

MÓDULO Nº4 – ELECTRICIDAD DE POTENCIA.

Tema	Página
Índice.....	1
Sistema de suministro eléctrico.	2
Generación.....	2
Transmisión de la energía eléctrica.....	3
Distribución.....	4
Mapa eléctrico de la red de AT de Uruguay.....	5
Topologías típicas de redes de distribución.....	6
Corrientes de corto circuito.....	7
Subestación eléctrica.....	8
Simbología de equipo eléctrico.....	9
Componentes de una subestación eléctrica típica.....	10
Transformadores de potencia.....	10
Pruebas a transformadores.....	13
Transformadores de instrumentos.....	14
Transformador de potencial.....	14
Parámetros de los transformadores de potencial.....	15
Transformadores de corriente.....	15
Parámetros de los transformadores de corriente.....	16
Descargadores.....	17
Interruptores de potencia.....	20
Interruptores en aceite.	22
Interruptores en pequeño volumen de aceite (PVA).....	23
Interruptores en gas hexafluoruro de azufre (SF6).....	23
Interruptores Neumáticos.....	25
Interruptores de vacío.....	26
Cuchillas Seccionadoras.....	27
Bancos de baterías.....	28
Cargadores de baterías.....	29
Avances en la maniobrabilidad.....	30
Protecciones en Instalaciones Eléctricas.....	31
Protección de equipos eléctricos.....	33
Características operativas.....	35
Fallas (tipos).....	35
Protección contra sobrecarga.....	36
Protección contra cortocircuito.....	36
Protección sobrecarga y cortocircuito (curvas características y zonas de protección).....	37
Simbología eléctrica.....	38
Sistema automático de protección (componentes básicos).....	38
Transformadores de medida (imágenes).....	39
Interruptores de potencia (imágenes).....	39
Relés multidigitales (funciones principales).....	40
Diagrama unifilar simplificado planta Aguas Corrientes (plano).....	40
Operación del sistema eléctrico de la planta de Aguas corrientes (pautas generales).....	41
Descripción básica del sistema.....	41
Secuencia de reposición.....	41
Secuencia de desenergización.....	41
Seguridad en el manejo de la energía eléctrica y en maniobras en MT y AT.....	41
Código ANSI/IEEE C37.2-1996 de Funciones de Protección.....	42
Conexión, funcionamiento, programación y ensayo de relés de protección.....	42
Motores eléctricos de MT y media y alta potencia.....	43
Electrónica de potencia.....	43
Procedimientos de reposición y paradas programadas de subestaciones y líneas de MT	
Que componen la red de la planta.....	43
Ensayos a relés.....	43
Ensayos a transformadores y motores.....	43

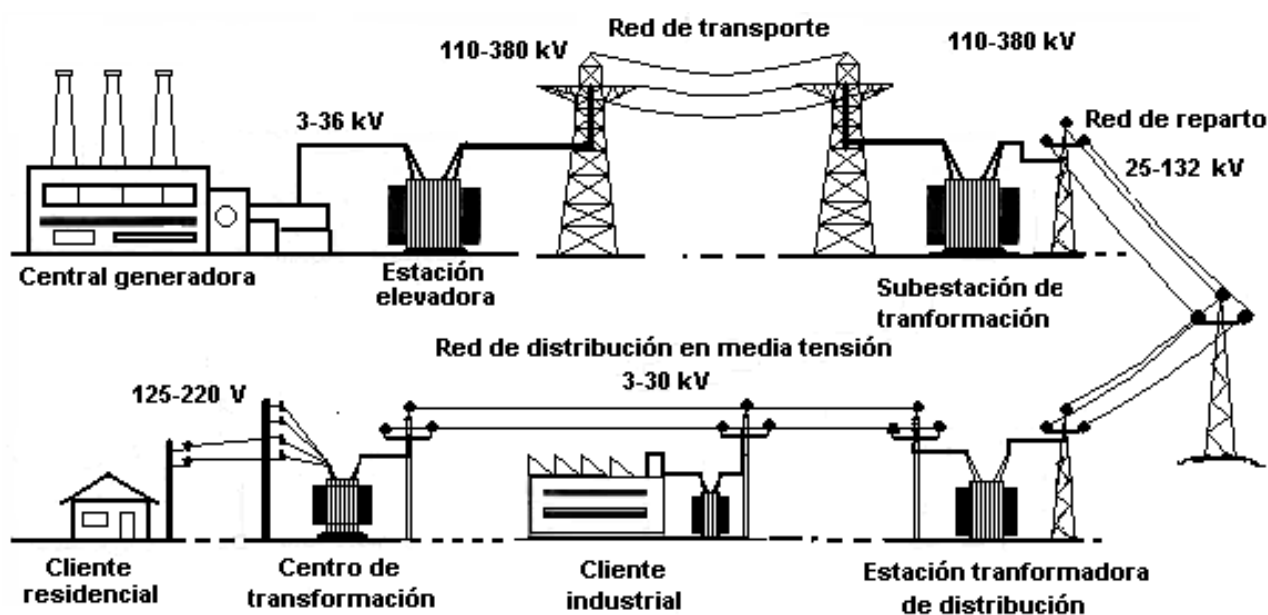
Sistema de suministro eléctrico

NOTA: Antes de introducirse en el curso estudiar el anexo N°1 “ NS1D NORMA DE SEGURIDAD PARA LA REALIZACIÓN DE MANIOBRAS Y TRABAJOS EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE MT Y AT DE DISTRIBUCIÓN”

El **sistema de suministro eléctrico** comprende el conjunto de medios y elementos útiles para la **generación**, el **transporte** y la **distribución** de la **energía eléctrica**. Este conjunto está dotado de mecanismos de control, seguridad y protección.

Constituye un sistema integrado que además de disponer de sistemas de control distribuido, está regulado por un sistema de control centralizado que garantiza una explotación racional de los recursos de generación y una calidad de servicio acorde con la demanda de los usuarios, compensando las posibles incidencias y fallas producidas.

En la figura siguiente, se pueden observar en un diagrama esquematizado las distintas partes componentes del sistema de suministro eléctrico:



Generación

En los sistemas de suministro eléctrico centralizados, la energía eléctrica se genera en las centrales eléctricas. Una central eléctrica es una instalación que utiliza una fuente de energía primaria para hacer girar una turbina que, a su vez, hace girar un alternador, generando así electricidad.

En los sistemas de suministro eléctrico distribuidos, la energía eléctrica se produce (recolecta) tanto en centrales eléctricas como en muchos de los propios nodos consumidores, que son capaces de revertir su excedente energético a la red para abastecer a otros.

El hecho de que la electricidad, a nivel industrial, no pueda ser almacenada y deba consumirse en el momento en que se produce, obliga a disponer de capacidades de producción con potencias elevadas para hacer frente a las puntas de consumo con flexibilidad de funcionamiento para adaptarse a la demanda.

Transmisión de energía eléctrica

La red de transporte de energía eléctrica es la parte del sistema de suministro eléctrico constituida por los elementos necesarios para llevar hasta los puntos de consumo y a través de grandes distancias la energía eléctrica generada en las centrales eléctricas.

Para ello, los niveles de energía eléctrica producidos deben ser transformados, elevándose su nivel de tensión. Esto se hace considerando que para un determinado nivel de potencia a transmitir, al elevar la tensión se reduce la corriente que circulará, reduciéndose las pérdidas por Efecto Joule. Con este fin se emplazan subestaciones elevadoras en las cuales dicha transformación se efectúa empleando transformadores, o bien autotransformadores. De esta manera, una red de transmisión emplea usualmente voltajes del orden de 150 kV y superiores, denominados alta tensión, de 400 o de 500 kV.

Parte de la red de transporte de energía eléctrica son las llamadas líneas de transporte.

Una línea de transporte de energía eléctrica o línea de alta tensión es básicamente el medio físico mediante el cual se realiza la transmisión de la energía eléctrica a grandes distancias. Está constituida tanto por el elemento conductor, usualmente cables de acero, cobre o aluminio, como por sus elementos de soporte, las torres de alta tensión. Generalmente se dice que los conductores "tienen vida propia" debido a que están sujetos a tracciones causadas por la combinación de agentes como el viento, la temperatura del conductor, la temperatura del viento, etc.

Existen una gran variedad de torres de transmisión como son conocidas, entre ellas las más importantes y más usadas son las torres de amarre, la cual debe ser mucho más fuertes para soportar las grandes tracciones generadas por los elementos antes mencionados, usadas generalmente cuando es necesario dar un giro con un ángulo determinado para cruzar carreteras, evitar obstáculos, así como también cuando es necesario elevar la línea para subir un cerro o pasar por debajo/encima de una línea existente.

Existen también las llamadas torres de suspensión, las cuales no deben soportar peso alguno más que el del propio conductor. Este tipo de torres son usadas para llevar al conductor de un sitio a otro, tomando en cuenta que sea una línea recta, que no se encuentren cruces de líneas u obstáculos.

La capacidad de la línea de transmisión afecta al tamaño de estas estructuras principales. Por ejemplo, la estructura de la torre varía directamente según el voltaje requerido y la capacidad de la línea. Las torres pueden ser postes simples de madera para las líneas de transmisión pequeñas hasta 36 kilovoltios (kV).. Se utilizan estructuras de acero independientes, de circuito simple, para las líneas de 150 kV; 500kV o más. Es posible tener líneas de transmisión de hasta 1.000 kV.

Al estar estas formadas por estructuras hechas de perfiles de acero, como medio de sustentación del conductor se emplean aisladores de disco o aisladores poliméricos y herrajes para soportarlos

Distribución

La Red de Distribución de la Energía Eléctrica o Sistema de Distribución de Energía Eléctrica es la parte del sistema de suministro eléctrico cuya función es el suministro de energía desde la subestación de distribución hasta los usuarios finales (medidor del cliente). Se lleva a cabo por los Operadores del Sistema de Distribución (Centro de despacho de carga).

Los elementos que conforman la red o sistema de distribución son los siguientes:

Subestación de Distribución: conjunto de elementos (transformadores, interruptores, seccionadores, etc.) cuya función es reducir los niveles de alta tensión de las líneas de transmisión (o subtransmisión) hasta niveles de media tensión para su ramificación en múltiples salidas.

La distribución de la energía eléctrica desde las subestaciones de transformación de la red de transporte se realiza en dos etapas.

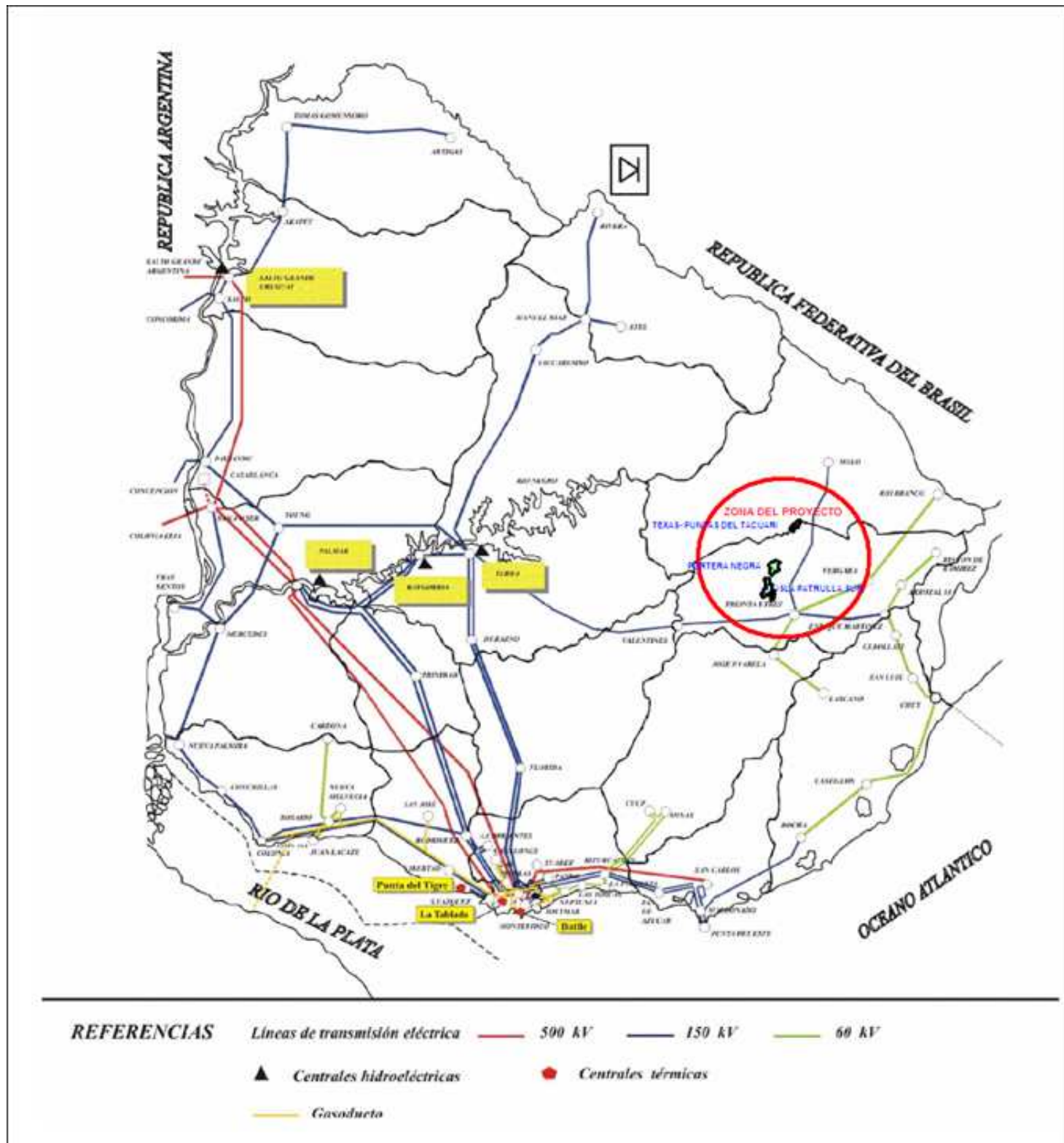
La primera etapa está constituida por la red de de Alta Tensión, que, partiendo de las subestaciones de transformación, distribuye la energía, normalmente mediante anillos que rodean los grandes centros de consumo, hasta llegar a las estaciones transformadoras de distribución. Las tensiones utilizadas están comprendidas entre 150 kV y 500kV. Intercaladas en estos anillos están las estaciones transformadoras de distribución, encargadas de reducir la tensión desde el nivel de reparto al de distribución en media tensión.

La segunda etapa la constituye la red de distribución propiamente dicha, con tensiones de funcionamiento de 3 a 30 kV y con una característica muy radial. Esta red cubre la superficie de los grandes centros de consumo (población, gran industria, etc.), uniendo las estaciones transformadoras de distribución con los centros de transformación, que son la última etapa del suministro en media tensión, ya que las tensiones a la salida de estos centros es de baja tensión (125/220 ó 220/380 V1).

Las líneas que forman la red de distribución se operan de forma radial, sin que formen mallas, al contrario que las redes de transporte y de reparto. Cuando existe una avería, un dispositivo de protección situado al principio de cada red lo detecta y abre el interruptor que alimenta esta red.

La localización de averías se hace por el método de "prueba y error", dividiendo la red que tiene la avería en dos mitades y energizando una de ellas; a medida que se acota la zona con avería, se devuelve el suministro al resto de la red. Esto ocasiona que en el transcurso de localización se pueden producir varias interrupciones a un mismo usuario de la red.

MAPA ELÉCTRICO DE ALTA TENSIÓN DE URUGUAY



Topologías típicas de redes de distribución

La topología de una red de distribución es referida al esquema o arreglo de la distribución, esto es la forma en que se distribuye la energía por medio de la disposición de los segmentos de los circuitos de distribución. En este sentido se enfoca a la forma como se distribuye la energía a partir de la fuente de suministro.

Red radial o red en antena

Se caracteriza por la alimentación por uno solo de sus extremos transmitiendo la energía en forma radial a los receptores y el emisor. Además presenta un cableado en las partes.

Ventajas

Resaltan su simplicidad y la facilidad que presentan para ser equipadas de protecciones selectivas. Prácticamente sin energía eléctrica no podemos hacer nada en la vida actual, todo funciona con ella, televisión, internet, radio, licuadoras, refrigeradoras, lavadoras, aspiradoras, las bombas para enviarte agua para tu casa, etc.

Desventajas

Su falta de garantía de servicio.

Estas desventajas pueden ser compensadas en la actualidad con los dispositivos modernos de desconexión automática de la zona en falla llamados "Órganos de Corte de Red" o la utilización de los dispositivos llamados "Reconectores" que desconectan y cierran la zona en falla, procurando de esa manera despejar la zona en falla y volver el servicio sobre la línea completa.

Redes en bucle abierto

Esto significa que cualquier punto de consumo, en esta estructura, puede ser alimentado por dos posibles caminos eléctricos, dado que uno solo de estos dos caminos es efectivo, la emergencia se realiza mediante esta posibilidad de bucle.

Ventajas

Todas las ventajas de la distribución en redes radiales y además la posibilidad de alimentar alternativamente de una fuente u otra, con lo que ante situaciones de falta y utilizando los OCR y Reconectores, quedaría siempre fuera de servicio la zona en falta más pequeña posible y el resto de la línea en servicio.

Desventajas

Si la estructura está alejada del pararrayos la electricidad sería dirigida a la puntas de la tierra lo cual afectaría a las estructuras más cercanas.

Red en anillo o en bucle cerrado

Se caracteriza por tener dos de sus extremos alimentados, quedando estos puntos intercalados en el anillo o bucle.

Ventajas

Como ventaja fundamental podemos citar su seguridad de servicio y facilidad de mantenimiento.

Corrientes de corto circuito

Las corrientes de cortocircuito para fallas fase a fase estarán limitadas únicamente por las impedancias de la fuente, de la línea, y de la propia falla, así que en la medida que la fuente disponga de más potencia de cortocircuito circulará por la línea mayor corriente.

Las corrientes de cortocircuito fase a tierra, están limitadas por todas las razones anteriores pero además por el sistema de puesta a tierra del neutro de la Red. Existen varias formas de hacerlo. Aislado. Que producen las mínimas corrientes y máximas sobretensiones, quizá recomendable para distribuciones no muy extensas y que la necesidad de continuar con la línea en falta en servicio sea imperiosa. La detección de la falta de una forma selectiva tiene cierta complicación. No obstante, se recomienda que se haga la transferencia a una línea sana en el menor tiempo posible. Puesto directamente a tierra. Que producen las máximas corrientes y mínimas sobretensiones, quizá recomendable para distribuciones extensas y que puedan ser seccionadas mediante dispositivos semiautomáticos o automáticos. La detección selectiva de la falta resulta fácil, con lo que unido al uso de dispositivos automáticos "Reconectores", se dejaría fuera de servicio la zona en falta.

Otras formas intermedias de tratamiento del neutro, "PaT resistivo", "PaT inductivo", "Corriente muy limitada a unos pocos amperios" "Corriente menos limitada a unos cientos de amperios", "Corriente muy limitada a unos pocos amperios y conectándola casi directamente a tierra durante pequeño espacio de tiempo", todos ellos se pueden acercar más al sistema aislado o al sistema puesto a tierra y cada diseñador de la Red debe sopesar detenidamente las desventajas y ventajas de cada sistema en su caso particular.

Hay que tener en cuenta que la correcta elección es muy importante ya que pasados unos años será muy difícil reestructurar la Red para cambiar el sistema de puesta a tierra.

Subestación eléctrica

Una **subestación eléctrica** es una instalación destinada a modificar y establecer los niveles de **tensión** de una infraestructura eléctrica, para facilitar la **transmisión** y **distribución** de la **energía eléctrica**. Su equipo principal es el **transformador**. Normalmente está dividida en secciones, por lo general 3 principales, y las demás son derivadas.

Las secciones principales son las siguientes:

1. Sección de medición.
2. Sección para las cuchillas de paso.
3. Sección para el interruptor.

Las secciones derivadas normalmente llevan interruptores, depende de qué tipo, hacia los transformadores.

Como norma general, se puede hablar de **subestaciones eléctricas elevadoras**, situadas en las inmediaciones de las **centrales generadoras de energía eléctrica**, cuya función es elevar el nivel de tensión, hasta 150 y 500 kV, antes de entregar la energía a la **red de transporte**. Las **subestaciones eléctricas reductoras**, reducen el nivel de tensión hasta valores que oscilan, habitualmente entre 6.6, 15, 30, ó 60 kV y entregan la energía a la **red de distribución**. Posteriormente, los **centros de transformación** reducen los niveles de tensión hasta valores comerciales (**baja tensión**) aptos para el consumo doméstico e industrial, típicamente 220Vca y 400 Vca

Existen dos razones técnicas que explican por qué el transporte y la distribución en energía eléctrica se realizan a tensiones elevadas, y en consecuencia, por qué son necesarias las subestaciones eléctricas:

1. Las pérdidas de **potencia** que se producen en un conductor por el que circula una **corriente eléctrica**, debido al **Efecto Joule**, son directamente proporcionales al valor de esta ($P = I^2 \cdot R$).
2. La potencia eléctrica transportada en una red es directamente proporcional al valor de su tensión y al de su intensidad ($P = V \cdot I$).

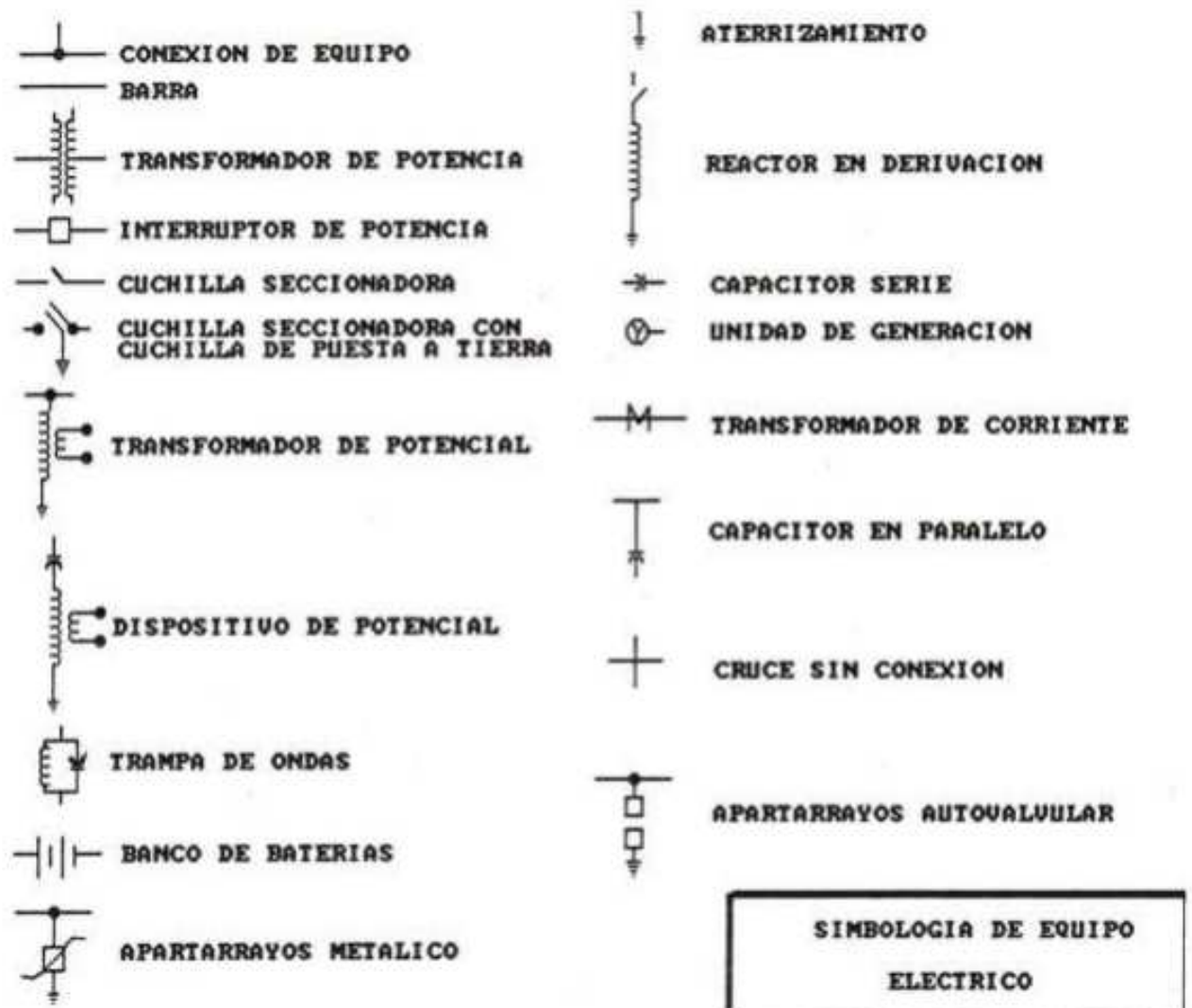
Por tanto, cuanto mayor sea el valor de la tensión, menor deberá ser el de intensidad para transmitir la misma potencia y, en consecuencia, menores serán las pérdidas por efecto Joule.

Además de **transformadores**, las subestaciones eléctricas están dotadas de elementos de maniobra (**interruptores**, **seccionadores**, etc.) y protección (fusibles, interruptores automáticos, relés; etc.) que desempeñan un papel fundamental en los procesos de mantenimiento y operación de las redes de distribución y transporte.



SIMBOLOGÍA DE EQUIPO ELÉCTRICO

Para la operación correcta y segura de las subestaciones, la nomenclatura para identificar voltajes, estaciones y equipos, será uniforme en toda la República Mexicana. Deberá además, facilitar la representación gráfica por los medios técnicos o tecnológicos disponibles en la operación. Cada uno de los dispositivos eléctricos de que consta una subestación de potencia se representa por medio de un símbolo simplificado como se muestra



NOTA: Ver anexo N° 2 – “Código numérico para esquemas eléctricos”

Componentes de una subestación eléctrica típica.

TRANSFORMADOR DE POTENCIA

NOTA: Ver anexo N°3 – “Instalación, operación y mantenimiento de transformadores en aceite”.

Ver anexo N°4 – “Manual de instrucción para transformadores de distribución tipo seco encapsulados en vacío”

Los transformadores son dispositivos basados en el fenómeno de la inducción electromagnética y están constituidos, en su forma más simple, por dos bobinas devanadas sobre un núcleo cerrado de hierro al silicio. Las bobinas o devanados se denominan “primario y secundario” según correspondan a la tensión alta o baja, respectivamente. También existen transformadores con más devanados, en este caso puede existir un devanado “terciario”, de menor tensión que el secundario. Se denomina transformador a una máquina electromagnética que permite aumentar o disminuir el voltaje o tensión en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la frecuencia. La potencia que ingresa al equipo, en el caso de un transformador ideal, esto es, sin pérdidas, es igual a la que se obtiene a la salida. Las máquinas reales presentan un pequeño porcentaje de pérdidas, dependiendo de su diseño y tamaño.

La razón técnica para realizar esta operación es la conveniencia de realizar el transporte de energía eléctrica a larga distancia a voltajes elevados para reducir las pérdidas resistivas ($P = I^2 R$), que dependen de la intensidad de corriente.

El Transformador es un dispositivo primario que, de acuerdo con su relación modifica los parámetros eléctricos, (tensión y corriente) operando como elevadores o reductores. Se pueden considerar formado por tres partes principales:

- Parte activa
- Parte pasiva
- Accesorios →

Parte activa

Está formada por un conjunto de elementos separados del tanque principal y que agrupa los siguientes elementos:

- 1. Núcleo.** Este constituye el circuito magnético, que está fabricado en láminas de acero al silicio. El núcleo puede ir unido a la tapa y levantarse con ella, o puede ir unido a la pared del tanque, lo cual produce mayor resistencia durante las maniobras mecánicas del transporte.
- 2. Bobinas.** Estas constituyen el circuito eléctrico, se fabrican utilizando alambre o solero de cobre o de aluminio. Los conductores se forran de material aislante, que puede tener diferentes características, de acuerdo con la tensión del servicio de la bobina, la temperatura y el medio en que va a estar sumergida. Los devanados deben tener conductos de enfriamiento radiales y axiales que permitan fluir el aceite y eliminar el calor generado en su interior. Además, deben tener apoyos y sujeciones suficientes para soportar los esfuerzos mecánicos debidos a su propio peso, y sobre todo los de tipo electromecánico que se producen durante cortocircuitos.

Parte pasiva

Consiste en el tanque donde se aloja la parte activa; se utiliza en los transformadores cuya parte activa va sumergida en líquidos. El tanque debe ser hermético, soportar el vacío absoluto sin presentar deformación permanente, proteger eléctrica y mecánicamente el transformador, ofrecen puntos de apoyo para el transporte y la carga del mismo, soportar los enfriadores, bombas de aceite, ventiladores y los accesorios especiales. La base del tanque debe ser lo suficientemente reforzada para soportar las maniobras de levantamiento durante la carga o descarga del mismo. El tanque y los radiadores de un transformador deben tener un área suficiente para disipar las pérdidas de energía desarrolladas dentro del transformador. A medida que la potencia de diseño de un transformador se hace crecer, el tanque y los radiadores, por si solos, no alcanzan a disipar el calor generado, por lo que en diseños de unidades de alta potencia se hace necesario adicionar enfriadores, a través de los cuales se hace circular aceite forzado por bombas, y se sopla aire sobre los enfriadores, por medio de ventiladores. A este tipo de eliminación térmica se le llama enfriamiento forzado.

Accesorios

Los accesorios de un transformador son un conjunto de partes y dispositivos que auxilian en la operación y facilitan en labores de mantenimiento.

1. Tanque conservador o de expansión.

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

2. Boquillas. Son los aisladores terminales de las bobinas de alta y baja tensión que se utilizan para atravesar el tanque o la tapa del transformador.

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

4. Válvulas. Conjunto de dispositivos que se utilizan para el llenado, vaciado, mantenimiento y muestreo del aceite del transformador.

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

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

Operación del Transformador:

- a. Potencia,** la potencia del transformador está determinada por la magnitud de la carga que se alimentará y la perspectiva de aumentos futuros de consumos.
- b. Cantidad,** cuantos transformadores se requieren.
- c. Taps.** cantidad y valores de las derivaciones en el primario y secundario para disponer de una mayor flexibilidad para optimizar los niveles de la tensión secundaria.
- d. Tensión del Primario y Secundario,** corresponden a la tensión primaria existente y la necesidad de tensión secundaria.
- e. Aspectos constructivos.** La disponibilidad de taps, La instalación (intemperie, bajo techo), Protecciones (incorporadas): temperatura, presión, Refrigeración: Ventilación forzada; Circulación del aceite forzada, Componentes de montaje, Cambiador de taps bajo carga.
- f. Mantenimiento del Transformador,** además de chequear periódicamente las condiciones generales del transformador y de su funcionamiento, se debe analizar el estado del aceite, limpieza de aisladores. En general estos elementos requieren de poco mantenimiento

CONEXIONES TÍPICAS

Conexión estrella-estrella. Esta conexión da un servicio satisfactorio si la carga trifásica es balanceada; si la carga es desbalanceada, el neutro eléctrico tiende a ser desplazado del punto central, haciendo diferentes los voltajes de línea a neutro; esta desventaja puede ser eliminada conectando a tierra el neutro. La ventaja de este sistema de conexiones es que el aislamiento soporta únicamente el voltaje de línea a tierra.

Conexión delta-delta. Este arreglo es usado generalmente en sistemas donde los voltajes no son altos y cuando la continuidad del servicio debe ser mantenida aun si unos de los transformadores fallan; si esto sucede, los transformadores pueden continuar operando en la conexión delta-abierta, también llamada “conexión V” con esta conexión no se presentan problemas con cargas desbalanceadas, pues prácticamente los voltajes permanecen iguales, independientemente del grado de desbalance de la carga.

Conexión delta-estrella. Esta conexión se emplea usualmente para elevar el voltaje, como por ejemplo al principio de un sistema de transmisión de alta tensión. Otra de sus ventajas es que el punto de neutro es estable y no flota cuando la carga es desbalanceada. Esta conexión también es muy usada cuando los transformadores deben suministrar carga trifásica y carga monofásica; en estos casos, la conexión proporciona un cuarto hilo conectado al neutro.

Pruebas a transformadores.

Las pruebas mínimas que deben efectuarse a los transformadores antes de la instalación:

- 1. Inspección del aparato.** Se verifica el cumplimiento de las normas y especificaciones.
- 2. Aceite aislante.** Se debe verificar la rigidez dieléctrica y la acidez.
- 3. Resistencia de aislamiento.** Se mide con un megger, la medición se efectúa en tres pasos, primero se mide la resistencia de los devanados entre alta y baja tensión, después se mide alta tensión y tierra y finalmente en baja tensión y tierra.
- 4. Inspección del alambrado de control.** Se comprueba la continuidad y la operación de los circuitos de control, protección, medición, señalización, sistema de enfriamiento, cambiador de derivaciones y transformadores de instrumentos.
- 5. Relación de transformación.** Esta prueba se efectúa para determinar que las bobinas han sido fabricadas, de acuerdo con el diseño y con el número de vueltas exacto.
- 6. Polaridad.** Se requiere su comprobación para efectuar la conexión adecuada de los bancos de transformadores.
- 7. Potencial aplicado.** Sirve para comprobar el aislamiento de los devanados con respecto a tierra. Consiste en juntar por un lado todas las terminales del devanado que se va aprobar y, por otro lado, se conectan entre si todas las terminales de los otros devanados y estas a su vez se conectan a tierra.
- 8. Potencial inducido.** Sirve para comprobar el aislamiento entre espiras y entre secciones de los devanados. Consiste en inducir entre las terminales de un devanado, en una tensión doble de la nominal durante un minuto, y una frecuencia al doble de la nominal, para que no se sature el núcleo.
- 9. Perdidas en el hierro y por ciento de la corriente de excitación.** Estos valores se indican en las especificaciones de acuerdo con sus valores máximos permitidos, que se llaman valores garantizados.
- 10. Perdidas de carga y por ciento de impedancia.** También se fijan valores garantizados y se cobran multas en caso de pérdidas superiores a las garantizadas.
- 11. Temperatura.** Estas pruebas se efectúan a una unidad de cada lote; se desarrollan conectando el cambiador de derivaciones en posición de perdidas máximas y trabajando el sistema de enfriamiento correspondiente a plena capacidad
- 12. Impulso.** Es una prueba de tipo opcional; simula las condiciones producidas por la descarga de un rayo y consiste en aplicar sucesivamente al aislamiento de un transformador una onda de impulso completa a tensión reducida, dos ondas de impulso cortadas en la cola y una onda de impulso completa a tensión plena.

TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTOS

Son dispositivos electromagnéticos cuya función principal es reducir a escala, las magnitudes de tensión y corriente que se utilizan para la protección y medición de los diferentes circuitos de una subestación, o sistema eléctrico en general. Los aparatos de medición y protección que se montan sobre los tableros de una subestación no están constituidos para soportar ni grandes tensiones, ni grandes corrientes. Con el objeto de disminuir el costo y los peligros de las altas tensiones dentro de los tableros de control y protección, se dispone de los aparatos llamados transformadores de corriente y potencial que representan, a escalas muy reducidas, las grandes magnitudes de corriente o de tensión respectivamente. Normalmente estos transformadores se construyen con sus secundarios, para corrientes de 5 amperes o tensiones de 120 volts. Los transformadores de corriente se conectan en serie con la línea, mientras que los de potencial se conectan en paralelo, entre dos fases o entre fase o neutro. Esto en sí, representa un concepto de dualidad entre los transformadores de corriente y los de potencial que se puede generalizar en la siguiente tabla:

Tabla 3.1. Equivalencias de funciones en los transformadores de instrumentos

Concepto	Transformadores	
	Potencial	Corriente
Tensión	Constante	Variable
Corriente	Variable	Constante
La carga se denomina por:	Corriente	Tensión
Causa de error:	Caída de tensión en serie	Corriente derivada en paralelo
Conexión de transformador a la línea:	En paralelo	En serie
Conexión de los aparatos al secundario:	En paralelo	En serie

TRANSFORMADORES DE POTENCIAL

Son aparatos en que la tensión secundaria, dentro de las condiciones normales de operación, es prácticamente proporcional a la tensión primaria, aunque ligeramente desfasada. Desarrollan dos funciones: transformar la tensión y aislar los instrumentos de protección y medición conectados a los circuitos de alta tensión.

El primario se conecta en paralelo con el circuito por controlar y el secundario se conecta en paralelo con las bobinas de tensión de los diferentes aparatos de medición y protección que se requieren energizar. Estos transformadores se fabrican para servicio interior y exterior, y al igual que los de corriente, se fabrican con aislamientos de resinas sintéticas para tensiones bajas o medias, mientras que para altas tensiones se utilizan aislamientos de papel, aceite y porcelana. A diferencia de los aparatos de corriente, los de potencial se construyen de un solo embobinado secundario.

PARÁMETROS DE LOS TRANSFORMADORES DE POTENCIAL

Tensión. Las tensiones primaria y secundaria de un transformador de potencial deben estar normalizadas de acuerdo con cualquiera de las normas nacionales o internacionales en uso.

Tensión primaria. Se debe seleccionar el valor normalizado inmediato superior al valor calculado de la tensión nominal de la instalación.

Tensión secundaria. Los valores normalizados, según la ANSI son de 120 volts para aparatos de 25 kv y de 115 volts para aquellos con valores superiores de 34.5 kv.

Potencia nominal. Es la potencia secundaria expresada en volt-amperes, que se desarrollan bajo la tensión nominal y que se indica en la placa de características del aparato.

Carga. Es la impedancia que se conecta a las terminales del devanado secundario.

Clase de precisión para medición. La clase de precisión se designa por el error máximo admisible en por ciento, que el transformador de potencia puede introducir en la medición de potencia operando con su tensión nominal primaria y la frecuencia nominal. La precisión de un transformador se debe poder garantizar para los valores entre 90 y 110% de la tensión nominal.

TRANSFORMADORES DE CORRIENTE

Son aparatos en que la corriente secundaria, dentro de las condiciones normales de operación, es prácticamente proporcional a la corriente primaria, aunque ligeramente desfasada. Desarrollan dos tipos de función; transformar la corriente y aislar los instrumentos de protección y medición conectados a los circuitos de alta tensión. El primario del transformador se conecta en serie con el circuito por controlar y el secundario se conecta en serie con las bobinas de corriente de los aparatos de medición y de protección que requieran ser energizados

Un transformador de corriente puede tener uno o varios secundarios, embobinados a su vez sobre uno o varios circuitos magnéticos. Si el aparato tiene varios circuitos magnéticos, se comporta como si fueran varios transformadores diferentes. Un circuito se puede utilizar para mediciones que requieran mayor precisión, y los demás se pueden utilizar para protección. Por lo tanto, conviene que las protecciones diferenciales y de distancia se conectan a transformadores independientes. La tensión del aislamiento de un transformador de corriente debe ser, cuando menos, al igual a la tensión más elevada del sistema al que va a estar conectado.

Para el caso de los transformadores utilizados en protecciones con relevadores estáticos se requieren núcleos que provoquen menos saturaciones que en el caso de los relevadores de tipo electromagnético, ya que las velocidades de respuesta de las protecciones electrónicas son mayores.

Los transformadores de corriente pueden ser de medición, de protección o mixtos:

Transformadores de medición. Los transformadores cuya función es medir, requieren reproducir fielmente la magnitud y el ángulo de fase de la corriente. Su precisión debe garantizarse desde una pequeña fracción de corriente nominal del orden del 10%, hasta un exceso de corriente del orden del 20% sobre su valor nominal.

Transformadores de protección. Los transformadores cuya función es proteger el circuito, requieren conservar su fidelidad hasta un valor de 20 veces la magnitud de la corriente nominal. En el caso de los relevadores de sobrecorriente, solo importa la relación de la transformación, pero en otro tipo de relevadores, como pueden ser los de impedancias, se requiere además de la relación de transformación, mantener el error del ángulo de fase dentro de los valores predeterminados.

Transformadores mixtos. En este caso, los transformadores se diseñan para una combinación de los dos casos anteriores, un circuito con el núcleo de alta precisión para los circuitos de medición y uno o dos circuitos más, con sus núcleos adecuados, para los circuitos de protección.

PARÁMETROS DE LOS TRANSFORMADORES DE CORRIENTE

Corriente. Las corrientes primaria y secundaria de un transformador de corriente deben estar normalizadas de acuerdo con cualquiera de las normas nacionales o internacionales.

Corriente primaria. Para esta magnitud se selecciona el valor normalizado inmediato superior de la corriente calculada para la instalación. Para subestaciones de potencial, los valores normalizados son: 300, 400, 600, 800, 1200, 1500, 2000, y 4000 amperes.

Carga secundaria. Es el valor de la impedancia en ohms, reflejada en el secundario de los transformadores de corriente, y que está constituida por la suma de las impedancias del conjunto de todos los medidores, relevadores, cables, y conexiones conectados en serie con el secundario y que corresponde a la llamada potencia de precisión a la corriente nominal secundaria.

Límite térmico. Un transformador debe soportar en forma permanente, hasta un 20% sobre el valor nominal de corriente, sin exceder el nivel de temperatura especificado.

Límite de corto circuito. Es la corriente de cortocircuito máxima que soporta un transformador durante un tiempo que varía entre 1 y 5 segundos. Esta corriente puede llegar a significar una fuerza del orden de varias toneladas.

Tensión secundaria nominal. Es la tensión que se levanta en las terminales secundarias del transformador al alimentar este una carga de veinte veces la corriente secundaria nominal.

Potencia nominal. Es la potencia aparente secundaria que a veces se expresa en volt-amperes (VA) y a veces en ohms, bajo una corriente nominal determinada y que se indica en la placa de características del aparato

Clase de precisión para medición. La clase de precisión se designa por el error máximo admisible, en porciento, que el transformador puede introducir en la medición, operando con su corriente nominal primaria y la frecuencia nominal.

Clase de precisión para protección. Los transformadores con núcleos para protección, se diseñan para que la corriente secundaria sea proporcional a la primaria, para corrientes con valores de 20 veces el valor de la corriente nominal.

DESCARGADORES

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

Un dispositivo de protección efectivo debe tener tres características principales:

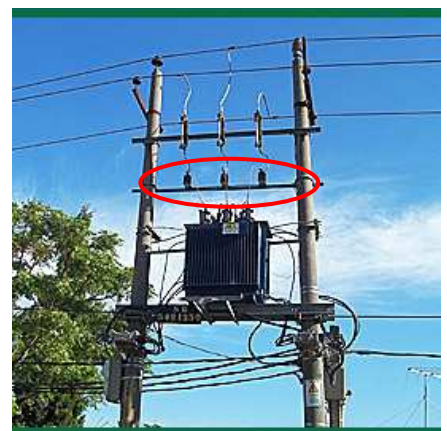
- Comportarse como un aislador mientras la tensión aplicada no exceda cierto valor determinado.
- Convertirse en conductor al alcanzar la tensión de ese valor.
- Conducir a tierra la onda de corriente producida por la onda de sobretensión.



Fig. 8 Descargador de la línea de alta tensión. Una vez desaparecida la sobretensión y restablecida la tensión normal. El dispositivo de protección debe de interrumpir la corriente. Estas características se logran con el aparato llamado descargador..

Los descargadores cumplen con las siguientes funciones:

- a) Descargar las sobretensiones cuando su magnitud llega al valor de la tensión disruptiva del diseño.
- b) Conducir a tierra las corrientes de descarga producidas por las sobretensiones.
- c) Debe desaparecer la corriente de descarga al desaparecer las sobretensiones.
- d) No deben operar con sobretensiones temporales, de baja frecuencia.
- e) La tensión residual debe ser menor que la tensión que resisten los aparatos que protegen. La función del descargador no es eliminar las ondas de sobre tensión, sino limitar su magnitud a valores que no sean perjudiciales al aislamiento del equipo. Cuando se origina una sobretensión, se produce el arqueo de los entrehierros y la corriente resultante es limitada por las resistencias a pequeños valores, hasta que en una de las paradas por cero de la onda de corriente, los explosores interrumpen definitivamente la corriente.



Las sobretensiones se pueden agrupar en las categorías siguientes:

- Sobretensiones de impulso por rayo. Son generadas por las descargas eléctricas en la atmosfera (rayos); tienen una duración del orden de decenas de microsegundos.
- Sobretensiones de impulso por maniobra. Son originadas por la operación de los interruptores. Producen ondas con frecuencias del orden de 10 kHz y se amortiguan rápidamente. Tienen una duración del orden de milisegundos.
- Sobretensiones de baja frecuencia (50 Hz). Se originan durante los rechazos de carga en un sistema, por desequilibrio en una red, o corto circuito de fase a tierra. Tienen una duración del orden de algunos ciclos.

Los descargadores deben de quedar conectados permanentemente a los circuitos que protegen y entran en operación en el instante en que la sobretensión alcanza un valor convenido, superior a la tensión máxima del sistema.

Los descargadores se pueden considerar divididos en tres grupos:

- Cuernos de arco.
- Descargadores autovalvulares.
- Descargadores de óxidos metálicos.

Cuernos de arco

Es el caso de los descargadores más primitivos y pueden estar formados por un solo expulsor, caso más sencillo, o varios expulsores en serie, conectados por un lado al circuito vivo que se va a proteger, y por el otro lado, a la red de tierra.

Descargadores autovalvulares

Este grupo de descargadores también de tipo convencional, está formado por una serie de resistencias no lineales de carburo de silicio, prácticamente sin inductancia, presentadas como pequeños cilindros de material prensado. Las resistencias se conectan en serie con un conjunto de explosores intercalados entre los cilindros. Las resistencias evitan que, una vez iniciada la descarga en los explosores, se produzca una corriente permanente. A su vez permiten disminuir las distancias entre los electrodos, proporcionando mayor sensibilidad al descargador, aun en el caso de sobretensiones reducidas.

Descargadores de óxido metálicos

Tienen su base en las investigaciones que se han venido efectuando sobre las propiedades semiconductoras de los óxidos metálicos. Este tipo está basado también en que la curva de tensión –corriente de las resistencias es menos lineal que la del caso de carburo de silicio: conduce cuando la tensión es superior a la tensión máxima de referencia y cierra la conducción, prácticamente a un valor cero, cuando la tensión regresa a su valor normal. Los descargadores están constituidos por varias piezas de resistencia no lineal, de óxido de zinc, aplicadas dentro de una columna hueca de porcelana, sin entrehierros. En la parte superior de la porcelana tienen una placa relevadora de presión que, en caso de una sobretensión interna, se rompe y permite escapar los gases hacia arriba sin producir daños laterales. Las resistencias no lineales son también unos pequeños

cilindros formados por partículas de óxido de zinc de menor tamaño que en el caso de los convencionales. Consideraciones generales de los descargadores.

Ventajas de los óxidos de zinc sobre los de tipo convencional I.

1. Como no tienen entrehierro, su protección es constante.
2. Por su característica de tensión-corriente menos lineal que los de tipo convencional, no permite el flujo de corriente posterior, causada por una sobretensión.
3. Debido a que absorben menos energía que los convencionales, pueden soportar mayor cantidad de rayos y operaciones de interruptores.
4. El volumen de las partes activas se reducen respecto al tipo convencional, lo que los hace más compactos.
 - **Tensión nominal.** Se define como la tensión máxima continua a valor eficaz y a frecuencia industrial, al que soporta un descargador entre sus terminales, y que permite la terminación de la ionización después de que han estado descargando energía en los explosores.
 - **Capacidad de sobretensión.** Cuando a un descargador de zinc se le aplica una tensión que excede continuamente el valor nominal y durante un tiempo largo, se incrementan las pérdidas en watts de las resistencias y aumenta su temperatura.
 - **Corriente de descarga.** Se define así el valor pico de un impulso de corriente normalizado con una onda de 8 x 20 microsegundos que se utiliza para la clasificación de los descargadores.

Características principales que debe tener el descargador instalado:

- a) Presentar una impedancia alta o infinita a tensión nominal para minimizar las pérdidas en condiciones normales.
- b) Presentar una impedancia baja durante la ocurrencia de los transitorios (sobretensión) para limitar la tensión y proteger el sistema o equipos instalados (aislamiento, transformadores, etc.).
- c) Drenar la corriente de la descarga y extinguir el arco de potencia durante el transitorio en 50 Hz sin presentar daño alguno.
- d) Regresar a las condiciones de circuito abierto (alta impedancia) después del transitorio.

INTERRUPTORES DE POTENCIA

El interruptor es un dispositivo destinado al cierre y apertura de la continuidad del circuito eléctrico bajo carga, en condiciones normales, y esta es su función principal, bajo condiciones de corto circuito. Sirve para insertar o retirar de cualquier circuito energizado, máquinas, aparatos, líneas aéreas o cables.

El interruptor es, junto con el transformador, el dispositivo más importante de una subestación, su comportamiento determina el nivel de confiabilidad que se puede tener en un sistema eléctrico de potencia. El interruptor debe ser capaz de interrumpir corriente eléctrica de intensidades y factores de potencia diferentes, pasando desde la corriente capacitiva de varios cientos de amperes y las inductivas de varias decenas de kilo amperes (corto circuito).

El interruptor se puede considerar por:

Parte activa: Constituida por las cámaras de extinción que soporta los contactos fijos y el mecanismo de operación que soporta los contactos móviles.

Parte pasiva: Formado por una estructura que soporta uno o tres dispositivos de aceite, si el interruptor es de aceite, en los que se aloja la parte activa.

En sí, la parte pasiva desarrolla las funciones siguientes:

- a) Protege eléctrica y mecánicamente el interruptor.
- b) Ofrece puntos para el levantamiento y transporte del interruptor, así como espacio para la instalación de los accesorios.
- c) Soporta los recipientes de aceite, si los hay, y el gabinete de control.

Parámetros de los interruptores.

A continuación algunas de las magnitudes características que hay que considerar en un interruptor.

Tensión nominal: Es el valor eficaz de la tensión entre fases de sistema en que se instala el interruptor.

Tensión máxima: Es el valor máximo de la tensión para la cual está diseñada el interruptor y representa el límite superior de la tensión, al cual debe operar, según norma.

Corriente nominal: Es el valor eficaz de la corriente normal máxima que puede circular continuamente a través del interruptor sin exceder los límites recomendables de elevación de temperatura.

Corriente de corto circuito inicial: Es el valor pico de la primera semionda de corriente, comprendida en ella la componente transitoria.

Corriente de corto circuito: El valor eficaz de la corriente máxima de corto circuito que puede abrir las cámaras de extinción de arco. Las unidades son kiloamperes aun que comúnmente se dan en megavolt-amperes (MVA) de cortocircuito.

Tensión de restablecimiento: Es el valor eficaz de la tensión máxima de la primera semionda de la componente alterna, que aparecen entre los contactos de interruptor después de la extinción de la corriente. Tiene una influencia muy importante en la capacidad de apertura de interruptor y

presenta una frecuencia que es el de orden de miles de Hertz, de acuerdo con los parámetros eléctricos del sistema en la zona de operación.

Esta tensión tiene dos componentes, una frecuencia nominal del sistema y la otra superpuesta que oscila a la frecuencia natural del sistema.

Resistencia de contactos: Cuando una cámara de arqueo se cierra, se produce un contacto metálico en un área muy pequeña formada por tres puntos, que es lo que en geometría determina un plano. Este contacto formado por tres o más puntos es lo que fija el concepto de resistencia de contacto y que provoca el calentamiento del contacto, al pasar la corriente nominal a través de él.

Cámara de extinción de arco: Es la parte principal de cualquier interruptor eléctrico, en donde al abrir los contactos se transforma en calor la energía que circula por el circuito de que se trate.

Dichas cámaras deben soportar los esfuerzos electrodinámicos de la corriente de cortocircuito, así como los esfuerzos dieléctricos que aparecen al producirse la desconexión del banco de reactores, capacitores y transformadores.

El fenómeno de interrupción aparece al iniciarse la separación de los contactos, apareciendo un arco a través de un fluido, que lo transforma en plasma y que provoca esfuerzo en las cámaras, debido a las altas presiones y temperaturas. Al interrumpirse la corriente, durante el paso de la onda por cero, aparece entre los contactos la llamada tensión transitoria de restablecimiento.

Durante la interrupción del arco, aparecen los siguientes fenómenos:

- a) Altas temperaturas debido al plasma creado por el arco.
- b) Altas presiones debido a la alta temperatura del plasma.
- c) Flujo turbulentos del gas que adquiere velocidad variable entre 100 y 1000 metros entre segundo y que producen el soplado del arco, su alargamiento y, por lo tanto, su extinción.
- d) Mesas metálicas en movimiento (contacto móvil) que se aceleran en poco milésimas de segundo hasta adquirir velocidad de orden de 10 metros/ segundo en tres segundos.
- e) Esfuerzos mecánicos debido a la corriente de cortocircuito.
- f) Esfuerzos dieléctricos debido a la tensión de restablecimiento.

Los interruptores se pueden clasificar:

- Interruptores de pequeño volumen de aceite (PVA).
- Interruptores de hexafluoruro de azufre (sf₆).
- Interruptores neumáticos.
- Interruptores en vacío.

INTERRUPTORES EN ACEITE

Fueron los primeros Interruptores que se emplearon en campo y que utilizaron el aceite para la extinción del arco eléctrico. Estos utilizan la energía del arco para romper las moléculas del aceite, liberando una notable cantidad de gas Hidrógeno (proporcionalmente a la energía del arco), caracterizado por su elevada capacidad térmica y una constante de tiempo de desionización pequeña; el fenómeno se ve reforzado por las elevadas presiones que se alcanzan y que son del orden de 50 a 100 bar. El aceite se descompone aproximadamente en 70% de Hidrogeno (H₂) y 30% de C₂H₂ (ACETILENO), C₂H₄ (ETILENO), CH₄ (METANO). En este tipo de extinción el arco producido calienta el aceite dando lugar a una formación de gas muy intensa, que aprovechando el diseño de la cámara empuja un chorro de aceite a través del arco, provocando su alargamiento y enfriamiento hasta llegar a la extinción del mismo al pasar la onda de corriente por cero.

CARACTERISTICAS DEL ACEITE Las características requeridas del aceite aislante dependen del equipo donde se vaya a utilizar (Transformador, Boquillas, Reactores, Interruptores, Restauradores, cambiadores de derivación, seccionadores, etc.). La función del aceite en el interruptor es la de aislar las partes vivas de tierra y producir Hidrogeno para la extinción del arco, es decir, se usa como dieléctrico, aislante y como medio interruptivo. El aceite es creado a base de petróleo del tipo nafténico, refinados para evitar la formación de lodos y corrosión debido al contenido de azufre y otras impurezas. Este aceite tiene la característica de alta rigidez dieléctrica, debido a que tiene una buena conductividad térmica (2.7×10^{-4} cal/s cm °C) y una alta capacidad térmica (0.44 cal/g °C). El aceite bajo condiciones atmosféricas normales, y para un entrehierro de contactos es muy superior al del aire o al SF₆ bajo las mismas condiciones.

El aceite se degrada con pequeñas cantidades de agua y por cantidades de carbón que son el resultado de la carbonización del aceite al momento de formarse el arco en él. La pureza del aceite generalmente se evalúa por su claridad y transparencia, cuando el aceite es nuevo tiene un color ámbar claro ya contaminado es oscuro y tiene depósitos negros que son signos de la carbonización. La prueba que determina las condiciones del aceite es la prueba de Rigidez Dieléctrica, el aceite en buenas condiciones debe tener una rigidez dieléctrica mayor a 30 kV (nuevo) y para un aceite ya usado se recomienda que la rigidez dieléctrica no sea menor a 15 kV .

Ventajas del aceite El aceite como medio de extinción del arco, tiene las siguientes ventajas:

- Durante el arqueo, el aceite actúa como productor de Hidrógeno, gas que ayuda a enfriar y extinguir el arco.
- Proveer el aislamiento de las partes vivas con respecto a tierra. • Proporcionar el aislamiento entre los contactos después de la extinción del arco.
- Proporciona una menor longitud de arco.

Desventajas del aceite

- El aceite es inflamable y por lo tanto se tiene riesgo de fuego. Cuando un interruptor defectuoso falla bajo presión, puede causar una explosión.
- El hidrógeno generado durante el arco cuando se combina con el aire forma una mezcla explosiva. • A causa de la descomposición del aceite en el arco, produce partículas de carbón, condición que reduce su resistencia dieléctrica. Por lo tanto, requiere regenerarse o cambiarse periódicamente, lo que eleva los costos de mantenimiento. • No son adecuados para la ruptura de corrientes continuas.

INTERRUPTORES EN PEQUEÑO VOLUMEN DE ACEITE (PVA)

Debido a la necesidad de reducir espacio por los altos costos del terreno, a la escasez y al alto precio del aceite se desarrolló este tipo de Interruptor de Potencia, el cual utiliza volúmenes de aceite mucho menores que el de GVA. Si se disminuye el volumen del aceite aislante, sustituyéndolo por un recipiente por fase de material aislante y se limita el volumen de aceite al justamente preciso para llenar la cámara de extinción, tendremos al Interruptor PVA. Estos interruptores ocupan aproximadamente el 2% de aceite de un interruptor GVA para los mismos valores nominales de tensión y capacidad interruptiva. En este tipo de interruptores los polos están separados y las cámaras de interrupción se disponen en el interior de tubos cilíndricos aislantes y de porcelana, o bien de resina sintética con los extremos cerrados por medio de piezas metálicas, de esta manera se requiere de menos aceite como aislante y se hace la sustitución por otro tipo de aislamiento. El dispositivo de interrupción está alojado en un tanque de material aislante, el cual está al nivel de tensión de la línea de operación normal, por lo que se conoce también como Interruptores de tanque vivo, en contraposición a los GVA se les conoce como Interruptores de tanque muerto. Fig. 11 Partes del interruptor de pequeño volumen de aceite

Ventajas:

- Se limita la carbonización del aceite.
- Hay una mínima disipación de energía.
- La caída de tensión en el arco es muy baja, reduciendo con esto el riesgo de sobretensiones durante el proceso de extinción.
- Se tiene una desionización más rápida del trayecto del arco.
- Como una consecuencia de la poca disipación de energía se tiene un deterioro reducido de los contactos.

Desventajas:

- Peligro de incendio y explosión aunque en menor grado comparados a los de gran volumen.
- No pueden usarse con reconexión automática.
- Requieren un mantenimiento frecuente y reemplazos periódicos de aceite.

INTERRUPTORES EN GAS HEXAFLUORURO DE AZUFRE (SF6)

El continuo aumento en los niveles de cortocircuito en los sistemas de potencia ha forzado a encontrar formas más eficientes de interrumpir corrientes de fallas que minimicen los tiempos de corte y reduzcan la energía disipada durante el arco. Es por estas razones que se han estado desarrollando con bastante éxito interruptores en Hexafluoruro de Azufre (SF6). Otra importante ventaja de este gas, es su alta rigidez dieléctrica que hace que sea un excelente aislante. De esta forma se logra una significativa reducción en las superficies ocupadas por subestaciones. La reducción de espacios alcanzada con el uso de unidades de SF6 es cercana al 50% comparado a subestaciones tradicionales. Esta ventaja muchas veces compensa desde el punto de vista económico, claramente se debe mencionar que hay un mayor costo inicial, en su implementación.

Durante el proceso de apertura, el arco generado entre los contactos se alarga en la medida que se separan y el gas SF₆ que está en el interior de la cámara de ruptura y que pasa por una boquilla de soplado se empuja a una presión considerable sobre el arco, combinando la acción del pistón y del arco, el chorro de gas enfría y simultáneamente interrumpe el arco eléctrico, quedando restablecido el dieléctrico, con lo que se evita la mayoría de las veces el reencendido de arco.

CARACTERISTICAS DEL HEXAFLUORURO DE AZUFRE (SF₆)

Este es un gas halógeno cuya estructura molecular está formada por un átomo de azufre central, unido a seis de flúor dispuestos en los vértices de un octaedro mediante enlaces covalentes. Su molécula es simétrica e inerte químicamente, presentando además una gran estabilidad debida a la elevada energía de formación.

Las propiedades generales más importantes que debe poseer el hexafluoruro de azufre para su aplicación en los Interruptores y que cumpla con su función de aislante eléctrico, refrigerante y un agente para extinguir el arco eléctrico son las siguientes:

- Alta rigidez dieléctrica.
- Estabilidad química.
- Estabilidad Térmica.
- Baja temperatura de licuefacción.
- No inflamabilidad.
- Alta conductividad térmica.
- Inerte.
- Habilidad para extinguir el arco Eléctrico.

El SF₆ es el único gas que posee las propiedades físicas, químicas y dieléctricas favorables para la extinción del arco eléctrico, motivo por el cual se analizan brevemente sus propiedades más sobresalientes.

Ventajas

- Después de la abertura de los contactos, los gases ionizados no escapan al aire.
- Por lo que la apertura del Interruptor no produce casi ruido.
- Alta rigidez dieléctrica.
- El SF₆ es estable. El gas expuesto al arco se disocia en SF₄, SF₂ y en fluoruros metálicos, pero al enfriarse se recombinan de nuevo en SF₆.
- La alta rigidez dieléctrica del SF₆ lo hace un medio ideal para enfriar al arco, aun a presiones bajas.
- La presión requerida para interrupción del arco es mínima en comparación con los neumáticos.
- Buena conductividad térmica.
- Tiempo de extinción del arco mínimo.

Desventajas

- A presiones superiores a 3.5 Bars y temperaturas menores de -40 °C, el gas se licua.
- Como el gas es inodoro, incoloro e insípido, en lugares cerrados hay que tener cuidado de que no existan fugas de gas.
- Requiere de equipo especial para realizar inspección para detectar fugas.
- Los productos del arco son tóxicos y combinados con la humedad producen ácido fluorhídrico, que ataca la porcelana y el cemento de sellado de las boquillas.

INTERRUPTORES NEUMATICOS

El proceso de extinción del arco en los interruptores en aire, se basa en la desionización natural de los gases por una acción enfriadora que incrementa la resistencia del arco.

Ventajas:

- No implican peligro 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 presenta mucha dificultad.
- Se tiene muy fácil acceso a sus contactos.
- Versatilidad de operación, ya que se puede usar en sistemas de alta, media y baja tensión
- Menor daño a los contactos.
- Comparativamente menor peso.

Desventajas

- Requiere de la instalación de un sistema completo de aire comprimido.
- Su construcción y montaje es mucho más complicado derivado del elevado número de componentes que lo integran.
- Su costo es elevado tanto en su inversión inicial como en su mantenimiento.
- Requieren adiestramiento especializado para su mantenimiento.
- Son más sensibles al Régimen de Elevación del Voltaje Transitorio de Restablecimiento (RETTR).
- Es muy ruidoso cuando efectúa maniobras de apertura y cierre.

INTERRUPTORES EN VACÍO

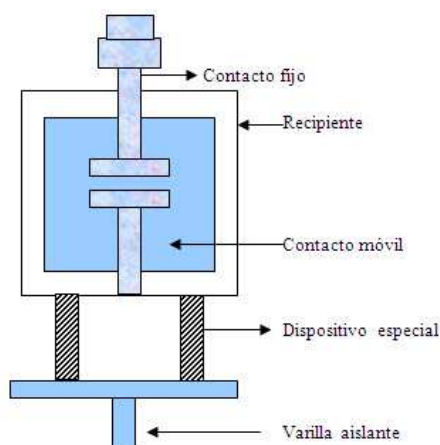
Se denomina vacío al lugar donde la presión que se mide es menor que la presión atmosférica normal (1mmHg).

Hay diferentes clases de vacío: grueso o primario, medio, alto y ultra alto, y en cada caso, la presión es cada vez menor (o el vacío es cada vez más alto). Cada régimen de vacío tiene un comportamiento diferente, y sobre todo, un cierto tipo de aplicaciones, que son las que hacen del vacío algo tan importante.

La alta rigidez dieléctrica que presenta el vacío (es el aislante perfecto) ofrece una excelente alternativa para apagar en forma efectiva el arco. En efecto, 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/ μ s para 100 A en comparación con 50 V/ μ s para el aire). Esto hace que el arco no vuelva a reencenderse. Estas propiedades hacen que el interruptor en vacío sea más eficiente, compacto y económico.

En los interruptores en vacío, la forma en cómo se da el proceso de apertura de los contactos, así como la elevada densidad de corriente en el último punto durante la separación en el proceso de interrupción, da lugar a la formación de un arco único y los vapores metálicos liberados constituyen el soporte del arco. De esta manera, si la dosificación de vapor metálico es muy elevada el arco se reenciende después del paso natural por cero de la corriente, y si por el contrario, es muy baja, entonces ocurre una extinción prematura la cual puede generar sobretensiones muy peligrosas. El control de este vapor metálico es en realidad la esencia del interruptor. Entre las medidas adoptadas constructivamente para controlar o evitar los vapores metálicos en los contactos destacan las siguientes:

- 1.- Uso de materiales especiales para los contactos, de manera que generen las cargas necesarias para sostener el arco en un valor lo más bajo posible.
- 2.- Empleo de pantallas metálicas refrigeradas para la condensación del vapor metálico.
- 3.- Hermetismo absoluto en la cámara de interrupción, de manera que el vacío se mantenga como mínimo por espacio de 20 años.



Cuchillas Seccionadoras

Las cuchillas desconectadoras (llamados también **Seccionadores**) son **interruptores** de una **subestación** o circuitos eléctricos que protegen a una subestación de cargas eléctricas demasiado elevadas ya que la función que desempeñan estos es soltarse para separar la fuente de las líneas. Son muy utilizadas en las centrales de transformación de energía eléctrica de cada ciudad. Consta de las siguientes partes:

1. **Contacto fijo.** Diseñado para trabajo rudo, con recubrimiento de plata.
2. **Multicontacto móvil.** Localizado en el extremo de las cuchillas, con recubrimiento de plata y muelles de respaldo que proporcionan cuatro puntos de contacto independientes para óptimo comportamiento y presión de contacto.
3. **Cámara interruptiva.** Asegura la interrupción sin arco externo. Las levas de las cuchillas y de la cámara interruptiva están diseñadas para eliminar cualquier posibilidad de flameo externo.
4. **Cuchillas.** Fabricadas con doble solera de cobre. La forma de su ensamble proporciona una mayor rigidez y alineación permanente, para asegurar una operación confiable.
5. **Contacto de bisagra.** Sus botones de contacto troquelado y plateados en la cara interna de las cuchillas, en unión con un gozne plateado giratorio y un resorte de presión de acero inoxidable, conforman un diseño que permite combinar óptimamente la presión de contacto, evitando puntos calientes pero facilitando la operación y estabilidad de las cuchillas.
6. **Aisladores tipo estación.** De porcelana, dependiendo del tipo de seccionador varía el número de campanas.
7. **Base acanalada.** De acero galvanizado de longitud variable, con varios agujeros y ranuras para instalarse en cualquier estructura.
8. **Cojinete.** De acero, con buje de bronce que proporciona una operación suave. No requiere mantenimiento y resiste la corrosión.
9. **Mecanismo de operación.** Permite una amplia selección de arreglos de montaje para diferentes estructuras.

La maniobra de operación con estas cuchillas implica abrir antes los interruptores que las cuchillas en el caso de desconexión. Y cerrar antes las cuchillas y después los interruptores en el caso de conexión.

Esto es debido a que los seccionadores son un tipo de aparato eléctrico más de seguridad, que de corte propiamente dicho, pues su objetivo es proporcionar una seguridad visual de desconexión real ante operaciones que requieren desconexión. De esta forma, un operario trabajando puede ver directamente que la desconexión se ha llevado a cabo, y que no sufrirá ninguna clase de daños, aunque exista un fallo en los interruptores, y que las cuchillas pueden tener peligro de arco eléctrico mientras que los interruptores, no.

BANCOS DE BATERIAS

Son bancos de baterías estacionarios con capacidad para suministrar potencia en corriente directa a los esquemas de protección, control, señalización y todo lo que requiera de corriente directa a través de centros de carga.

Estos bancos de baterías deben estar alimentados por su cargador - rectificador que convierte la corriente alterna en corriente directa para la carga de los mismos.

Fig. 17 Banco de baterías. Se denomina batería a un conjunto de celdas conectadas en serie.

La tensión nominal de la batería viene dada por la suma de las tensiones de cada una de las celdas. Las baterías, según el tipo de electrolito pueden ser ácidas o alcalinas.

BATERIA DE TIPO ÁCIDO Cada celda está formada por las siguientes partes: Recipiente. Es un envase que puede ser poliestireno transparente. O de vidrio, que ofrece la ventaja de permitir la inspección visual de los elementos interiores. Dentro del recipiente se localizan las placas activas, el electrolito y los separadores. Placas. Las placas positivas están formadas por dióxido de plomo (PbO_2) y pueden estar fabricadas en dos formas:

a) **Placa plana empastada de una masa de dióxido de plomo.** Este tipo se utiliza en la industria automotriz por ser más barata, pero es de menor duración, ya que con el uso y la vibración se va disgregando la pasta.

b) **Placa multitubular.** Formada por una hilera de tubos fabricados con malla de fibra de vidrio trenzada, dentro de los cuales se introduce una varilla de aleación de plomo. Al unir todos los tubos en su parte superior queda formada la placa. Este método tiene la ventaja de producir mayor energía por unidad de peso y además evita la sedimentación del material activo, por lo que llega a tener una duración de hasta 20 años. Las placas negativas son planas en ambos casos, y están formadas por plomo puro.

Separadores. Son los elementos aislantes que mantienen separadas las placas positivas de las negativas. Son láminas ranuradas. Fabricadas de hule microporoso para permitir la circulación del electrolito, sin que este afecte químicamente.

Electrolito. Está formado por ácido sulfúrico diluido en agua. Cuando la celda tiene carga eléctrica completa, la densidad del electrolito es de 1.21. Operación de una celda de tipo ácido. Cuando una celda está completamente cargada, en la placa positiva hay dióxido de plomo y en la negativa solamente plomo. Ambas placas están bañadas por el electrolito.

Al cerrarse el circuito exterior de la batería, comienza la liberación de la energía eléctrica almacenada, y el radical sulfato (SO_4) del electrolito, se combina con el plomo contenido en las placas, transformándose en sulfato de plomo y diluyéndose el electrolito.

BATERIA DE TIPO ALCALINO

La descripción es practicante igual que las de tipo acido, por lo tanto conviene describir las diferencias, utilizando una celda de níquel-cadmio.

Recipiente. Son de plástico opaco y tienen el inconveniente de no permitir la inspección ocular del interior.

Placa positiva. Está formada por una hilera de tubos de malla de acero, que contiene hidróxido de níquel.

Placa negativa. Es igual a la positiva, pero rellena de óxido de cadmio, el cual se reduce a cadmio metálico durante el proceso de carga.

Separadores. Se usan barras de hule o de polietileno.

Electrolito. Es una solución de hidróxido de potasio, con una densidad que oscila entre 1.6 y 1.9 a 25°, oscilación que no se debe a la carga eléctrica de la celda. Durante los 25 años, en promedio, que dura la vida de estas celdas se hace necesario cambiar el electrolito unas tres veces, debido al envejecimiento que se produce por el dióxido de carbono de la atmosfera.

CARGADORES DE BATERIA

Son los dispositivos eléctricos (generadores de cd) o electrónicos que se utilizan para cargar y mantener en flotación, con carga permanente, la batería de que se trate, el cargador se conecta en paralelo con la batería.

La capacidad de los cargadores va a depender de la eficiencia de la batería, o sea, del tipo de batería que se adquiera. Para una misma demanda impuesta a la batería, se requiere un cargador de mayor capacidad, si es alcalina, por tener esta una eficiencia menor, de acuerdo con lo visto Selección de un cargador. Para seleccionar un cargador es necesario fijar su capacidad de salida en amperes.

Avances en la maniobrabilidad

Una de las maniobras más habituales y a la vez, más peligrosa, que se realiza en una subestación eléctrica es la apertura y cierre de interruptores, debido a que, el carácter **inductivo** de los circuitos, presenta rechazo al corte en la circulación de la intensidad eléctrica que se produce en la apertura de un interruptor. Pueden aparecer incluso, **arcos eléctricos** que liberan una gran cantidad de energía, y que pueden resultar peligrosos para las personas e instalaciones, por lo cual se debe usar equipo de protección personal especial, al realizar cualquier tipo de maniobra, como zapatos de seguridad y guantes, ambos de materiales **dieléctricos**, que produzcan suficiente aislación para la tensión de operación y un traje contra destello de arco eléctrico.

Los avances tecnológicos y las mejoras de diseño, han permitido sustituir los interruptores eléctricos convencionales, con corte al aire, por *interruptores blindados*, que realizan el corte de los circuitos en un depósito del gas **hexafluoruro de azufre (SF₆)**, que impide la formación de arcos y la propagación de la llama.

Estos sistemas se han definido como avance tecnológico, aunque realmente no es un sistema nuevo ya que los inicios de subestaciones aisladas en gas SF₆ datan desde los 70's y se ha observado que efectivamente impiden la formación del arco, pero se pueden convertir en una bomba ya que el gas SF₆ está contenido en un recipiente sellado.

Adicionalmente estas subestaciones aisladas en gas SF₆ requieren de mayor obra civil, ya que se debe de adecuar en el espacio confinado a la subestación una serie de ductos para el escape de gases calientes, de otro modo el personal y las instalaciones corren el riesgo de ser gravemente dañados.

Monitorización

Debido a la cada vez más envejecida red de subestaciones eléctricas, se hace imprescindible conocer la operación en tiempo real de cada una de las instalaciones. Avances tecnológicos como las comunicaciones Machine to machine (M2M) o Internet of Things han permitido desplegar redes de monitorización remotas en amplias áreas geográficas que permiten conocer el estado de los interruptores así como las medidas de los transductores

Instalación de enlace

El punto que une las redes de distribución con las instalaciones interiores de los clientes se denomina Instalación de Enlace y está compuesta por: Acometida, Caja general de protección, Líneas repartidoras y Derivaciones individuales.

PROTECCIONES EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS

Introducción a las protecciones eléctricas.

Los Sistemas de Protección se utilizan en los sistemas eléctricos de potencia para evitar la destrucción de equipos o instalaciones por causa de una falla que podría iniciarse de manera simple y después extenderse sin control en forma encadenada. Los sistemas de protección deben aislar la parte donde se ha producido la falla buscando perturbar lo menos posible la red, limitar el daño al equipo fallado, minimizar la posibilidad de un incendio, minimizar el peligro para las personas, minimizar el riesgo de daños de equipos eléctricos adyacentes

Componentes

Los sistemas de protección de un sistema de potencia se componen generalmente de los siguientes elementos:

- Elementos de medición; que permiten saber en qué estado está el sistema. En esta categoría se clasifican los **transformadores de corriente** y los **transformadores de voltaje**. Estos equipos son una interfaz entre el sistema de potencia y los relés de protección. Reducen las señales de intensidad de corriente y tensión, respectivamente, a valores adecuados que pueden ser conectados a las entradas de los relés de protección.
- Los relés de protección ó **relevadores**; que ordenan disparos automáticos en caso de falla. Son la parte principal del sistema de protección. Contienen la lógica que deben seguir los interruptores. Se comunican con el sistema de potencia por medio de los elementos de medida y ordenan operar a dispositivos tales como **interruptores**, **reconectores** u otros.
- Los **interruptores**; que hacen la conexión o desconexión de las redes eléctricas. Son gobernados por los relés y operan directamente el sistema de potencia.
- Sistema de alimentación del sistema de protecciones. Se acostumbra alimentar, tanto interruptores como relés con un sistema de alimentación de energía eléctrica independiente del sistema protegido con el fin de garantizar autonomía en la operación. De esta forma los relés e interruptores puedan efectuar su trabajo sin interferir. Es común que estos sistemas sean de tensión continua y estén alimentados por baterías o pilas.
- Sistema de comunicaciones. Es el que permite conocer el estado de interruptores y relés con el fin de poder realizar operaciones y analizar el estado del sistema eléctrico de potencia. Existen varios sistemas de comunicación. Algunos de estos son:
 - Nivel 0. Sistema de comunicaciones para operación y control en sitio.
 - Nivel 1. Sistema de comunicaciones para operación y control en cercanías del sitio.
 - Nivel 2. Sistema de comunicaciones para operación y control desde el centro de control local.
 - Nivel 3. Sistema de comunicaciones para operación y control desde centros de control nacional.

Esquemas de protección con relés

Los diseños y prestaciones específicas varían mucho con los requerimientos de aplicación, con las diferencias de construcción así como con el ciclo de vida del diseño en particular. Originalmente, todos los relevadores de protección fueron del tipo electromagnético y electromecánico, los que siguen estando en gran uso, pero los diseños de estado sólido están proliferando.

Características de los sistemas de protección por relés

Fiabilidad

Es el grado de certeza con el que el relé de protección actuará, para un estado pre diseñado. Es decir, un relé tendrá un grado de fiabilidad óptima, cuando éste actúe en el momento en que se requiere, desde el diseño.

Seguridad

La seguridad, se refiere al grado de certeza en el cual un relé no actuará para casos en los cuales no tiene que actuar. Por lo que un dispositivo que no actúe cuando no es necesario, tiene un grado de seguridad mayor que otros que actúan de forma inesperada, cuando son otras protecciones las que deben actuar.

Selectividad

Este aspecto es importante en el diseño de un SP, ya que indica la secuencia en que los relés actuarán, de manera que si falla un elemento, sea la protección de este elemento la que actúe y no la protección de otros elementos. Asimismo, si no actúa esta protección, deberá actuar la protección de mayor capacidad interruptiva, en forma jerárquica, precedente a la protección que no actuó. Esto significa que la protección que espera un tiempo y actúa, se conoce como dispositivo de protección de respaldo.

Velocidad

Se refiere al tiempo en que el relé tarda en completar el ciclo de detección-acción. Muchos dispositivos detectan instantáneamente la falla, pero tardan fracciones de segundo en enviar la señal de disparo al interruptor correspondiente. Por eso es muy importante la selección adecuada de una protección que no sobrepase el tiempo que tarda en dañarse el elemento a proteger de las posibles fallas.

Simplicidad

Forma sencilla para operar en cuanto a un diseño de protección

Economía

Cuando se diseña un SP lo primero que se debe tener en cuenta es el costo de los elementos a proteger. Mientras más elevado sea el costo de los elementos y la configuración de la interconexión de estos sea más compleja, el costo de los SP será de mayor magnitud. A veces el costo de un SP no es el punto a discutir, sino la importancia de la sección del SEP que debe proteger, lo recomendable es siempre analizar múltiples opciones para determinar cuál de ellas es la que satisface los requerimientos de protección al menor costo.

Protección de equipos eléctricos

Protección de generadores

Un **generador eléctrico** es una máquina rotatoria que gira gracias a la energía mecánica aplicada a su eje o flecha. La energía mecánica aplicada a este eje debe poseer la fuerza o torque adecuado para lograr un giro adecuado en el generador lo que se convertirá finalmente en energía eléctrica a través del fenómeno de inducción, donde luego se destinará esa energía a los centros de consumo.

Protecciones de motores

El **motor eléctrico** es una máquina rotatoria, destinada al uso de la energía eléctrica para obtener energía mecánica, proceso opuesto al del generador. Los motores son la principal fuerza de trabajo industrial en el mundo, ya que no emiten residuos contaminantes al aire, su adaptabilidad es mucho mayor que la de los motores de combustión interna, y su control va de lo más simple a lo más complejo. En un sistema de potencia, su uso es, principalmente para el bombeo de líquidos y vapores en el sistema de alimentación de las calderas, donde las plantas generadoras lo requieran. De aquí radica la importancia de su adecuada protección, ya que si éstas máquinas fallan, seguramente lo hará el sistema de potencia en general, debido a un fenómeno llamado '**avalancha de frecuencia**', creado por la baja de velocidad en los generadores, que a su vez dependen de la cantidad y de la intensidad de los flujos que mueven a la turbina.

Protecciones de transformadores

Se dice que el **transformador** es el alma de un sistema de potencia, ya que es éste el que se encuentra en cada uno de los puntos donde las tensiones cambian de valor. Siempre están dispuestos en una subestación, ya sea de interconexión, elevación, o reducción. El tipo de protección más comúnmente utilizado es la diferencial de corriente. Se basa en la aplicación de la ley de Kirchoff, según la cual el sumatorio de las corrientes entrantes y salientes debe ser igual a cero. En nuestro caso el relé de protección es alimentado por los transformadores de corriente instalados en los devanados principales (ya sean estos dos, tres o incluso más). Para eliminar posibles errores en la medición tanto de fase como de ángulo se le aplica un frenado a la protección. Este frenado se basa en la corriente a frecuencia fundamental, pero también en los armónicos segundo y quinto, para de ese modo evitar transitorios durante la excitación del transformador que se protege.

Protecciones de líneas de transmisión

La Línea de Transmisión (LT) es el elemento del sistema eléctrico de potencia destinado a transportar la energía, desde su generación hasta el punto de distribución para su consumo, por lo que se considera como el elemento más importante en el suministro de energía eléctrica. Y forma parte de la **Red de transporte de energía eléctrica**.

El esquema de protección de una LT está formado por una protección primaria y protecciones de respaldo, siendo la primaria de alta velocidad y las de respaldo con acción retardada.

El objeto de la característica de alta velocidad de la protección primaria es debido a que ésta debe actuar en la menor cantidad de tiempo posible tratando de aislar la falla del sistema, las de respaldo son de acción retardada, ya que tienen que esperar a que la protección primaria actúe, si no es así

lo harán éstas otras. Esto no significa que las de respaldo solo actuarán en caso de que la primaria no actúe.

La gran desventaja es que la protección de respaldo aísla una sección de mayor dimensión que la primaria.

Existen varios factores que afectan el diseño y operación de un SP en Líneas de Transmisión, los cuales son: configuración de la red y niveles de tensión, entre otros.

Los esquemas de protección que se pueden utilizar en una LT, son: Protección contra sobre corriente (PSC), Protección de distancia (PD), Protección de hilo piloto (PHP), y la protección híbrida (PH).

Las protecciones que se aplican a las líneas de transmisión se dividen en dos grupos principales, el de protecciones primarias y el de protecciones de respaldo como se describen a continuación:

1. Primaria

(a) Diferencial con hilo piloto

(b) Comparación de fase con onda portadora (carrier), o hilo piloto con tonos de audio

(c) Comparación direccional con relevadores de distancia y onda portadora, o hilo piloto con tonos de audio

2. Respaldo

(a) Distancia

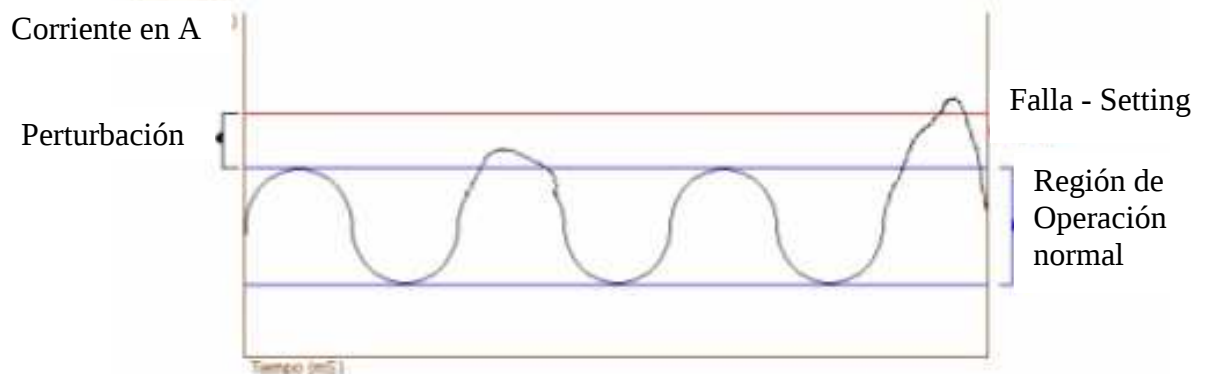
(b) Sobre corriente direccional de fases y tierra

Características operativas.

- Estado de operación Normal.
- Estado de operación Anormal :

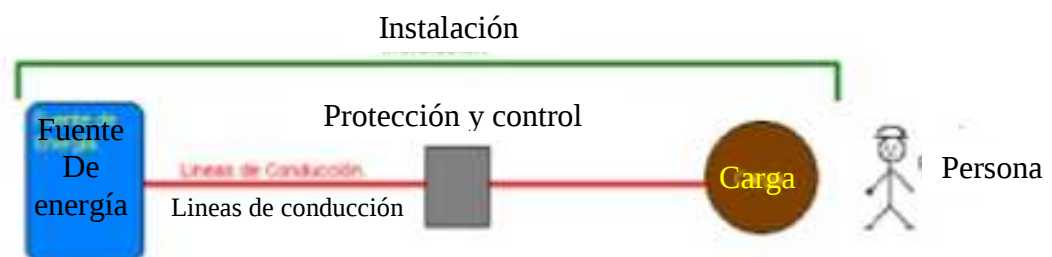
→ Perturbaciones.

→ Fallas.



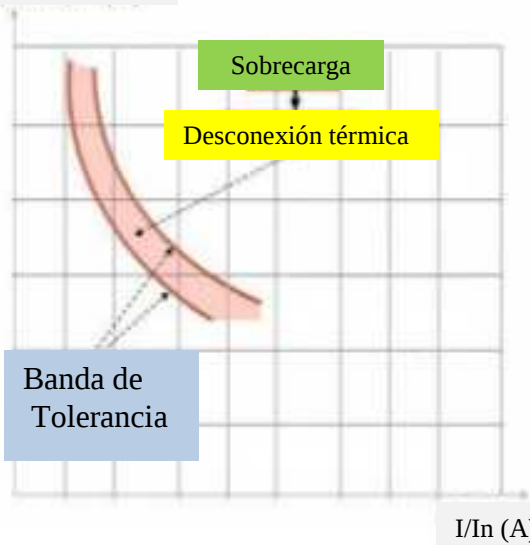
Fallas.

- Corto Circuito → Instalación.
- Sobrecargas → Cargas (equipos , máquinas).
- Defectos de Aislamiento → Equipos y personas.



Protección contra sobrecarga

Tiempo de disparo en ms



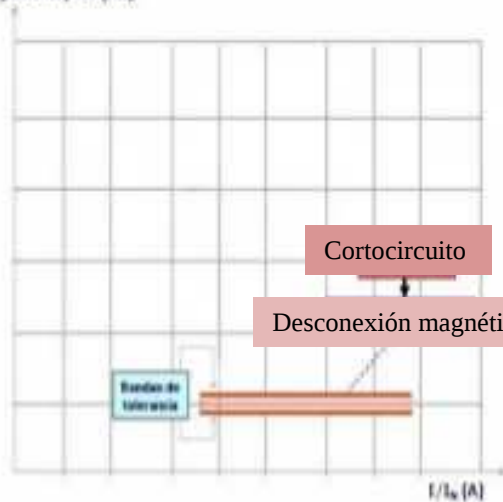
Protección Sobrecarga Temporizado:

Relé de sobrecorriente temporizado.

Es un dispositivo con características de tiempo inverso o definido que opera cuando la corriente en un circuito alterno excede un valor fijado.

Protección contra cortocircuito

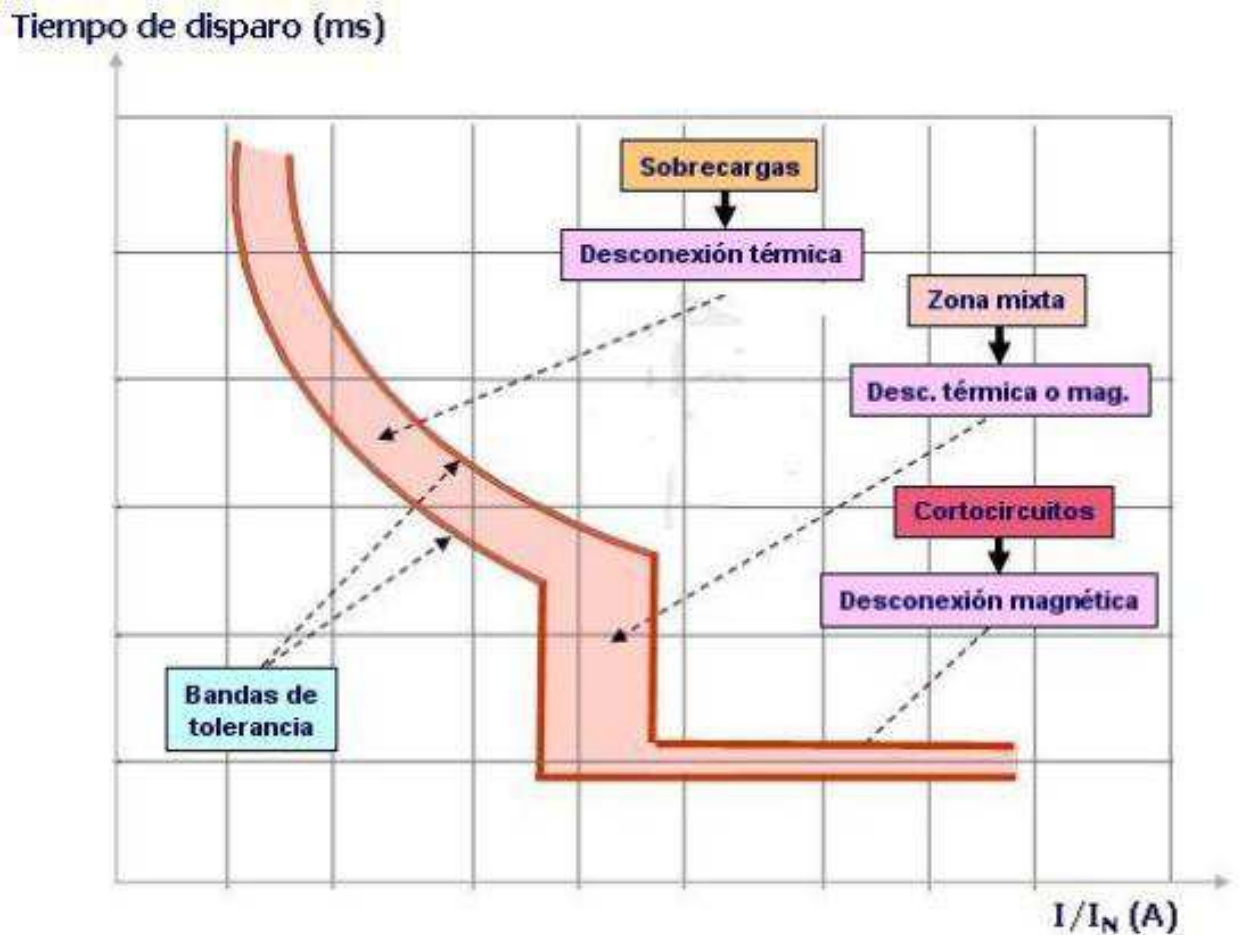
Tiempo de disparo (ms)



Protección Cortocircuito Instantáneo:

Relé de sobrecorriente instantáneo.

Es un dispositivo que opera instantáneamente cuando la corriente presenta un valor excesivo o tiene una rapidez de incremento superior al valor fijado en el dispositivo.



Protección sobrecarga y cortocircuito:

Protección absoluta contra sobrecorrientes.

Dispositivos que combinados, aseguran la protección frente a una eventual exceso de corriente ya sea con características de tiempo inverso (temporizado) ó con una presencia de valor y rapidez de incremento excesiva de corriente superior al valor fijado (instantáneo).

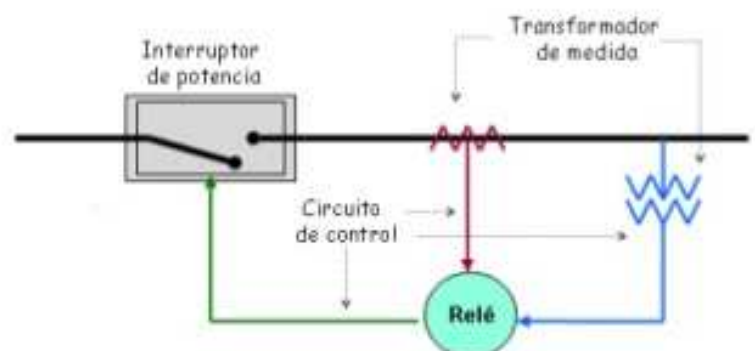
Simbología eléctrica.

- | | |
|--|---|
| 24 Relé variación Volt/Frec | 52 Interruptor de potencia (C.A) |
| 26 Dispositivo Térmico | 59 Relé Sobre Voltaje |
| 27 Relé Bajo Voltaje | 63 Relé de presión (Bucholz) |
| 32 Relé Potencia Inversa | 67 Relé de sobre corriente direccional de alterna |
| 40 Relé pérdida de campo | 71 Interruptor de Nivel de líquido |
| 46 Relé de equilibrio fases | 81 Relé Sobre/Baja Frecuencia |
| 50 Relé contra Cortocircuito instantáneo | 86 Relé Maestro block-out |
| 51 Relé contra Sobre corriente temporizado | 87 Relé de protección diferencial |
| | 89 Switch de Línea |

Sistema automático protección

Se compone de :

- Transformadores de Medida
- Interruptor de potencia
- Relé



Transformadores de Medida



Interrupidores de Potencia



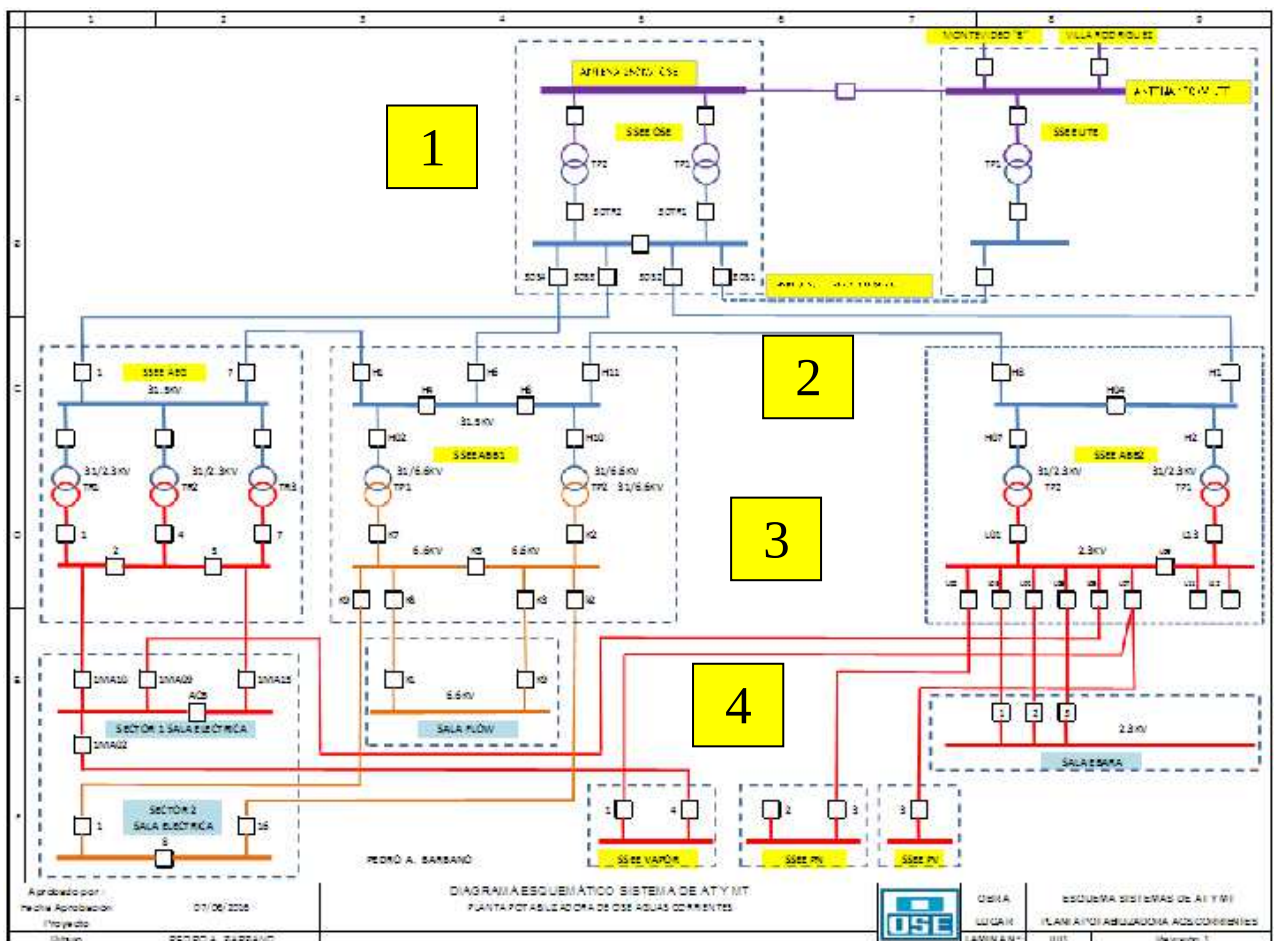
Relés multidigitales.

Funciones principales:

- Medidas análogas
- Numérico
- Autodiagnóstico
- Multifunción
- Señalizador
- Comunicador
- Compacto
- Software y Hardware



DIAGRAMA UNIFILAR SIMPLIFICADO PLANTA AGUAS CORRIENTES



OPERACIÓN DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS DE LA PLANTA DE AGUAS CORRIENTES

DESCRIPCIÓN BÁSICA DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA.

La planta potabilizadora de Aguas Corrientes cuenta, con una de las redes eléctricas de MT más complejas fuera de la propia UTE.

Es por esta razón que, para introducimos en el tema de la operación de la misma, debemos comprender claramente su estructura tanto en cantidad de subestaciones; líneas de transmisión; salas de bombeo; potencia de transformación instalada y potencia motriz instalada.

También se deben considerar todas las posibles combinaciones o configuraciones que podemos realizar, tanto entre líneas de distribución como en la alimentación de las salas de bombeo, para alimentar todos los equipos con la potencia necesaria desde diferentes subestaciones.

SECUENCIAS DE REPOSICIÓN.

Toda secuencia de reposición debe comenzar partiendo desde la fuente principal de energía y reponiendo todos los equipos intermedios hasta lograr que las cargas puedan entrar en operación en forma segura y eficiente. Cuando hablamos de cargas nos estamos refiriendo, básicamente a los equipos de bombeo y a toda el área de tratamiento.

En la figura del esquema eléctrico simplificado podemos ver la secuencia de reposición general que se describe a continuación:

1. Reposición de la subestación de 150KV / 31.5KV.
2. Reposición de líneas desde SSEE 150kV a SSEE de planta, en caso de ser necesario.
3. Reposición de las subestaciones internas de la planta (SSEE ABB1; SSEE ABB2; SSEE AEG; SSEE PN; SSEE PV y SSEE VAPOR).
4. Reposición de la energía eléctrica a los diferentes conjuntos de equipos de bombeo y tratamiento a saber:
 - Reposición de tratamiento; tanto Planta Vieja como Planta Nueva.
 - Reposición del sistema Ebaras.
 - Reposición del sistema FlowServe.
 - Reposición del sector 1 de sala eléctrica (bombeo ksb de baja y alimentación SSEE Vapor).
 - Reposición del sector 2 de sala eléctrica (bombeo ksb de alta)
 - Reposición bombeo Sistema Vapor (Bombas sumergibles y bombas chicas en toma vieja).

Cuando nos referimos a **“reposición”** en la mayoría de los casos significa la reposición de la energía eléctrica, a través de la reconexión de interruptores generales de alimentación de barras y alimentaciones a servicios auxiliares.

En otros casos la **“reposición”** significa solamente verificar que los sistemas de MT y BT ya están operativos.

En el módulo **“Procedimientos de reposición; reconfiguración; paradas programadas para mantenimiento y situaciones de emergencia”** veremos en forma detallada, partiendo de la SSEE de 150KV y llegando a las salas de bombeo, cada caso en particular con sus peculiaridades.

SECUENCIAS DE DESENERGIZACIÓN.

Esta secuencia es inversa a la secuencia de reposición, o sea que comenzaremos apagando los equipos de bombeo y tratamiento hasta que la o las subestaciones queden en vacío (sin carga tomada de ellas).

En el apartado **“Procedimientos de reposición; reconfiguración; paradas programadas para mantenimiento y situaciones de emergencia”** veremos los distintos procedimientos para dejar sin carga, y eventualmente sin tensión, todos los sistemas de MT de la planta.

SEGURIDAD EN EL MANEJO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA Y EN MANIOBRAS EN MT Y AT

VER MANUAL ANEXO 1 - NS1D (NORMA DE SEGURIDAD PARA LA REALIZACIÓN DE MANIOBRAS Y TRABAJOS EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN MT Y AT).

CÓDIGOS ANSI/IEEE C37.2-1996 DE FUNCIONES DE PROTECCIÓN

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
25	SINCRONISMO
26Q	TEMPERATURA DE ACEITE
26W	TEMPERATURA BOBINADO (IMAGEN TÉRMICA)
27	SUBTENSIÓN
50/51	SOBRECORRIENTE DE FASE INSTÁNTANEO Y TEMPORIZADO IDMT
50/51N	SOBRECORRIENTE HOMOPOLAR INSTÁNTANEO Y TEMPORIZADO IDMT
59	SOBRETENSIÓN DE FASE
59NL	SOBRETENSIÓN RESIDUAL - ALARMA
59NH	SOBRETENSIÓN RESIDUAL - DISPARO
67H	SOBRECORRIENTE DIRECCIONAL DE FASE
67N	SOBRECORRIENTE DIRECCIONAL A TIERRA
71	NIVEL DE ACEITE
86	BLOQUEO
87T	DIFERENCIAL DE TRANSFORMADOR
87L	DIFERENCIAL DE CABLE O LÍNEA
87M	DIFERENCIAL DE MOTOR
95	BUCHHOLTZ
TC	TRANSFORMADOR DE CORRIENTE
TP	TRANSFORMADOR DE POTENCIA
TT	TRANSFORMADOR DE TENSIÓN

POR LISTA COMPLETA DE “Código numérico para esquemas eléctricos” VER ANEXO 2.

CONEXIONADO, FUNCIONAMIENTO, PROGRAMACIÓN Y ENSAYO DE RELÉS DE PROTECCIÓN

NOTA 1: Ver anexo N°5 – “PROTECCIONES DE SOBRECORRIENTE”

NOTA 2: Se utilizarán los manuales, existentes en la planta, de los relés montados en todas las subestaciones de transformación y salas de bombeo.

También se estudiarán las siguientes protecciones:

Sub tensión (código ANSI 27)

Sobretensión (código ANSI 59)

Sincronismo (código ANSI 25)

Diferencial de cable (código ANSI 87L)

Diferencial de Transformador (código ANSI 87T)

Diferencial de Motor (código ANSI 87M)

MOTORES ELECTRICOS DE MT Y MEDIA Y ALTA POTENCIA

Dentro de este grupo de motores están comprendidos todos los motores de las tres salas de bombeo de la planta de Aguas Corrientes y los temas que se desarrollaran serán los siguientes:

Constitución de un motor trifásico asíncrono de potencia con rotor bobinado y jaula de ardilla.

Montaje y puesta en marcha de un motor eléctrico de potencia.

Mantenimiento de motores eléctricos.

Métodos de arranque para motores trifásicos asíncronos.

- Por autotransformador.
- Por resistencia rotórica.
- Por arranque suave electrónico (softstarter)
- Por convertidor de frecuencia (CA/CA).

NOTA: Para este punto se utilizaran como material de apoyo los anexos N°6; 7 y 8.

ELECTRÓNICA DE POTENCIA

En este módulo se explicara en funcionamiento en bloques de un softarter (arranque suave) y de un convertidor de frecuencia (variador de velocidad).

Se explicara el funcionamiento básico de:

Diodos rectificadores.

Transistores NPN y PNP

Tiristores.

Rectificación monofásica y trifásica.

Filtración.

Cometido de cada uno de los componentes de un puente rectificador trifásico.

Verificación con osciloscopio de las formas de onda y de los valores eficaces sin filtrado y con filtrado adecuado a la salida del puente rectificador.

Transformación de la corriente continua en corriente alterna (ondulador).

Mediciones estáticas de diodos; transistores NPN y PNP y tiristores.

Uso del capacitmetro y medición de condensadores planos y electrolíticos.

PROCEDIMIENTOS DE REPOSICIÓN Y PARADAS PROGRAMADAS DE SUBESTACIONES O DE LAS DIFERENTES LÍNEAS DE MT QUE COMPONEN LA RED DE LA PLANTA.

NOTA: En este punto se desarrollaran documentos de maniobra que consideraran la mayoría de las fallas que se dan o se podrían dar en la planta de Aguas Corrientes; a partir de hipótesis, o de fallas que ya han ocurrido en la planta, se escribirán los diferentes “Manuales operativos o de contingencia” para cada situación particular. Estos manuales se desarrollaran observando el formato normalizado y quedaran como documentos de consulta para la planta de Aguas Corrientes.

ENSAYO DE RELÉS.

Se utilizaran instrumentos existentes en la planta para realizar ensayos en sitio o en banco de prueba y a partir de los datos obtenidos se realizaran las curvas de actuación de los relés utilizando planillas Excel.

ENSAYOS A TRANSFORMADORES Y MOTORES.

Estos ensayos consisten básicamente en la medición de la resistencia de la aislación al minuto y a los diez minutos y obtener el índice de polarización que es un indicador primario muy eficiente del estado del bobinado de un transformador o de un motor.

NOTA: Se les enseñara a los alumnos la utilización de todos y cada uno de los instrumentos necesarios para la realización de los ensayos antes mencionados.

Instructor: Pedro A. Barbano