1. - INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del Problema a Resolver

Se ha encontrado como un problema en la impartición de clases de las materias de eléctrica el material disperso para consultar, en tablas, gráficas manuales, reglamentos, normas y planos, hecho que provoca que el estudiante pierda interés al consultar información en diferentes formatos o versiones

1.2 Objetivo de la Tesis

Recopilar la información técnica necesaria en el tópico eléctrico dentro del área de especialización de la protección eléctrica

Que este escrito sirva como una guía de aplicación a la industria, tanto a los Ingenieros, como a los estudiantes la utilicen de consulta

En el campo de las protecciones eléctricas es muy amplia la información y el objetivo de esta tesis es reducir la información que se recopilara para facilitar al Ingeniero y al alumno el escoger el material o equipo para una buena coordinación de las protecciones en los sistemas de d stribución eléctr ca

1.3- Hipótesis

Se supone que los interesados vean en este escrito el manual que les ayude a escoger los elementos de protección necesarios para solucionar sus problemas relacionados con circuitos eléctricos, sistemas de distribución, fallas monofásicas fallas trifasicas instalaciones eléctricas, instalaciones industriales

1.4- Justificación del Trabajo de la Tesis

A traves de la experiencia de mas de 20 años como docente se ha encontrado que el principal problema al que se enfrentan los alumnos que estud an el área de e ectrica es tener que consu tar una gran cantidad de

información que se encuentra dispersa en manuales reglamentos catálogos tablas y gráficas relacionadas con el equipo de protección para la coordinación de las protecciones en sistemas eléctr cos de potencia perdiendo interés la consu ta

Se pretende que el alumno encuentre dicha información con mayor facilidad requiriendo menos tiempo al consultar este escrito como un manual para la clase de relevación y protección especialmente en los temas

Protección eléctrica por relevadores
Protección de sistemas de potencia
Coordinación de protecciones

1.5- Limitaciones del estudio

Las limitaciones que se tienen en este proyecto es de que es totalmente teórica ya que no se cuenta con los laboratorios apropiados para realizar pruebas a los elementos de protección de los que aquí se habla se supone que los datos que nos citan los libros, manuales, folletos son confiables en un mínimo de un noventa por ciento o cien por ciento y que estos datos se pueden usar libremente sin que por cuestión de marca, material de fabricación o reglamentación mexicana o extranjera

1.6- Metodología

1 6 1- Primer paso se recopilo y clasifico la información para este escrito de manera que sea fácil su consulta

1 6 2- Segundo paso se integro puntos de vista conceptos criter os normas reglamentos material y equipo relacionado con la coordinación de las protecciones e éctricas

1 6 3- Tercer paso se extienden sugerencias de conocedores y expertos en a mater a

1 6 4- Cuarto paso se citan tab as gráficos apéndices para loca zación rapida de datos

1 6 5- Quinto paso se recomienda aplicaciones practicas y demostraciones sencillas y eficaces para ahorrar tiempo y trabajo siguiendo los ejemplos que aqui se exponen

1.7- Revisión Bibliográfica

Del libro de Enriquez Harper Gilberto Fundamentos de INSTALACIONES ELÉCTRICAS de mediana y alta tensión se citan figuras dibujos y tablas

Del libro de B Ravindrananth PROTECCIÓN DE SISTEMAS DE POTENCIA E INTERRUPTORES se citan figuras

Del libro de VELASCO SOLÍS JESUS FUSIBLES Análisis de operación y selección se citan la información de fusibles

Del libro de Russell Mason c EL ARTE Y LA CIENCIA DE LA PROTECCIÓN POR RELEVADORES se mencionan los conceptos básicos de los relevadores y la protección

Del libro de Camarena M Pedro INSTALACIONES ELECTRICAS INDUSTRIALES se citan algunas tablas y figuras

Del libro de Goner Turan ELECTRIC POWER DISTRIBUTION SYSTEM ENGINEERING se reproducen las figuras de los interruptores y relevadores

De las normas publicadas por el INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL SE REPRODUCEN GRAFICAS Y CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LOS RELEVADORES

De la NOM-001-SEMP-1994 NORMA OFICIAL MEXICANA utilice el articulo 100 para sus definiciones

2. - FILOSOFÍA DE LA PROTECCIÓN POR RELEVACIÓN

2.1 PROTECCION DE SISTEMAS DE ALTA TENSIÓN

Generalidades sobre protección de sistemas de potencia

Formas generales de protección

1 Fusibles
2 Aparta rayos
3 Hi os de guarda
4 Ais amientos
5 Ventilación
6 Sistemas de tierra
7 Proteccion fisica

2.2 PROTECCIÓN POR RELEVADORES.

2.2.1 ¿QUÉ ES PROTECCION?

Un sistema de protección tiene como finalidad proveer a la humanidad de energía electrica mediante un grupo de aparatos o máquinas que convierten esta energía en movimiento luz calor etc , indispensables en la vida moderna

Todo sistema electrico está formado por partes creadas por el hombre y por tanto está sujeta a fallas

El conjunto de aparatos y sistemas puestos al servicio del sistema eléctrico que vigilan que se cumpla adecuadamente el propósito para el que fue creado es lo que se conoce como protección eléctrica

La protección evita fallas y d sminuye los efectos de las a tas y bajas de voltaje

2.2.2- ¿Cómo evita fallas la protección?

Con aislamientos adecuados se mantiene en operación correcta el sistema evitando que agentes externos intervengan y puedan alterar su buen funcionamiento, dando distancias y capacidades apropiadas se pueden evitar fallas debidas a agentes internos

Dotando de un sistema de ventilación efectivo al sistema eléctrico, se expulsa la energía térmica nociva acumulada conexiones de partes metálicas al sistema de tierras, así como señales y herramientas adecuadas, evitan fallas y accidentes

Los pararrayos son aparatos que disminuyen los efectos de sobretensiones creadas en el sistema interior por agentes externos e interno desviando sus efectos hacia la tierra

Los hilos de guarda y mástiles son sistemas de protección con finalidad semejante

Los interruptores y fusibles llevan en sí cierta capacidad interruptiva, por lo que pueden desligar una parte del sistema que ha sido afectada por una falla

Debido a su elemento térmico los fusibles se funden al ocurrir una falla y en esta forma se aísla la falla En cambio los interruptores deberán recibir la señal de apertura de relevadores que detecten la falla y por esta razón un interruptor sin relevadores no es más que un aparato para abrir o cerrar con carga

Como se verá el uso de relevadores es sólo uno de tantos sistemas de protección

2.3 PROTECCIÓN CON RELEVADORES ELÉCTRICOS.

Todo sistema eléctrico debe estar protegido mediante uno o varios sistemas que sean prácticos

Para que un sistema fuera protegido en forma perfecta tendrían que usarse protecciones de protecciones ya que el sistema de protección puede fallar también A medida que se descubren métodos más seguros se abandonan los que resultan ser más complicados y costosos

Las características esenciales de un sistema eléctrico son voltaje, corriente frecuencia fase polaridad potencia factor de potencia, etc , las cuales se alteran al suceder una falla en el sistema

Los relevadores tienen conocimiento de una o varias características y están arregladas para mantenerse inactivos mientras estas no varían Al ocurrir una falla el relevador detecta y selecciona la característica del sistema que le conviene y actúa sobre otro sistema aparte cerrando o abriendo algún contacto que pertenezca al sistema de apertura o cierre del interruptor que corresponda para el aislamiento de la falla de la parte del sistema donde se creó

Hay un elemento intermedio entre los relevadores y el sistema por proteger se trata de los transformadores de instrumentos que son de dos clases

Transformadores de corriente y

Transformadores de potencial.

La existencia de este eslabón es necesaria debido a las elevadas corrientes y los altos voltajes de los sistemas que hay que proteger y que no ser a práctico que los relevadores fueran diseñados para soportar esos voltajes y corrientes Se ha llegado poco a poco un voltaje de 120 volt para los elementos de potencial y 5 amperes para los elementos de corriente de esos aparatos protectores

2.4 PRESCRIPCIÓN GENERAL DE RELEVADORES ELÉCTRICOS.

Un relevador eléctrico es un dispositivo que, colocado en un circuito eléctrico produce cambios en otro o en su propio circuito Un relevador del tipo sencillo consta de una bobina y un contacto conectados en la forma siguiente

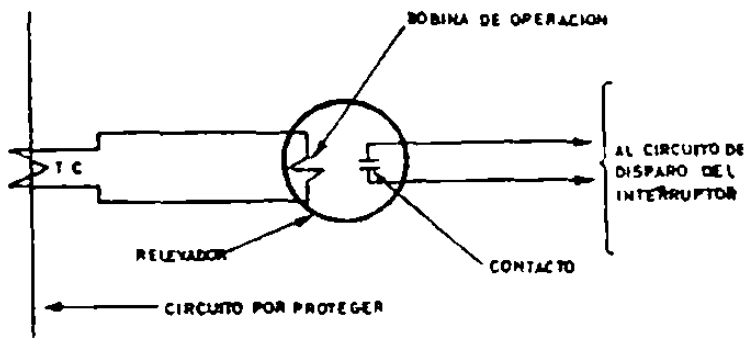


FIGURA 1 RELEVADOR

En donde se ve, el circuito por proteger se reciben las señales que pueden ser por una sobre corriente, y el relevador hace cerrar el contacto que pertenece a un circuito distinto el cual se utiliza para abrir el interruptor que se encuentra en la entrada de la línea

Principios en los que se basa los relevadores

Hay dos principios fundamentales en los que se basa la operación de los relevadores

2.4.1- Atracción electromagnética. Inducción electromagnética

El primero consiste en un vástago dentro de un solenoide o una pieza magnética atraida por un electroimán

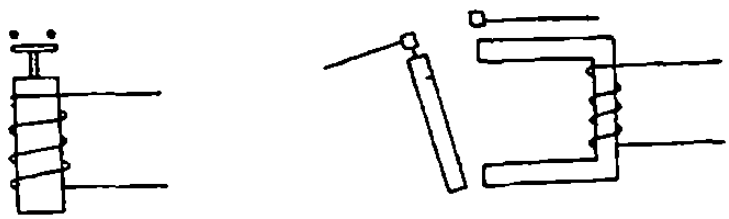


FIGURA 2 SELENOIDE Y ELECTROIMÁN

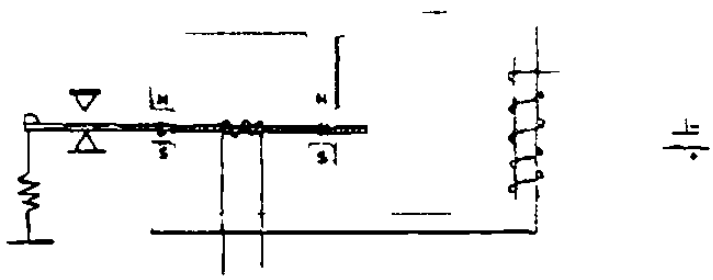


FIGURA 3 RELEVADOR DE DISCO TIPO WATTHORIMETRO

El segundo opera según el principio del motor de inducción en los discos de un watthorímetro, que se basa en él ultimo término en la acción de dos fuerzas magnéticas desfasadas que se explican a continuación

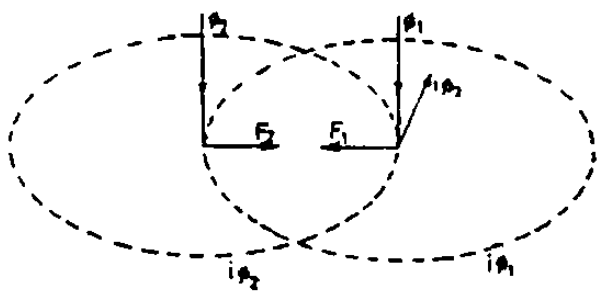


FIGURA 4 FUERZAS MAGNETICAS

La figura 4 muestra una placa del material conductor sobre la cual inciden dos campos magnéticos variables, los que inducen en las placas electromotrices alrededor de ellos que se traducen en corrientes y que producen un flujo que reacciona con los primarios Las corrientes producidas por uno de los flujos al reaccionar con el otro producen fuerzas que tienen el sentido marcado en la figura y que en último término actúan sobre el rotor

Los relevadores del tipo de inducción aprovechan este principio produciendo dos flujos sobre un disco que se mueve actuado por la fuerza que resulta y que es máxima cuando los flujos tienen un ángulo de fase entre sí de 90°

Apoyándose en este principio de inducción se han construido dos clases originales de relevadores eléctricos:

1 Los que actúan debido a una sola fuente de señales.

2 Los que lo hacen debido a dos o más fuentes

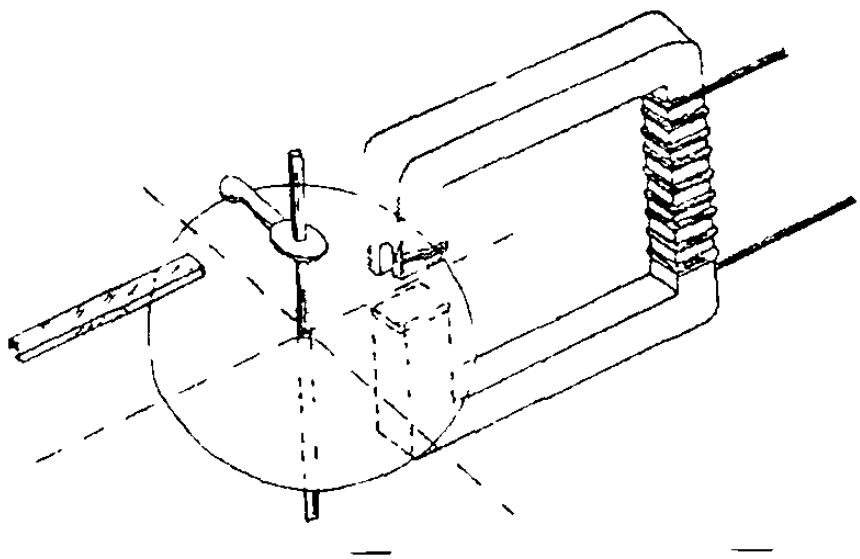


FIGURA 5 RELEVADOR DE 1 FUENTE DE SEÑALES

Un ejemplo de los primeros se describe a continuación.

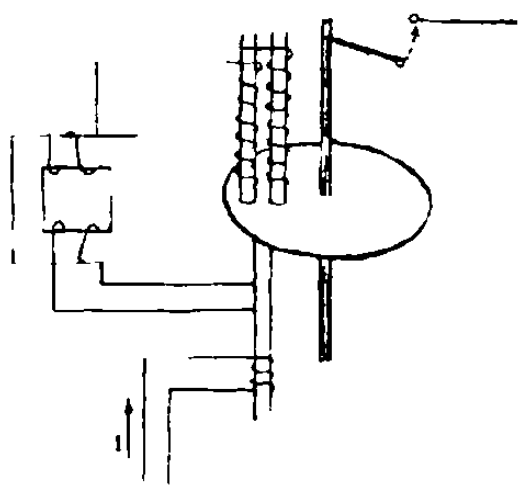


FIGURA 6 RELEVADOR DE 2 O MÁS FUENTES DE SEÑALES

Es un disco dé inducción sobre el cual cierra un circuito magnético con una sola bobina

El núcleo está dividido en dos regiones

Una por la que circula el flujo resultante de la corriente de la bobina y otra donde se ha devanado y puesto en corto circuito un embobinado o uno sola espira que desfasa una parte del flujo que atraviesa el entrehierro. De esta manera una sola señal hace actuar al disco en predeterminadas condiciones

Otro ejemplo es el de un relevador de sobrecorriente con características de tiempo inverso es el de la figura número 7

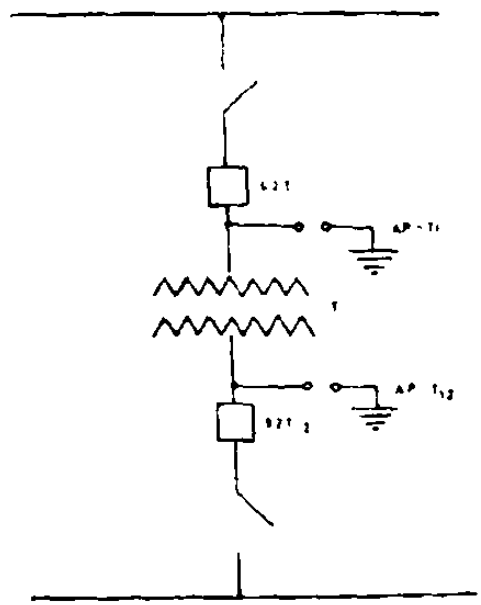


FIGURA 7 RELEVADOR DE SOBRE CORRIENTE

Lleva una bobina sobre el núcleo interior que es la única fuente de señales y esta corriente crea otra por medio de un acoplamiento magnético

sobre las bobinas del núcleo superior, lo cual produce una fuerza actuante en el disco debido al desfasamiento final de los flujos

La segunda clase de relevadores es la que pone en juego dos bobinas sobre un solo núcleo o sobre dos nodos separados como por ejemplo el ya conocido como núcleo de un watthorímetro

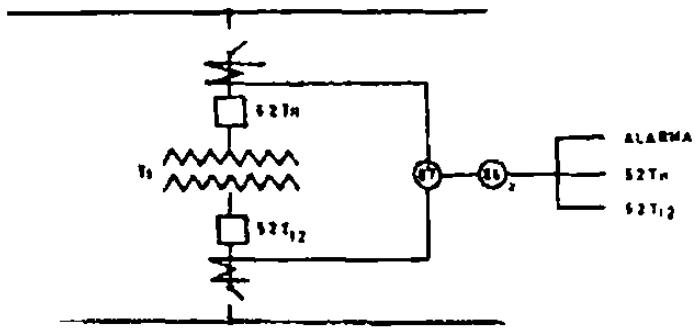


FIGURA 8 RELEVADOR DE 2 FUENTES

Sobre una bobina se pueden mandar las señales de corriente producidas por un transformador de corriente y sobre la segunda las señales de corriente tomadas desde un transformador de potencial

2.4.2- Características.

Es conveniente tener un conocimiento de sus propiedades generales y particulares con el fin de aprovecharlas en la solución de los problemas que implica la proteccion de un sistema eléctrico

Entre las caracteristicas principales de los relevadores se encuentra el tiempo de operación, y aun más la facilidad para ajustarlo

Esta ha sido una de las propiedades que más han contribuido al desarrollo tan amplio de la protección con relevadores ya que se puede lograr una coordinación perfecta en tiempo de apertura de los interruptores, de tal

manera que aislan las regiones afectadas por fallas o las que convengan para la mejor operación

A) La sensibilidad de un relevador es la propiedad que tiene de reconocer las fallas que puedan dañara la buena operación del sistema. Puede aparecer un grupo de señales en el relevador y éste solo debe responder a la que conviene al sistema

B) Seguridad. En su operación ésta es una característica puesto que no puede permitirse que el relevador falle en el momento preciso Para ello es necesario que sean suficientemente robustos sus contactos y que sus bobinas sean capaces de llevar las corrientes que por ellos puedan circular. Algunos relevadores y equipos de protección operan raras veces, quizá una vez al año, y sin embargo, deben estar prontos a operar en el momento que sean necesarios, en cambio otros lo hacen tan frecuentemente que su mantenimiento debe ser constante

Se puede decir que los relevadores no son para evitar fallas en el sistema, sino para hacer operar mecanismos que hagan disminuir los efectos de las fallas cuando éstas aparezcan

3. - Descripción de los sistemas de distribución eléctrica.

3.1-Descripción de los Sistemas de Distribución.

Conceptos básicos

Los sistemas eléctricos de potencia están constituidos básicamente por tres grandes grupos

A) sistemas de generación
B) sistemas de transmisión
C) sistemas de distribución

Los sistemas de distribución a diferencia de los otros sistemas, interactuan en forma directa con la mayoría de los usuarios de energía eléctrica, los cuales esperan un servicio que satisfaga sus necesidades en todos los aspectos.

Los sistemas de distribución como eslabón principal del suministro de energía eléctrica, tienen como función principal transportar la energía eléctrica de las subestaciones de potencia o en algunos casos fuentes de generación a los lugares de utilización, este suministro de energía eléctrica deben de darse bajo parámetros de calidad bien definidos, como son

Tensión
Frecuencia
Forma de onda
Secuencia de fase
Continuidad

Los sistemas eléctricos de distribución en nuestro país comprenden principalmente seis partes

a) líneas de subtransmisión
b) subestaciones de distribución
c) circuitos de mediana tensión

d) transformadores de distribución
e) circuitos de baja tensión
f) acometidas

3.2- Definición de los Elementos de Distribución

3.2.1 Líneas de subtransmisión - circuitos de conducción masiva de energía eléctrica a distancia que alimenta e interconecta las subestaciones de distribución los niveles de tensión utilizados en nuestro país son 138 115, 85 y 69 kv

3.2.2 Subestación de distribución - conjunto de equipos eléctricos necesarios para la conversión y seccionamiento de energía eléctrica recibida en bloques y distribuida en diferentes trayectorias a través de los circuitos de distribucion

3.2.3 Circuitos de tensión media - circuitos eléctricos que parten de las subestaciones de distribución y proporcionan la potencia eléctrica a los transformadores de distribución los niveles de tensión utilizados en nuestro país van desde 2 4 hasta 34 5 kv

3.2.4 Transformadores de distribución - equipo eléctrico que reduce la tensión de los circuitos de media tensión a la utilización de los usuarios

3.2.5 Circuitos de baja tensión - circuitos que emanan de los transformadores de distribución y proporcionan el camino a la potencia eléctrica que será entregada a los usuarios

3.2.6 Acometida - circuitos que inter conectan al usuario con los sistemas de distribución

3.3- Naturaleza de las Fallas

En los sistemas de distribución pueden presentarse principalmente dos tipos de fallas según su naturaleza

3.3.1- Fallas de Naturaleza Transitoria.

Son aquellas donde la perdida de aislamiento de los elementos del sistema sometidos a tensión eléctrica es momentánea es decir, que se trata de aislamientos tipo recuperable Algunos tipos de fallas transitorias incluyen contactos momentáneos con ramas de los árboles, flameo por contaminación o arqueos del sistema de descargas atmosféricas mezclándose en este ultimo caso las ondas de sobretensión de forma no sostenida con la corriente de frecuencia nominal

Dado el corto tiempo de presencia de este fenómeno, incluso en algunas ocasiones los dispositivos de protección contra sobre corriente no llegan a operar dependiendo de la capacidad de autorecuperación del aislamiento, por lo que podría establecerse una auto-liberación de la falla sin la accion de una proteccion

Otro tipo de fallas de las cuales resultan corrientes de frecuencia nominal puede ser de naturaleza transitoria si la tensión del elemento fallado es interrumpida rápidamente por la acción de un dispositivo de protección y luego restablecida después de que el aislamiento ha recuperado su capacidad dieléctrica Tales fallas pueden resultar de descargas atmosféricas con flameo del aislamiento contacto de aves o animales movimiento de conductores cercanos etc

3.3.2- Fallas de Naturaleza Permanente.

Son aquellas donde la perdida de aislamiento del elemento fallado es permanente al tratarse tanto de aislamientos de tipo no recuperable, como de aislamientos recuperables en donde su capacidad dieléctrica es drásticamente reducida Las fallas permanentes son aquellas que requieren reparación, mantenimiento o reparación del equipo antes de que la tensión eléctrica pueda ser restablecida en el punto de la falla

Su ocurrencia generalmente origina una perdida irreversible del aislamiento cuando éste es del tipo no recuperable Si se trata de aislamientos del tipo recuperable tales como el aire, la perdida del aislamiento es debida al contacto de elementos conductores ya sea entre ellos o a tierra, provocados normalmente como consecuencia de falla mecánica o estructurales

3.4- Tipo de Fallas

Un sistema eléctrico a prueba de fallas no es practico ni económico Los sistemas eléctricos modernos que como practica son construidos con altos niveles de aislamiento, tienen suficiente flexibilidad para que uno o más de sus componentes puedan estar fuera de su operación afectando en forma mínima la continuidad del servicio Adicionalmente a las diferencias de aislamiento, las fallas pueden ser resultado de problemas eléctricos, mecánicos y térmicos o de cualquier cambio de estos

3.4.1- Tipos de Fallas y sus Causas.

Para asegurar una adecuada protección las condiciones existentes en un sistema durante la ocurrencia de diversos tipos de fallas devén ser comprendidas claramente Estas condiciones anormales proporcionan los medios de discriminación para la operación de los dispositivos de protección

Tipo	Causa
Aislamiento	Defectos o errores de diseño fabricación inadecuada, instalación inadecuada aislamiento envejecido contaminación
Eléctrico	Descargas atmosféricas, sobretensiones transitorias por maniobra, sobretensiones dinámicas
Mecánicas	Esfuerzos por sobrecorriente, sismo, impactos por objetos ajenos, nieve o viento
Térmicas	Falla de enfriamiento sobrecorriente sobretensión, temperatura ambiente

TABLA 1 PRINCIPALES TIPOS Y CAUSAS DE FALLA

Los dispositivos de protección deben operar para los siguientes tipos de fallas conocidas como fallas paralelo (shunt) las cuales tienen la probabilidad de ocurrencia indicada en tabla1, para sistemas redistribución aérea con conductor desnudo

TABLA 2

PRINCIPALES TIPOS DE FALLAS Y SU PROBABILIDAD DE OCURRENCIA

TIPO		PROBABILIDAD
MONOFASICAS	(fase a tierra)	85%
BIFASICAS A TIERRA	(dos fases a tierra)	8%
BIFASICAS	(entre dos fases)	5%
TRIFASICAS	(entre las tres fases)	2%

A menos que sean precedidos o causados por una falla, los circuitos abiertos (fallas serie) en sistemas eléctricos no ocurren con frecuencia Consecuentemente muy pocos dispositivos de protección (Relevadores fundamentalmente) son diseñados específicamente para proporcionar protección contra circuito abierto

Una excepción es posible encontrar en las áreas de media tensión donde un fusible puede estar abierto Otro caso particular se encuentra en los sistemas de extra alta tensión donde los interruptores están equipados con mecanismos independientes de manera monopolar

Para fallas simultaneas en dos partes de un sistema, generalmente es imposible para un dispositivo de protección el operar adecuadamente bajo todas las condiciones Si ambas fallas simultaneas están dentro de la zona de operación de la protección al menos uno de los elementos de detección de la misma operación adecuadamente, con la subsecuente operación secuencial de todas protecciones que están viviendo las fallas

Cuando ambas fallas aparecen simultáneamente dentro y fuera de la zona de cobertura de protección, algunos equipos presentan una dificultad para determinar si deben actuar o no Afortunadamente las fallas simultáneas no ocurren con frecuencia y no representa un caso significativo de operación ncorrecta

4. - ELEMENTOS DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

4.1 PLANTAS GENERADORAS DE ENERGIA:

Las principales plantas generadoras son las termoeléctricas, hidráulicas, nucleoeléctricas, geotérmicas eolicas, maremotrices etc

4.2 Subestación Eléctrica

Es un conjunto de equipos, elementos o dispositivos que tienen el propósito de cambiar las características de la energía eléctrica como lo son el voltaje la corriente, la frecuencia etc de tipo de C A o de C C o bien conservándolas dentro de ciertas características en un local o nave, con una demanda grande de energía para obtener iluminación calefacción, fuerza, así como otros servicios

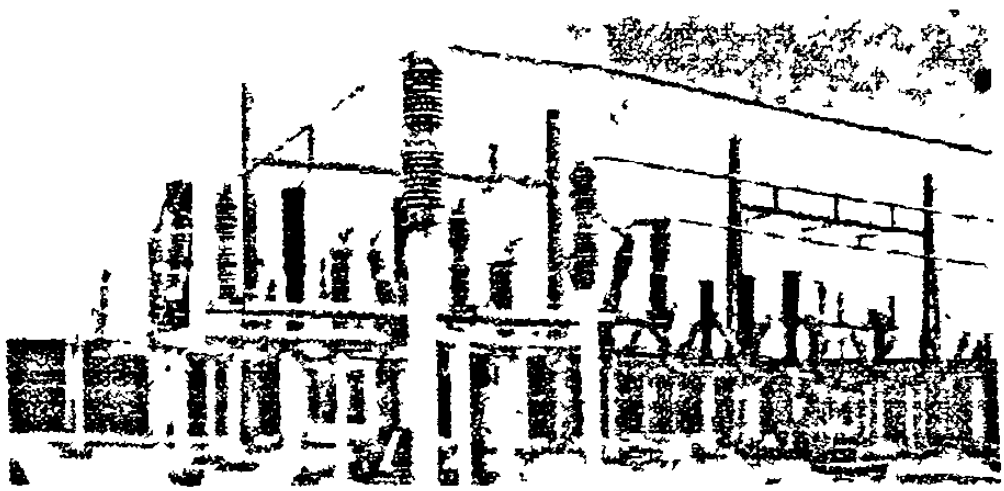


FIGURA 1 SUBESTACIÓN ELECTRICA

4.2.1- Clasificación de las subestaciones

4.2.1.1- Por su operación

a) Subestaciones de Corriente Alterna

b) Subestaciones de Corriente Continua

4.2.1.2- Por su construcción

a) Subestaciones de intemperie

b) Subestaciones de interior

c) Subestaciones blindadas

4.2.1.3- Por su servicio

a) Subestaciones Primarias

1) Subestaciones Elevadoras

2) Subestaciones Receptoras

3) Subestaciones De distribucion ó enlace

4) Subestaciones De switcheo ó de maniobra

5) Subestaciones Convertidoras

6) Subestaciones Rectificadoras

b) Subestaciones Secundarias

1) Subestaciones receptoras

2) Subestaciones reductoras

3) Subestaciones elevadoras

4) Subestaciones distribuidoras

5) Subestaciones de enlace

6) Subestaciones Convertidoras o rect ficadoras

4.2.2- Conexiones de subestaciones

Las conexiones más usuales para uso en la subestación se pueden dividir en dos grupos

I) Conexiones para subestaciones elevadoras (grupo generadora subestación)

II) Conexión para subestaciones receptoras o de enlace

Conexión para subestaciones elevadoras - Se puede mencionar las siguientes

4.2.2.1- Conexión directa a barras.-

En esta se encuentran conectados directamente al buz los generadores por medio de interruptores y se emplea para distribución urbana se debe de utilizar con capacidades no mayores de 10 MVA.

4.2.2.2- Conexión bloque o unidad.-

Es cuando los generadores se encuentran conectados al Bus directamente por medio de un transformador es una de las más empleadas, se usa en aquellos casos en que la tensión de transmisión es mayor que el de generación y con ella se logra tener mayor protección contra las corrientes de corto circuito

4.2.2.3. - Conexión para alimentar dos tensiones; una para transmisión y la otra distribución urbana.-

En algunos casos el lugar donde se encuentra instalada la central operadora es un sitio donde se requiere de servicio electrico la tensión en que se opera en las terminales debe de estar de acuerdo con la tensión que opera la distribución urbana se emplea en termoeléctricas que operan a baja capacidad y que entregue la energia a corta distancia

4.2.2.4. - Conexión para alimentar a 2 tensiones mayores que las de generación.-

En estos casos se recomienda transformadores con devanados terciarios, este tipo de conexión requiere de menor equipo auxiliar, en capacidades relativamente alta y que requieran continuidad en el servicio, es recomendable emplear 2 o más transformadores en paralelo con el objetivo de dividir la carga

4.2.2.5. - Conexión con Bus seccionado.-

En los casos en que la potencia de los generadores es grande el buz de acoplamiento de los generadores se secciona en 2 o más partes con el propósito de que puedan hacer intercambios de energía y en ciertos casos de que se puedan interconectar con interruptores de amarre, que normalmente están abiertos

4.2.2.6. - Conexión con doble barra.-

El sistema de doble barra permite que se alimente por una de ellas y se tenga a otra por los casos de emergencia o de mantenimiento de aisladores de la barra principal, (transferencia) también permite dividir la corriente cuando se tienen varios transformadores conectados en paralelo, ya que algunos pueden operar sobre la barra de transferencia y otros sobre la de reserva

4.2.2.7. - Conexión con doble barra (doble Bus) y con interruptor de amarre.-

En los casos en que se tenga que pasar de una barra a otra sin interrumpir el servicio o alimentar por cualesquiera de las líneas de salida sin

interruptores, al sistema de doble barra se le conecta un interruptor de amarre entre las dos barras

Las conexiones para las receptoras y para las elevadoras son las mismas

4.3- Elementos de una subestación eléctrica

Los elementos que conforman una subestación eléctrica se dividen básicamente en dos elementos principales y elementos secundarios

Elementos principales

* transformador
* interruptor de potencia
* restaurador
* cuchilla fusible
* cuchillas desconectadoras
* cuchillas de prueba
* apartarrayos
* tableros dúplex de control
* condensadores
* transformadores de instrumento

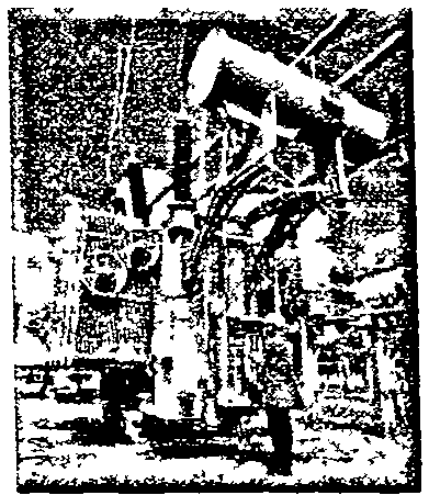
Elementos secundarios

* cables de potencia
* cables de control
* alumbrado
* estructura
* herrajes
* equipo contra incendio
* equipo de filtrado de aceites
* sistema de tierra

* carrier
* intercomunicador
* trincheras ductos etc

4.4 EL TRANSFORMADOR

FIGURA 2 TRANSFORMADOR DE POTENCIA



4.4.1- El transformador

Es un aparato o dispositivo estático que es capaz de transferir energía o de elevar o reducir una tensión de un circuito eléctrico de C A mediante el principio de inducción electromagnética, pudiendo hacer una transformación entre circuitos sin necesidad de haber contacto eléctrico entre ellos

Consiste básicamente en dos arrollamientos de conductores aislados, independientemente arrollados sobre un núcleo de acero laminar, en este caso se denomina transformador de núcleo metálico y de núcleo de aire cuando no tiene tal

El arrollamiento de alto voltaje o de alta tensión es el que tiene el mayor numero de vueltas y conductor más delgado el arrollamiento de bajo voltaje o

de baja tensión es el que tiene el menor numero de vueltas y el conductor más grueso

Un transformador es elevador cuando su arrollamiento de baja tensión es su primario, es decir se conecta a la línea y es reductor cuando su arrollamiento de alta tensión es el primario

La relación de transformación es la razón del número de vueltas del primario al secundario, la tensión inducida en el secundario dependerá de la relación de transformación y de la tensión aplicada al primario

4.4.2- Partes principales del transformador:

a) Devanado de alta tensión
b) Devanado de baja tensión
c) Núcleo

4.4.2.1. - Elevación de la temperatura.-

Todos los aislamientos del transformador deben de operar de manera continua a una temperatura de 65° C sobre 40° C de temperatura ambiente y la elevación de la temperatura del punto más caliente no debe de exceder los 80° C con un incremento de capacidad del 12 % sobre los KVA nominales a 55° C sin reducir la vida normal del transformador la elevación de la temperatura de los devanados a tensión normal y 112% de los KVA nominales no debe de exceder los 65° C la vida esperada del transformador cuando opera a 65° C no debe de ser menor que cuando opera a 55° C

4.2.2.2. - Altura de operación.-

Todos los transformadores se diseñan para operar a 1000 m s n m en caso contrario se debe de especificar en los datos del fabricante

4.4.2.3. - Impedancia.-

Este se deberá de especificar o solicitar garantizada, solamente se necesita si el transformador requerido se va a emparalelar con otro transformador

4.4.2.4. - Derivaciones.-

Normalmente se construyen con derivaciones de 2 5% de la tensión nominal en el devanado de alta tensión a nosotros nos corresponde decidir si queremos 2 arriba o 2 abajo, ó 1 arriba y 3 abajo, ó 3 arriba y 1 abajo de la tensión nominal En caso que se necesitara un cambiador de derivaciones se necesitara lo siguiente

1 - Todas las derivaciones deben de ser a carga plena,

2 - El número de derivaciones conveniente que sea de 10 arriba y de 10 abajo de la tensión nominal de un valor cada uno de 1% de la misma

3 - La banda de regulación total debe de ser del 10% de la tensión nominal

4 - Las derivaciones deben de estar sobre el devanado de alta tensión

4.4.3- Elementos que conforman a un transformador

Partes esenciales del transformador :

1.- Tanques
2 - Tubos radiadores
3.- Nucleo (circuitos magnéticos)
4.- Devanados
5.- Tanque conservador
6.- Indicador de nivel de aceite
7.- Rule de protección (Bulchholz)
8.- Tubo de escape
9 - Y 10 boquillas o aisladores de porcelana
10.- Tornillos opresores
11 - Conexión de los tubos radiadores
12.- Termómetro
13.- Bases de rolar
14 - Refrigerante

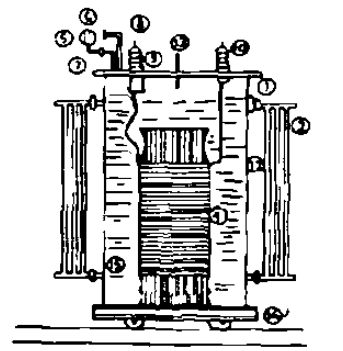


FIGURA 3 PARTES DE UN TRANSFORMADOR

Además se pueden visualizar los siguientes elementos

- Aislamientos
- Aislantes
- Boquillas
- Ganchos de sujeción
- Válvula de carga de aceite
- Válvula de drenaje
- Placa de tierra
- Placa de caracteristicas
- Manómetro
- Tap's

4.4.4- Clasificación de los transformadores

1 - Por la forma del núcleo

a) tipo columna
b) tipo acorazado
c) tipo envolvente
d) tipo radial

5 - Por el medio refrigerante

a) aire (W)
b) aceite (O)
c) liquido inerte

2 - Por el número de devanadas

a) dos devanadas
b) tres devanados

3. - Por la regulación

a) fija
b) variable con carga
c) variable sin carga

4 - Por la operación

a) de potencia
b) de distribucion
c) de medicion

6 - Por el tipo de enfriamiento

a) OA
b) FA
c) FOA
d) OW
e) OW/A
f) OA/AF
g) OA/FA
h) FOA
i) OA/FA/FOA
j) FOW
k) AA/FA

4.4.5- Tipos de conexiones en transformadores

4.4.5.1. - Conexión delta - delta:

Se utiliza comúnmente en lugares donde existen tensiones relativamente bajas En sistemas de distribución se utiliza para alimentar cargas trifásicas a 3 hilos Presenta la desventaja de no tener hilo de retorno, en cambio tiene la ventaja de poder conectar los devanados primero y secundario sin desfasamiento

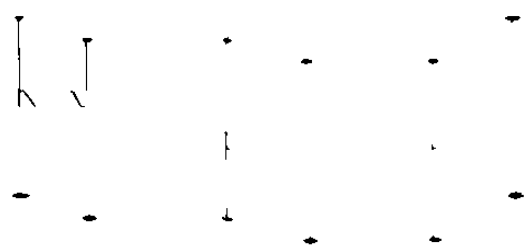


FIGURA 4 CONEXIÓN DELTA-DELTA

4.4.5.2. - Conexión delta - estrella:

Se emplea en aquellos sistemas de transmisión en que es necesario elevar voltajes de generación en sistemas de distribución conviene por que se pueden tener 2 voltajes diferentes

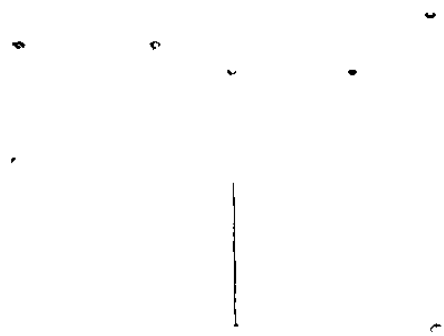


FIGURA 5 CONEXIÓN DELTA ESTRELLA

4.4.5.3. - Conexión estrella - estrella:

Se emplea en tensiones muy elevadas ya que se disminuye la cantidad de aislamiento puede conectarse a un hilo de retorno

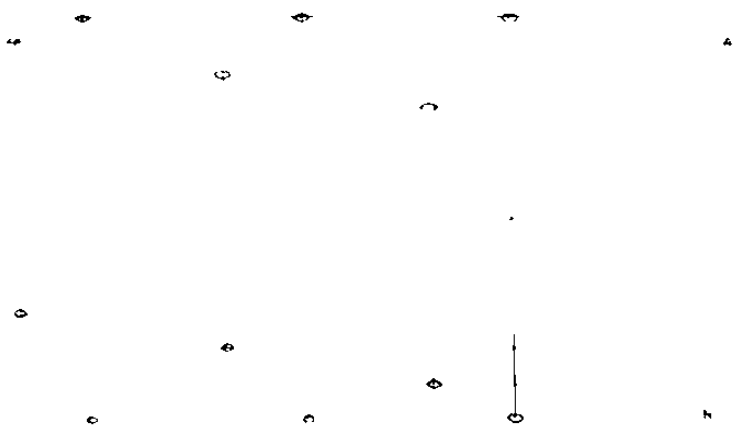


FIGURA 6 CONEXIÓN ESTRELLA- ESTRELLA

4.4.5.4. - Conexión estrella - delta:

Se utiliza en los sistemas de transmisión de las subestaciones receptoras cuya función es la de disminuir el voltaje generalmente es usada en la distribución rural.

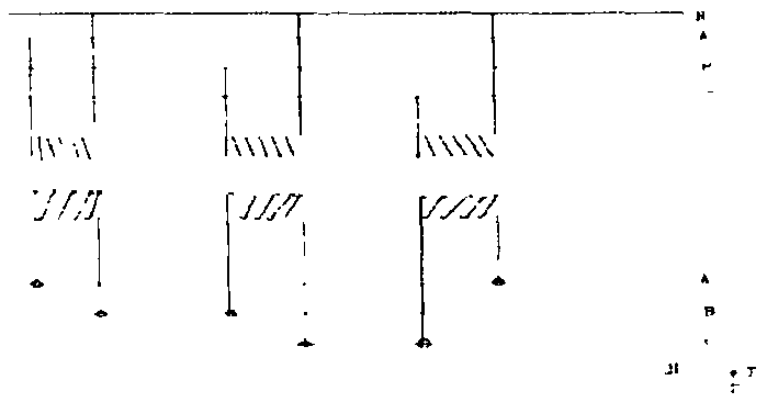


FIGURA 7 CONEXIÓN ESTRELLA- DELTA

4.4.5.5. - Conexión delta abierta - delta abierta:

Esta puede considerarse como una conexión de emergencia en transformadores Trifásicos, ya que si un transformador se quema o sufre de averías en sus fases, se puede seguir alimentando carga trifásica operando el transformador en 2 fases, solo que su capacidad disminuye a un 5.8% aproximadamente, los transformadores Trifásicos en este tipo de conexión se emplean en sistemas de baja capacidad.

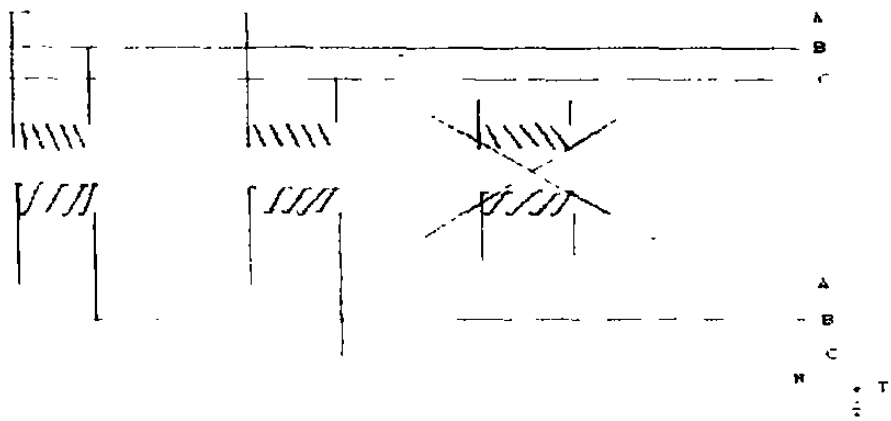


FIGURA 8 CONEXIÓN DELTA ABIERTO DELTA- ABIERTA

4.4.5.6. - Conexión de transformadores en bancos Trifásicos:

Los monofásicos básicamente se conectan en 2 tipos de circuitos de muy alto voltaje y los que requieren de continuidad en el servicio Normalmente son 3 transformadores en operación y un transformador en reserva. Las conexiones se hacen en transformadores monofásicos para lograr bancos trifásicos

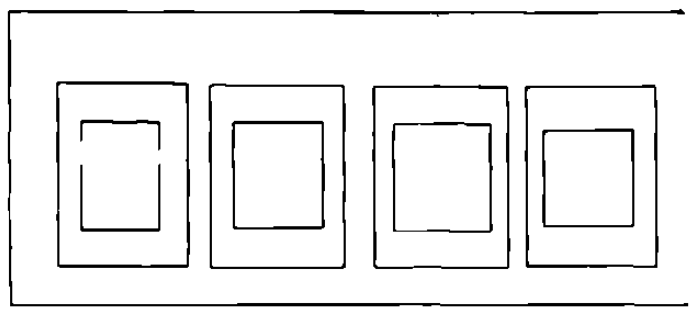


FIGURA 9 BANCO DE TRANSFORMADORES

4.4.6. - Transformadores conectados en paralelo

Se entiende que están conectados en paralelo aquellos transformadores cuyos primarios están conectados a una misma fuente y cuyos secundarios están conectados a la misma carga

4.4.6.1. - Razones para la operación de transformadores en paralelo.

- Cuando las capacidades de generación son muy grandes y no se fabrican de esa capacidad o bien si se quiere repartir la carga

- Se aumenta la capacidad de una industria o sistema ya que resulta más conveniente emparalelar otro transformador que comprar e instalar un transformador de la capacidad total.

- Se desea continuidad en el servicio en una instalación donde la carga se divide en 2 o más transformadores en paralelo de tal forma que el servicio no quede interrumpido por alguna falla o reparación

4.4.6.2. - Condiciones de Emparalelamiento de los transformadores.

- Igual relación de voltaje
- La impedancia debe de ser la misma (en tanto por ciento).
- Igual relación de potencia a resistencia (x / R)
- Igual polaridad
- Misma secuencia

4.4.7. - Marcas de polaridad

La ASA Americana Standard Asociación elabora un sistema patrón para marcar las terminales de los transformadores, las de alto voltaje se marcan H1 y H2, las de bajo voltaje se marcan X1 y X2, la terminal H1 esta situado en la parte izquierda cuando el transformador se ve del lado de bajo voltaje, cuando H1 es instantáneamente positivo, X1 es también instantáneamente positivo Los de polaridad sustractiva son aquellos en los que las marcas H1 y X1 están directamente opuestas, los de polaridad aditiva son los en los que se encuentran diagonalmente entre sí

Las terminales de los transformadores están marcados generalmente por etiquetas o por letreros pero estos pueden perderse por lo que se he elaborado un sistema de pruebas para identificar las terminales en los transformadores

Generalmente se utiliza un voltaje bajo para la prueba de 240 volt, debido a que es muy fácil encontrarlo en los laboratorios de pruebas, con este voltaje aplicado al devanado de 2400 volt se inducen 24 volt en el secundario porque la

relación de transformación en este caso es de 10 1, el voltaje conectarlo de *H2* a la terminal de baja tensión *X1* dará como resultado el valor de 240 volt ± 24 El voltímetro de la terminal de alto voltaje *H2* a la de bajo voltaje que está directamente enfrente de ella indica la suma de los voltajes primarios y secundarios, un transformador con este tipo de marcas tiene polaridad aditiva La figura arriba muestra la prueba de un transformador de polaridad sustractiva, los 240 volt inducidos en el secundario se operen a los 2400 volt que entran a *X1* desde la conexión hecha en el puente temporal, Por lo tanto el voltímetro conectado en *H2* a la terminal de bajo voltaje *X2* indicará un valor de 2400-240 volt o sea 2160 volt

La *ASA* y la *NEMA (National Electric Manufacturers Association)* han elaborado las normas siguientes sobre la polaridad de los transformadores. la polaridad aditiva será normal para todos los transformadores monofásicos hasta el de 200 *KVA* y que tenga voltajes que no excedan de 9000 volt La polaridad sustractiva será normal para todos los transformadores monofásicos hasta el de 200 *KVA* cualquiera que sea su voltaje la polaridad sustractiva será normal para todos los transformadores monofásicos hasta el de 200 *KVA* y menores que tengan voltajes superiores a 9000 volt

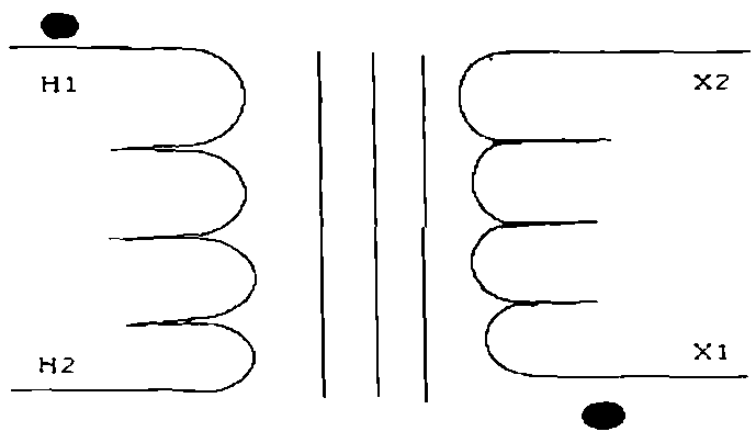


FIGURA 10 TRANSFORMADOR CON POLARIDAD ADITIVA

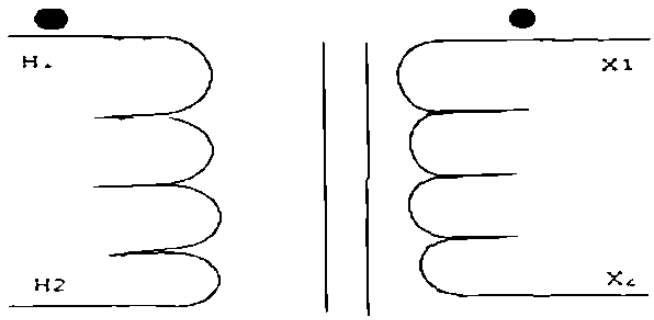
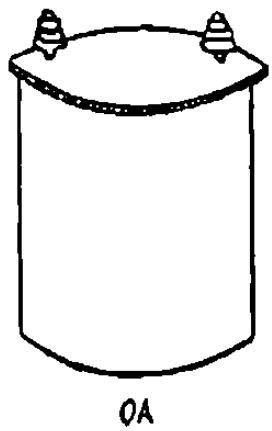


FIGURA 11 TRANSFORMADOR POLARIDAD SUSTRACTIVA

4.4.8. - Tipos de enfriamiento más empleados

4.4.8.1. - Tipo OA:



Sumergido en aceite con enfriamiento propio.- Por lo general en transformadores de más de 50 *KVA* se usan tubos radiadores o tanques corrugados, Para disminuir las pérdidas en capacidades mayores de 3000 KVA se usan radiadores de tipo desmontables Este tipo de transformadores con voltajes de 46 *KV*. O menos puede tener como medio de enfriamiento liquido inerte en lugar de aceite

FIGURA 12 TRANSFORMADOR TIPO OA

4.4.8.2. - Tipo OA/FA:

Sumergido en aceite con enfriamiento propio por medio de aire forzado - Este es como un transformador *OA* con ventiladores para disipar calar (aire forzado) FA

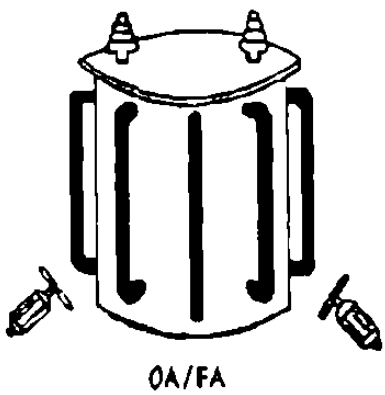
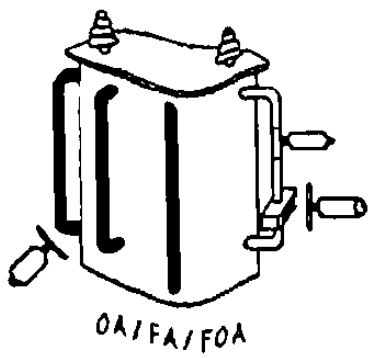


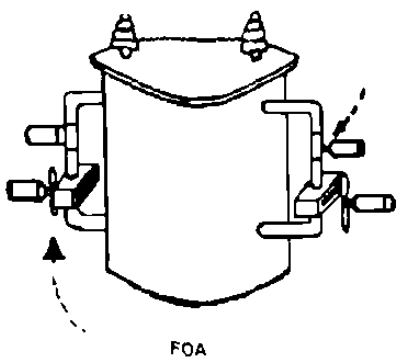
FIGURA 13 TRANSFORMADOR TIPO OA/FA



4.4.8.3. - Tipo OA/FA/FOA:

Sumergido en aceite con enfriamiento propio basándose en aire forzado y aceite forzado Este es básicamente un transformador *OA* con adición de ventiladores y bombas para circulación de aceite

FIGURA 14 TRANSFORMADOR TIPO OA/FA/FOA

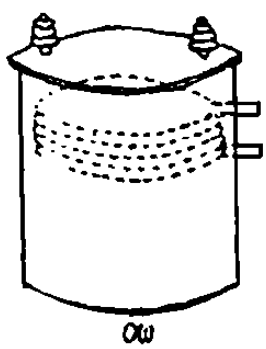


4.4.8.4. - Tipo FOA:

Sumergido en aceite con enfriamiento con aceite forzado y con enfriamiento de aire forzado Este tipo de transformador de usa únicamente donde se desea que operen al mismo tiempo las bombas de aceite y los ventiladores

FIGURA 15 TRANSFORMADOR TIPO FOA

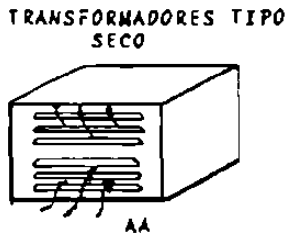
4.4.8.5. - Tipo OW:



Sumergido en aceite y enfriamiento con agua - En este tipo de enfriamiento el agua es conducida por serpentines los cuales están en contacto con el aceite aislante del transformador El aceite circula alrededor de los serpentines por convección natural

FIGURA 16 TRANSFORMADOR TIPO OW

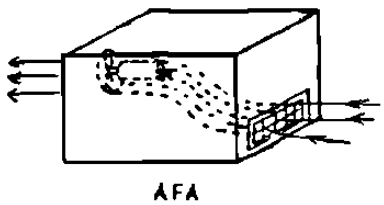
4.4.8.6. - Tipo AA:



Tipo seco con enfriamiento propio - No contiene aceite ni otros líquidos para enfriamiento usados en voltaje nominales menores de 15 *KVA*, en pequeñas capacidades.

FIGURA 17 TRANSFORMADOR TIPO AA

4.4.8.7. - Tipo AFA:



Tipo seco enfriado con aire forzado - Estos transformadores tienen una capacidad simple basada en la circulación de aire forzado por ventiladores o sopladores

FIGURA 18 TRANSFORMADOR TIPO AFA

4.4.9. - Control del transformador

1 - Temperatura del transformador
2 - Presión del transformador
3 - Nivel de aceite o liquido
4 - Rigidez dieléctrica del aceite

4.4.9.1. - Control de temperatura del transformador:

La temperatura de un transformador se lee por medio de termómetros de mercurio, y en algunos casos por medio de termopares colocados en los devanados que alimentan a milivoltmetros calibrados en centígrados Existen varios métodos para controlar la temperatura

Los más avanzados son el control de temperatura por medio del dispositivo de imagen térmica con relevador *T R O* Se basa en que cualquier

falla dentro del transformador se manifiesta como una variación de corriente y la protección por el revelador Buchholz, Se emplea en transformadores que emplean tanque conservador Su principio se basa en que toda falla interna va acompañada de una producción de gases

4.4.9.2. - La presión de los transformador:

Se controla normalmente por medio de manómetros que pueden tener accionamiento automático

4.4.9.3. - El nivel de aceite o líquido:

Se puede controlar por medio de indicadores de nivel que así mismo se pueden controlar automáticamente

4.4.9.4. - La rigidez dieléctrica del aceite:

Se controla tomando muestras periódicas del aceite del transformador por medio de la válvula de muestra que se encuentra colocada por lo general en la parte inferior del transformador

4.4.10. - Especificaciones para transformadores

1) Objeto

2) Información general

3) Datos para el diseño del transformador

- Tipo de transformador
- Número de unidades
- Frecuencia de operación
- Refacciones
- Número de devanados

- Relación de transformadores
- Clase a que corresponde de acuerdo a normas
- Derivaciones a plena carga en el lado de alto voltaje
- Derivaciones a plena carga en el lado de bajo voltaje
- Conexiones entre fases para alto voltaje y bajo voltaje
- Sistema de enfriamiento
- Cambiar de derivaciones con carga y sin carga
- Accesorios (ganchos de sujeción, termómetro)
- Boquillas del lado de alto voltaje bajo voltaje y neutro
- Equipo requerido para el control
- Tipo de base con el riel
- Tipo de control manual o automático
- Desplazamiento angular
- Altura de sitio de instalación
- Clase de aislamiento de los devanados generalmente de clase A
- Capacidad continua con una elevación de temperatura en el cobre de 55° C por aumento de resistencia sobre una temperatura ambiente de 40° C

4) Planos e instructivo

5) Eficiencia

6) Pena por eficiencia

7) Tipos de anticipo

8) Lugar y fecha de concurso

9) Inspección y aceptación del equipo usado en la fabricación

10) Garantía de cumplimiento del tiempo de entrega

11) Garantía de calidad

12) Fianzas

4.4.11. - Devanados

Los devanados secundarios de los transformadores de corrientes deben de tener los medios para poner en corto circuito, conectar a tierra simultáneamente y aislar los transformadores del equipo normalmente conectado al circuito alimentador

Los circuitos secundarios de los transformadores de potencial deben estar provistos de algún medio de desconexión segura que evite la posibilidad de energizar el lado de alta tension debido a una retroalimentación accidental desde los circuitos secundarios en el lado del primario debe de colocarse fusibles

Para proteccion de los transformadores contra sobrecorriente debe de cumplirse con los siguientes requisitos

En los transformadores de más de 600 volt cuando se emplean fusibles su capacidad nominal no debe exceder el 250 por ciento de la corriente nominal primaria del transformador en caso de emplear un interruptor automático su ajuste de disparo no debe de exceder el 300 por ciento de la capacidad de dicha corriente del transformador

Cuando el 250 por ciento nos da un valor de capacidad del fusible que no está comercializado se podrá usar la capacidad siguiente superior y también se

podrá usar un solo fusible para dos o más transformadores tomando en cuenta el transformador de más baja capacidad

Cada transformador de 600 volt o menos en su lado del primario debe estar protegido por un dispositivo cuya capacidad nominal o ajuste no exceda el 125 por ciento de la corriente nominal del mismo lado del transformador, cuando la corriente nominal del lado primario del transformador sea de 9 ameres o más y el 125 por ciento de esta corriente no corresponde a una capacidad ajustada de fusible, se podrá usar la capacidad siguiente superior, cuando la corriente nominal del lado primario del transformador sea de 9 ameres puede usarse un dispositivo cuya capacidad nominal o ajusta no exceda el 165 por ciento de la corriente en caso que la corriente nominal del lado del primario del transformador sea de 2 amperes puede usarse un dispositivo con capacidad nominal o ajuste hasta el 300 por ciento de la misma corriente del Transformador

Un transformador de 600 volt o menos que tenga en el lado secundario un dispositivo de protección contra sobrecorriente cuya capacidad nominal o ajuste no exceda del 125 por ciento de la corriente nominal de dicho lado, no requiere de un dispositivo individual de sobre corriente en el lado primario, si el dispositivo de sobrecorriente del circuito que alimenta al transformador tiene una capacidad nominal o ajuste mayor del 250 por ciento de la corriente nominal primaria del transformador

4.4.12. - Transformadores para instrumento

4.4.12.1. - Transformadores para instrumentos

Se le denomina a aquellos que se emplean para alimentar a equipos de medición, control o protección

4.4.12.2. - Clasificación de los transformadores para instrumentos

1 - Transformadores de corriente

2 - Transformadores de potencial

4.4.12.3. - Transformadores de corriente:

Se conoce con este nombre a aquel que tiene como función principal el cambiar el valor de la corriente de uno más o menos elevado a otro el cuál puede alimentar instrumentos de protección o control, medición, como amperímetros wattmetros, instrumentos registradores, relevadores de sobrecorriente etc

La capacidad de estos instrumentos es muy baja, se determina sumando la capacidad de todos los instrumentos que va a alimentar y pueden ser de 15, 30, 50 60 y 70 KVA

La relación de transformación son diferentes valores pero la corriente en el devanado secundario normalmente es de 5 amperes

Como estos transformadores van a estar conectados a sistemas Trifásicos, las conexiones que pueden hacerse con ellos son las mismas que con los transformadores normales

Hay transformadores de corriente que operan con corrientes muy bajas estos transformadores pueden construirse sin el devanado primario ya que lo constituye la línea a la que va a conectarse y se le denomina tipo dona.

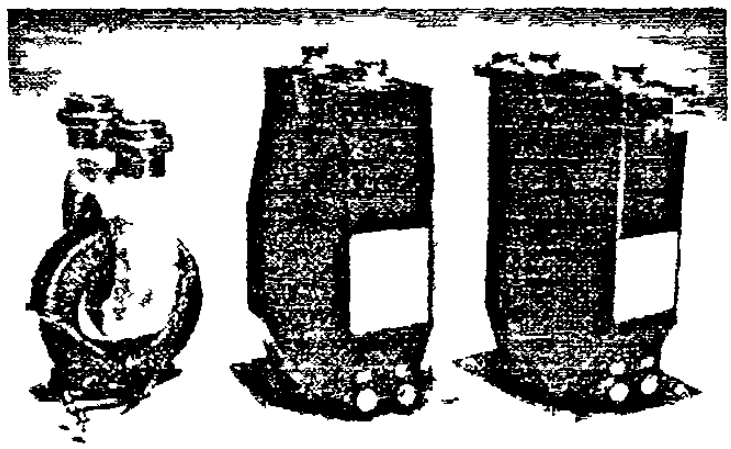


FIGURA 19 TRANSFORMADORES DE CORRIENTE

4.4.12.4. - Transformadores de potencial:

Se les denomina así a los transformadores cuya función principal es la de cambiar los valores de voltaje sin tomar en cuenta la corriente, estos transformadores sirven para alimentar instrumentos de medición, control o protección que requieren de una señal de voltaje.

Su capacidad es baja ya que se determina sumando la capacidad de los instrumentos a los que va a alimentar y varia de 16 a 60 VA, se construyen para diferentes relaciones de transformación pero el voltaje en el devanado secundario es normalmente de 115 volt

Los aislamientos usados son de muy buena calidad y son generalmente los mismos que se usan para los transformadores de corriente (pyranol, clorextol, etc) Los transformadores para instrumentos tienen diferentes tipos de precisión de acuerdo con el empleo que se le dé, a esta precisión se le denomina clase de precisión y se selecciona de acuerdo a

A) Son generalmente transformador patrones que son empleados en laboratorios para calibración por contrastación

B) Estos pueden emplearse como transformadores patrones, o para alimentar instrumentos que requieren de mucha precisión

C) Estos se emplean para alimentar instrumentos de medición normal y para alimentar instrumentos de protección

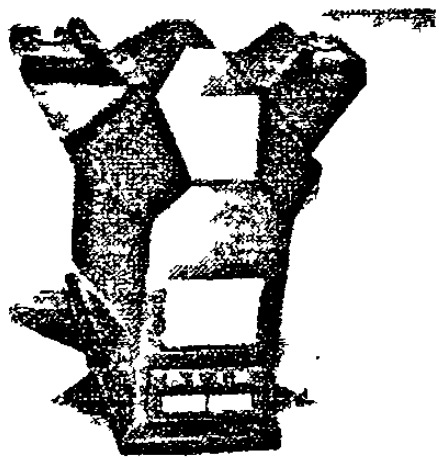


FIGURA 20 TRANSFORMADOR DE POTENCIAL

4.4.13. - Especificaciones para transformadores de instrumentos

4.4.13.1. - Transformador de corriente

a) función a desempeñar

b) relación de transformación (corriente primaria)

C) tensión de operación

D) clase de precisión y tolerancia

4.4.13.2. - Transformador de potencia

a) función a desempeñar

b) relación de transformación (voltaje primaria)

c) colocación de boquillas (en caso de subestación a la intemperie)

d) clase de precisión y tolerancia

5. - ELEMENTOS DE PROTECCIÓN

5.1- FUSIBLES

Los fusibles abren circuitos antes de que las altas corrientes causadas por cortos circuitos puedan hacer daño alguno

La corriente máxima que puede soportar un fusible antes de que se funda y abra el circuito, se llama capacidad del fusible

Los fusibles normalmente estan clasificados en amperes Los fusibles abren los circuitos para evitar que las corrientes altas causadas por los corto circuitos causen daño

Un fusible debe hacer tres cosas

1) "saber", o sentir cuando existe un corto circuito
2) abrir el circuito antes de que haya sufrido daño
3) No debe tener efecto en el circuito durante la operación normal

Básicamente, la mayor parte de los fusibles son tramos de conductores o elementos de metal suave, contenidos dentro de algún recipiente. El fusible esta conectado a un circuito de manera que el fusible esta en serie con las cargas y la fuente de energía Esto significa que toda la corriente del circuito fluye a través del fusible, este presenta muy poca resistencia de manera que prácticamente no tiene efecto sobre el circuito en condiciones normales

Cuando ocurre un corto circuito, la corriente que pasa a través del fusible aumenta gradualmente lo cual produce un aumento de calentamiento I^2R en dicho fusible este tiene un punto de fusión bajo lo cual significa que se funde a una temperatura más baja que los conductores comunes de alambre Cuando el calor causado por la corriente del corto circuito llega al punto de fusión del fusible, este se funde y abre el circuito

5.1.1- LA FUNCIÓN DE LA PROTECCIÓN POR FUSIBLES

La función de la protección es retirar rápidamente del servicio un elemento cuando sufre una falla esta puede ser un corto circuito una sobrecorriente un funcionamiento anormal que pueda causar daño al personal el equipo y a la instalación

El equipo de protección trabaja interrumpiendo y desconectando el elemento con **falla, sobrecarga, sobrecorriente o cortocircuito**, separándolo del resto del sistema de distribución

Las características de un equipo de protección son

sensibilidad

selectividad

velocidad

confiabilidad

5.1.2- Sensibilidad

Que sea lo suficientemente sensible, para funcionar en forma segura cuando se necesite

5.1.3- Selectividad.

Seleccionar entre un funcionamiento rápido o un funcionamiento con acción retardada

5.1.4- Velocidad.

Debe de funcionar a la velocidad apropiada

5.1.5- Confiabilidad

Tenemos que tener la certeza de que si funcionen y con seguridad

Los fusibles son los elementos de protección más simples y antiguos

Son sensores e interruptores a la vez, se instalan en serie con el circuito que protegen y por lo general van montados en la caja de los interruptores

5.2- Definiciones de Fusibles

Definiciones

5.2.1. - Capacidad Interruptiva.

Es el valor eficaz de la corriente de cortocircuito máxima prevista, que el dispositivo debe interrumpir satisfactoriamente

5.2.2. - Corriente Nominal.

Es el valor de designación al que se refieren las características técnicas de diseño de un determinado tipo de eslabón fusible

5.2.3. - Corriente Nominal de Conducción Continua.

Es el valor de corriente igual a 1 5 veces el valor de la corriente nominal que puede conducir continuamente el eslabón fusible, sin que se cambien sus características de diseño

5.2.4. - Elemento Fusible.

Parte de un eslabón fusible diseñado para fundirse cuando las características corriente - tiempo de fusión alcanzan un valor determinado

5.2.5. - Eslabón Fusible.

Parte reemplazable que se monta en la porta fusible de los cortacircuitos que incluye el elemento o elementos fusibles

5.2.6. - Eslabón Fusible Universal.

Es aquel que para cada valor de corriente nominal, garantiza intercambiabilidad eléctrica y mecánica dentro de limites de corriente - tiempo especificados e intercambiabilidad mecánica para fines de montaje

5.2.7. - Eslabón Fusible Tipo Fraccionario AI (Alto Impulso).

Son los eslabones fusibles con relaciones de velocidad de fusión que varían desde 67 para la capacidad nominal de 1/3 de Amper hasta 19 para la capacidad nominal de 15 Amper

5.2.8. - Eslabón Fusible Tipo K (Rápido).

Se denomina así a aquellos eslabones fusibles con relaciones de velocidad de fusión que varían desde 6 para la capacidad nominal de 6 Amper Hasta 8 para la capacidad nominal de 200 Amper

5.2.9. - Eslabón Fusible Tipos (Estándar).

Se denomina así a aquellos eslabones fusibles con relación de velocidad de fusión que varia desde 6,89 para la capacidad nominal de 5 Amper Hasta 7,67 para la capacidad nominal de 200 Amper

5.2.10. - Eslabón Fusible Tipo T (Lento).

Se denomina así a aquellos fusibles con relación de velocidad de fusión que varían desde 10 para la capacidad nominal de 6 Amper. Hasta 13 para la capacidad nominal de 200 Amper

5.2.11. - Pruebas de Aceptación.

Son pruebas que se efectúan en presencia de un representante del usuario para verificar la conformidad del producto, con las especificaciones

En las pruebas de diseño están comprendidas las de aceptación

Los más avanzados son el control de temperatura por medio del dispositivo de imagen térmica con relevador *T R O* . Se basa en que cualquier falla dentro del transformador se manifiesta como una variación de corriente y la protección por el revelador Buchholz, Se emplea en transformadores que emplean tanque conservador Su principio se basa en que toda falla interna va acompañada de una producción de gases

4.4.9.2. - La presión de los transformador:

Se controla normalmente por medio de manómetros que pueden tener accionamiento automático

4.4.9.3. - El nivel de aceite o líquido:

Se puede controlar por medio de indicadores de nivel que así mismo se pueden controlar automáticamente

4.4.9.4. - La rigidez dieléctrica del aceite:

Se controla tomando muestras periódicas del aceite del transformador por medio de la válvula de muestra que se encuentra colocada por lo general en la parte inferior del transformador

4.4.10. - Especificaciones para transformadores

1) Objeto

2) Información general

3) Datos para el diseño del transformador

- Tipo de transformador
- Número de un dades

Tensión máxima de diseño

Capacidad Interruptiva

Corriente nominal

Corriente de cortocircuito Etc

5.3- CLASIFICACIÓN DE FUSIBLES

De acuerdo con las normas internacionales presentamos la clasificación de los fusibles de baja tensión

De la clasificación anterior tenemos que

Vn = Voltaje nominal

In = Corriente nominal

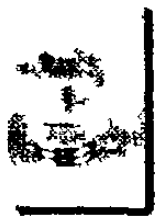
CI = Capacidad Interruptiva

RT = Retardo de tiempo

Además tenemos otra subclasificación la cual se puede representar de la siguiente manera

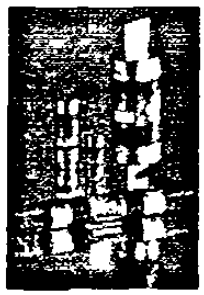
Existe una gran variedad de fusibles De los cuales podemos agregar que

5.3.1- Fusibles de Tapón.



Son aquellos que se atornillan en los portafusiles respectivos, por medio de una rosca que tienen en su exterior

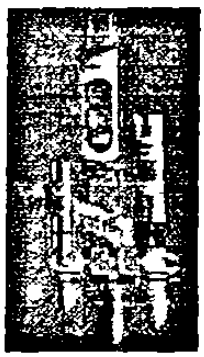
Figura # 1 FUSIBLES DE TAPON



5.3.2- Fusibles no Renovables.

Son aquellos a los cuales no se les puede cambiar el eslabón fusible y se inutilizan totalmente al fundirse éste

Figura # 2 FUSIBLES NO RENOBABLES



5.3.3- Fusibles De Cartucho.

Son aquellos que tienen el eslabón fusible dentro de un tubo aislante

Con contactos en los extremos en forma de casquillos o navajas.

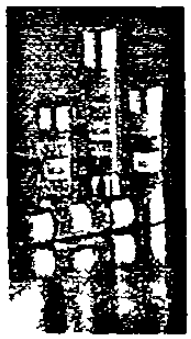
FIGURA 3

5.4- CONSTRUCCIÓN DE FUSIBLES

La fabricación de fusibles es muy diversa pero podemos generalizar de la siguiente forma

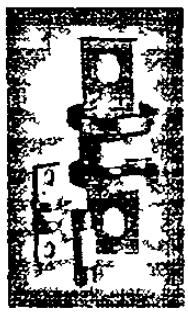
5.4.1- Los Fusibles de Tapón Roscado

Figura 4, constan de un elemento fusible, un cuerpo, una rosca y una terminal



5.4.2- Los Fusibles De Cartucho

En la *figura 5* se ilustra la construcción de los fusibles de cartucho renovables, en los que se observan los eslabones fusibles, que generalmente son de zinc



5.4.3- Fusible no Renovable del Tipo de Doble Elemento y de Casquillos

En la *figura 6*, se observa la construcción de un fusible no renovable del tipo de doble elemento y de casquillos cuyas partes fundamentales se describen a continuación:

5.5- ELEMENTOS DE UN FUSIBLE

5.5.1- Elemento de Corto Circuito.

Consiste en un eslabón de alambre o cinta provista de uno o más puentes que son las pequeñas secciones del eslabón, las cuales se espera sean las primeras en fundirse Un eslabón puede tener dos o más puentes en paralelo o en serie Generalmente estos elementos son de plata o cobre electolítico

5.5.2- Elemento de Sobrecarga.

Está formado por un émbolo en forma de pistón un resorte y una guía unidos por medio de una aleación de estaño, la cual al fundir, debido a la sobrecarga, accionará el resorte jalando al émbolo hacia la guía y dejando de esta forma abierto el circuito

5.5.3- Polvo de Relleno.

Normalmente consiste de arena de cuarzo de alta pureza y de grano uniforme Es la que se encarga de extinguir el arco eléctrico provocado en el elemento de circuito corto

5.5.4- Tubo de Fibra.

Es donde se aloja a todo el elemento fusible, está elaborado con fibra vulcanizada porcelana vidrio, melamine y algunos otros materiales aislantes

5.5.5- Arandela de Retén.

Esta arandela tiene como fin separar el elemento de sobrecarga del polvo de relleno para dejar libre la operación del mismo

5.6- REGLAS PARA EL USO DE FUSIBLES

5.6.1- Se debe utilizar siempre fusibles de la capacidad de corriente adecuada a la demanda de los motores o aparatos conectados al circuito en que éstos están intercalados Esto es esencial ya que los fusibles son un aditamento de seguridad que deben Operar no solamente en casos de circuito corto, sino que también al aumentar la sobrecarga de los motores u otras máquinas a niveles peligrosos, protegiéndolas de reparaciones costosas

5.6.2- Cuando se funden uno o más eslabones fusibles o existe alguna anormalidad en el circuito en donde están intercalados, hay que investigar la causa antes de reponerlo.

5.6.3- Al instalar un eslabón fusible en un cartucho renovable es necesario extraer todos los residuos del anterior y si las partes de contacto de tapas y navajas están flameadas, se deben lijar hasta que queden limpias y con sus superficies planas o uniformes

5.6.4- Antes de colocar los fusibles en los interruptores de seguridad es preciso verificar que las navajas de éstos se encuentren en la posición de abierto

5.6.5- No sustituir los eslabones- fusibles con alambres u otros materiales ya que es una falsa economía que acarrea grandes peligros. Tampoco deben colocarse en un cartucho dos eslabones fusibles (excepto cuando así se recomiende) con el objeto de que conduzcan mayor corriente de la indicada en su etiqueta porque esto los destruye rápidamente

5.6.6- Los fusibles de cartucho nunca deben estar instalados a la intemperie o en lugares con ambiente muy húmedo ya que las partes de fibra se deforman perdiendo su alineamiento

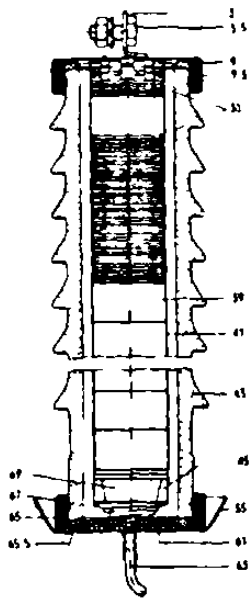
5.6.7- Cuando el funcionamiento de las máquinas produzca vibraciones en los interruptores de seguridad éstos deben ser revisados periódicamente apretando todas sus conexiones y tuercas para evitar falsos contactos que reducen notablemente la vida de los fusibles de cartucho *La figura* 5 ilustra la colocación e instalación de fusibles de tapón roscado y de cartucho

5.6.8- Los sujetadores de los fusibles figura 6 deben ser los adecuados para cada capacidad de fusibles a instalar y deben tener la suficiente presión de contacto para evitar calentamiento en los casquillos y navajas

5.6.9- Durante la instalación de fusibles se debe tener la precaución de hacer un montaje adecuado en la base porta fusible figura 6 y dar un apriete

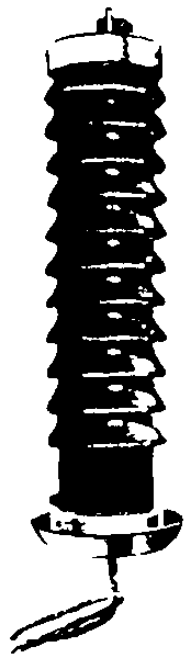
LOS APARTARRAYOS

INTRODUCCION -



3 Pieza de empalme
3 5 Tornillo de empalme
9 Cubierta superior
9 5 Junta
31 Explosor de extinción
39 Discos de resistencia
41 Tubo aislante
43 Envolvente de porcelana
45 Relleno de nitrógeno
55 Platillo inversor
61 Fusible de sobrecarga
63 Empalme a tierra
65 Cubierta inferior
65 5 Junta
67 Resorte
69 Cuerpo de relleno y contacto

H415a



Cable de empalme a tierra

Actualmente muchos fabr cantes restringen la manufactura de apartarrayos de tipo valvula donde de preferencia a los de tipo de expulsión, debido a las mejores caracteristicas protectoras a la limitada capacidad para conducir comiente a la frecuencia de la potencia, a su larga vida de servicios y ala minimización de los problemas de coordinación de fusibles

FIGURA 7

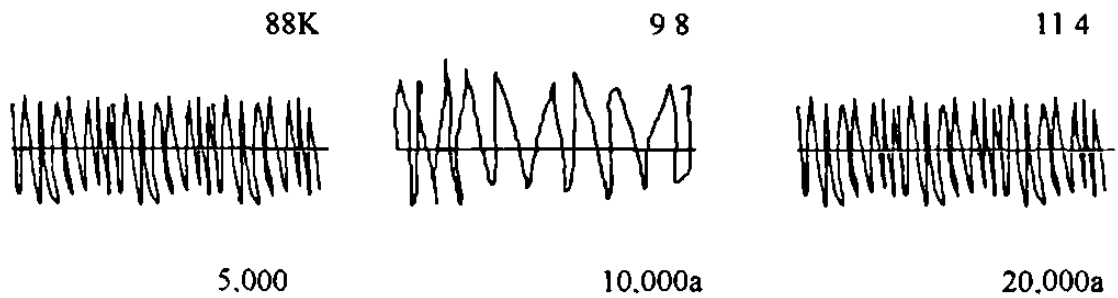
Los APARTARRAYOS de tipo válvula descargan mas rápidamente y a más bajos voltajes de los frentes de onda de descarga(onda electromagnética) que los APARTARRAYOS de tipo de expulsión Las terminales de las bobinas de los transformadores no son tensionados por un completo colapso de voltaje que sigue a la descarga Aunque los APARTARRAYOS de expulsion proveen un satisfactorio nivel de protección para muchos transformadores un grado mayor de protección es conseguido a través de la propia aplicación de los APARTARRAYOS de válvula

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

Sobretensiones de origen atmosférico
Sobretensiones por fallas en el sistema

5.7.1- Función.

El APARTARRAYOS es un dispositivo que nos permite proteger las instalaciones contra sobretensiones de origen atmosférico
Las ondas que se presentan durante una descarga atmosférica viajan a la velocidad de la luz y dañan el equipo si no se le tiene protegido correctamente Una onda de impulso irá en incremento a razón de cada 100 kv Por microsegundo por cada 12 kv De rango de voltaje del APARTARRAYOS , Para determinar el valor frente de cada arqueo por lo que el valor de voltaje de cresta del arco será lo suficiente bajo como para prevenir un flamazo de descarga próximo a la onda de choque sin el equipo de protección de distribución



Eléctricamente y mecánicamente los APARTARRAYOS son inafectados cuando se presentan descargas atmosféricas estando puestos en servicio por lo que prácticamente tienen vida ilimitada en ese sentido, pero las condiciones

atmosféricas y la erosión si afectan las características eléctricas y la vida del APARTARRAYOS Los que primeramente están en contacto con estos valores son el conducto y la válvula bloc

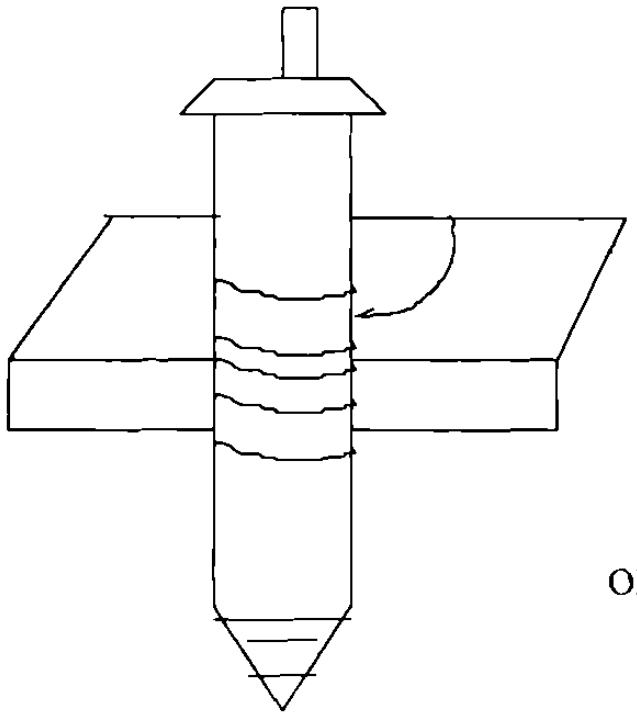
Cuando las condiciones sobre el sistema de distribución son normales el conducto permite el paso a la tierra de una diminuta corriente de fuga debido a la más resistente a través de la válvula

Cuando un choque de una descarga induce un frente de onda de voltaje positivo en los conductores, se ioniza los alrededores del aire inferior del conducto Cuando el dieléctrico del aire se rompe, la resistencia del conducto cae a cero, el conducto descarga y el frente de onda de corriente fluye a tierra Tan pronto como el conducto descarga, el frente de onda de voltaje inducido y puesto a través de la válvula bloc la cual exhibe muy baja resistencia al alto voltaje y permite que el frente de onda de corriente pase fácilmente a tierra

Después del frente de la onda ha pasado el voltaje a través de la válvula bloc para permitir que el conductor recupere sus propiedades aislantes a la siguiente corriente cero. Cuando el conducto Se recupera, solamente la corriente de fuga pasa através del APARTARRAYOS y el voltaje del sistema aparece de nuevo únicamente a través del conducto permitiendo que la válvula bloc se recupera de los efectos del calentamiento producidos por el frente de onda y las corrientes a la frecuencia de la potencia

I_{60} = 104 amperes de cresta
E_0=3050 volt

Cuando un APARTARRAYOS es dañado por un choque directo extremadamente severo o por un sostenido sobre voltaje o la frecuencia de la potencia, el aislador inmediatamente desconecta el APARTARRAYOS
De tierra
FIGURA 8



OPERACIÓN DEL AISLADOR

El frente de la onda de la prueba de fuego es una onda de impulso relativamente recta la que decrece rápidamente antes de que se obtenga la cresta normal de onda LAS ESPECIFICACIONES NEMA para transformadores de potencia recomiendan esta onda de ½ microsegundo además de las otras pruebas de fuga

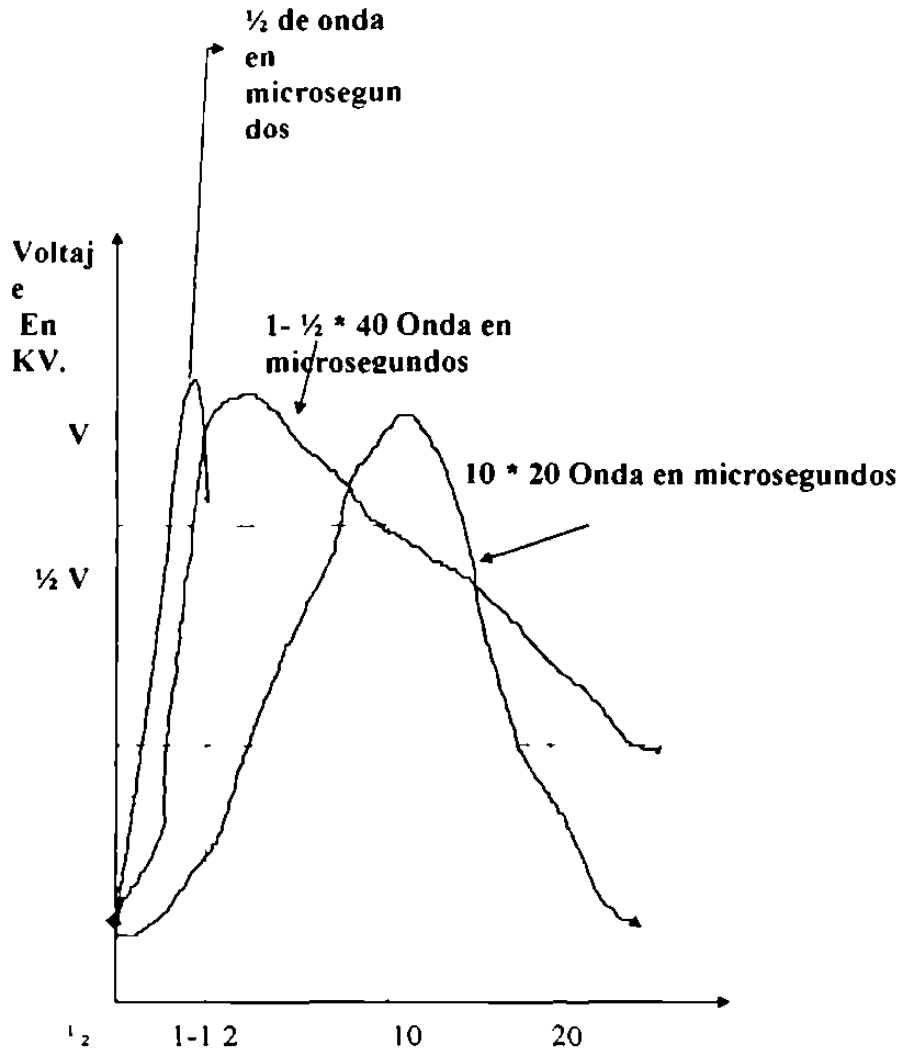


FIGURA 9

La función del APARTARRAYOS no es eliminar la onda de sobretensión presentadas durante las descargas atmosféricas, sino eliminar su magnitud a valores que no son perjudiciales para las maquinas del sistema

5.7.2- la Forma del APARTARRAYOS es:

El aparta rayos es un dispositivo que se encuentra conectado permanentemente en el sistema opera cuando se presenta un a sobretensión de determinada magnitud, descargando la corriente a tierra

Su principio general de operación se basa en la formación de un arco eléctrico entre dos explosores cuya separación esta determinada de antemano de acuerdo con la tensión a la que va a operar

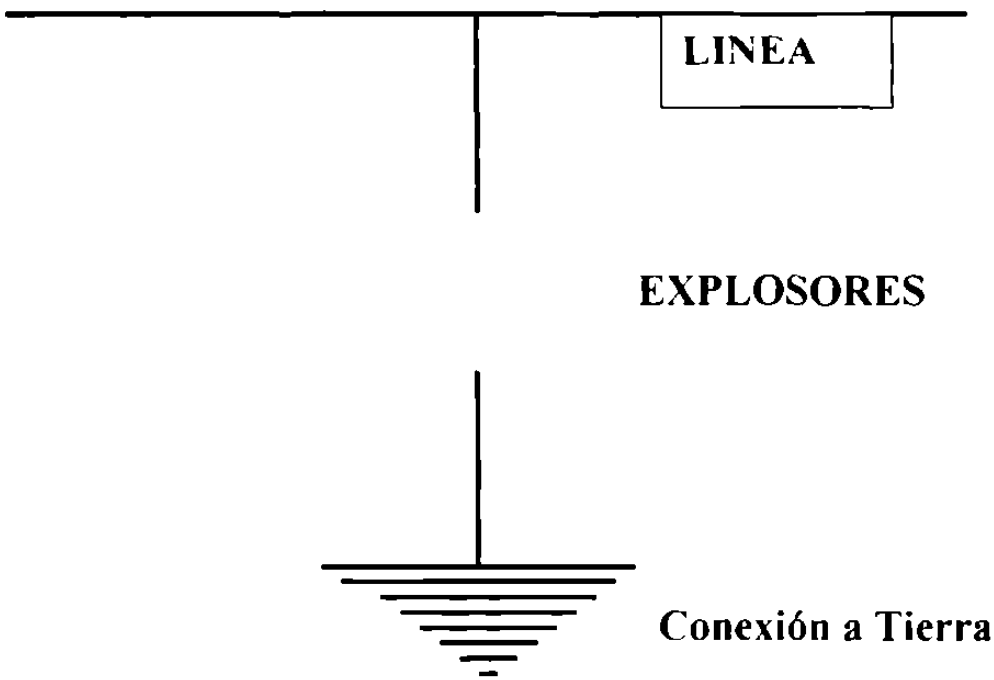


FIGURA 10

El interior del APARTARRAYOS de válvula consiste en un conducto de descarga y una válvula El conducto de descarga aísla la línea de la tierra bajo condiciones normales de operación La válvula es capaz de acarrear un alto frente de onda de corriente con una resultante de descarga de bajo voltaje Sin embargo ella ofrece una alta impedancia a la corriente debida a la carga

5.7.3- Tipos de APARTARRAYOS:

El APARTARRAYOS de tipo Autovalvular consiste en varias chapas de explosores conectados en serie por medio de resistencias variables cuya función es dar una operación más sensible y precisa Se emplea en los sistemas que operan a grandes tensiones ya que representan una gran seguridad de operación La aplicación de dos APARTARRAYOS de Autovalvular no esta limitada por la máxima corriente de falla

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

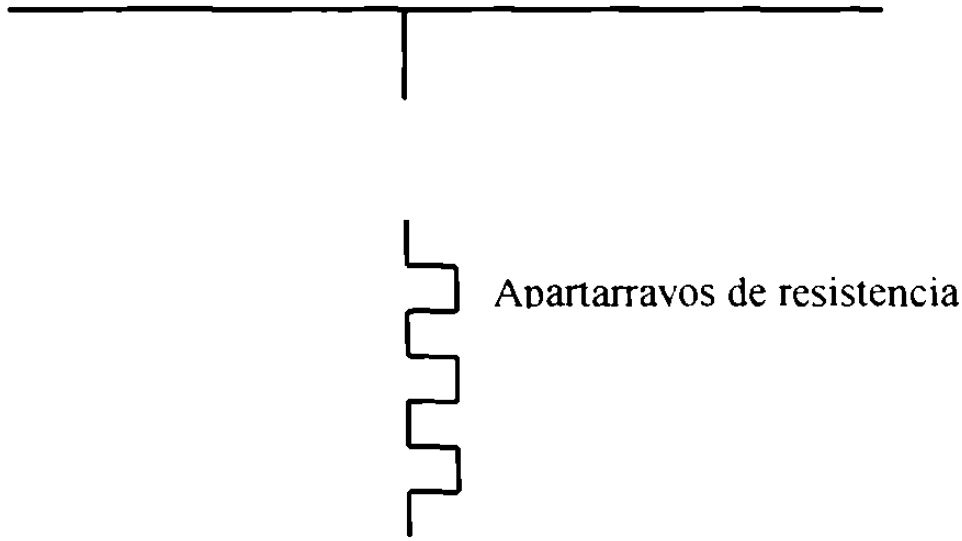
Los APARTARRAYOS de descarga están sujetos a dos niveles de voltaje voltaje de operación del sistema y alta magnitud de frente de onda de voltaje de una descarga

Los APARTARRAYOS de expulsión operan bajo un principio de presión tienen un definido límite tope y pueden tener una razón nominal más baja de corto circuito

Demasiada corriente puede causar que explote y que también pequeñas corrientes emitidas causan un arco de expulsión

Sin tomar en cuenta la capacidad del sistema el APARTARRAYOS de válvula pasará bajos valores de corriente fluyendo la frecuencia de la potencia. Los APARTARRAYOS de expulsión pueden parar altas corrientes las cuales pueden causar operaciones innecesarias de aparatos seccionalizados

FIGURA 11 APARTARRAYOS DE RESISTENCIA



Otras pruebas de resistencia involucran altas corrientes con ondas de corta duración las cuales demuestran la capacidad de los APARTARRAYOS y con las ondas de larga duración y poca intensidad de prueba la estabilidad térmica del APARTARRAYOS y su capacidad para soportar maniobras

La prueba de impulsión es considerada la más importante para mostrar sobre todo la durabilidad de los APARTARRAYOS de distribución Una serie de descargas usualmente especificadas como una onda de 10 * 20 microsegundos de particular magnitud de intensidad son transmitidas al APARTARRAYOS conectado al circuito normalmente suministrado

Los APARTARRAYOS son raramente sujetos a repetidas descargas de esa naturaleza bajo las condiciones normales de operación

Varios rangos y características de APARTARRAYOS mostrados en la tabla siguiente son obtenidos de pruebas como las descritas a continuación

Los valores de voltaje de suministro y voltaje de impulso del aislamiento de un APARTARRAYOS son respectivamente el valor rms del voltaje a 60 ciclos y el valor máximo de cresta del voltaje de descarga que puede ser aplicado al APARTARRAYOS sin causar flameo Debido a que los niveles de resistencia del aislamiento del APARTARRAYOS para las pruebas al impulso deben ser mayores a los del arqueo los voltajes al impulso son determinados por cambios de partes internas del APARTARRAYOS

Los rangos de voltaje de los APARTARRAYOS son valores máximos RMS 60 ciclos de voltaje a tierra al cual estará sujeto el APARTARRAYOS y aún bajo condiciones transitorias.

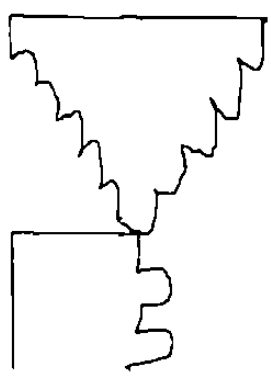
El voltaje de descarga es el voltaje que aparece cuando el APARTARRAYOS está sujeto a la corriente de descarga y es esperado en término del valor de cresta del voltaje el cual se aplica de acuerdo a cualquier onda especifica para la prueba La onda estándar para establecer los niveles de voltaje de descarga Es la 10 * 20 microsegundos

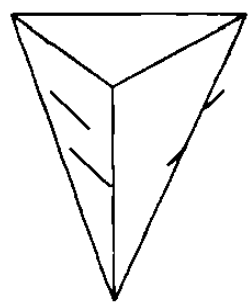
Rangos de voltaje en Kv. , rms	Frente de onda del flamazo dado en kv. hasta la cresta		Voltaje de descarga de 200 microsegundos onda de corriente de descarga, cresta de kv.							
			Para 1500 AMP amperes		Para 500 AMP Para 150000 amperes		Para 10000			
	Prom.	Max.	Prom.	Max.	Prom.	Max	Prom.	Max	Prom.	Max
1	8	10	3	3 5	3 5	4	4	4 5	4 5	5
3	15	18	7 5	8	9	10	10	11 5	11 5	12 5
8	29	32	15	1 6	18	19	20	22	23	25
9	39	43	22	24	27	25	30	33	34	27
10	39	43	24	26	29	25	30	36	38	41
12	51	59	29	32	36	30	41	44	46	50
15	61	44	48	54	59	63	52	45	46	36
18	70	61	44	48	54	54	59	61	55	53
20	74	66	49	53	50	60	58	59	26	36

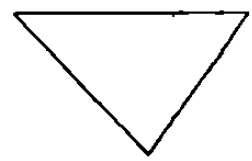
TABLA NO. 1

Con una onda de 100 kv. , Por microsegundo para un apartarrayos de 12 kv. , Nominales.

Estos son las reacciones de los apartarrayos con el sistema y las fallas:







Sistema teorico conectado en estrella con neutro y cero impedancia

Son dispositivos que nos permiten proteger las instalaciones contra sobretensiones de origen atmosférico, las ondas que se presentan durante una descarga atmosférica viajan a la velocidad de la luz y dañan el equipo si no se les protege correctamente

Las sobretensiones que se presentan en las instalaciones de un sistema pueden ser de 2 tipos

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

Para la protección del mismo se debe de tomar en cuenta los siguientes aspectos

Descargas directas sobre la instalación
Descargas indirectas

El caso que puede presentarse más frecuentemente es el de las descargas indirectas el apartarrayos que se encuentra conectado permanentemente en el sistema opera cuando se presenta determinada descarga drenando la corriente a tierra

Su principio de operación se basa en la formación de un arco eléctrico entre 2 explosores cuya separación esta determinada de antemano de acuerdo con la tensión a la que va a operar. Se fabrican diferentes tipos de apartarrayos basados en el mismo principio de operación Los más conocidos son

1 - Apartarrayos tipo Autovalvular
2 - Apartarrayos de resistencia variable

5.7.4. - El Apartarrayos de Tipo Autovalvular:

Consiste en varias capas de explosores conectados en serie por medio de resistencias variables cuya función es dar una operación sencilla 1 y precisa se emplea en sistemas que operan a grandes tensiones ya que representa una gran seguridad de operación

5.7.5. - El Apartarrayos de Resistencia Variable:

Funda su principio de operación en el principio general, es decir, con 2 explosores, y se conecta en serie con una resistencia variable, se emplea en tensiones medianas y tiene mucha aceptación en sistemas de distribución

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

Las ondas normalmente se presentan de 1 5 a 40 microsegundos (onda americana) y 1 a 40 microsegundos (onda europea)

La función del apartarrayos es cortar su valor máximo de onda (aplanar la onda)

Las sobretensiones originadas por descargas indirectas se deben a que se almacenan sobre las líneas cargas electrostáticas, que al ocurrir la descarga se parte en 2 y viaja en ambos sentidos de la línea a la velocidad de la luz

Los apartarrayos protegen también a las instalaciones de descarga directas para lo cuál tiene cierto radio de protección Para dar una mayor protección contra éstas se instalan unas varillas conocidas en las líneas de transmisión, la tensión a que operan los apartarrayos se conoce técnicamente como tensión de cebado del apartarrayos, el condensador se emplea como filtro junto con los apartarrayos de los generadores

5.8- INTERRUPTORES

Si la operación de apertura se efectúa sin carga (corriente) el interruptor recibe el nombre de cuchilla desconectadora, pero si la operación de apertura se efectúa con carga (corriente nominal) ó con corriente de corto circuito, en caso de una perturbación el interruptor recibe el nombre de disyuntor o interruptor de potencia

5.8.1- Cuchillas

Las cuchillas son dispositivos que nos permiten aislar elementos de instalaciones eléctricas en forma segura, ya que nos da la certeza de que la maniobra se ha efectuado al tener un medio visible de desconexión y esto nos permite tener acceso al equipo aislado con toda seguridad

También nos sirve como elemento auxiliar de la transferencia de cargas entre buces de una subestación, por lo tanto, jamás se debe de operar cuando circule por ella una corriente

5.8.1.1- Clasificación de las Cuchillas

1. - Por medio del numero de polos:

a) Monopolares

b) Tripolares

2. - Por medio de su forma de agruparse:

a) Apertura lateral -

La navaja gira de forma lateral y horizontal al accionarse

b) Doble apertura lateral -

Igual que la anterior pero con 2 navajas y el contacto al centro

c) Apertura vertical -

La navaja se mueve de forma vertical

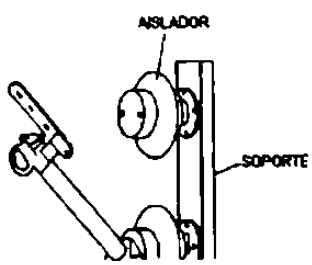
d) Pantógrafo -

Se asemeja a un pantógrafo y se conecta a un aparato llamado trapecio se usa en circuito De 230 y 240 KV Con mas de 2 buces

e) Semipantógrafo -

Más ligera que los anteriores se asemeja a un brazo.

5.8.1.2- Cuchilla Fusible



La cuchilla fusible es un elemento de desconexión y conexión de circuitos eléctricos

Tienen dos funciones, como cuchilla desconectadora para lo cual se conecta y desconecta como elemento de protección, el cual lo constituye el dispositivo fusible y que selecciona de acuerdo al valor de la corriente nominal que va a circular por él, pero los fabricantes tienen el correspondiente valor de ruptura por cualquier valor de corriente nominal

Figura # 12 interruptor de cuchillas

Los elementos fusibles están constituidos fundamentalmente de plata, cobre electrolitico con aleación de plata o cobre aleado con estaño

Esta tiene básicamente 2 funciones como cuchilla desconectadora para la cual conecta y desconecta, y como elemento de protección El dispositivo de protección lo constituye el dispositivo fusible que se encuentra dentro del cartucho de conexión, el dispositivo fusible se selecciona dé acuerdo con la corriente nominal que va a circular por él, pero los fabricantes tienen el correspondiente valor de ruptura para cualquier valor de corriente nominal

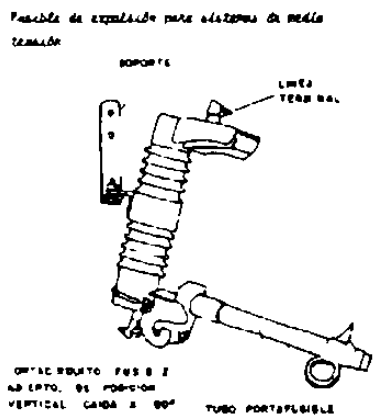
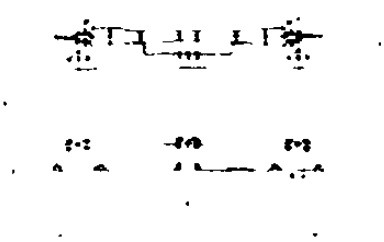


Figura # 13 Interruptor de cuchillas de expulsión

Los elementos fusibles se construyen principalmente de plata, cobre electrolitico, con aleación de plata o cobre aleado con estaño Las cuchillas fusibles están diseñadas para 15 KV (1000 amperes máximos) Y 24 5 KV Se utilizan para subestación de distribución o de potencia Algunas recomendaciones para el uso de los diferentes tipos de cuchillas fusibles son

*** Cuchillas con 3 aisladores, 2 fijos y 1 giratorio en el centro:**



Se emplean en subestaciones tipo intemperie con corrientes elevadas y rangos de tensión de 34 5 KV

FIGURA # 14 CUCHILLAS GIRATORIAS

*** Cuchillas con cuernos de arqueo:**

Se usan a tensiones muy elevadas su empleo es muy indispensable en líneas largas

*** Cuchillas tipo pantógrafo:** Este tipo no es usado en América

*** Cuchillas con 2 aisladores de operación vertical:**

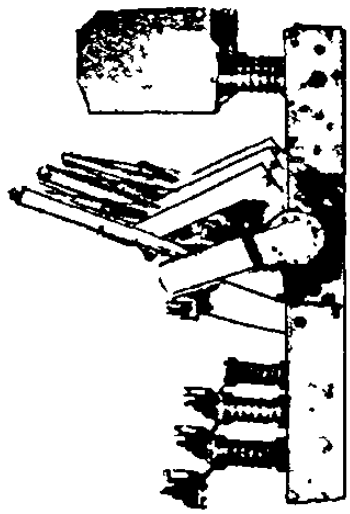
Se puede usar en interiores del rango de 23 KV Y para exteriores se pueden usar en cualquiera de los rangos normales de operación

*** Cuchilla con 2 aisladores de operación horizontal:** Es conveniente usarlas cuando se disponga de aire comprimido se usan en cualquiera de las tensiones normales de operación

*** Cuchillas con 3 aisladores de doble arco (tipo av):** Se emplean en instalaciones de corrientes elevadas y tensiones medias en sistemas de distribución a 33 y 23 KV Se usan para interconexión de líneas

* **Cuchillas con 3 aisladores, con el aislador central corredizo por cremallera:** Debido a su tamaño su rango de operación es igual al de las cuchilla de operación vertical

FIGURA 15



Seccionador bajo carga

* **Seccionadores:**

Cuchillas que pueden desconectar circuitos con carga, y son casi siempre de operación vertical con accesos especiales para desconexión rápida se fabrican interruptores de corriente hasta de 1000 amperes a tensiones no mayores de 34 5 KV

5.8.1.3- Especificaciones

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

1 - Tensión nominal de operación
2 - Corriente nominal
3 - Corriente de corto circuito simétrica
4 - Corriente de corto circuito asimétrica
5 - Tipos de montaje (horizontal o vertical)
6 - Forma de mando

5.8.1.4- Cuchillas Desconectadoras

Es un elemento que sirve para desconectar físicamente un circuito eléctrico, por lo general operan sin cargo, pero con algunos aditamentos se pueden operar con carga hasta ciertos limites

Estas cuchillas se clasifican de diferentes maneras como lo muestra lo siguiente

1. - Por su operación

a) Con carga (con tensión nominal)

b) Sin carga (con tensión nominal)

2. - Por su tipo de accionamiento

a) Manual

b) Automático

3. - Por su forma de desconexión

a) Con 3 aisladores, 2 fijos y 1 giratorio al centro(horizontal) llamado de doble arco con 2 aisladores (accionado con pértiga) operación vertical

b) Con 2 aisladores (accionados por pértiga), operación vertical NOTA Por la forma en que se instala recibe el nombre de vertical LCO u horizontal standard

c) Con 2 aisladores, uno fijo y otro giratorio en plano horizontal

d) Pantógrafo o separador de tijeras

e) Cuchilla de 3 aisladores, el del centro movible por cremallera

f) Cuchillas desconectadoras con cuernos de arqueo

g) Cuchilla tripolar de doble aislador giratorio

h) Cuchillas tipo AV

i) Cuchillas con operación vertical con brazo horizontal

5.8.2- Un Interruptor

Es un dispositivo diseñado para establecer o cortar la continuidad de un circuito eléctrico, ya sea en condiciones normales o anormales de operación de dicho circuito

Los interruptores en caso de apertura, deben de asegurar el aislamiento del circuito eléctrico, la falla que origina los mayores efectos es el corto circuito los interruptores deben de estar colocados de tal manera que cuando ocurra una falla, cualquiera elemento del circuito eléctrico quede aislado del resto del sistema, dichos interruptores se seleccionan de acuerdo a la máxima corriente que pueda haber momentáneamente en el conductor, dicha corriente se denomina corriente de corto circuito

5.8.2.1- Tipos de Interruptores de Potencia

1 - Interruptor de vacío
2 - Interruptor de soplo magnético
3 - Interruptor de aceite
4 - Interruptor neumático

Estos interruptores se caracterizan por sus lámparas de extinción y más directamente por los medios extintores que utilizan para apagar el arco

5.8.2.2- Clasificación de los Interruptores de Aceite

1 - Interruptores de gran volumen de aceite

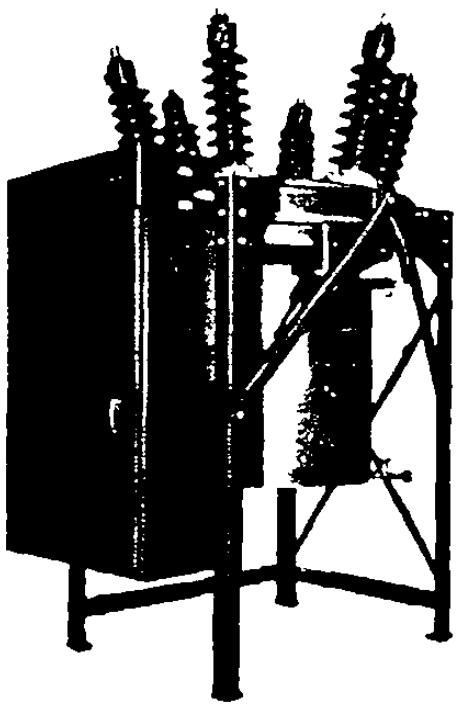
2. - Interruptores de pequeño volumen de aceite

3. - Interruptores de gran volumen de aceite con cámara de extinción

5.8.2.2.1. - Interruptores de Gran Volumen de Aceite:

Generalmente se construyen de tanques cilíndricos y pueden ser monofásicos o trifásicos, los trifásicos son para operar a voltajes relativamente pequeños y sus contactos se encuentran contenidos en un recipiente común, separados entre sí por aislantes, por razones de seguridad las tensiones elevadas son manejadas por los interruptores monofásicos (uno por base en circuitos trifásicos)

Las partes fundamentales en este circuito son:



Interruptor de gran volumen de aceite para servicio a la intemperie marca IEM

FIGURA 16

a) Tanque o recipiente

b) Boquillas y contactos fijos

c) Conectores (elementos de conexión al circuito).

d) Vástagos y contactos movibles

e) Aceite de refrigeración

5.8.2.2.2. - Interruptores de Gran Volumen de Aceite con Cámara de Extinción:

Los interruptores de grandes capacidades con gran volumen de aceite origina fuertes presiones internas, que en algunas ocasiones pueden lograr provocar explosiones para disminuir estos riesgos, se idearon dispositivos donde se crean las burbujas de gas reduciendo con ello las presiones estos dispositivos se llaman cámaras de extinción, y dentro de las cuales se extingue el arco eléctrico, el procedimiento para la extinción de un arco es como el siguiente.

Al ocurrir la falla se separan los contactos que se encuentran dentro de la cámara de extinción. Los gases que se producen tienden a escapar pero se encuentran dentro de la cámara que contiene aceite, y origina una violenta circulación del aceite que extingue el arco.

Cuando el contacto móvil sale de la cámara, el arco residual se acaba de extinguir, entrando nuevamente aceite frío a la cámara Cuando los arcos se han extinguido, se cierran los elementos de admisión de la cámara

El elemento de desconexión en los interruptores de gran volumen de aceite lo constituyen los contactos movibles, estos se pueden accionar de 3 maneras distintas

Mecánicamente por medio de volante - bielas o engrane - bielas

Magnéticamente, por medio de un electroimán conocido como bobina de disparo que acciona el trinquete de retención de los contactos movibles al ser energizado La acción de conexión o desconexión se puede efectuar sustituyendo el volante o los engranes con un motor eléctrico que pueda operarse a control remoto

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

5.8.3- Proceso de Interrupción

Cuando se opera el interruptor por una falla, los contactos movibles se desplazan hacia abajo, separándose de los contactos fijos, lo que va creando una distancia entre ellos y en función con esta distancia es la longitud del arco el arco da lugar a la formación de gases, por lo que se crean burbujas alrededor de los contactos que desplazan cierto volumen de aceite, conforme aumenta la distancia entre contactos el arco crece y la burbuja se hace mayor de tal manera que al quedar los contactos en su separación mayor, la presión ejercida por el aceite es considerable, por lo que en la parte superior del recipiente se instala un tubo de fuga de gases

5.8.4- Partes Funcionales de un Interruptor

5.8.4.1- Partes y Soportes Aislados Bajo Tensión:

Sostiene los demás componentes, esfuerzos térmicos y dieléctricos, ya que se encargan de aislar las partes vivas de tierra

5.8.4.2- Mecanismos de Operación:

Realiza el trabajo mecánico de abrir o cerrar el interruptor

5.8.4.3- Contactos:

Efectúa la conexión o desconexión del circuito

5.8.4.4- Medio Extintor:

Es el medio dieléctrico (gas o liquido) contribuye a extinguir el arco

5.8.5- Capacidad Interruptiva

Todo interruptor para considerarse como tal, debe tener la capacidad de interrumpir el arco eléctrico ya sea en condiciones normales o ante una falla del circuito, debido a que el arco eléctrico es más intenso, razón por la cuál es más difícil extinguir en las condiciones siguientes:

1 - Cuanto más cerca del interruptor se presente un corto circuito
2 - Cuanto mayor sea la intensidad de corriente en el circuito
3 - Cuanta más elevada sea la tensión eléctrica
4 - Cuanto más inducida sea la carga del circuito

A la intensidad del arco eléctrico le llamaremos con más propiedad como potencia aparente

5.8.6- Pruebas a Interruptores

5.8.6.1- Prueba de Prestación:

Con ella sacamos el valor de la corriente de apertura o de la cierre en algunos casos (corriente de falla).

5.8.6.2- Prueba de Aislamiento:

Mediante ésta se determina el comportamiento del interruptor a la tensión nominal, y comprobar la calidad de los aislantes utilizados

5.8.6.3- Prueba de Sobrecarga:

Mediante ella se comprueba si el interruptor soporta la corriente de sobrecarga fijada

5.8.6.4- Prueba Mecánica:

En ella nos fijamos si el interruptor es lo suficientemente fuerte de acuerdo a su capacidad de diseño en MVA

5.8.6.5- Prueba de Presión:

Se comprueba la resistencia del tanque a las presiones internas originadas en una falla.

5.8.6.6- Prueba de Temperatura:

Sirve para observar la manera de comportamiento del interruptor, al ser sometido a temperaturas elevadas o a corrientes mayores que la nominal

5.8.6.7- Prueba de Funcionamiento:

Mediante esta podemos verificar el funcionamiento de los dispositivos de control mecánico, principalmente la operación fundamental y simultáneamente de los polos de desconexión

5.8.7- Recomendaciones para Interruptores

1 - Todos los interruptores manuales o automáticos desconectadores y fusibles deben ser fácilmente accesibles para las personas que los operen y deben colocarse y marcarse de modo que pueda identificarse fácilmente el equipo que controlan

2 - Debe ser posible verificar en cada momento la operación efectuada por cada interruptor y desconectador del sistema

3 - Se debe de instalar un interruptor adecuado y que pueda operarse manualmente en los siguientes puntos

a) En cada punto conveniente de la alimentación de cada equipo eléctrico importante

b) En el punto de alimentación de cada uno de los circuitos alimentadores

C) En la entrada de subestaciones de usuarios en el punto de conexión del sistema suministrador

D) Como medio de protección

4. - Todos los circuitos que alimenten primarios de transformadores, grupos de aparatos y equipos auxiliares de las subestaciones y todos los circuitos que salgan al exterior de estas deben de protegerse contra sobrecorriente mediante fusibles ó interruptores automáticos adecuados de capacidad suficiente para interrumpir la corriente máxima de cortocircuito a que pueden ser sometidos

5 - Debe instalarse un desconectador en adición de cualquier medio de interrupción inmediatamente después del equipo de servicio de toda subestación de usuario

6 - Se recomienda instalar desconectadores en otros puntos donde se requiera abrir líneas o conexiones para maniobras de operación o mantenimiento.

7 - Deben de colocarse avisos de no abrir los desconectadores con carga

8 - Deben instalarse de modo que sea fácilmente distinguible si están abiertos o cerrados

5.8.8- Prestaciones para Interruptores

Se denomina prestaciones de los interruptores a las condiciones de operación, que puede darnos un interruptor y que se deben proporcionar como datos del fabricante para que bajo ésas condiciones diese el dispositivo Cuando ocurre la falla la detecta el dispositivo de control, de tal manera que una válvula de solenoide acciona a la válvula principal (2) y sigue una secuencia que puede describirse en forma general

Lo más importante es la corriente de corto circuito, sin embargo existen otras que someten al interruptor a condiciones de operaciones tales como el cierre de un interruptor sobre una falla existente, otra condición que afecta la operación la constituyen los reenganches a que se ve sometido, los factores que afectan las prestaciones de los interruptores son las siguientes

A) - Interrupción de líneas por las que circulan corrientes inductivas
B) - Interrupción de circuitos capacitivos
C) - Interrupción de circuitos en oposición de fases

5.8.9- Interruptor Neumático

El aire a presión se obtiene por un sistema de aire comprimido que incluye una o varias compresoras, un tanque principal, un tanque de reserva y un sistema de distribución en caso de que sean varios interruptores Se fabrican trifásicos o monofásicos, para uso interior o exterior

1 - Pieza de contacto
2 - Espacio de la cámara
3 - Cámara de condensación
4 - Soporte
5 - Contacto fijo

5.8.9.1- Ventajas del Interruptor Neumático sobre los Interruptores de Aceite

☑ Ofrece mejores condiciones de seguridad

☑ Interrumpe las corrientes de falla en menos ciclos (3 a 5)

☑ Disminuye la posibilidad de reencebados de arco

☑ Es mas barato

5.8.10- Interruptores de Expansión

Al igual que los neumáticos evitan las explosiones y los incendios En este tipo de interruptor los contactos se encuentran dentro de una cámara de expansión, generalmente se utilizan para tensiones medianas

5.8.10.1- Especificaciones para Interruptores de Potencia

Entre los datos técnicos que se deben mencionar como fundamentales para designar un interruptor se encuentran

a) Tensión normal de operación

b) Corriente nominal

C) Corriente de ruptura en Kv

d) Capacidad de ruptura en Mva

e) Capacidad de ruptura para 3 seg de duración de falla

5.9- RESTAURADORES

En los sistemas de distribución además del problema de la protección de los equipos eléctricos, se presenta el de la continuidad del servicio, para satisfacer esta necesidad se ideó un interruptor de operación que no necesitara de accionamiento manual para sus operaciones de cierre y de apertura, (la operación manual se refiere a la operación de control remoto) es decir construido de tal manera que un cierre está calibrado de antemano y opera bajo una secuencia lógica predeterminada y constituye un interruptor de operación automática con características de la red de distribución que se va a proteger es por ello que se le denomina restaurador

5.9.1- El Restaurador

Es un interruptor de aceite con sus tres contactos en el mismo tanque y que opera en capacidades interruptivas relativamente bajas, y tensiones no muy elevadas normalmente están construidos con tres operaciones de cierre y con cuatro operaciones de apertura con un intervalo entre una y otra calibrado de antemano en la ultima apertura el cierre debe ser manual ya que se indica que la falla es permanente

5.9.2- Operación de un Restaurador

El restaurador opera de manera semejante a un interruptor trifásico ya que sus contactos movibles son accionados por un vástago común, conectando y desconectando de manera simultánea

El proceso de apertura y re-cierre puede ser descrito brevemente de la manera siguiente

Cuando ocurre una falla la bobina de disparo se energiza y actúa sobre un trinquete mecánico que hace caer los contactos movibles Los contactos movibles disponen de resortes tensionados por lo que la apertura es rápida al

caer los contactos movibles energizan la bobina de re-cierre que se encuentra calibrada para operar con un cierto intervalo

La bobina de disparo acciona un dispositivo mecánico que opera los contactos movibles, conectándose nuevamente con los contactos fijos Si la falla es transitoria el restaurador queda conectado y preparado para la siguiente falla, y si la falla es permanente repartirá todo el proceso anterior hasta quedar fuera según sea el número de recierres para el cual fue calibrado (la interrupción tiene lugar en la cámara de extinción que contiene a los contactos)

6. - CRITERIOS DE LA COORDINACIÓN DE PROTECCIÓN

6.1 EL USO DE LA HOJA DE CALCULO COMO HERRAMIENTA PARA ESTUDIOS DE COORDINACION DE PROTECCIONES.

Una de las actividades que revisten especial importancia dentro de la especialidad de Protecciones, se refiere a los estudios de coordinación de protecciones de sobrecorriente de tiempo inverso, para lo cual se requiere manipular ciertos parámetros que nos permitirán determinar los ajustes mas adecuados para este tipo de relevadores, en función de las características de los equipos a proteger Este trabajo es bastante laborioso cuando se hace en forma manual, aunque en la actualidad ya existen en el mercado diversos programas computacionales que facilitan en gran medida este proceso, sin embargo en el presente documento presentamos la opción de usar las hojas electrónicas de cálculo para desarrollar estos trabajos

Dentro de los elementos de sobrecorriente podemos clasificar a los relevadores de protección propiamente dichos, a los elementos fusibles, elementos térmicos, así como las curvas de daños de equipos eléctricos tales como Transformadores de Potencia Generadores, Conductores Etc.

Las curvas de estos equipos son proporcionadas por los fabricantes de los mismos o por normas establecidas como la ANSI/IEEE C57 109-1985, que especifica los tiempos de duración de corrientes de falla en transformadores

Generalmente estas curvas son de tiempo inverso es decir a mayores magnitudes de corriente menor tiempo de operación, de soporte sin daños Y son proporcionados en forma de curvas graficadas sobre hojas logarítmicas o

semilogarítmicas como la mostrada en la figura No 1, la cual nos muestra también algunos de los tipos de curvas más comunes

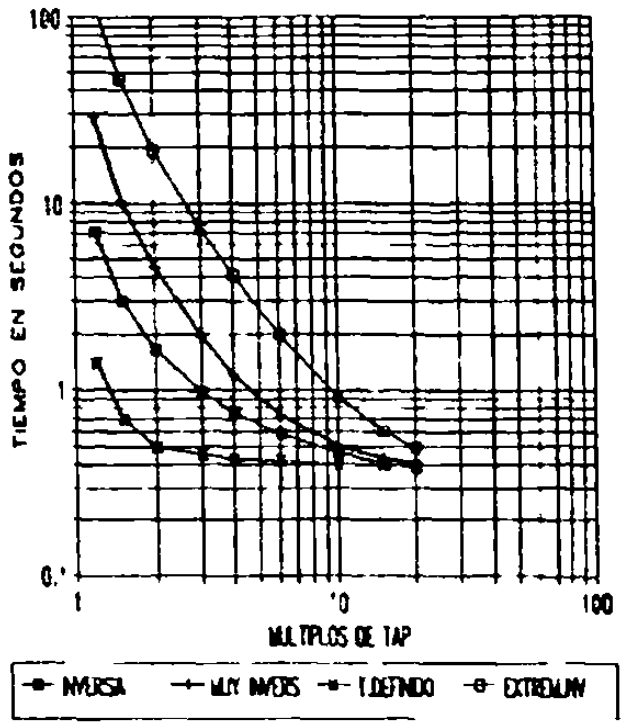


FIGURA No 1 curvas típicas de relevadores de sobrecorriente en función de su corriente nominal o tap de ajuste

FIGURA No 2. - formato para datos básicos del estudio de coordinacion de

COORDINACION Y PRUEBAS DE RELEVADORES DE SOBRECORRIENTE

DATOS GENERALES						HOJA	
ZONA	CRUZ AZUL	SUBEST	LAGUNAS	ELABORO:	AEHR/	FECHA	18/09/93
EQUIPO	T3, 115/13.8, 25 MVA, ALTA			PROBO		FECHA	

DATOS Y PRUEBAS DE OPERACION DE LA PROTECCION

MARCA	GEN. ELEC	TIPO	IAC53	PROT.	151F	TAP OP.	6.00
CURVA	MUY INV.	RTC	40.00	INSTANT	-	PAL OP	2.00

MULTIPLO DE TAP	AMPERES DE PBA	AMPERES PRIMARIOS	TIEMPO DESEADO	TIEMPOS DE OPERACION REAL	FASE "A"	FASE "B"	FASE "C"
1.2	7.2	288	17.592				
1.5	9	360	6.404		6.00	6.90	6.00
2	12	480	2.835		2.70	2.80	2.70
4	24	960	0.757		0.65	0.74	0.71
6	36	1440	0.447		0.42	0.44	0.44
10	60	2400	0.292				
				CORRIENTE DE OPERACION			
ARRANQUE	6	240	47.80	KVA	6.00	6.00	6.00
INSTANT		0					

ajustes, valores teóricos y de prueba de los relevadores

Trasladar estas curvas de las gráficas proporcionados por los fabricantes a las hojas para estudios de coordinación requiere de cierta secuencia y una serie de datos indispensables para una determinación óptima de ajustes, los datos requeridos son mostrados en la tabla de la figura No 2 Esta tabla cumple tres funciones

a). - Contener la información relacionada con el equipo protegido y su relación con el equipo protector.

b) - Determinar ciertos puntos teóricos de la curva que permitirán su trazo en forma manual o su verificación para el trazo en forma automática

e). - Servir como formato de prueba para la verificación de los tiempos reales de operación de los relevadores.

Para los relevadores de sobre corriente de tiempo inverso fabricados mas recientemente además de las curvas de operación los fabricantes proporcionan la ecuación característica de la curva lo cual facilita en gran medida la obtención de las curvas mediante la hoja de calculo

Otro de los datos indispensables para el estudio de coordinación son los resultados del estudio de corto circuito para fallas trifásicas y monofásicas del sistema que se pretende proteger, el cual marcará ciertos límites en la hoja de coordinación

6.1.1. LA HOJA ELECTRONICA.

Este trabajo está desarrollado sobre una hoja electrónica del programa "QUATTRO PRO" versión 2 0, que al igual que otros programas incluye una opción de graficado lo cual nos permite desarrollar los estudios que pretendemos

Para el desarrollo de esta hoja se requiere de los datos y escalados sobre los ejes "X" y "Y" por lo que necesitamos valores numéricos relacionados entre sí para ambos ejes Dependiendo de] número de curvas a graficar serán las columnas de datos a incluir en la hoja

Para nuestro caso, sobre el eje "X" tendremos la escala de corriente de falla en amperes, sobre el cual estarán referidas las curvas de tiempo corriente Sobre el eje "Y " tendremos una escala de tiempo en segundos

La obtención de una curva de tiempo- corriente sobre esta gráfica implica tener una serie de valores de tiempo relacionados con otra serie de valores de corriente en amperes esta serie de valores de tiempo pueden ser obtenidos

directamente de las curvas proporcionados por los fabricantes de relevadores y anotados en la hoja electrónica en forma de columna aunque este procedimiento no proporciona curvas de aspecto uniforme

La mejor manera de obtener curvas uniformes es mediante el desarrollo de la ecuación característica para calcular el tiempo para los valores de corriente correspondientes anotados sobre el eje x

La tabla No. 1 muestra una parte de la Hoja Electrónica con los valores típicos para trazar una gráfica de] tipo tiempo corriente

Esta tabla contiene los datos para trazar 3 de las curvas de tiempo-corriente de la familia SEL

Primera columna: IF corresponde a los valores de corriente de falla en amperes primarios, anotados en forma ascendente y de ser posible en forma logarítmica para obtener cierta uniformidad en las curvas a trazarse Estos valores de corriente serán la base para la determinación de los tiempos anotados en las columnas tercera y cuarta

Segunda columna: M, empieza con los datos RTC y Tap de ajuste en el relé Esta Columna corresponde a la relación que se establece entre la corriente primaria de la primera columna *y* la corriente secundaria derivada de] ajuste de tap de] relevador (conocida también como pick-up o corriente mínima de arranque) En otras palabras corresponde al múltiplo de tap de] relé que representa la corriente primaria y está dada por la fórmula

M = IF / (Tp * RTC)

Donde: 1

M = Múltiplo de Tap de] relé

IF = Corriente primaria en amperes

Tp = Tap de ajuste en el relé

RTC = Relación de Transformador de Corriente

CURVAS PARA RELEVADORES SEL

RTC=40.0 TAP= 5.0		TD: (PALANCAS DE TIEMPO)		
		5.0	2.0	3.0
IF	M	EXT.INV	MUY INV	NOR.INV
100	0.500	-37.624	-10.154	23.260
150	0.750	-64.624	-17.545	-40.260
200	1.000	ERR	ERR	ERR
250	1.250	50.576	13.988	32.273
300	1.500	22.856	6.401	14.820
350	1.750	13.921	3.955	9.195
400	2.000	9.626	2 779	6.490
500	2.500	5.576	1 671	3.940
600	3.000	3.720	1 163	2.771
700	3.500	2.696	0.882	2.127
800	4.000	2.066	0.710	1.730
900	4.500	1.649	0.596	1.467

TABLA No 1 - Datos típicos de una hoja de calculo para la generación de curvas de coordinación

Tercera a quinta columna. Encabezado: Palaca de tiempo o Time día] Estas columnas corresponden a los tiempos teóricos de respuesta de] relevador, calculados mediante la fórmula para curvas extremadamente inversa, muy inversa e inversa respectivamente

Como ejemplo de estas ecuaciones tomaremos las proporcionadas por la Compañía ***Schweitzer Engineering labs*** en su manual correspondiente al relevador tipo SEL- 121F y son las siguientes

Para una curva moderadamente inversa

tm = TD { 0 157 + [0 668 / (M-1)] } -------- (A)

Para una curva Inversa

tm = TD { 0 18 + [5 95 / (M^2 - 1)] } ------- (B)

Para una curva muy inversa

tm = TD { 0 0963 + [3 88 / (M^2 - 1)] } ------ (C)

Para una curva extremadamente inversa

tm = TD { 0 0352 + [5 67 / (M^2 - 1)] } ------ (D)

En donde

tm = tiempo de operación en segundos

TD = Ajuste de] equivalente a palanca de tiempo

M = Múltiplo de la corriente mínima de operación

Como en este caso tenemos un TAP de 5 0 *y* una RTC de 40 la corriente primaria mínima de operación será de 200 amperes, para la cual de acuerdo a las fórmulas tendrá un tiempo de operación infinito razón por la cual en el renglón correspondiente a 200 amperes aparece como ERROR y para valores menores de 200 aparece como tiempo negativo, lo que significa que jamás operará la protección con un valor de corriente menor al ajustado

EJEMPLO

Para calcular el cuarto valor de la cuarta columna sé usa la fórmula (C)

tm = TD { 0.0963 + [3 88 / (M^2 - 1)] }

con los siguientes valores.

M = IF / (Tp * RTC)
M = 250 / (5 * 40)
M=1 25

TD= 2 (dato obtenido de la columna 4)

tm = 2 { 0 0963 + [3 88 / (1 25^2 - 1)] }

tm = 2 { 0 0963 + 6 89778 }

Tm = 13 988 segundos

Como se puede apreciar, las ecuaciones contienen dos variables TD (palaca de tiempo) y M (múltiplo de tap) que depende de] valor de la primera columna se pueden calcular automáticamente valores de tiempo para curvas

con diferentes ajustes de TD, simplemente cambiando el valor de TD en la hoja de cálculo

La variación de este parámetro nos permite mover una curva en forma vertical en la hoja logarítmica

De la misma manera podemos mover la curva en forma horizontal variando los datos de Tap y RTC

6.1.2. CONFIGURACION DE LA GRAFICA:

Para obtener la gráfica con las características deseadas es necesario darle la configuración adecuada

La configuración se hace por medio de los submenús contenidos en, el menú de Gráficas o mediante los siguientes pasos que corresponden a una configuración básica

Tipo de gráfica

/ -->G -->G -->XY

Selección de series

Primera serie

/ -->G -->S --> 1st --> (se escoge el primer bloque de números)

segunda serie

/ -->G -->S --> 2nd --> (se escoge el segundo bloque de números)

Serie X

/ –>G –>S –> X –> (se escoge el bloque para el eje " X ")

Configuración del eje X Con datos tal como aparece en el menú correspondiente

Escala

/ –>G –>X –> S – Manual

limite inferior

–> L ------ 100

limite superior

–> H ---- 100000

Incremento

–> I ------- 0

Otras características adicionales son configuradas mediante el sub-menú de Personalización de Gráficas como son colores tipos de línea, tipos de símbolos de identificación o formatos de combinaciones

Figura No 3 - Gráfica conteniendo diferentes curvas de relevadores de la familia " SEL " obtenidos a partir de la tabla 1

APLICACIÓN:

Este procedimiento es de mucha aplicación práctica el único problema que existe es que no todos, los relevadores dé sobrecorriente sobre todo los de] tipo electromecánico - magnéticos, cuentan con una fórmula de sus curvas Sin embargo se pueden determinar estas fórmulas mediante experimentación de parámetros a través de la misma hoja de cálculo

El anexo 1 es una muestra de la aplicación practica de este trabajo

6.2. COORDINACION Y AJUSTE DE PROTECCIONES DE DISTANCIA EMPLEANDO LA COMPUTADORA DIGITAL

En este trabajo se desarrolla una herramienta computacional para determinar la impedancia de ajuste de los relevadores de distancia de un sistema de transmisión, de tal manera que se obtenga una coordinación adecuada en la operación de la protección, ante la ocurrencia de fallas. La coordinación de los relevadores se obtiene definiendo previamente, el conjunto de relevadores primarios que debe respaldar cada relevador El criterio empleado en la definición de la impedancia de ajuste se basa en evitar que la protección de respaldo se traslape con la protección primaria

La protección del sistema de transmisión tiene como función básica detectar las fallas que se presentan en las líneas o en las subestaciones y aislarlas rápidamente, abriendo todos los caminos de la corriente de cortocircuito La liberación de la falla se debe hacer lo más rápido posible para minimizar los daños al sistema y a los usuarios Sin embargo la protección debe de ser selectiva, esto es tratar de aislar solo el elemento fallado

La protección de los sistemas de transmisión está formada por una protección primaria y una protección de respaldo En la protección primaria la operación es de alta velocidad (instantánea) y es la que trata de aislar la mínima sección de la red ante la falla la protección de respaldo es de acción retardada (con un tiempo suficiente para permitir que opere primero la primaria) es decir, opera solo si falla la protección primaria

La coordinación de los relevadores de distancia se lleva a cabo mediante la definición de$_i$ conjunto de relevadores primarios que debe

respaldar cada relevador y definiendo además el ajuste de todos los relevadores, de tal manera que, ante una falla, los relevadores que actúan sobre los interruptores que conectan o desconectan el elemento fallado sean los que deben liberarla y solo en el caso de que falle la protección primaria deberá operar la protección De respaldo La sección 2 de este trabajo describe la metodología para obtener el conjunto de relevadores primarios que de debe respaldar cada relevador.

La sección 3 describe la metodología y los algoritmos empleados para definir el alcance de cada zona de los relevadores de manera sistemática programa de fallas y el conjunto de relevadores primario - respaldo definidos anteriormente esta definición previa indica al programa de simulación de fallas los nodos donde se deben de simular éstas Además se presentan los resultados obtenidos de la aplicación de la metodología propuesta en la definición ajustes para obtener la coordinación del sistema de protecciones de distancia de una red de 39 nodos perteneciente al sistema troncal del Instituto Costarricense de Electricidad [ICE] En la sección 4 se presentan las conclusiones Finalmente la sección 5 presenta recomendaciones para trabajos futuros derivadas de este trabajo

6.2.1. AJUSTE DE RELEVADORES DE DISTANCIA

La metodología sugerida para llevar a cabo el ajuste y la coordinación de los relevadores de distancia emplea criterios de ajuste predefinidos [3] y de acuerdo a los pares de relevadores ordenados como se describió en la sección anterior

Se puede obtener una coordinación adecuada en las protecciones de distancia si el valor límite de la segunda y tercera zona para cada relevador se obtiene en base a un análisis exhaustivo de fallas y considerando el conjunto de los pares de relevadores primario - respaldo, además de respetar los criterios de ajuste que se describen a continuación para cada una de las zonas de protección de cada relevador

6.2.2 Ajuste de la zona I

la zona I de la protección de distancia es de acción instantánea, y tiene como finalidad brindar protección primaría contra fallas que se presenten en la línea donde se localiza el interruptor que es comandado por el relevador La figura 4 muestra la impedancia máxima medida o "alcance" del relevador RR para las diferentes zonas de operación El alcance de la zona I se define de tal manera que no opere para cortocircuitos que se presenten en el nodo B o al inicia de los elementos que inciden a este nodo

El valor límite para la zona 1, se define mediante la siguiente ecuación

$$ZI\ (RR) = K_1\ Z_{AB}$$

Donde

ZI (RR) = Impedancia de alcance de, relevado RR en la zona 1

Z_{AB} = Impedancia de secuencia positiva de la línea AB

K_1 = Factor de seguridad (típicamente es 0 85 - 0 9)

El coeficiente K, permite tomar en cuenta los posibles errores en la impedancia que mide el relevador, errores en el valor de la impedancia de línea o errores introducidos en los transformadores de corriente y de potencial, así como la presencia de una resistencia de falla [4]

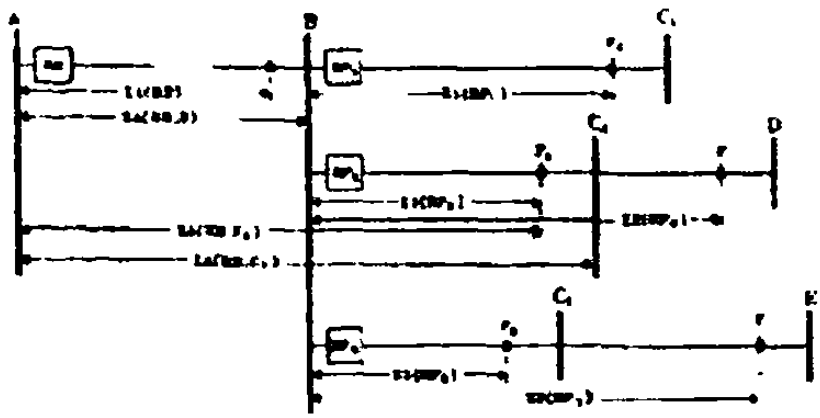


Figura 3 Impedancia de alcance en las diferentes zonas de operación del relevador RR

6.2.3. Ajuste de la zona II

El objetivo de esta zona es proteger de forma primaria el resto de la línea AB y la barra del nodo B en caso de que no tenga protección propia También proporciona protección de respaldo a las líneas adyacentes al nodo B Él tiempo de operación de esta zona está definida para que se coordine con la primera zona de los relevadores de las líneas que inciden al nodo B y con

otras protecciones instantáneas tales como las protecciones de la barra y la propia del transformador, si existen El tiempo que se recomienda para esta zona es de 0 3 a 0 4 segundos

Considere el ajuste de la zona II del relevador de respaldo RR que se debe coordinar con todos los relevadores primarios RP que se muestran en la figura 4 Para obtener una coordinación adecuada, se debe de asegurar que la segunda zona del relevador RR no se traslape con la segunda de los relevadores primarios RP entonces el ajuste de la segunda zona debe ser la menor impedancia de falla que ve el relevador RR, ante fallas simuladas en el punto de alcance de la zona I de los relevadores primarios (puntos F_j) Dado que normalmente de los estudios de fallas se pueden obtener las impedancias aparentes "vistas" por los relevadores, para fallas en los nodos, entonces la expresión 2 permite obtener una aproximación de la impedancia aparente vista por el relevador ante una falla en los puntos de interés Las operaciones que se realizan en esta ecuación con las impedancias de falla que "ve" el relevador RR ante fallas a un nodo y dos nodos de distancia, resuelven el problema de las contribuciones de corriente en el nodo intermedio de la zona a proteger para un punto de operación del sistema

$$ZA(RR,F_j) = ZA(RR\ B) + ZI(RP_j)[ZA(RR,C_j)\ ZA(RR\ B)] / Z_{BCJ}$$

Donde

RR = Relevador de respaldo (relevador que se va a ajustar)

RP_j = Relevador primario respaldado por RR

$ZA(RR,F_J)$ = impedancia aparente vista por RR para una falla en él limite de la zona I de RP_J

ZA (RR B) = impedancia aparente vista por RR ante una falla a un modo de distancia del

mismo relevador

Z1 (RP_J) =valor limite de alcance en zona I de RP_J

ZA (RR,C_J) = impedancia aparente vista por RR ante una falla en el primer nodo lejano

de RP_J

Z_{BCJ} = impedancia positiva del elemento protegido por RP_J

J = 1,2 ... n, n es el número de relevadores primarios del relevador RR

La expresión 3 es el valor limite de ajuste para la zona II

$Z2(RR) = K_2\ ZA(RR\ F_J)$

Donde

Z2(RR) = Valor límite de alcance en zona II del RR

K_2 = Factor de seguridad (típicamente 0 90)

La metodología que se sigue para calcular el valor límite de alcance para la zona II es la siguiente

a) Obtener la impedancia aparente de falla "vista' por el relevador de respaldo cuando se

simula una falla a un nodo de distancia en la dirección disparo

b) Simular una falla a un nodo de distancia del relevador primario en la direccion de

disparo, tomando en cuenta su ajuste de la zona I, para satisfacer la restricción de que la

segunda zona del relevador de respaldo no se traslape con la segunda zona de los
relevadores primarios

c) Una vez simulada la falla anterior para cada uno de los relevadores que se consideran
primarios de este relevador, se procede a hacer el ajuste igual a la menor impedancia
vista durante la simulación de las fallas $ZA(RR, F_J)$

6.2.4. Ajuste de la zona III

La función de esta zona es respaldar las zonas I y II de los relevadores asociados a las líneas que inciden a un nodo de distancia en la dirección de disparo del relevador, las protecciones de la barra y la de los transformadores de ese nodo El tiempo que se recomienda para esta zona es de 0 6 a 1 0 segundos

El ajuste de la tercera zona se realiza de manera similar al de la segunda zona La ecuación 4 permite calcular la impedancia aparente vista por el relevador ante una falla en el punto de alcance de los relevadores primarios en zona II

$$ZA(RR\ F_J) = ZA(RR,B) + (Z2(RP_J)[ZA(RR\ C_J) - ZA(RR\ B)]) / Z_{BCJ}$$

Donde

$ZA(RR\ F_J)$ = impedancia aparente vista por RR para una falla en el valor límite de

la zona II del RP_J

$Z2(RR_J)$ = Valor límite de alcance en zona 11 de RP_J

La ecuación 5 representa el valor límite ajuste para la zona III

$Z3(RR) = K, ZA(RR\ FI)$

Donde

Z3(RR) = Valor límite de alcance en zona III de RP
K3 = Factor de seguridad (típicamente 0 90)

La metodología que se sigue para calcular el valor límite de alcance para la zona III es la siguiente

a) Obtener la impedancia aparente de falla "vista' por el relevador de respaldo cuando se
simula una falla a un nodo de distancia.

b) Simular una falla a un nodo de distancia del relevador primario tomando en cuenta su
ajuste de la zona II para satisfacer la restricción de que la tercera zona del relevador de
respaldo no se traslape con la tercera zona de los relevadores primarias

c) Una vez simulada la falla anterior para cada uno de los relevadores que se consideran

primarios de este relevador, se procede seleccionar la menor impedancia vista durar las

simulaciones de fallas ZA(RR F_J)

Al seleccionar la menor impedancia ZA(RR,F_J) se está garantizando que no exista traslape entre tercera zona del relevador de respaldo con sus primarios Sin embargo para evitar . disparos indeseables provocados por la impedancia de, carga, este ajuste debe estar limitado a la impedancia de carga máxima

De esta manera se ajustan las zonas de todos los relevadores para asegurar una coordinación adecuada El tiempo de retardo sugerido para la zona II es de 0 3 segundos y para la zona III es de 0 6 segundos En realidad estas propuestas de retardos en tiempo deben verificarse mediante simulaciones dinámicas y revisando su factibilidad de acuerdo a la tecnología de equipos, relevadores e interruptores en cada caso

Otro aspecto importante es el de identificar la necesidad de incluir un esquema de bloqueo (relevador 68) para prevenir el engaño del sistema de protecciones ante oscilaciones de potencia que son comunes ante pequeñas perturbaciones en sistemas longitudinales

6.3. Ajustes obtenidos para el sistema de ejemplo

El diagrama unifilar del sistema analizado se muestra en la figura 5 y las impedancias de ajuste que se obtienen al aplicar los criterios de ajuste descritos en esta sección se presentan en el apéndice A

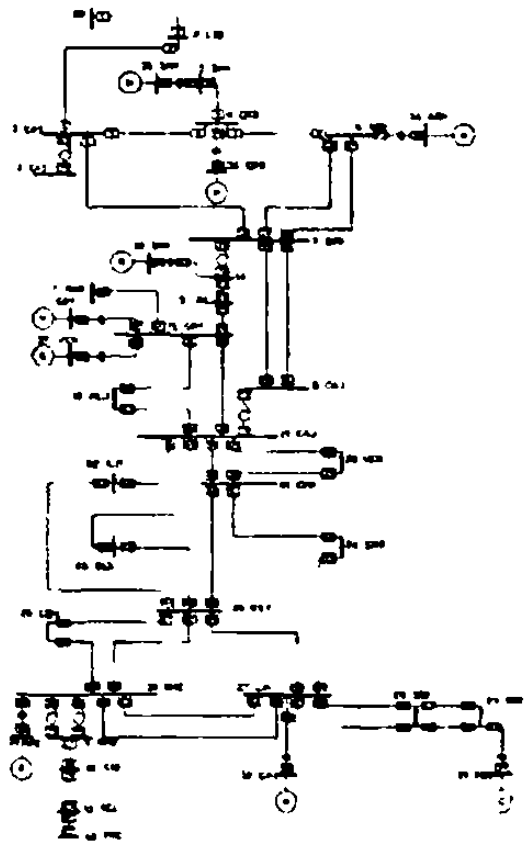


Figura 4 - Diagrama unifilar del sistema eléctrico de ICE, con el sistema de protecciones

6.4 COORDINACION DE PROTECCIONES DE SOBRE CORRIENTE USANDO HOJA ELECTRONICA

Se ha desarrollado una hoja electrónica en QUATTRO, que facilita la labor del ingeniero en protecciones al realizar estudios de coordinación de operación de los relevadores de sobrecorriente de una manera sencilla, precisa y versátil Esta hoja electrónica calcula las gráficas de operación de los relevadores de sobrecorriente y curva de daño de transformador

Es bien sabido en el campo de protecciones la importancia de las curvas de coordinación de relevadores de sobrecorriente y curva de daño del transformador para lograr el correcto libramiento de fallas al menor tiempo posible con el menor daño de los equipos que soporten las corrientes de falla Para satisfacer lo anterior, es fundamental el uso de herramientas computacionales que faciliten y hagan más precisos los cálculos, además del considerable ahorro de horas-hombre de trabajo Se trabaja con hojas de cálculo debido a la facilidad que existe al programar, actualizar la información y sobre todo porque resulta muy 'amigable" para el usuario La hoja de cálculo *CURVAS51* contiene parámetros que identifican a una gran variedad de relevadores de sobrecorriente los cuales describen satisfactoriamente la curva de operación de los relevadores incluidos en esta hoja y permite al usuario elegir el tipo de relevador palanca y tap simplemente tecleando la abreviación del relevador y los valores en las celdas correspondientes de la hoja de cálculo *CURVAS51* permite al usuario visualizar la operación de hasta 6 relevadores a la vez los necesarios para poder establecer y analizar la coordinación de operación de los relevadores de protección

6.4.1. COMPORTAMIENTO DE RELEVADORES DE SOBRECORRIENTE

Uno de los primeros problemas al establecer el comportamiento de los relevadores de sobrecorriente es su representación matemática de manera que sea factible para el cálculo computacional En [1] se han encontrado unas ecuaciones empíricas, las cuales describen satisfactoriamente la curva característica de operación para la gran mayoría de los relevadores

Esta ecuación contiene 14 coeficientes y una constante que son únicas para cada tipo de relevador El enfoque de esta ecuación se basa en la combinación de las funciones de curva para palanca máxima y palanca mínima y una función de un equivalente de una palanca intermedia resultando la siguiente ecuación de promedio con factor de peso en términos de dos variables

Tap (P) y

palanca (L')

(Ver desarrollo en el apéndice 2)

$$T(P, L') = T_{máx}(P)\,[1-F(L')] + T_{min}(P)\,[F(L')] \qquad (1)$$

donde: $T_{máx}(P)$ es la ecuación para palanca máxima y viene dada por

$$T_{máx}(P) = c/(P-h+w\,P^{-2P})^{m} + k - b\,(P/50)^{u} \qquad (2)$$

$T_{min}(P)$ es la ecuación para palanca mínima y viene dada por

$$T_{min}(P) = d/(P-x+y\,P^{-2P})^{n} + f - g\,(P/50)^{v} \qquad (3)$$

$F(L')$ Función que da el peso a cada palanca

$$F(L') = (L_{máx} - L')/(L_{máx} - L_{min}) \qquad (4)$$

donde $L_{máx}$ es la palanca máxima
L_{min} es la palanca mínima
L' es la palanca equivalente de un nivel intermedio

$$L' = L - q\,(L_{máx} - L)\,(L - L_{min}) \qquad (5)$$

L es una palanca intermedia
q es una constante

En [1] se describe un algoritmo para encontrar los parámetros de las ecuaciones (2), (3) y (5), el cual consiste en ajustar los parámetros lo más cercano posible a una línea recta cuando se gráfica $T - k + b - (P / 50)^{U}$ vs $(P-h+W-p-^{2P})$ en coordenadas logarítmicas Para la ecuación (3) se sigue el mismo procedimiento ya que x, y, d, f, g, v y n corresponden a h, w, c, k, b, u y m respectivamente Sin embargo, este método puede resultar tedioso, en este desarrollo se eligió un programa computacional de ajuste por mínimos cuadrados para determinar los parámetros anteriores Ver apéndice 3.

Respecto a la curva de daño del transformador se calcula de acuerdo a la norma ANSI C37 91 La cual combina la clasificación en categorías de los transformadores sumergidos en líquidos aislantes norma ANSI C57 12 00 con la propuesta por McNutt

6.4.2. COORDINACIÓN FASES Y TIERRA

La figura 5 muestra el reporte proporcionado por la hoja de cálculo *CURVAS51*

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD

Subgerencia Regional de Transmision Norte

DEPARTAMENTO DE PROTECCION Y MEDICION

24-Sep
Hoja 1
de 1

COORDINACION DE PROTECCION SOBRECORRIENTE (50/51)

ZONA CAMARGO

S.E. KILOMETRO 88

CIRCUITO	KOO-F A1	KOO-NT 1	KOO-F B1	KOO-N B1	KOO-F AL	KOO-N AL
KV NOM	115	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8
RELEVAD	SFC-151	SFC-151	SFC-151	SFC-151	MC-33	MC-61
R.T.C.	40	120	240	240	120	120
TAP	6	2.5	5	1	4	0.8
PALANCA	4	8.5	3	4	1.75	2.5
INSTANT	25	BLOQ	BLOQ.	BLOQ	17	20

DATOS DEL TRANSFORMADOR

VOLT ALT	VOLT BAJ	CAPACIDAD	%Z(TRANS)	%Z(SIST)
(KV)	(KV)	(MVA)	%	(p u)
110	13.8	12	8.99	0.141488

ICC(+)	ICC(-)
(Amp)	(Amp)
5059.3	5365.3

COORDINACION FASES Y TIERRA

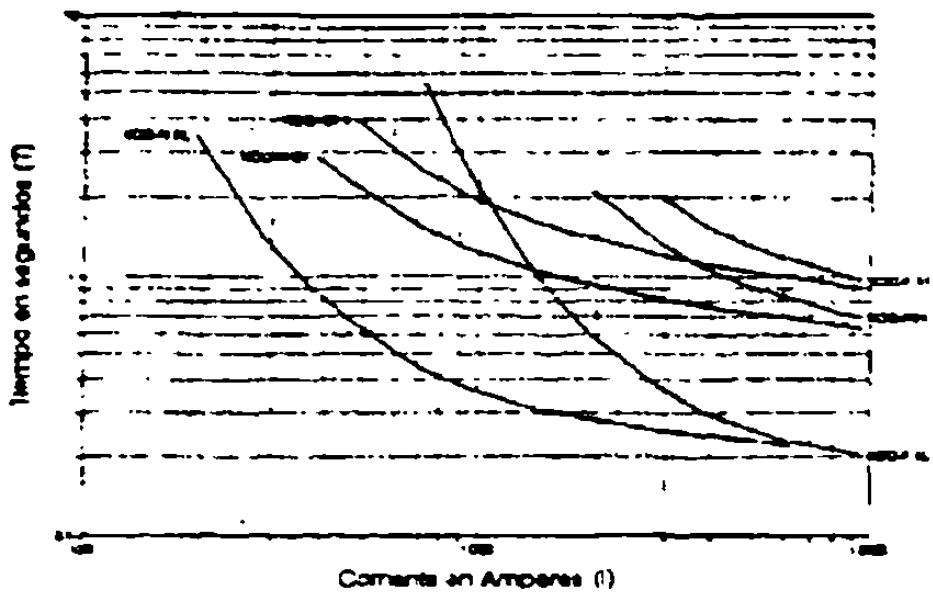
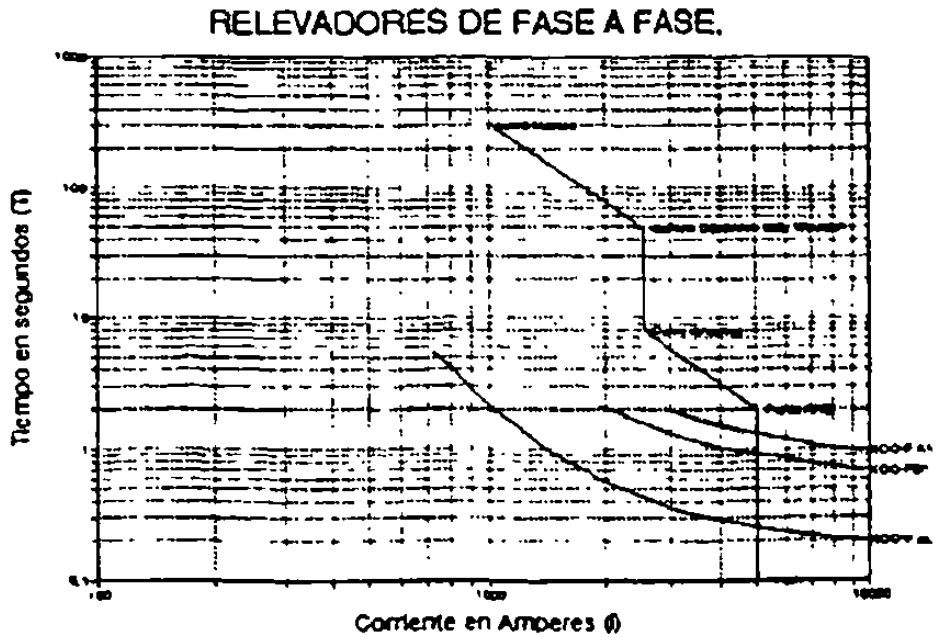


FIGURA No 6

Fig 1 Reporte proporcionado por la hoja de cálculo *CURVAS51*

La figura 2 muestra las características de los relevadores de fase a tierra con la curva de daño del transformador. La figura 3 muestra las características de los relevadores de fase a fase con la curva de daño del transformador.

Fig 9 Características de los relevadores de fase a tierra con la curva de daño



del transformador

Fig 7 Características de los relevadores de fase a fase con la curva de daño del transformador

6.5 DETERMINACION DE PARES DE RELEVADORES PRIMARIO-RESPALDO

La coordinación de los relevadores de distancia requiere el conocimiento previo de los pares de relevadores primario - respaldo, para permitir determinar ajustes adecuados [1,2,3] En [3] se presenta la metodología para determinar el conjunto de pares de relevadores secuenciales empleando algoritmos de grafos La idea desarrollada fue tomada procedimientos semejantes usados en la determinación de pares de relevadores primario - respaldo secuenciales en sistemas de protección a base de relevadores de sobrecorriente en sistemas eléctricos anillados En este caso es importante que los relevadores de respaldo sean ajustados en un orden específico a fin de minimizar las iteraciones en el proceso de ajuste [3] En resumen, el procedimiento de determinación de pares de relevadores primario- respaldo secuenciales propuesto por este método es el siguiente

1 Se representa la topología del sistema

2 Se determina todos los lazos existentes en el sistema protegido.

3 Se obtiene el conjunto de los puntos de ruptura, que es el conjunto mínimo de relevadores cuya apertura elimina todos los lazos del sistema

4 Se determina la matriz de incidencia relevador - nodo para el sistema protegido

5 Se determina el vector de secuencia relativa de los relevadores, que es un vector que indica el orden en que deben ser ajustados los relevadores del sistema

6 Se determina el conjunto de pares operación de relevadores primario-respaldo secuenciales

Llevando a cabo el ajuste de los relevadores de distancia siguiendo el orden del vector de secuencia relativa y considerando el conjunto de los pares de relevadores secuenciales (obtenidos en base a un análisis topológico) permite también obtener una coordinación adecuada Sin embargo este análisis topológico no es indispensable para hacer la coordinación de los relevadores de distancia si se obtiene el conjunto de pares de relevadores mediante un procedimiento heurística que consiste en ir tomando cualquier relevador del sistema, considerándolo de respaldo e identificar sus relevadores primarios correspondientes

Este procedimiento es basado en la estructura de la red protegida, esto es posible debido a que en este tipo protecciones, se pueden determinar los ajustes por zonas de protección, es decir, se puede ajustar el alcance de la zona 1 de todos los relevadores, posteriormente el ajuste de la zona II y finalmente el ajuste de la zona III

El algoritmo que permite determinar el conjunto de pares de relevadores primario-respaldo en forma heurística se describe a continuación:

1 Se representa la topología del sistema

2 Se determina la matriz de incidencia relevador- nodo para el sistema protegido.

3 Se determina el conjunto de pares de relevadores primario-respaldo ordenado en forma

heurística

6.5.1 MÉTODO HEURISTICO PARA DETERMINAR LOS PARES DE RELEVADORES

El conjunto de pares de relevadores - primario respaldo se puede obtener en forma heurística, si conoce el conjunto de los relevadores que protegen el sistema y la matriz de incidencia relevador-nodo Esta matriz se puede obtener de manera sistemática eficiente representando la topología del sistema en forma de listas encadenadas [5]

La metodología consiste en tomar cualquier relevador del sistema considerarlo como de respaldo (RR) e identificar los relevadores que inciden en el nodo remoto de RR, estos son los relevadores primarios RP, excepto el que se localiza en la misma línea de RR (ver figura 5).

Al identificar los pares de relevadores primario- respaldo por el método propuesto se obtienen los ahorros computacionales siguientes, sin degradarse la efectividad de la metodología completa

1 No se requiere la determinación de los lazos simples del sistema

2 No se requiere la determinación del conjunto de relevadores que corresponden a los puntos de ruptura

3 No se requiere la determinación del vector de secuencia relativa

Al no realizar estos cálculos se tiene una disminución en el tiempo de ejecución para determinar el conjunto de pares de relevadores, pero lo más significativo de éste ahorro es una reducción importante del espacio de memoria utilizada por los procedimientos mencionados

El diagrama de bloques de la figura 1 muestra la metodología para obtener los ajustes de las protecciones de distancia de un sistema eléctrico de potencia

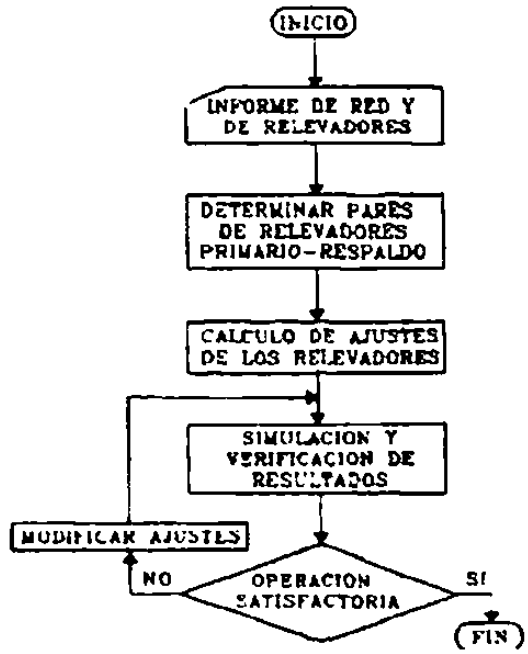


Figura 8. Metodología seguida para determinar los ajustes de los relevadores de distancia

7 AJUSTE DE RELEVADORES DE SOBRECORRIENTE

7.1 Clasificación de los relevadores.

Los relevadores se pueden clasificar de acuerdo a diferentes formas

a) - De acuerdo a la naturaleza de la cantidad actuante a la cual el relevador responde De corriente, voltaje, reactancia impedancia, frecuencia y la dirección de estos responde a una señal específica.

b) - De acuerdo al método por el cual el relevador actúa sobre el interruptor pueden ser de acción directa cuyos elementos actúan directamente en forma mecánica para operar el interruptor y de acción indirecta cuyo elemento de control actúa sobre una fuente auxiliar para operar el interruptor

c) - De acuerdo a la función del esquema de protección de los relevadores se pueden clasificar como principales y auxiliares.

d) - De acuerdo a la conexión de sus elementos de detección los relevadores primarios son aquellos cuyos elementos de detección se conectan directamente en el circuito o elemento que proteja , y relevadores secundarios aquellos que se conectan a través de transformadores de potencial o corriente

Los relevadores eléctricos se pueden clasificar en dos categorias relevadores electromagnéticos y relevadores estáticos Los relevadores electromagnéticos pueden ser a su vez de dos tipos

a) Tipo de armadura atraída - Estos relevadores incluyen una armadura fija, un brazo móvil y elemento de sujeción, estos comprenden el

tipo más simple que responden a señales de corriente altema (C. A.) como de corriente directa (C. D.).

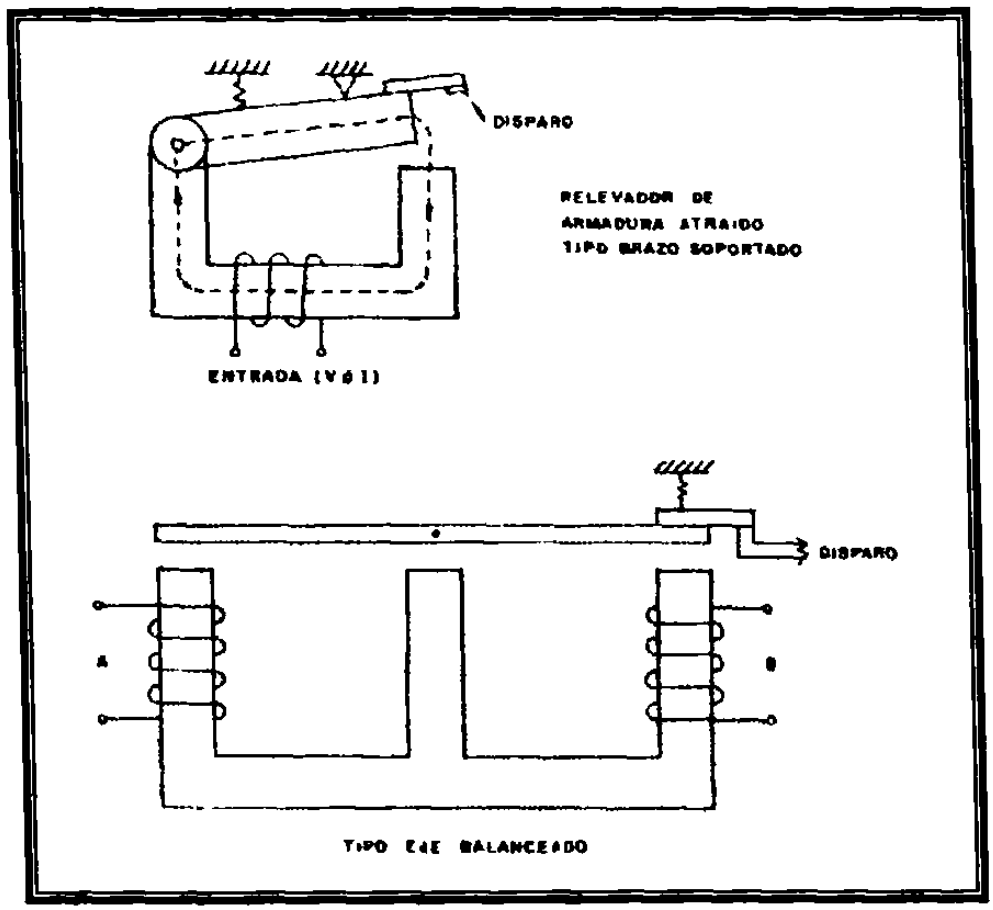


FIGURA 1

b) Relevadores de inducción.- En estos relevadores el par se produce cuando un flujo alterno reacciona con otra corriente inducida en el rotor por otro flujo en el tiempo y el espacio pero de igual diferencia. Este tipo de relevadores es muy usado en los elementos en C. A. por el circuito control. Los tipos más comunes de estos relevadores se conocen como de polos sombreados o de tipo wattómetro .

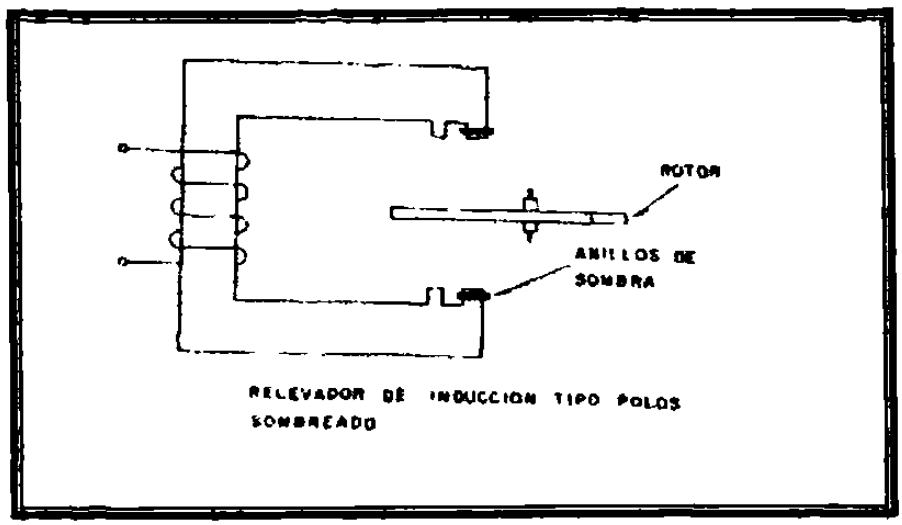


FIGURA 2

7.2 El principio de la protección por relevadores

Un sistema de protección por relevadores puede clasificarse en varios subsistemas, uno de estos es el llamado primario que representa lo que se puede denominar como la primera línea de defensa contra las fallas en el sistema de potencia. Este sistema primario de protección se puede representar como un conjunto de zonas traslapadas de protección que encierran completamente el sistema de potencia, por lo general estas zonas de traslape encierran o incluyen a los interruptores dado que estos son los que separan al sistema de protección en segmentos.

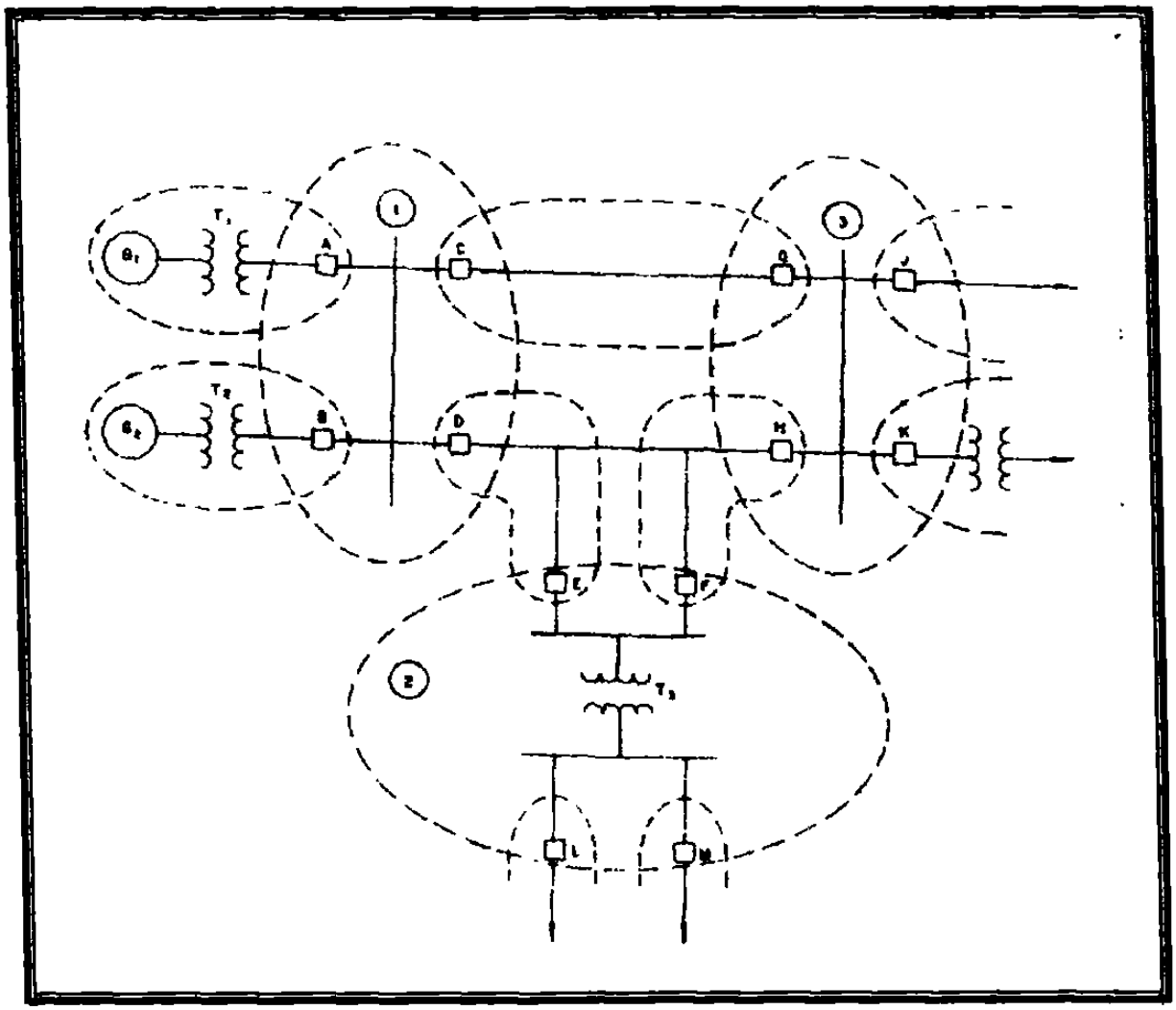


FIGURA 3

Por otra parte se ha mencionado antes que los sistemas de protección deben ser confiables, lo que significa que cada uno de los elementos que intervienen en el sistema lo sea, esto significa que aun cuando un relevador para un propósito específico sea suficiente confiable, no se debe descartar la posibilidad de que por alguna razón falle y en estos casos la solución es usar los denominados relevadores de respaldo que operan en caso de que fallen los relevadores primarios.

Existen varios conceptos con relación a la denominación de relevadores de respaldo, el primero de estos es el llamado respaldo local que es un esquema en el cual la zona protegida adyacente a la zona primaria en falla opera después de un cierto tiempo de retardo en caso de que la zona en falla no haya sido liberada por su protección primaria.

A diferencia de la protección de respaldo local que consiste principalmente de TIMERS y circuitos lógicos, los esquemas de protección remota consisten de zonas de separadas localizadas buses más allá del área que protegen.

7.3 Características principales de los relevadores de protección.

⇒ Sensitividad Esta es una de las características más importantes que debe tener un relevador y se refiere a una cierta cantidad de carga que se debe suministrar del transformador del instrumento que lo alimenta para que el relevador opere, los relevadores más sensitivos requieren de menor carga por alimentar y por lo tanto transformadores de instrumentos más pequeños y consecuentemente más baratos

⇒ Selectividad. Esta es otra importante característica de los relevadores y consiste en la capacidad en la capacidad de detectar con gran precisión el nivel de corrientes para el cual debe ocurrir la señal de disparo o bien la distancia para una falla remota o lejana al relevador a la cual una línea se debe sacar de servicio conceptos como estos dan un índice de las selectividad de un relevador

⇒ Confiabilidad Esta es una característica del relevador que se debe considerar siempre y se refiere a su característica de protección específica

Se puede decir que en un sistema eléctrico bien diseñado no debería haber intervención de los relevadores de protección por mucho tiempo, años quizás por lo que deben operar con bastante precisión y seguridad cuando sea requerida su intervención

7.4 Política de los relevadores.

El que diseña un esquema de protección para un sistema eléctrico tiene que pensar que cada sistema puede ser diferente de otro y por lo tanto la política operacional puede ser también diferente por lo que pueden aplicarse diferentes criterios o políticas de protección desde el punto de vista de la operación de los relevadores

Criterio conservador - Este criterio se puede resumir diciendo que cuando existe una falla siempre debe haber un disparo en la protección, sin embargo si se lleva hasta sus extremos se corre el riesgo de provocar algunas interrupciones en falso y también interrupciones innecesarias en el servicio, el efecto de este criterio es que el equipo se debe proteger a como de lugar aun sacrificando la continuidad del servicio, es decir habrá mayores interrupciones de servicio

Criterio liberal o interrupciones necesarias - Este criterio cuestiona en principio la necesidad de una interrupción, es decir se trata de conservar el equipo de una instalación en servicio aun en condiciones de corto circuito que puedan ser consideradas como graves en algunos casos o bien sean transitorios intentándose los recierres en los interruptores

Los dos criterios anteriores son en cierto modo son opuestos y sean presentado para analizar dos puntos de vista diferentes pero evidentemente

existen algunas soluciones intermedias que el diseñador podrá adoptar de acuerdo al sistema eléctrico que se trate y su importancia

7.5 Protección por relevadores contra sobrecorriente.

Los relevadores de sobrecorriente tienen su mayor aplicación en sistemas de distribución radiales o en mallas ya que en estos sistemas no se requiere de algunas características direccionales mientras que los elementos direccionales son normalmente requeridos en alimentadores en malla Existen diferentes tipos de relevadores de sobrecorriente en el mercado de tal forma que se puede seleccionar el más adecuado para cada aplicación específica Desde el punto de vista de su operación el tiempo de operación de todos los relevadores es posible obtener diferentes características que son

- Tiempo definido
- Mínimo tiempo definido inverso
- Muy inverso
- Extremadamente inverso

7.6 Coordinación por Ajuste de Corriente

El concepto más simple en la coordinación de relevadores es el gradiente de corriente de tal forma que los relevadores tienen diferente tiempo de disparo

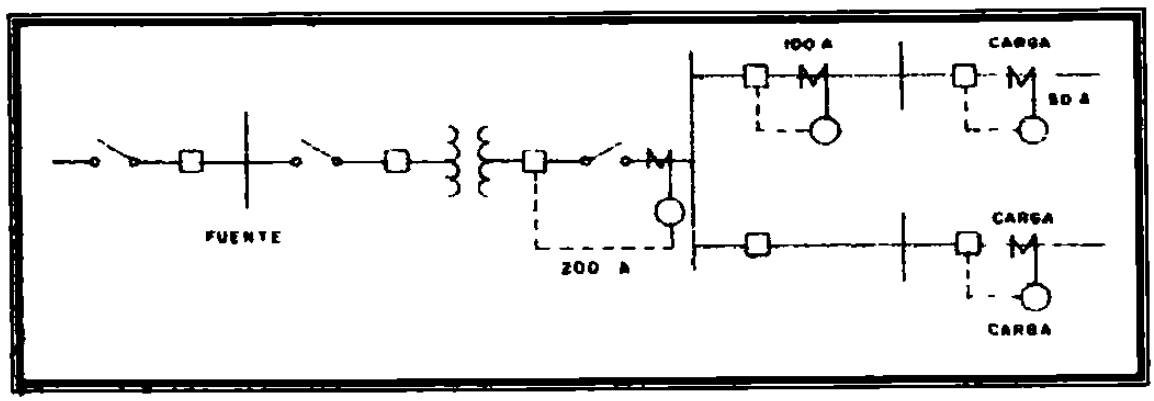


FIGURA 4

En el sistema anterior los relevadores ajustados trabajan mejor cuando la impedancia de la fuente es mucho menor que la línea, ya que entonces la corriente de falla para una terminación remota es considerablemente menor que para una falla en el extremo de la fuente.

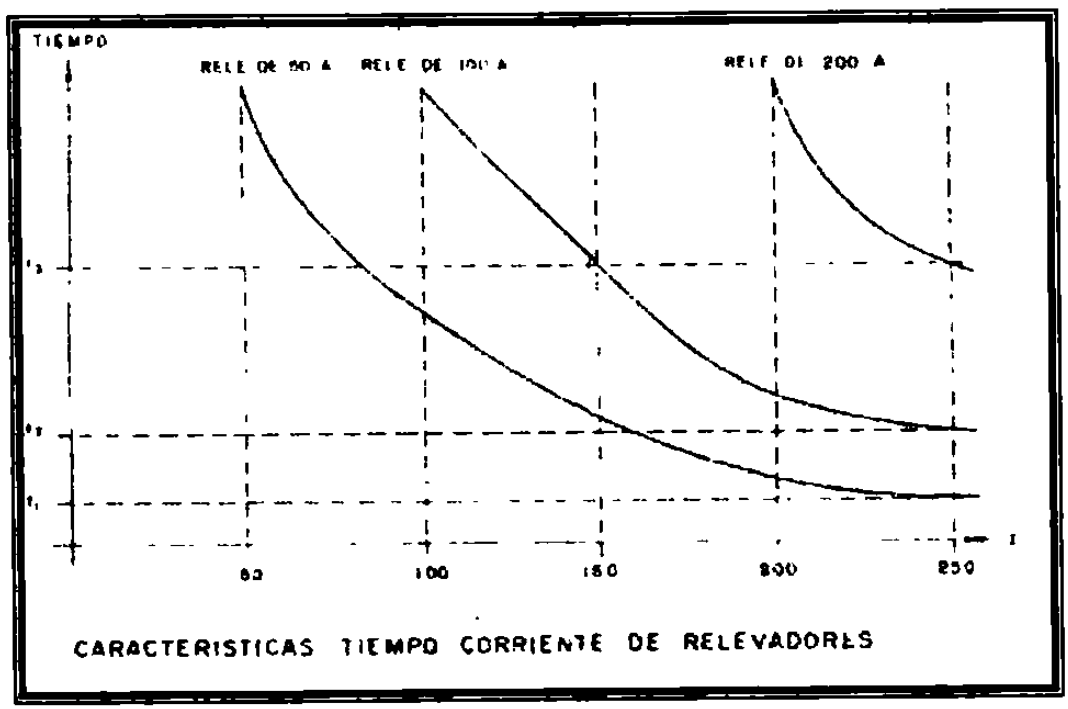


FIGURA 5

Las curvas características mostradas en la figura anterior corresponderían a relevadores que son del tipo que operan más rápido para valores grandes de corriente de falla que para valores pequeños de corrientes

de falla conocidas como la relación inversa tiempo-corriente y es una característica típica de los relevadores de inducción.

7.7 Coordinación por Ajuste de Tiempo

Los relevadores empleados en este esquema se denominan definidos en lugar de los conocidos como inversos de sobrecorriente; esto significa que los relevadores definidos tienen un valor específico de disparo de corriente una vez que se ha alcanzado ese valor de corriente para disparar. El valor real del tiempo de operación es independiente de la corriente.

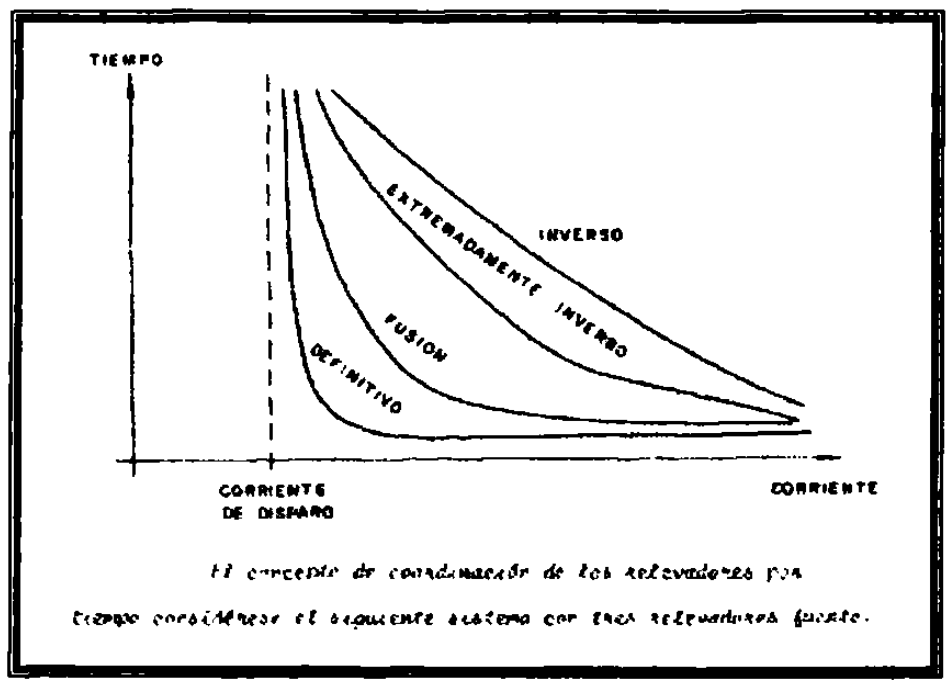


FIGURA 6

El concepto de coordinación de los relevadores por tiempo considérese el siguiente sistema con tres relevadores fuente.

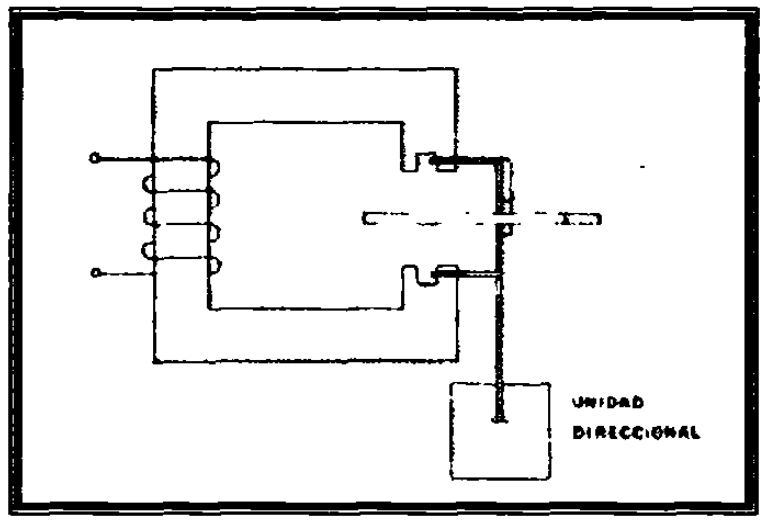
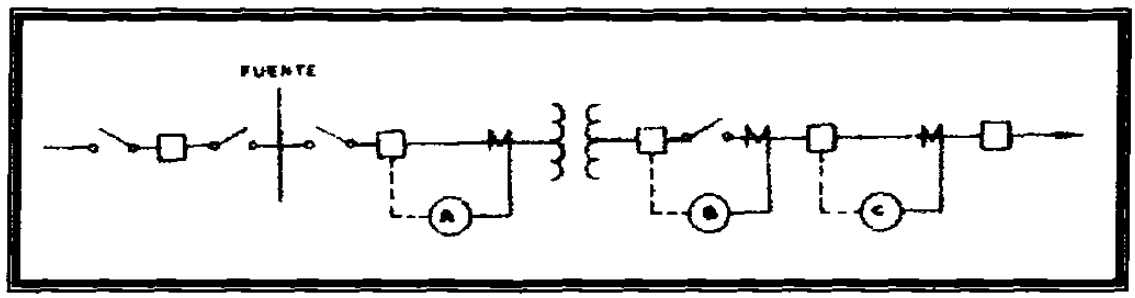


FIGURA 7

7.8 Relevadores de Sobrecorrientes de Tipo Instantáneo

Si el relevador opera instantáneamente sin ningún retardo intencional en el tiempo se denominan instantáneos y esta característica se puede lograr por medio de relevadores del tipo de armadura de atracción no polarizada, tiene la ventaja de reducir el tiempo de operación a un mínimo para fallas muy cercanas a la fuente cuando la corriente de fallas es muy grande y es efectivo solo cuando la impedancia entre el relevador y la fuente es pequeña con la impedancia de la zona por proteger.

7.9 Relevadores Direccionales **FIGURA 8**



La protección selectiva no se puede obtener en sistemas en anillo o malla con relevadores de ajuste por la sobrecorriente en la misma forma que en sistemas radiales con dos extremos de suministro de potencia. En tales casos el relevador debe estar provisto de un elemento direccional para retroalimentar a la falla de otra fuente; por ejemplo el relevador de sobrecorriente con magneto de fase partida puede tener una unidad direccional adicional consistente de una capacitancia o una resistencia en el circuito de trabajo.

Los relevadores direccionales deben tener las siguientes características :

- Alta velocidad de operación.
- Alta sensitividad.
- Capacidad de operar con valores de voltaje bajos.
- Indice o capacidad térmica de tiempo corto.
- La carga no debe ser excesiva.
- No debe existir caidas de voltajes o fugas de corriente.

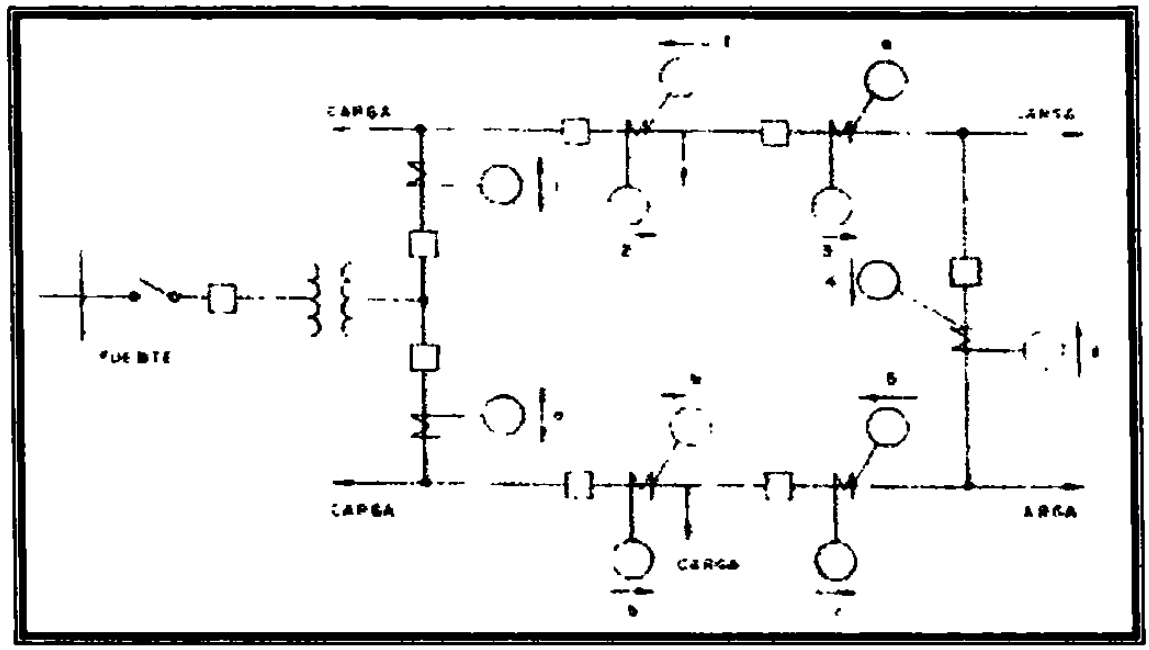
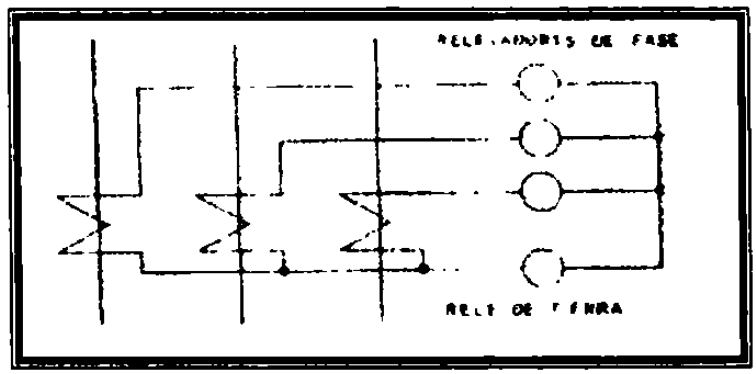


FIGURA 9

7.10 Relevadores de Sobrecorriente a Tierra

Cuando un relevador de sobrecorriente se conecta en el punto neutro de sus transformadores de corriente solo es sensitivo a las fallas a tierra. Dado que tales relevadores a tierra no son sensitivos a las corrientes balanceadas de línea, no detectan corrientes de carga y por lo tanto se pueden ajustar para operar a valores mucho más bajos de corriente que los relevadores de fase, esto conduce en gran medida más rápida que la longitud con los relevadores de fase.

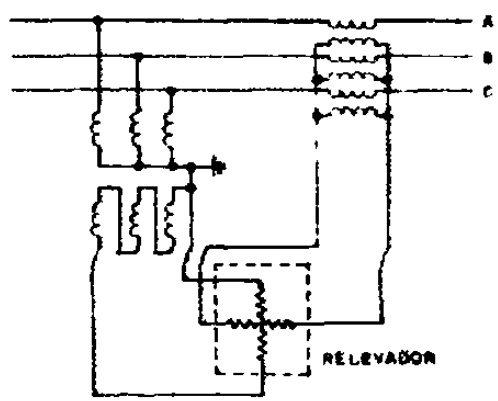
FIGURA 10



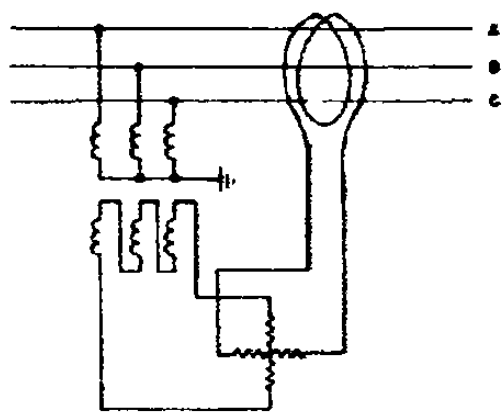
7.11 Relevadores de Distancia

Es la aplicación de relevadores a los sistemas de transmisión es necesaria la característica del relevador en los mismos términos que lo establecen las condiciones del sistema, esta es particularmente cierto en los relevadores del tipo distancia.

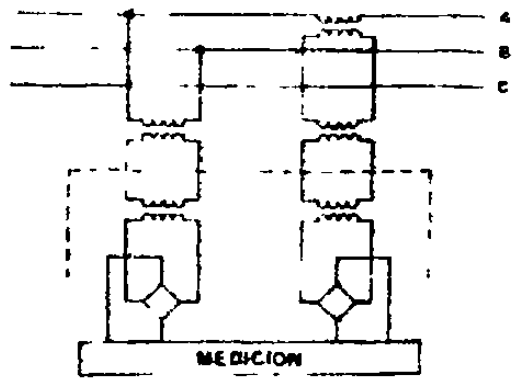
FIGURA 11



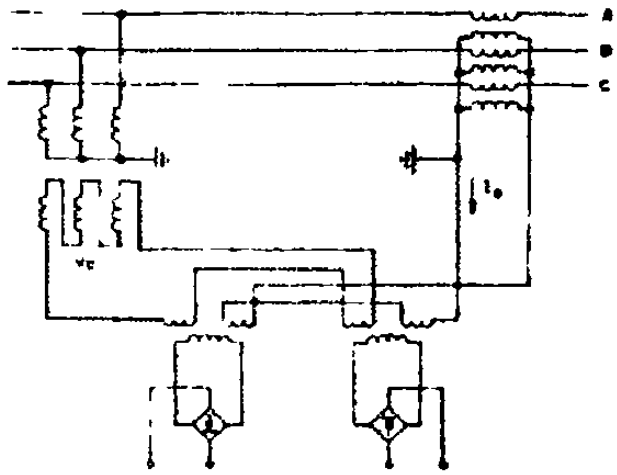
ESQUEMA DE INSERCION DE UN RELEVADOR DIRECCIONAL PARA FALLA A TIERRA CON TC NORMAL



ESQUEMA DE INSERCION DE UN RELEVADOR DIRECCIONAL PARA FALLA



ELEMENTOS BASE DE UN RELEVADOR ESTATICO DIRECCIONAL



ESQUEMA DE INSERCION DE UN RELEVADOR DIRECCIONAL ESTATICO.

FIGURA 12

Los relevadores de distancia pueden ser de los siguientes tipos :

- De impedancia.
- De reactancia.
- Admitancia (Mho).
- Ohm.
- Mho fuera de ajuste.

7.12 Relevador Diferencial

El principio de operación del relevador diferencial depende de una simple corriente circulante donde la diferencia de corrientes de los transformadores de corriente que lo alimentan en condiciones normales o en condiciones de falla fuera de la zona de protección.

FIGURA 13

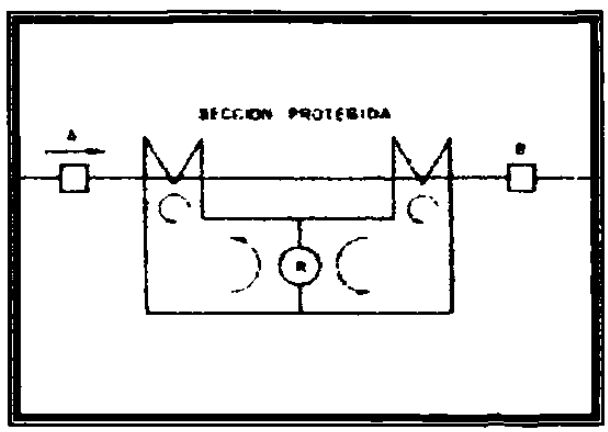
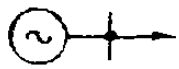
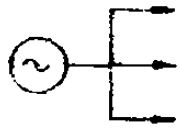
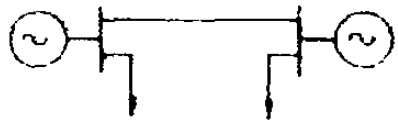


FIGURA 14

PRINCIPALES TIPOS DE PROTECCIONES CONTRA FALLA A TIERRA CON RELACION A LA POSICION DEL NEUTRO Y A LA CONFORMACION DE LA RED

CONFIGURACION DE LA RED	PROTECCION INDICADA	
	NEUTRO AISLADO	NEUTRO A TIERRA
 RADIAL PURA	PROTECCION CONTRA DESEQUILIBRIO DE TENSION	PROTECCION CONTRA DESEQUILIBRIO DE CORRIENTE
 HAZ DE RADIALES (EN PEINE)	DIRECCIONAL DE TIERRA CON SENSIBILIDAD VARMETRICA	PROTECCION CONTRA DESEQUILIBRIO DE CORRIENTE
RADIAL CON VARIAS SUBESTACIONES EN SERIE	PROTECCION CONTRA DESEQUILIBRIO DE TENSION (SELECCIONANDO TIEMPOS DISTINTOS)	PROTECCION CONTRA DESEQUILIBRIO DE CORRIENTE (SELECCIONANDO TIEMPOS DIFERENTES)
 RED MALLADA O INTERCONECTADA	DIRECCIONAL CON SENSIBILIDAD VARMETRICA	DIRECCIONAL CON SENSIBILIDAD WATTMETRICA

8 Problemática en La Protección

PROBLEMA

IMPULSOS PICOS DE SOBRETENSIONES

Daños en equipos eléctricos y electrónicos, deterioro de aislamiento y salidas de servicio causadas por descargas atmosféricas "switcheo" de interruptores y capacitores rechazo de carga, etc

SOLUCION

Realización de mediciones en instalaciones a la intemperie y en acometidas a instalaciones industriales comerciales y residenciales, así como en terminales de equipo vulnerable.

Realización de análisis y dimensionamiento de dispositivos supresores de sobretensiones y picos de acuerdo a sus magnitudes

BENEFICIO

Reducción de los daños de equipo en operación y salidas de servicio eléctrico mejorando con ello la calidad de la energía suministrada y recibida

PROBLEMA:

DISTORSION ARMONICA

Deformación de las formas de onda senoidal de voltaje y corriente por la operación de equipo con electrónica de potencia y otras cargas no lineales, que repercuten en la operación errónea de algunos equipos sensibles con las formas de onda, daño en capacitores, pérdidas adicionales calentamiento en aislamiento

SOLUCION

Monitoreo en campo de la distorsión armónica e identificación de las fuentes generadoras Análisis y diseño de filtros para eliminar su efecto Aplicación de las normatividades para la especificación de criterios que permitan controlar la aplicación de cargas no lineales y equipo generador de armónicas

BENEFICIO

Reducción de pérdidas por efecto Joule, se mejora la operación de equipo sensible que opera con ondas senoidales puras se reducen los costos por daños y reemplazo en capacitores etc

PROBLEMA:

RUIDO ELECTRICO

Perturbaciones en el voltaje que se presentan entre conductores de las fases a tierra producidas por la conexión y desconexión de condensadores, hornos de arco y equipo de rectificación, alumbrado de arco, equipo de soldadura

SOLUCION

Realizamos mediciones y análisis en sitio de las fuentes generadoras, con base en su magnitud

Especificación de medidas correctivas con base en blindaje electromagnético y transformadores de aislamiento

BENEFICIO

Se logra tener un voltaje libre de señales parásitas de alta frecuencia que alteran la visibilidad en los sistemas de iluminación

PROBLEMA

SOBREVOLTAJE O BAJO VOLTAJE

SOBREVOLTAJE· Deterioro acumulado y calentamiento en los aisladores de equipo eléctrico (ejemplo transformadores motores, reactores) y cables

BAJO VOLTAJE· Demanda fuerte de reactivos ocasionando pérdidas en equipo eléctrico y sistemas de cables

SOLUCION

Utilizando equipo de medición específico (ejemplo PQNODE) se realizan en campo una serie de mediciones en tiempo programado (desde un minuto hasta varias semanas) que permiten mediante sus análisis determinar las magnitudes correspondientes del alto y bajo voltaje

BENEFICIO

Se puede con esto establecer medidas correctivas para reducir su efecto en la operación de los equipos Se incrementa la vida útil del sistema de cableado

PROBLEMA

DEPRESION DE VOLTAJE

Depresión momentánea en el voltaje nominal sin que llegue a ser una interrupción, sin embargo es suficiente para alterar la operación de los sistemas electrónicos principalmente

SOLUCION

Monitoreo en línea para localizar la causa de la depresión de voltaje, utilizándose equipo especializado Al conocer la magnitud como la duración del disturbio se da las soluciones adecuadas

BENEFICIO

Se disminuye la productividad por paros innecesarios en los procesos que implican manufactura continua y se disminuye el costo de manejo o pérdida de material no procesado

PROBLEMA

TRANSITORIOS

Los transitorios generados por descargas atmosféricas y operaciones de maniobra (interruptores, capacitores etc) provocan sobre esfuerzos eléctricos que pueden ocasionar daños irreversibles en los aislamientos de equipo eléctrico y electrónico cuando se ven afectados por este fenómeno

SOLUCION

Se realizan mediciones en acometidas y en terminales de los equipos más vulnerables a los transitorios (ejemplo subestaciones, sistemas UPS, transformadores, bancos de reactores equipo electrónico) Dichas mediciones permiten dimensionar los aparta rayos y los supresores de picos requeridos para drenar a tierra las sobretensiones producidas por este fenómeno

BENEFICIO

Se reducen en gran medida los daños a los equipos mencionados se mejora la continuidad del servicio y se evita la interrupción de los procesos

PROBLEMA

INTERRUPCION

Es la pérdida de energía electrica momentánea o permanente, producida por una serie de fenómenos tales como descargas atmosféricas, contacto de ramas de árbol con cables cortocircuitos caída de postes, rotura de cables y otras fallas

SOLUCION

Se dimensionan sistemas de respaldo mediante generación propia y de sistemas de energía ininterrumpible, utilizando además dispositivos de transferencia automática

BENEFICIOS

Continuidad de los procesos y reducción de costos por pérdidas de horas hombre y daños en equipos

Los convertidores de frecuencia a voltaje encuentran su campo de aplicación en circuitos opto - acoplados sistemas de telemetría circuitos como tacómetros para el control de velocidad de motores etc

Los dos tipos básicos de convertidores de frecuencia a voltaje más comúnmente utilizados son

* Convertidores de integración de pulsos Los cuales integran un pulso de ancho fijo en una señal a la salida cuyo valor es dependiente de la frecuencia del pulso

* Convertidores de PLL Los cuales se amarran a una frecuencia de entrada para producir un voltaje de error el cual es proporcional a las variaciones de frecuencia de la señal de entrada

El convertidor de integración de pulsos utiliza un temporizador monoestable "one-shot timer" de precision el cual cuando es disparado por la señal de entrada produce a su salida pulsos de una amplitud y duración fijos.

Estos pulsos son integrados para determinar su valor promedio en un intervalo de tiempo, donde el valor promedio será proporcional a la frecuencia del tren de pulsos

1 Apagones (Blackouts)
Interrupciones duraderas del suministro eléctrico desde segundos hasta horas

2 Ausencia de Ciclos de Línea Eléctrica (Brownouts)
Interrupciones momentáneas de la línea eléctrica 1/2, 1 o 2 ciclos

3 Picos Eléctricos (Spikes)
Aparecen en la línea eléctrica Son del orden del kilovatio y sus duraciones del orden del milisegundo (0 001 seg) Se originan por

tormentas eléctricas o desconexión de grandes cargas reactivas como lo son los equipos que contienen grandes motores.

4 Ruidos Eléctricos (Noises)

Señales de alta frecuencia que aparecen en la línea eléctrica El ruido de modo normal (entre fase y neutro) tiende a ser eliminado con filtros al igual que parte del ruido referenciado a tierra

5 Bajadas de Voltaje (Sags)

Disminución del voltaje por períodos prolongados fuera del rango tolerable

6 Subidas de Voltaje (Surges)

Aumento del voltaje por períodos prolongados fuera del rango tolerable

7 UPS (Uninterrupted Power Supply)

Fuente de energía ininterrumpible es el nombre del dispositivo que permite un suministro de electricidad estable a los equipos a respaldar tales como computadoras y otros equipos electrónicos, aún cuando el suministro de la acometida eléctrica falle

8 UPS Offline (o Standby)

Este tipo de UPS filtra la línea eléctrica que ofrece la acometida eléctrica de la pared (toma corriente) y se la entrega a los equipos a proteger, mientras esta tenga un voltaje apropiado Cuando el voltaje de la línea eléctrica baja o sube mucho el UPS transfiere su energía almacenada(s) en su(s) batería(s) para dar y mantener un voltaje apropiado a los equipos a proteger

9 VA (Voltio - Amper)

En un equipo es la medida de salida de voltaje multiplicada por la salida de corriente Esto se expresa como potencia real (vatios) multiplicada por el factor de potencia [VA*F P]

SERIE DE APLICACION COMERCIAL CON VARIOS ESTILOS, VOLTAJES Y CAPACIDADES DISPONIBLES.

Características

Totalmente autocontenida

Instalación simplificada

Baterías selladas libres de mantenimiento

Alimentación a 120-277 volt

Desconexión a bajo voltaje

Protección de oscurecimiento

Cargador 100% estado sólido

Revelador sellado

Interruptor de prueba tipo botón

Luz indicadora

Cubierta metálica calibre 20 con acabado de esmalte blanco

Capacidad remota en modelos grandes

Selección de cubierta blanco ó tipo madera

Varias selecciones de lámpara

Cabezas no deslizables totalmente ajustables termoplásticas alto impacto

REGULADOR ELECTROMECÁNICO

Trabaja por medio de un sistema motorizado que electrónicamente detecta las variaciones de voltaje y manda la orden de movimiento a un motor eléctrico, que a su vez, mueve un conjunto de carbones sobre conmutadores de una bobina sumando y restando espiras de dicha bobina, contribuyendo al aumento o disminución de voltaje

Su velocidad es de 7 a 26 volt por segundo dependiendo de la capacidad de regulación

REGULADOR FERRORESONANTE

Es un circuito sintonizado que mantiene una regulación al saturar el núcleo magnético dando una onda de voltaje no senoidal

Este tipo de regulador mantiene una salida razonablemente regulada siempre y cuando el voltaje de entrada sea estable o que los cambios en la entrada se susciten a un ritmo muy lento de lo contrario la salida sufre severos disturbios

REGULADOR CON TRANSFORMADOR DE INDUCCIÓN

Regulador con transformador de inducción que es diseñado para sistemas monofásicos bifásicos y trifásicos Su ventaja principal sobre otros procedimientos de regulaciones es que el voltaje es continuo y circula sin disturbios, es decir su operación es de transición cerrada

En todos los casos se trata de un secundario el cual se conecta en serie con la carga y los primarios en paralelo con la línea regulando los altos o los bajos valores de voltaje dentro de los parametros de + 15% de alimentación y del + 5% o del +3% de la salida de voltaje nominal

Su funcionamiento esta basado en las teorías de los fenómenos de inducción

Estos transformadores reguladores están constituidos por un embobinado llamado secundario, que soporta la potencia total del transformador y por otros devanados llamados primarios, que a su vez de acuerdo a su polaridad y flujo magnetico inducen sobre el devanado secundario un aumento o disminución en el voltaje

AUTO TRANSFORMADOR

Conjunto compuesto de un primario conectado a la fase y el neutro del sistema estrella, y varios secundarios con relaciones de transformación, que ofrecen voltajes mayores o menores a los de la entrada

Los embobinados del secundario Son conmutados generalmente por sistemas mecánicos que soportan picos altos provocados por el encendido y apagado de dichas bobinas

En el mercado se encuentran comúnmente en capacidades pequeñas (hasta 16 A), dado que los elementos de control de los transformadores en cuestión se requieren robustos a los disturbios eléctricos que son producidos en el núcleo

SISEMA ON-LINE INTERACTIVOS

Sistemas que cuentan con transformadores u otros dispositivos para acumular voltaje, capaces de soportar la carga demandada por unos instantes Tiempo en el que se realiza la transferencia de un inversor que convierte la energía de corriente directa de un banco de baterías a corriente alterna, para seguir alimentando sin interrupción los equipos que se alimentan del sistema

Esta tecnología permite que en la salida del U P S no se detecte ninguna interrupción considerando a estos sistemas como

SISTEMAS ON-LINE DOBLE CONVERSIÓN.

Este sistema se basa en hacer pasar la corriente alterna por un rectificador cargador de baterías, que alimentan a un banco de baterías y un inversor que convierte la corriente directa en corriente alterna, cuando la energía comercial se ausenta o se encuentra fuera de los rangos que permite el sistema la energía será proporcionada por el banco de baterías, haciéndola circular por el inversor que convierte la corriente directa en corriente alterna y puede alimentar los equipos que componen la carga también es una de las tecnologías más antiguas, que a través de cambios técnicos han venido evolucionando en el transcurso de los años Actualmente se encuentran algunas marcas con tecnologías que utilizan componentes de punta haciendo que tengan mayores eficiencias y ahorros de energía

SISTEMA OFF-LINE

Sistemas regularmente de bajo precio y bajas capacidades que son usados esencialmente para cargas no sofisticadas y que no cuentan con microprocesadores o componentes electrónicos que sean afectados por pequeñas variaciones de energía

Generalmente la manera de operar de estos productos es con operación de un swich electrónico o mecánico que se encarga de que la energía eléctrica con la que se alimenta la carga se suministra por corriente comercial o por la acumulada en el banco de baterías

Dicho swich hace su transferencia en un tiempo lento lo que puede originar serios problemas a equipos electronicos sofisticados

9- Conclusiones y Recomendaciones

9.1 Conclusiones

El amplio universo de la ingeniería eléctrica sería imposible de cubrir en uno o varios libros, por lo tanto, las investigaciones sobre temas de interés facilitan al estudiante que encuentran en estas lo necesario para tareas universitarias

Las protecciones eléctricas son cada vez más recurridas y ocupan un lugar importante dentro de los mecanismos en la industria Sin una debida coordinación de estas protecciones se correrían un sin número de riesgos, por lo que los ingenieros debemos estar capacitados sobre el tema

Aspectos de relevancia tales como relevadores, fallas, mecanismos contra fallas y sistemas eléctricos no pueden faltar en una investigación referente a la coordinación de protecciones eléctricas De esta manera se intentó abarcar cada uno de los secciones referentes y realizar una digna presentación

Aunque los conocimientos que se tenían sobre la investigación eran casi nulas, poco a poco se fue aprendiendo más de los temas hasta lograr un trabajo amp io y suficiente

El investigar siempre será una actividad enriquecedora para el ser humano el cual por naturaleza tiene hambre de aprender Nosotros como ingenieros debemos cultivar nuestra inteligencia por medio de lecturas como éstas que nos permitirán un mayor desarrollo en el ámbito tanto social, como profesional

9.2 Recomendaciones

Este escrito es un tratado sobre protección en sistemas eléctricos de potencia En los últimos años se han dado una serie de avances y logros importantes en el campo de la protección, los equipos analógicos en algunas aplicaciones ya son substituidos por relevadores digitales y la tendencia es hacia la generalización de dichos elementos Ante estos cambios y la producción de nuevas tecnologías, dar una respuesta al problema de la protección se antoja un tanto difícil un hecho importante ante esta situación es que los principios básicos y motivos fundamentales se mantienen en gran medida sin cambios importantes Ante estos eventos sentimos que él reto de desarrollar un trabajo sobre protección es mayor El riesgo es que la información presentada pareciera inconclusa con un volumen regular y con poca objetividad

Nos sentimos obligados a hacer un esfuerzo y en la medida de lo posible ofrecer un trabaje concreto, orientado y útil

Pensamos que esta información va directa a las necesidades de solución, ya que creemos que, cualquier interesado obtendrá una respuesta rápida a sus inquietudes

Se tiene la responsabilidad de adaptarse a los nuevos equipos que aparezcan en el mercado, esto es un oficio que es considerado un arte y una ciencia por algunos autores

Es difícil escribir sobre estos temas ya que siempre quedan muchos puntos sin tratar por que los sistemas eléctricos de potencia el protegerlos cada día habrá maneras nuevas y más fáciles de manejar