estar protegidas para que no entren objetos extraños a la subestación. A su vez, no hay que colocar factores que hagan que el recinto tenga una mala ventilación como colocar elementos que pasen sobre el interior, como puede ser tubería para líquidos, vapores y gases. El propósito de ventilar el recinto, no es para tener un mejor lugar de trabajo sino para evitar la condensación de agua, oxidación y formación de mohos.

Cuando se trabaja frente a equipos eléctricos tales como tableros de distribución y control, interruptores, interruptores automáticos, controles de motores, relés y equipos similares se debe de tener un espacio mínimo de trabajo, tomando como referencia las partes vivas, si estas están expuestas o desde el frente de la caja o abertura si están encerradas. La distancia o espacio de trabajo va a ser proporcional en función de la tensión eléctrica nominal a Tierra siendo que entre mayor sea la tensión, la distancia será mayor.

Las conexiones del cableado se tienen que realizar con cable que por sus características puede estar expuesto y sin recubrimiento, y lo cual, cerca de una persona sería una alta probabilidad de accidente, por lo que el diseño debe estar pensado en que ninguna persona por tropiezo, por curiosidad, sentarse o recargarse pueda tocar el cable; este debe quedar fuera del alcance de cualquier persona al punto de que cualquier contacto con el cable sería un propósito de que tuviera que pensar para llegar a él.

El tener un diseño que cumpla con todas las características de la norma no asegura que no existirá alguna falla y/o accidente, sólo minimiza el error; por lo que tener medidas de prevención ante cualquier eventualidad, son un factor a considerar, como es el caso de tener extinguidores junto a la puerta principal para cualquier eventualidad (se encuentra especificado en la norma) y sobre todo tener comunicación a otro punto para dar aviso de la falla así como alertar y tener a los elementos de emergencia.