



METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE AJUSTES DE PROTECCIÓN REMEDIAL CONTRA BAJO VOLTAJE

OPCIÓN I: TESIS PROFESIONAL

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO ELÉCTRICO**

**PRESENTA:
EDUARDO VALDIVIESO GÓMEZ**

HEROICA CIUDAD DE JUCHITÁN DE ZARAGOZA, OAXACA, NOVIEMBRE DEL 2022



Carretera Panamericana Km. 821, C.P. 70000, Hca. Cd. de Juchitán de Zaragoza, Oax.,
Tel. (971) 71-13237 e-mail: dep_istmo@tecnm.mx tecnm.mx | istmo.tecnm.mx





Heroica Ciudad de Juchitán de Zaragoza, Oax. 15 - Noviembre - 2022

**DEPTO.: DIV. DE ESTUDIOS PROFESIONALES.
No. DE OFICIO DEP-09/22**

ASUNTO: Se autoriza Impresión de
Trabajo Profesional.

**C. EDUARDO VALDIVIESO GÓMEZ
PASANTE DE LA CARRERA DE
INGENIERÍA ELÉCTRICA
P R E S E N T E.**

De acuerdo con el reglamento de Titulación y habiendo cumplido con todos los requisitos e indicaciones que la Comisión Revisora le hizo con respecto a su Trabajo Profesional, la División de Estudios Profesionales a mi cargo le autoriza la impresión del mismo, cuyo tema es: **METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE AJUSTES DE PROTECCIÓN REMEDIAL CONTRA BAJO VOLTAJE.**

ATENTAMENTE
Excelencia en Educación Tecnológica®
"Por una tecnología propia como principio de libertad"

Roberto Angeles Castillejos
**LIC. ROBERTO ÁNGELES CASTILLEJOS
JEFE DE LA DIV. DE ESTS. PROFESIONALES**



C.c.p. Coordinación de Titulación

RAC/MCLP/cgb



ÍNDICE

Notaciones y/o acrónimos.....	i
Lista de figuras.....	iv
Lista de tablas.....	vi
Resumen.....	vii

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Justificación.....	2
1.2 Objetivos: generales y específicos.....	3
1.3 Problemas a resolver.....	4
1.4 Alcances y limitaciones.....	4
1.5 Estructura de la tesis.....	5

CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Naturaleza y causa de las fallas.....	6
2.1.1 Consecuencia de las fallas.....	7
2.2 Factores que intervienen en la elección de la protección de un sistema eléctrico.....	7
2.3 Dispositivos de protección contra fallas.....	10
2.4 Protección de un sistema eléctrico.....	11
2.4.1 Características de la protección.....	12
2.4.2 Principios para la protección de un sistema eléctrico.....	12
2.4.3 Función de la protección por relevadores.....	14
2.5 Definición de relevadores de protección.....	15
2.5.1 Clasificación de los relevadores.....	17
2.5.2 Tipos y características de operación de relevadores de sobrecorriente.....	18
2.6 Definición de restauradores (automáticos).....	28
2.6.1 Construcción.....	29
2.6.2 Principio de operación.....	30
2.6.3 Tipos de restauradores.....	31
2.7 Equipos auxiliares para la detección de fallas y operación de protecciones.....	32
2.7.1 Transformadores de corriente.....	33
2.7.1.1 Carga de un transformador de corriente.....	37
2.7.1.2 Clasificación de la exactitud de los transformadores de corriente para protección.....	38

2.7.1.3 Efectos de las corrientes de falla en los transformadores de corriente.....	40
2.7.1.4 Conexiones de los transformadores de corriente.....	41
2.7.2 Transformadores de potencial.....	43
2.7.2.1 Cargas nominales de exactitud y clases de exactitud para transformadores de potencia.....	46
2.7.2.2 Conexiones de los transformadores de potencial.....	47
2.8 Aspectos generales para la selección de transformadores de instrumento (potencial y corriente)	48

CAPÍTULO III.

ESQUEMAS DE ACCIÓN REMEDIAL Y ESQUEMAS DE PROTECCIÓN DE SISTEMAS

3.1 Definición de esquema de acción remedial.....	54
3.2 Definición de esquema de protección de sistemas.....	54
3.3 Clasificación de los EAR.....	55
3.4 Clasificación de los EPS.....	56
3.5 Esquema de bajo voltaje EPS E27.....	56

CAPÍTULO IV

PROTECCIÓN POR BAJO VOLTAJE (E27)

4.1 Relevador de bajo voltaje.....	59
4.2 Datos para ajuste del relevador SEL 351 para protección (E27).....	60
4.3 Cálculo de bajo voltaje.....	60
4.4 Diagrama de protecciones remediales por bajo voltaje de la zona Tehuantepec.	62
Conclusión.....	63
Referencias bibliográficas.....	64

Notación y/o Acrónimos

KW	Kilo Watts
%	Por ciento
KV	Kilo volts
TC's	Transformadores de corrientes
TP's	Trasformadores de potenciales
Is	Corriente secundaria
Ip	Corriente primaria
BD	Bobina de Disparo
B	Bobina
Z	Impedancia
V	Voltaje
I	Corriente
F	Fuerza neta (operación)
K ₁	Constante de conversión de la fuerza
L ²	Valor eficaz de la corriente al cuadrado
K ₂	Fuerza de la retención (reposición)
NA	Normalmente Abierto
Tap	Ajuste de corrientes secundarias
I _{pick-up}	Corriente de arranque del relevador
RTC	Relación de transformación de corrientes
PU	Por unidad
CD	Corriente directa
RAM	Memoria de acceso aleatorio
ROM	Memoria de solo lectura programable y borrable eléctricamente
SF ₆	Hexafloruro de azufre

Zc	Impedancia de carga
N	Relación de espiras secundarias o primarias
Zp	Impedancia arrollamiento primario
Ze	Impedancia secundaria de excitación
Ie	Corriente secundaria de excitación
Es	Tensión secundaria de excitación
Zs	Impedancia propia del devanado de baja tensión
Vt	Tensión final secundaria
Ω	Ohms
mH	Mili Herz
Hz	Herz
Vpn	Tensión nominal primaria
Vsn	Tensión nominal secundaria
Vp	Número de espiras en el devanado primario
Vs	Número de espiras en el devanado secundario
Δ	Delta
$\sqrt{3}$	Raíz de tres
RTP	Relación de transformación de potencial
SEL	Schweitzer Engineering Laboratories
E27	Protección 27 por bajo voltaje
EPS	Esquema de protección de sistemas
CFE	Comisión Federal de Electricidad
ISO-9002	Organización internacional de normalización (calibración de equipos)
SEP	Sistema eléctrico de potencia
PCM	Pulse code modulation
DAG	Disparo automático de generación
DAC	Disparo automático de carga

SEN Sistema Eléctrico Nacional
ANSI Instituto Nacional Estadounidense de Estándares
EAR Esquema de Acción Remedial
E81 Protección por baja Frecuencia
LAPEM Laboratorio de pruebas equipos y materiales

Lista de figuras

Figura 2.1 Conexión de un relevador para protección por corto circuito.....	24
Figura 2.2 Esquema elemental de protección de sobrecorriente.....	26
Figura 2.3 Relevadores de atracción electromagnética.....	30
Figura 2.4 Relevador de inducción electromagnética.....	31
Figura 2.5 Relevador de sobrecorriente trifásico instantáneo (50) y de tiempo (51)...	34
Figura 2.6 Relevador digital de sobrecorriente.....	36
Figura 2.7 Conexión de un relevador de sobrecorriente a tierra.....	38
Figura 2.8 Restaurador trifásico.....	40
Figura 2.9 Partes componentes de un restaurador monofásico.....	40
Figura 2.10 Diagrama de conexiones de un transformador de corriente.....	43
Figura 2.11 Circuito equivalente de un transformador de corriente.....	45
Figura 2.12 Transformador de corriente con clasificación “C”.....	50
Figura 2.13 Transformador de corriente con clasificación “I”.....	50
Figura 2.14 Conexión monofásica de un transformador de corriente.....	52
Figura 2.15 Conexión trifásica de transformadores de corriente.....	53
Figura 2.16 Diagrama de conexión de un TP.....	54
Figura 2.17 (a) Simple relación de transformación.....	54
Figura 2.17 (b) Simple relación provista con 2 devanados secundarios Independientes.....	54
Figura 2.18 Conexión de TP’s.....	58
Figura 2.19 Representación para los TC.....	60
Figura 2.20 Representación para los TP.....	61

Figura 2.21 Conexión con los instrumentos de medición.....	61
Figura 3.1 Identificación de problemáticas en la red y acciones de control Correspondientes.....	63
Figura 3.2 Diagrama de flujo de eventos durante la operación de un EAR.....	64
Figura 3.3 Diagrama lógico del esquema de afectación de carga por bajo voltaje.....	67



Lista de tablas

Tabla 2.1 Cargas de 5A. a una frecuencia de 60 Hz nominales de exactitud para transformadores con corriente secundaria.....	48
Tabla 2.2 Clases de exactitud para protección. Transformador de 5A.....	49
Tabla 2.3 Cargas nominales de exactitud para transformadores de potencial, con tensión nominal secundaria de 120 v y frecuencia de 60 Hz.....	56
Tabla 2.4 Clase de exactitud según las normas nacionales.....	57

Resumen

En este trabajo se presenta la importancia del uso de relevadores, así como la implementación de protecciones para nuestro sistema eléctrico de potencia ya que son de gran importancia para la protección de nuestro sistema y de nuestros equipos dentro y fuera de la subestación eléctrica debido a que las líneas de distribución y subtransmisión están expuestas a diferentes contingencias, tales como sobretensiones debidas a descargas atmosféricas y fallas de cortocircuito entre fases o entre fase y tierra, las cuales representan un enorme riesgo para el sistema.

Se describe la importancia de utilizar la protección 27 cuando se origina un bajo voltaje, esta protección se puede llevar a cabo mediante un relevador tipo SEL 351 lo cual se implementa para evitar el colapso de voltaje o voltajes no adecuados en una región, ocasionados por diferencia de potencia reactiva o por altas transferencias de potencia reactiva, se lleva a cabo mediante la desconexión de carga, esto es una acción de control de emergencia destinada a garantizar la estabilidad del sistema reduciendo la carga para adecuarla a la disponibilidad de generación, y así mantener el voltaje en los niveles adecuados y restablecer nuestro sistema eléctrico en el menor tiempo posible.

La implementación del EPS E27 permitirá afectar carga para que el sistema se aleje de la zona de colapso de voltaje y también para no alimentar carga fuera del rango convenido con los usuarios de acuerdo con la Ley de Servicio Público de Energía Eléctrica.

INTRODUCCIÓN

La presencia de fallas en todo sistema eléctrico es inevitable ya que se encuentran expuestos a sufrir diferentes tipos de perturbaciones, las cuales pueden llegar a producir inestabilidad en el sistema y son principalmente ocasionados por factores ambientales tales como: descargas atmosféricas, sobrevoltajes, cortocircuitos, rupturas de conductores a causa de vientos, caída de árboles, contaminación, etc., produciendo en ellos algún tipo de fallas o daño en sus componentes. Una falla es toda alteración en el funcionamiento de los elementos que conforman el sistema eléctrico de potencia, cuya presencia puede alterar la estabilidad del mismo, por esto los sistemas de protección resultan de vital importancia para conservar la estabilidad del sistema, porque están diseñados para detectar cualquier condición anormal existente en el sistema y ejecutar alguna acción para corregir la situación.

Por eso en todo sistema eléctrico, es de mucha importancia la selección y aplicación del tipo de protección adecuado, para el correcto funcionamiento del mismo. Los disturbios ocurridos unas veces de carácter transitorio y otras permanentes, pueden causar daños térmicos y dinámicos a los equipos de la subestación, con objeto de proteger al personal y a los equipos mismos, se adoptan medidas de protección para evitar en lo posible los accidentes o pérdidas de suministro de la energía, según sea el caso. Estas medidas de protección forman parte del diseño o proyecto de los sistemas e instalaciones eléctricas y cubren una gama muy amplia en posibilidades por lo que es necesario establecer diferencias básicas que se pueden agrupar como:

a).- Protección contra sobretensiones de origen atmosférico o por maniobra de interruptores.

b).- Protección contra falla interna en las instalaciones y que son básicamente cortocircuito o condiciones anormales de operación del sistema, este tipo de protección se le conoce como protección por relevadores.

La protección por relevadores establece principalmente que los sistemas eléctricos en principio deben ser suficientemente confiables, es decir deben tener un mínimo de interrupciones de servicio; en otras palabras, los usuarios deben disfrutar de un servicio continuo y de características de calidad (regulación de tensión y variación de frecuencia adecuada).

Para cumplir con lo anterior y partiendo de la base de que los sistemas eléctricos están expuestos a diferentes tipos de fallas de las denominadas internas, se deben diseñar esquemas de protección que sean selectivos, es decir, que en las distintas partes de un sistema se minimice el número de usuarios que se queden sin servicio cuando ocurra un disturbio, pensando en todo esto se pone en servicio un relevador tipo Laboratorios de Ingeniería Schweitzer 351 (SEL por sus siglas en inglés) en el esquema o de las subestaciones, los cuales

tienen como objetivo librar o minimizar los efectos de las fallas que se presenten en dicho circuito.

Los beneficios que se obtienen de proteger el sistema son:

- a) Seguridad del sistema.
- b) Estabilidad del sistema.
- c) Disminución en el costo y en el tiempo de reparación de los equipos al reducir los daños en ellos.
- d) Disminuir en la necesidad de inversión en equipos de reserva al ser más corto el tiempo de reposición de los equipos dañados.
- e) Mayor disponibilidad de los elementos, ya que las protecciones desconectarán selectivamente solo los dispositivos necesarios para librar la falla.

1.1 Justificación

Debido a que las líneas de distribución y subtransmisión están expuestas a diferentes contingencias, tales como sobretensiones debidas a descargas atmosféricas y fallas de cortocircuito entre fases o entre fase y tierra, las cuales representan un enorme riesgo para el sistema, se han implementado el uso de estos relevadores para proteger el sistema eléctrico de potencia por la presencia de el bajo voltaje, esto se implementa para darle una mejor seguridad al sistema eléctrico de potencia al igual que una mejor estabilidad, disminución en el costo y tiempo de reparación de equipos al reducir daños en estos, ya que la protección en relevadores en este caso la protección E27 da una mayor disponibilidad de los elementos, ya que esta protección desconectará selectivamente solo los circuitos o dispositivos necesarios para evitar un colapso en nuestro sistema eléctrico de potencia y de esta manera mantener el suministro de energía en perfectas condiciones.

El esquema de protección de sistemas de corte de carga por bajo voltaje (EPS E27), tiene como objetivo determinar la ubicación, ajustes y monto de carga a afectar en una región determinada ante contingencias que provoquen decrementos en voltajes, tales que no permitan un suministro de energía eléctrica con calidad convenida con los usuarios.

La implementación del EPS E27 permitirá afectar carga para que el sistema se aleje de la zona de colpaso de voltaje y también para no alimentar carga fuera del rango convenido con los usuarios de acuerdo con la Ley de Servicio Público de Energía Eléctrica.

1.2 Objetivos generales y específicos

Objetivo general:

El objetivo principal de este proyecto es proteger el sistema eléctrico cuando se origina un bajo voltaje, esta protección se puede llevar a cabo mediante un relevador tipo Laboratorios de Ingeniería Schweitzer 351 (SEL por sus siglas en inglés) lo cual se implementa para evitar el colapso de voltaje o voltajes no adecuados en una región, ocasionados por diferencia de potencia reactiva o por altas transferencias de potencia reactiva.

Esto se lleva a cabo mediante la desconexión de carga, esto es una acción de control de emergencia destinada a garantizar la estabilidad del sistema reduciendo la carga para adecuarla a la disponibilidad de generación, y así mantener el voltaje en los niveles adecuados y restablecer nuestro sistema eléctrico en el menor tiempo posible.

Objetivos Específicos:

El objetivo específico del presente proyecto es:

- No interrumpir el suministro de la energía eléctrica a los usuarios por periodos de tiempo prolongado cuando se presenta alguna anomalía en el sistema.
- Prevenir daños a los equipos de la subestación.
- Aislar rápidamente la porción afectada del sistema, mientras se mantiene normal el servicio para el resto del sistema.
- Evitar el colapso total de una parte del sistema eléctrico nacional.
- Restablecer el sistema en el menor tiempo posible.
- Mantener el voltaje adecuado.

1.3 Problemas a resolver

Durante la realización de este proyecto los problemas a resolver principalmente son los siguientes:

- Llevar a cabo una perfecta revisión externa del relevador para asegurarse que los cables estén bien conectados y no tengan falso contacto, el cual resultaría un problema al momento de ponerlo en servicio.
- Realizar los cálculos necesarios para los ajustes del relevador.
- Verificar que el tiempo de disparo coincida con los datos requeridos por la sub-área.
- Comprobar que los contactos del relevador estén en buen estado para que puedan cerrar y abrir adecuadamente dicho interruptor al presentarse una falla en el circuito.
- Verificar en el momento de hacer la prueba de apertura y cierre al interruptor que el relevador tipo SEL 351 este en buen estado, es decir, que le mande la señal adecuada a dicho interruptor para energizar su bobina y con ello cerrar sus contactos para tener éxito en la apertura.
- Verificar en el momento de energizar el interruptor que no exista alguna anomalía.

Todo esto aunado a una revisión general a los datos de ajustes del relevador, esto con la finalidad de no llevar a cabo un mal ajuste y para que el relevador realice su apertura en los ciclos, tiempo y al nivel de voltaje requeridos.

1.4 Alcances y limitaciones

Con el presente proyecto se tiene un sistema de distribución más confiable, para proporcionar un servicio de energía continuo y de calidad a los usuarios que son abastecido por los circuitos ya que este equipo de protección tiene como objetivo, minimizar o librar los efectos de las fallas que se presenten en el circuito y con ello proteger a los equipos de la subestación, para que el sistema no se altere debido a los bajos voltajes que se presentan en el momento de la falla.

Al desarrollar este proyecto no se tuvo limitaciones, ya que se contó con todo el material necesario para realizar el proyecto, considerando equipos, herramientas y los diagramas proporcionadas por el fabricante.

1.5 Estructura de la tesis

Este reporte de residencia está estructurado de la siguiente manera:

En el capítulo dos se describe la naturaleza de las fallas así como las causas y consecuencias de las mismas, se muestran los factores que intervienen en la elección de la protección de un sistema eléctrico, los dispositivos de protección contra fallas, aplicaciones de las protecciones de un sistema eléctrico.

Se define la importancia de los sistemas de protección de un sistema eléctrico, así como sus características, principio y función de la protección por relevadores. La importancia y definición de los restauradores, construcción, principio de operación, tipos de restauradores, al igual que los equipos auxiliares para la detección de fallas como son: los transformadores de corriente, transformadores de potencial y los aspectos generales para la selección de transformadores de instrumento (potencial y corriente), ya que su aplicación en los sistemas eléctricos son de gran importancia.

En el capítulo tres se describe la definición de los esquemas de acción remedial, definición de los esquemas de protección de sistemas, sus clasificaciones y la importancia de los esquemas de bajo voltaje.

En el capítulo cuatro se describe la importancia y utilización de los relevadores de bajo voltaje, los datos que se deben obtener para realizar ajustes a un relevador del tipo Laboratorios de Ingeniería Schweitzer 351 (SEL por sus siglas en inglés) para protección por bajo voltaje, se muestra el cálculo que se debe de realizar para obtener valores de ajuste para este tipo de relevadores ya que es importante realizar el cálculo por lo que no todos los circuitos tienen el mismo voltaje en sus líneas.

Se muestra el diagrama de protecciones remediales por bajo voltaje de la Zona Tehuantepec.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Naturaleza y causas de las fallas [1]

Una falla es simplemente una condición anormal que ocasiona una reducción de la resistencia del aislamiento básico, ya sea entre los conductores de las fases, entre los conductores de las fases y la tierra o entre cualquiera de las mallas a tierra que rodeen a los conductores. En realidad, la reducción del aislamiento no se considera como falla, hasta que produce algún efecto en el sistema, es decir, hasta que provoca un exceso de corriente o la reducción de la impedancia entre los conductores o entre los conductores y la tierra, a un valor inferior al de la impedancia de carga mínima normal para el circuito.

La probabilidad de que se presente una falla o una condición anormal en las líneas de energía es mayor simplemente por su longitud y exposición a la atmósfera es mayor.

Antes de proceder al estudio de las diversas causas de falla, conviene clasificarlas en función de su origen:

a).- La interrupción puede ocurrir con voltaje normal a causa del deterioro del aislamiento y el daño debido a hechos impredecibles, como el que se posee en pájaros sobre las líneas, los cortocircuitos accidentales ocasionados por ramas de árboles, etc.

b).- La interrupción puede ocurrir por voltajes anormales, ya que el aislamiento sólo puede soportar el voltaje normal. Esto sucede ya sea por variaciones ocasionadas por los interruptores o por variaciones causadas por rayos.

La resistencia del aislamiento disminuye con la acumulación de contaminantes sobre una fila de aisladores que se origina por la sal que deposita la brisa marina en las áreas costeras. Inicialmente, esta disminución en la resistencia del aislamiento sólo ocasiona pequeñas fugas de corriente, pero a la larga esto acelera el deterioro. Otra causa de la falla en los aislamientos, es la formación de huecos en el compuesto aislante de los cables. Este deterioro se debe a que los cambios de temperatura provocan que dichos cables se dilaten y contraigan de manera irregular.

El aislamiento de las líneas y los aparatos puede estar sujeto a sobrevoltajes transitorios debidos al funcionamiento de los interruptores. El voltaje que se eleva con rapidez, puede alcanzar un valor máximo de aproximadamente el triple del voltaje entre fase y neutro. En estos casos, se prevé inicialmente un nivel de aislamiento más alto. Un sistema podrá soportar estos continuos sobrevoltajes, si los niveles de aislamiento han sido escogidos correctamente y no han sido alterados por algunas de las causas descritas en el inciso A. Sin embargo, si por

alguna causa el aislamiento se ha debilitado, es de esperarse que ocurra alguna falla en el momento que los interruptores empiecen a funcionar.

2.1.1 Consecuencias de las fallas.

El fuego es la consecuencia más grave de una falla mayor no eliminada, ya que puede no sólo dañar la parte en que se originó, sino extenderse al sistema y ocasionar su destrucción total. El tipo de falla más común y también el más peligroso, es el cortocircuito, el cual puede ocasionar cualquiera de las siguientes fallas:

1. Gran reducción del voltaje de la línea en una parte importante del sistema. Esto conduce a la interrupción del suministro eléctrico a los consumidores y puede ocasionar fugas en la producción.
2. Daños a los elementos eléctricos del sistema.
3. Daños a otros aparatos del sistema, debido a sobrecalentamiento y a fuerzas mecánicas anormales.
4. Perturbaciones en la estabilidad del sistema eléctrico, que incluso pueden ocasionar un par un paro completo del sistema de potencia.
5. Marcada reducción en el voltaje, que a veces puede ser tan grande que hace que fallen los relevadores que tiene bobinas de presión.
6. Considerable reducción en el voltaje de los alimentadores en buen estado conectados al sistema que está fallando. Esto puede ocasionar ya sea que los motores absorban cantidades anormales de energía o que entren en funcionamiento las bobinas de voltaje nulo o “no voltaje” de los mismos. En este último caso habrá una pérdida considerable en la producción industrial, ya que el funcionamiento de los motores debe ser restablecido.

2.2 Factores que intervienen en la elección de la protección de un sistema eléctrico [1,3]

Desde el punto de vista de las redes eléctricas que por lo general se le da una importancia notable en la planeación, diseño, construcción y operación a la generación, transformación y generación debido a que se requiere tener altos índices de confiabilidad en el transporte y generación de la energía eléctrica y con este mismo criterio se establecen los esquemas de protección y la inversión que se hace en estos esquemas es decir, que en la elección de la protección que debe llevar un sistema eléctrico interviene factores que en un momento dado fijan el criterio a seguir y que en particular para los sistemas de distribución se pueden mencionar los siguientes:

- a).- Magnitud de la carga, grado de importancia y características de la misma.
- b). - Tipos de fallas a que se puede ver expuesta la instalación.
- c). - Costos de las posibles alternativas de protección en función del grado de confiabilidad deseado.
- d).- Dispositivo de protección usados.

Para el caso de las redes de distribución aérea se mencionan como típicas las siguientes fallas:

1. Flameos externos y fallas de aislamiento debidas a descargas atmosféricas.
2. Fallas debidas a problemas de contaminación ambiental.
3. Envejecimiento de aislamientos por calentamiento excesivo.
4. Sobretensiones por maniobra de interruptores o debidas al fenómeno de ferroresonancia
5. Fenómeno de corrosión en aislamientos.
6. Ruptura de conductores, aisladores y postes a causa de choques automovilísticos, sismos, caída de árboles, vientos, etc.
7. Errores humanos en construcción y operación.

Dependiendo de la naturaleza de las fallas se pueden clasificar como:

a).- Temporales:

Son aquellas que se pueden interrumpir en periodos de tiempo breves antes de que puedan causar daños, esta interrupción se hace normalmente con dispositivos de protección. Algunas de las causas que provocan estas fallas temporales son: Flameos de aisladores debido a descargas atmosféricas, caída de ramas de árbol sobre los conductores, contacto entre conductores, arqueos por contaminación, etc. Este tipo de falla temporales es típica de las redes de distribución y se debe contar con los elementos de protección apropiados para aislarlas, de otra manera pueden resultar permanentes.

b).- Permanentes

Corresponden a este tipo de fallas las que prevalecen sin que influya la rapidez de desconexión de los dispositivos de protección o las maniobras que se realicen para restablecer el servicio cuando se presentan las desconexiones temporales, en las redes de distribución aéreas caen dentro de esta categoría la caída de conductores, el contacto entre los conductores de fases distintas, etc.

Es conveniente considerar en la selección del tipo de protección por aplicar en una red de distribución dos aspectos importantes:

a).- El tipo de carga e importancia de la red de distribución.

b).- La función de los dispositivos de protección y la política económica.

a).- El tipo de carga e importancia de la red de distribución es un aspecto relacionado con el tipo de usuario y la importancia que tiene la continuidad en el suministro de la energía eléctrica o sea que puede tener un criterio diferente de diseño y protección usuarios de tipo residencial (casa habitación y fraccionamientos), edificios públicos, hospitales, centro comerciales, áreas industriales, etc., dependiendo de esto, también depende el valor de la corriente de cortocircuito.

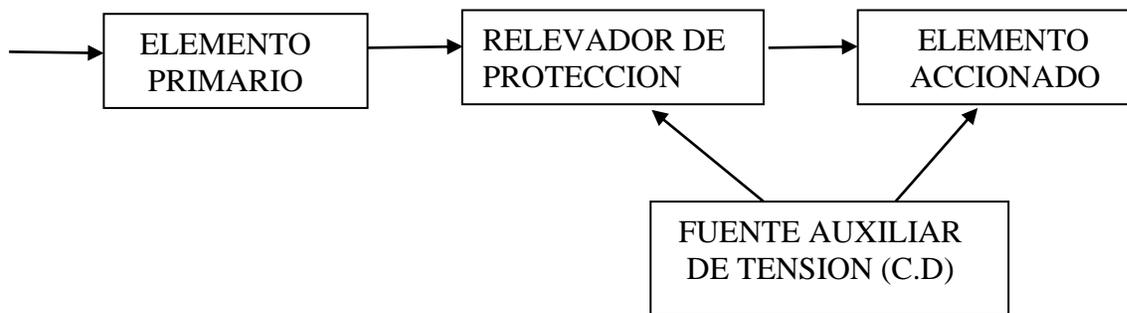
b).- La función de los dispositivos de protección y la política económica tiene relación con la estadística que se lleva de la naturaleza de las fallas en las redes de distribución, especialmente en el caso de las redes de distribución aéreas se sabe que del orden del 80 % de las fallas son temporales por lo que la rápida restauración del servicio debería ser importante normalmente, esto significa que se requeriría de restauradores, sin embargo su costo es elevado y probablemente no se justificará en ciertas redes de distribución en donde la economía de la instalación es importante por el tipo de usuario a que se presta servicio ya que es necesario considerar la inversión en las instalaciones en función del tipo de usuario, cosa que desde el punto de vista social no debería suceder ya que en teoría todo mundo debería tener el mismo tipo de servicio.

Los dispositivos de protección contra sobrecorrientes en las redes de distribución están diseñados no solo para interrumpir corrientes de cortocircuito, también desempeñan otras funciones como la interrupción de corrientes de sobrecarga con la función primordial de aislar las fallas permanentes de las áreas no falladas.

2.3 Dispositivo de protección contra fallas [1]

Se puede afirmar que muchas de las fallas que se presentan en las instalaciones eléctricas son prácticamente inevitables, no solo desde un punto de vista técnico, también económicamente las soluciones que se adoptan resultarían prohibitivas desde un punto de vista económico razón por la que es necesario considerar que no es posible evitar con certeza las presencia de fallas por lo que para evitar en lo posible las fallas y disminuir sus efectos es necesario disponer de los dispositivos de protección apropiados.

En general cualquier dispositivo de protección a base de relevadores consta de los elementos que se indican a continuación.



Elemento primario:

Este elemento es por lo general el que detecta las señales precedentes de la falla (corriente voltaje, etc.) y las convierte en valores aptos para alimentar al relevador de protección es decir una baja tensión y una potencia por lo general también baja, por lo general estos elementos primarios están constituidos por transformadores de corriente las cuales además constituyen el medio de aislamiento eléctrico entre las partes de alta tensión y baja tensión de la instalación eléctrica.

Relevador de protección:

El relevador de protección constituye de hecho el principal de los dispositivos de protección contra fallas y es por decirlo así “el alma” de cualquier esquema de protección, pero a grandes rasgos se puede decir que cualquiera que sea el tipo de relevador de que se trate, funcionalmente está constituido por: un órgano de conversión que es el encargado de convertir las señales de entrada procedente del elemento primario, con frecuencia este elemento físicamente no existe y el relevador usa directamente la señal proveniente del elemento primario; un órgano de medida que constituye de hecho la parte más importante del relevador ya que aquí se miden las señales procedentes de los otros órganos y se decide de acuerdo con el valor de la medida cuando entra en función del dispositivo de protección. El órgano de salida que representa el elemento intermedio entre el dispositivo propiamente dicho y los elementos que son accionados por este dispositivo, por lo general este órgano amplifica

la señal del órgano de medida, estos órganos de salida pueden ser amplificadores para el caso de relevadores electrónicos a bien contactores en el caso de relevadores electromagnético.

Elemento accionado:

El elemento accionado está constituido por lo general por aquel elemento al cual llega la señal del relevador y es por lo general la bobina de disparo de los interruptores o restauradores telecontrolado.

Fuente auxiliar de tensión:

Normalmente en todas las instalaciones de protección a base de relevadores se debe tener una fuente auxiliar de tensión en corriente directa (c.d), que por lo general está constituida por un banco de baterías (acumuladores) a voltajes bajos.

2.4 Protección de un sistema eléctrico [1]

La función principal de un sistema eléctrico es suministrar energía eléctrica con una adecuada calidad de servicio, cuyos elementos básicos son:

- a).- Control de la frecuencia.
- b).- Regulación de voltaje.
- c).- Continuidad del servicio.

Para poder cumplir adecuadamente con estos requisitos es indispensable realizar estudios sobre el sistema que nos permitan predecir su comportamiento bajo distintos estados de operación.

Los dispositivos de protección tienen la finalidad de mantener tanto la seguridad de los equipos e instalaciones, como de las personas que se encuentran en su entorno, garantizando la continuidad en el suministro de la energía eléctrica.

Un sistema de protección, se establece bajo la premisa de la existencia de fallas o disturbios originados por agentes internos o externos al sistema, y su objetivo no es evitar tales fenómenos, sino minimizar sus efectos sobre el sistema.

La adecuada selección y coordinación de los dispositivos de protección, es fundamental para el correcto funcionamiento del sistema de protección y por consecuencia para la operación confiable del sistema.

2.4.1 Características de la protección.

La estabilidad del sistema dependerá de gran medida de la rapidez con que los sistemas de protección conjuntamente con los interruptores de potencia operen para eliminar la falla; pero también son necesarias otras características para que realmente exista un buen funcionamiento como son:

Sensibilidad:

Según sus características, un relevador debe ser capaz de detectar y operar con señales pequeñas.

Selectividad:

Cuando un sistema se presenta una falla debe operar la protección más cercana a la falla, sin interrumpir la energía que alimenta otras áreas del sistema, seleccionando los dispositivos necesarios que libren la falla.

Velocidad:

La característica de velocidad es fundamental para disminuir al máximo los daños en la zona de falla y además para evitar que el sistema salga de sincronismo. La velocidad depende de la magnitud de la falla y de la coordinación con otras protecciones.

Confiabilidad:

La Confiabilidad del sistema de protecciones es su habilidad para no tener operaciones incorrectas y es función de dos componentes: “dependibilidad” y “seguridad”. “Dependibilidad” es la certeza para la operación correcta de la protección en respuesta de un problema del sistema (probabilidad de no tener una falla de operación cuando se le requiere). “seguridad” es la habilidad del sistema para evitar la incorrecta operación con o sin falla (habilidad para no tener una operación indeseada o no requerida).

Economía:

El costo de una protección es un factor relativamente poco importante, si se compara con el costo del resto del equipo del sistema, por lo que se debe tratar de adquirir la mejor calidad posible.

2.4.2 Principios para la protección de un sistema eléctrico.

Las condiciones de operación anormales contra las que se deben proteger los sistemas eléctricos, son el cortocircuito (falla severa), circuito abierto, bajo voltaje, sobrevoltaje, baja frecuencia, sobrefrecuencia, y las sobrecargas. El cortocircuito puede tener su origen en distintas formas, por ejemplo fallas de aislamiento, fallas mecánicas en el equipo por

sobrecargas excesivas, etc. Las sobrecargas se pueden presentar por causas muy simples, como pueden ser instalaciones inapropiadas, operación incorrecta del equipo, por ejemplo arranques frecuentes de motores, ventilación deficiente, periodos largos de arranque de motores, etc.

En el diseño de los sistemas eléctricos, se han desarrollado varias técnicas para minimizar los efectos de las anomalías que ocurren en el mismo, de tal forma, que se diseña el sistema para que sea capaz de:

- Aislar rápidamente la porción afectada del sistema, de tal forma que se minimice el efecto y mantenga el servicio tan normal como sea posible.
- Reducir tanto como sea posible el valor de la corriente de cortocircuito para reducir los daños potenciales al equipo o partes de la instalación.
- Proveer al sistema siempre que sea posible, de medios de recierre automático, para minimizar la interrupción del servicio durante fallas de tipo transitorio.

De acuerdo a lo anterior, la función de un sistema de protección, se puede definir como: “La detección y pronto aislamiento de la porción afectada del sistema, ya sea que ocurra un cortocircuito, o bien otra condición anormal que pueda producir daño a la parte afectada, al personal o a la carga que alimenta”.

Los medios más adecuados para prevenir las anomalías o fallas en un sistema eléctrico son:

- Aislamiento adecuado.
- Red de tierras.
- Pararrayos.
- Hilos de guarda (blindaje).
- Mantenimiento adecuado.

Para corregir las condiciones anormales o fallas del sistema se deben considerar los siguientes medios de protección:

- Relevadores de protección.
- Reguladores.
- Apartarrayos
- Interruptores.

- Fusibles.

2.4.3 Función de la protección por relevadores.

La función de la protección por relevadores es originar el retiro rápido del servicio de cualquier elemento de un sistema de potencia, cuando esto sufre un cortocircuito o cuando empieza a funcionar en cualquier forma anormal que pueda originar daño o interfiera de otra manera con el funcionamiento eficaz del resto del sistema. El equipo de protección está ayudado, en esta tarea, por interruptores que son capaces de desconectar el elemento defectuoso cuando el equipo de protección se los manda, tal como se muestra en la figura siguiente.

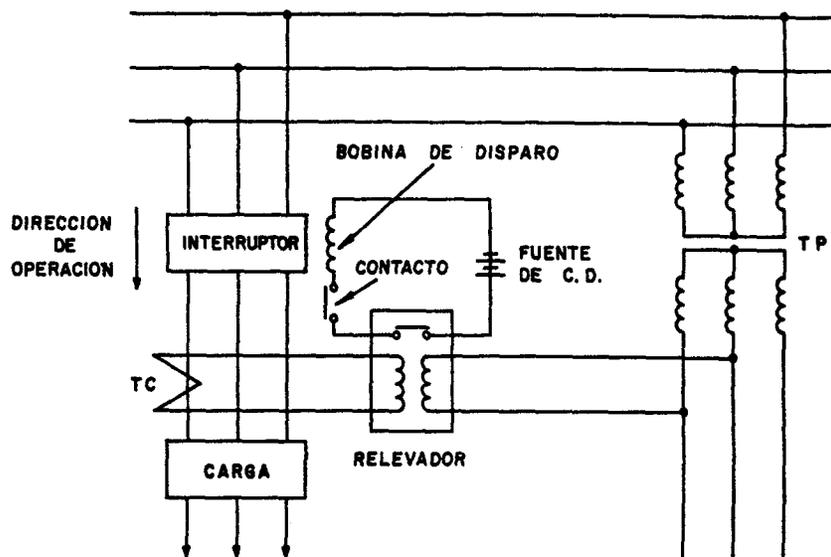


Figura 2.1 Conexión de un relevador para protección por corto circuito.

Los interruptores están localizados de tal manera que cada generador, transformador, barras colectoras, líneas de transmisión, etc., pueda desconectarse por completo del resto del sistema. Estos interruptores deben tener la capacidad suficiente para que puedan conducir momentáneamente la corriente máxima de cortocircuito que puede fluir a través de ellos, e interrumpir entonces esta corriente.

Aunque la función principal de la protección por relevadores es reducir los efectos de los cortocircuitos, surgen otras condiciones anormales de funcionamiento que también necesitan esta protección.

Una función secundaria de la protección por relevadores es indicar el sitio y el tipo de falla. Dichos datos no sólo ayudan en la reparación oportuna, sino que también, por comparación con las observaciones humanas y con los registradores de eventos.

Dentro de esta idea general de los llamados principios fundamentales de la protección por relevadores se tienen:

- Protección primaria.
- Protección de respaldo.
- Protección auxiliar.

Protección primaria:

Una zona de protección por relevadores denominada como primaria es una zona de protección separada y establecida alrededor de cada elemento del sistema con propósitos de selectividad, para que los interruptores sean conectados en la unión de cada dos elementos.

Protección de respaldo:

Esta protección tiene la función principal de actuar como sustituta de la protección primaria. Cuando por alguna circunstancia esta falta ya sea por falla o por mantenimiento, por razones de tipo económico, para determinados elementos de un circuito se usa solamente contra cortocircuito. En el caso de que se prevea, posibilidad de falla en los circuitos de alimentación, puede ser práctica común alimentar los relevadores de respaldo con fuentes independientes.

Protección auxiliar:

La protección auxiliar tiene la función como multiplicador de contactos, señalización, temporización, etc.

2.5 Definición de relevadores de protección [1]

Los relevadores de protección son dispositivos que identifican o detectan condiciones anormales de operación del sistema. Estos son ajustados para operar bajo condiciones de falla, abriendo ó cerrando contactos propios o de sus auxiliares, para desconectar automáticamente

los interruptores ó restauradores telecontrolados asociados al equipo fallado. Los relevadores proporcionan una indicación de su operación mediante banderas o señales luminosas.

Los relevadores auxiliares se utilizan para disparar ó bloquear el cierre de algún interruptor y otras funciones de control y alarma.

La función principal de los relevadores usados para protección es determinar lo más pronto posible la existencia de cortocircuito en el sistema por lo que la mayoría de los relevadores opera en más o menos un ciclo de la frecuencia del sistema (0.017 seg. a 60 Hz), por lo que puede enviar la señal de disparo a los interruptores correspondientes, esta función difícilmente podría ser realizada por un operador humano en forma tan confiable, rápida y económica.

En la figura siguiente se representa en forma elemental un esquema de protección de sobrecorriente. El relevador recibe en su bobina de operación "B" la señal de corriente secundaria "Is" del transformador de corriente "TC". Esta corriente es proporcional a la corriente primaria "Ip". Cuando la corriente que sensa el relevador "Is" es mayor al valor de arranque (puesta en operación, "Pick up"), su contacto "C" puede cerrarse en un tiempo instantáneo o retardado, y energizar la bobina de disparo "BD" del interruptor de potencia "52", para abrir y aislar del sistema la zona afectada. El contacto auxiliar (normalmente abierto) "52a", es utilizado para desenergizar la bobina de disparo una vez que éste ha ocurrido. El banco de baterías "BB" proporciona la energía confiable para abrir el interruptor.

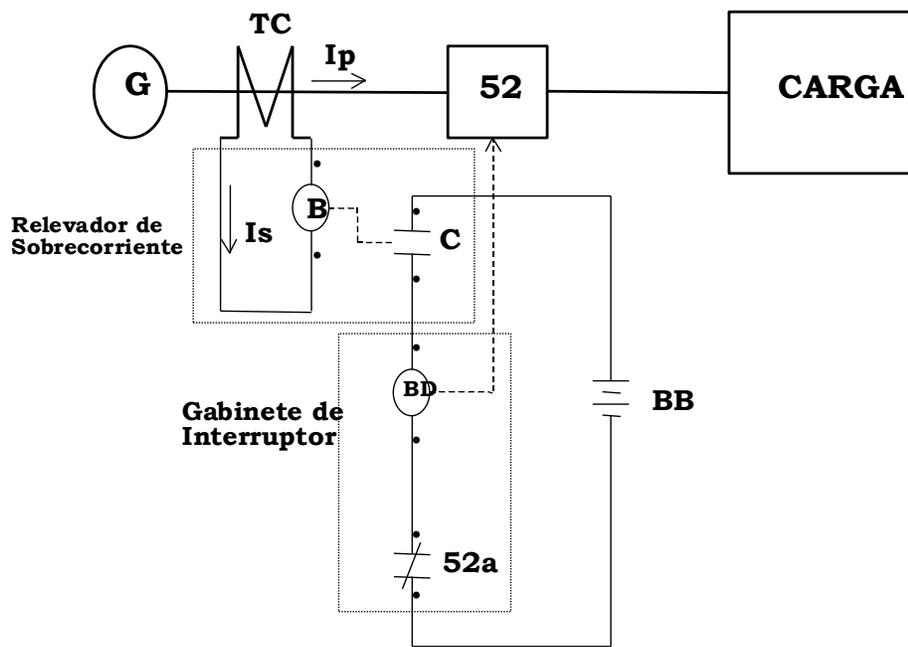


Figura 2.2 Esquema elemental de protección de sobrecorriente.

2.5.1 Clasificación de los relevadores.

Existen diferentes tipos de relevadores usados en la protección de los sistemas de potencia, normalmente accionados por señal eléctrica y eventualmente por algún tipo de elemento como son los relevadores accionados por presión o temperatura, en particular para los sistemas de potencia se emplean relevadores accionados eléctricamente.

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.

Relevador de corriente:

Estos relevadores actúan por la acción de la intensidad de la corriente que circula a través de ellos razón por la que también se conocen como relevadores del tipo ampermetro y pueden ser de máxima corriente en cuyo caso operan cuando la corriente del elemento protegido excede a un cierto valor previamente establecido o de mínima corriente que operan cuando el valor de la corriente en el sistema protegido se encuentra debajo de un cierto valor también previamente establecido.

Relevador de voltaje:

Este tipo de relevador opera bajo el principio del voltmetro y actúan por la acción del voltaje al cual se ven sometidos, es de máxima tensión cuando la tensión alcanza un valor superior al previamente fijado y de mínima tensión cuando la tensión se encuentra debajo de un valor previamente fijado.

Relevadores de cociente:

Este tipo de relevadores operan cuando el cociente de dos magnitudes eléctricas (por lo general voltaje y corriente) llega a cierto valor previamente fijado, a este tipo corresponde los denominados relevadores de mínima impedancia que actúan cuando la impedancia del relevador dada por la relación $Z = V / I$ se encuentra por debajo de un valor prefijado.

Relevadores de frecuencia:

Estos relevadores operan cuando el valor de la frecuencia en el sistema al cual se encuentran conectados varía con relación a una cantidad previamente establecida, dada la característica operativa de estos relevadores por lo general son del tipo inducción.

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 al interruptor y de acción indirecta cuyo elemento de control actúa sobre una fuente auxiliar para operar al interruptor.

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

Relevadores auxiliares: operan en respuesta a la apertura o cierre de un circuito de operación (primario) para complementar su función con otro relevador o circuito.

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 elementos que protegen y relevadores secundarios aquellos que se conectan a través de transformadores de potencial o de corriente. En la protección de sistemas eléctricos de potencia de alta tensión normalmente se emplean relevadores secundarios debido a que se conectan en sistemas de alta tensión que requieren de aislamiento a través de transformadores de potencial o de corriente.

2.5.2 Tipos y características de operación de relevadores de sobrecorriente.

Por sus características de construcción los relevadores de sobrecorriente se pueden clasificar como:

- Relevadores electromecánicos.
- Relevadores estáticos.
- Relevadores digitales o microprocesados.

Por sus características de tiempo de operación pueden ser:

- Relevadores de sobrecorriente instantánea 50
- Relevadores de tiempo 51

Por sus características de tiempo - corriente pueden ser:

- Tiempo definido
- Tiempo inverso
- Tiempo muy inverso
- Tiempo extremadamente inverso

Por sus características de rango de corriente y forma de conexión, pueden ser:

- Relevadores de corriente de fase
- Relevadores de corriente de neutro
- Relevadores trifásicos

Relevador de sobrecorriente electromecánico:

Por su principio de funcionamiento se clasifican en:

- Atracción electromagnética.
- Inducción electromagnética.

Relevador de atracción electromagnética

Se utiliza básicamente en la construcción de relevadores de sobrecorriente instantáneos. Generalmente es un electroimán cuya bobina es alimentada por un transformador de corriente. El émbolo construido de material ferromagnético, es atraído por el flujo en el entrehierro ó mantenido en reposo (restricción) por la acción de un resorte ó gravedad, como lo indica la figura 2.3

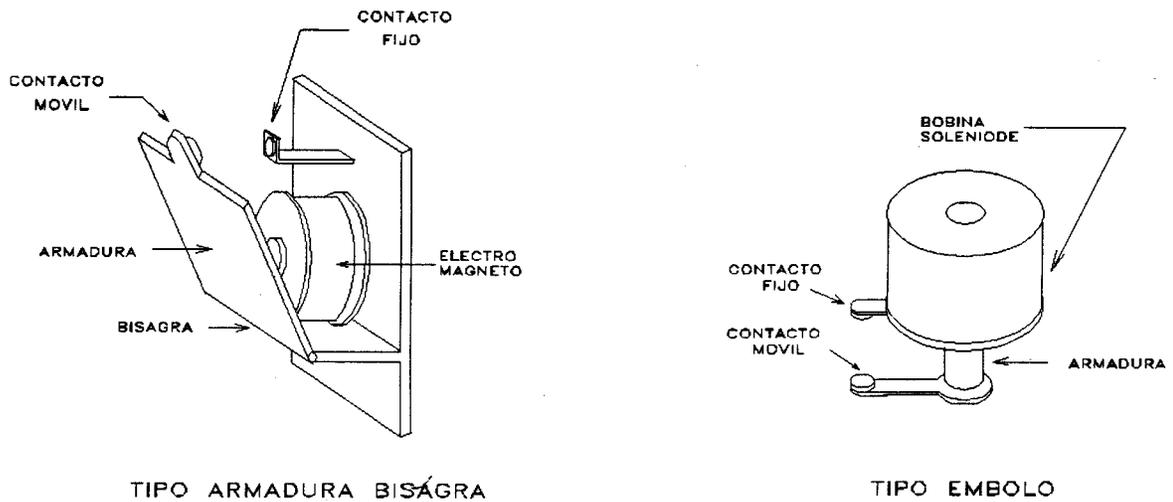


Figura 2.3 Relevadores de atracción electromagnética.

La fuerza de atracción del elemento móvil, es proporcional al cuadrado del flujo en el entrehierro. La fuerza actuante total puede expresarse por la siguiente ecuación:

$$F = K_1 I^2 - k_2$$

De donde:

- F = Fuerza neta (operación).
- K_1 = Constante de conversión de la fuerza.
- I^2 = Valor eficaz de la corriente al cuadrado.
- K_2 = fuerza de la retención (reposición).

El contacto NA que cierra durante la puesta en operación (pick-up) del relevador es utilizado para el control de apertura o disparo de uno o varios interruptores. En los relevadores de sobrecorriente instantáneo (50), existe un tornillo de ajuste alojado en la parte superior.

Variando la separación o altura del entrehierro se modifica la fuerza actuante. La operación del relevador se identifica por medio de una bandera coloreada, cuyo color depende de la marca del fabricante.

Relevador de inducción electromagnética

El relevador de sobrecorriente de inducción electromagnética es un motor de inducción de fase auxiliar con contactos. La fuerza actuante se desarrolla en un elemento móvil, que es un

disco de material no magnético conductor de corriente, por la interacción de los flujos electromagnéticos con la corriente parásita (de Eddy) que se induce en el rotor por estos flujos.

Los relevadores más utilizados tienen la estructura del tipo watthorímetro. El rotor que es un disco, en su flecha se encuentra alojado un contacto móvil, en el armazón del relevador se localiza el contacto fijo. La mayor ó menor separación de los contactos se obtienen ajustando el ó la palanca y por consiguiente el tiempo de operación de los relevadores figura 2.4

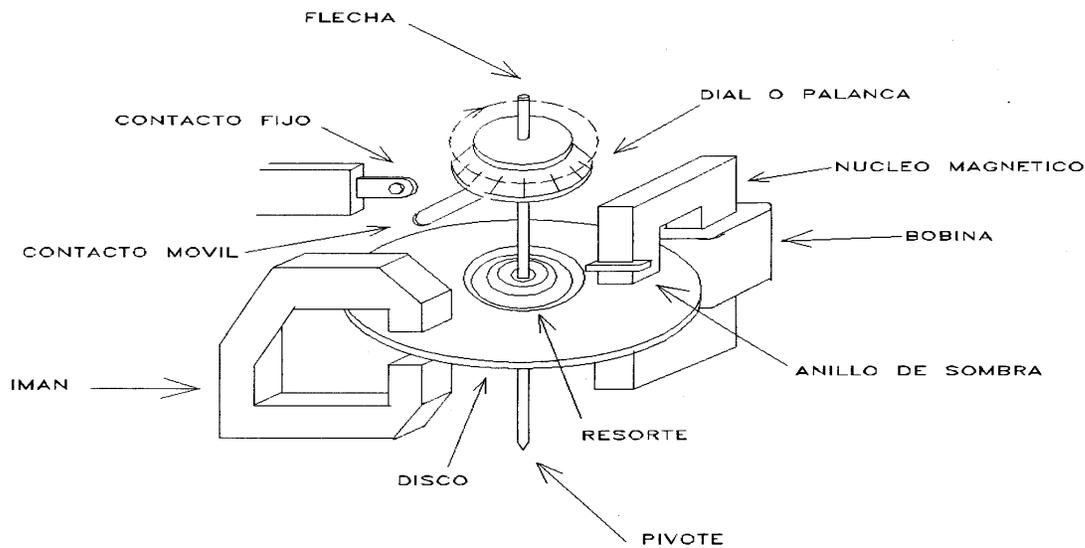


Figura 2.4 Relevador de inducción electromagnética.

Un resorte en forma de espiral, cuyos extremos se encuentran, fijados a la flecha ó disco y a una sección estática del relevador, proporciona al disco un par de reposición antagónico. Cuando el par de reposición del disco es ligeramente menor al par producido por la corriente que alimenta al relevador, el disco se “arranca”. Al valor de ésta corriente expresada en amperes es conocido como el “pick-up” del relevador.

Por otra parte este tipo de relevadores tienen disponible un rango de taps o derivaciones de la bobina de corriente. La regleta de Taps alojada en la parte superior del relevador, tiene un número determinado de orificios con rosca. Uno para cada derivación de la bobina que es conectada al TC.

Por medio de un tornillo se selecciona el tap del relevador, y el valor de éste representa la corriente mínima de operación. Es decir, el tap seleccionado corresponde a la corriente secundaria capaz de “arrancar” al relevador

La corriente primaria de arranque es el producto de

$$I_{\text{pick-up}} = \text{Tap} \times \text{RTC}$$

donde:

$I_{\text{pick-up}}$: Corriente primaria de arranque.

RTC: Relación de transformación de corrientes.

Tap: Ajuste de corriente secundaria del relevador.

Aunque la mayoría de los relevadores dispone de un amplio rango de Taps, se recomienda hasta donde sea posible no ajustar al relevador en un tap mayor de 5 amperes, en razón de proteger el circuito secundario del TC, al prevenir su saturación evitando la circulación de corrientes superiores a la nominal secundaria durante periodos prolongados de tiempo. De esta manera el TC queda protegido por el propio relevador.

Montado sobre el eje del disco se encuentra el contacto móvil. En la parte superior de eje, se tiene fijado un dial numerado de 0 a 10 (dependiendo del fabricante la numeración también puede ser de 0 a 11, o de 0 a 1.0)

La posición del dial determina la separación entre los contactos (fijo y móvil) de relevador. A este ajuste se le conoce como “PALANCA” y permite establecer un juego de curvas tiempo-corriente similares.

Los ajustes de tiempo y corriente pueden ser determinados en las gráficas tiempo-múltiplo tap (corriente). Estas gráficas son familias de curvas proporcionados por el fabricante del relevador, indican el tiempo requerido en cerrar sus contactos para cada posición del dial, cuando la corriente es referida como múltiplo del tap seleccionado.

El múltiplo de tap es obtenido de la siguiente relación:

$$M_{TCP} = \frac{I/\text{RTC}}{\text{Tap del relevador}}$$

Tap relevador

Siendo:

I = Corriente primaria o de falla en amperes.

RTC= Relación de transformación del TC en P. U.

Tap = Derivación de ajuste de corriente del relevador en amperes.

Resumiendo los dos últimos incisos, se puede generalizar al relevador de sobrecorriente electromecánico como un relevador monofásico, alojado en una caja con tapa transparente y desmontable, en el interior se aloja una unidad de sobrecorriente instantánea (50) ó una unidad de sobrecorriente de tiempo (51) ó ambas unidades (50/51) con características de tiempo-corriente propias del relevador que no pueden ser modificadas. La unidad ó unidades operadas son señalizadas por medio de banderas.

Relevador de sobrecorriente estático:

Los primeros diseños de relevadores estáticos se desarrollaron en la década de los 70's, fueron basados en la alta confiabilidad del transistor planar de silicio, esto marcó el inicio para el desarrollo de los circuitos integrados, compuertas digitales y circuitos lógicos; le siguieron circuitos digitales y más tarde memorias y microprocesadores.

Con estos componentes se mejoraron las características de velocidad, sensibilidad, inmunidad a vibraciones, reducción en sus dimensiones y libre de mantenimiento.

Las funciones de estos relevadores son semejantes a las obtenidas con los del tipo electromecánico, a pesar de que los relevadores estáticos carecen de partes móviles, la terminología relativa al ajuste y operación es similar a la empleada en los relevadores electromecánicos.

Los relevadores de sobrecorriente utilizan los siguientes circuitos básicos:

- Rectificador, cuya función es convertir una entrada de corriente alterna en una señal de voltaje, capaz de ser medida y comparada.
- Detector de nivel, el cual compara una entrada analógica con un nivel prefijado, el cual responde con una salida analógica cuando este nivel es excedido.
- Temporizadores para demorar a manera constante ó proporcional la entrada analógica de corriente

Cada uno de estos circuitos, configura una parte de los relevadores de sobrecorriente con retardo de tiempo, ilustrado en el diagrama de bloques de la figura 2.5.

La corriente alterna que alimenta el relevador es convertida en voltaje de C.D. por medio de un transformador de corriente, un puente rectificador y una resistencia de carga conectada en paralelo, este voltaje es comparado con un nivel prefijado en el detector de nivel No. 1, el cual genera un pulso al temporizador cuando el nivel es excedido.

El temporizador responde a un tiempo (en segundos). En el caso de relevadores de tiempo, es proporcional a la magnitud de la corriente de entrada. Para este caso, un circuito de forma es requerido.

Generalmente el temporizador carga un capacitor, de manera que al alcanzar al valor prefijado en el detector de nivel No. 2, se genera un pulso de salida. Los pulsos para la operación del elemento instantáneo son obtenidos por medio del detector de nivel No. 3. El cual opera al pasar por alto al temporizador.

Diodos emisores de luz (led's) son utilizados para abanderar la operación de los relevadores, los cuales están normalmente apagados. Se iluminan cuando uno de los valores de ajuste (pick-up) es superado. Pulsando el botón "Reset" se reponen.

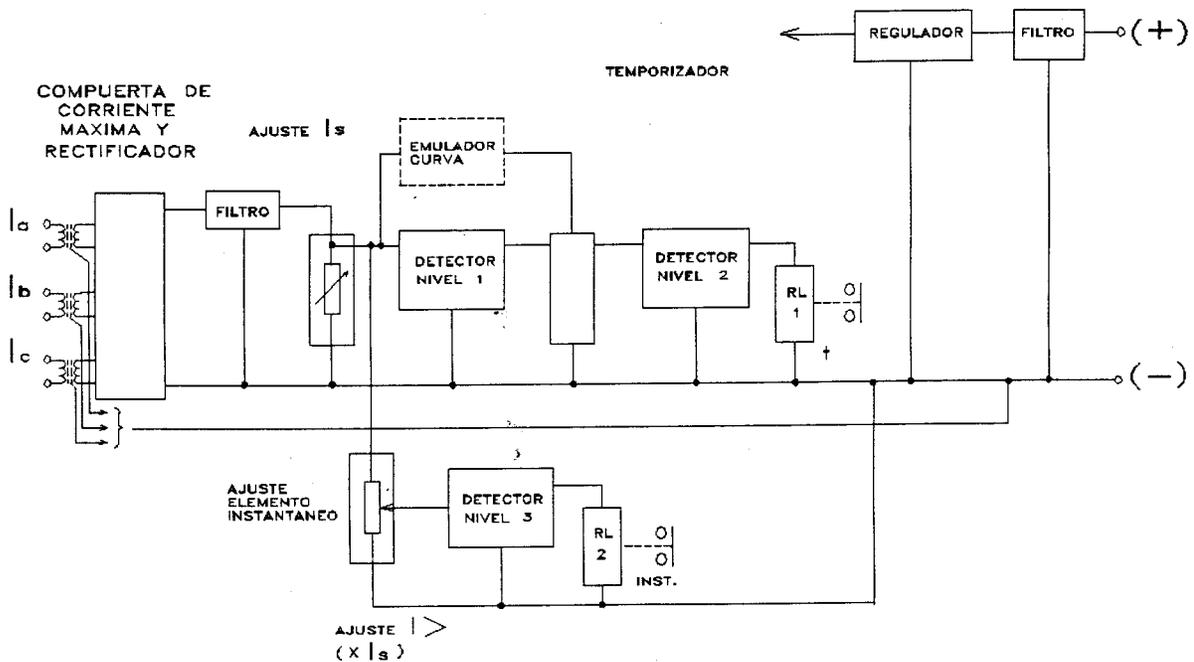


Figura 2.5 Relevador de sobrecorriente estático trifásico instantáneo (50) y de tiempo (51).

Relevador de sobrecorriente digital (numérico o microprocesado).

Con la aplicación de microprocesadores se han desarrollado relevadores que además de cumplir con las funciones de protección, efectúan otras adicionales como son medición, registro de eventos, localización de fallas y oscilografía.

Lo anterior se realiza mediante el muestreo y manipulación de los parámetros eléctricos, los cuales son utilizados en forma numérica para resolver cada uno de los algoritmos que calcula el microprocesador para cumplir con las tareas anteriormente descritas.

Estos relevadores son trifásicos y en un solo módulo están contenidas las unidades de fase y de neutro, reduciendo considerablemente sus dimensiones y el espacio ocupado por ellos en los tableros de control, medición y protección.

Los relevadores microprocesados están constituidos básicamente de la siguiente manera:

- Unidades de entrada analógicas: corriente.
- Unidades de entrada digitales: contactos del interruptor, etc.
- Filtro pasa bajas.
- Fuente de alimentación.
- Microprocesador para funciones de protección.
- Microprocesador para funciones de medición.
- Memoria RAM para registro de eventos.
- Memoria EEPROM para grabar ajustes.
- Unidades de salida: contactos de disparo y alarma.
- Puertos de comunicación.
- Display y teclado.
- Leds para señalización de banderas y piloto de encendido.
- Unidad de autodiagnóstico y monitoreo.

En la figura 2.6 se presenta un relevador digital en forma esquemática.

Las curvas características de operación de los relevadores digitales son seleccionables y responden a ecuaciones matemáticas, las cuales han sido estandarizadas internacionalmente por la norma ANSI C57 11.

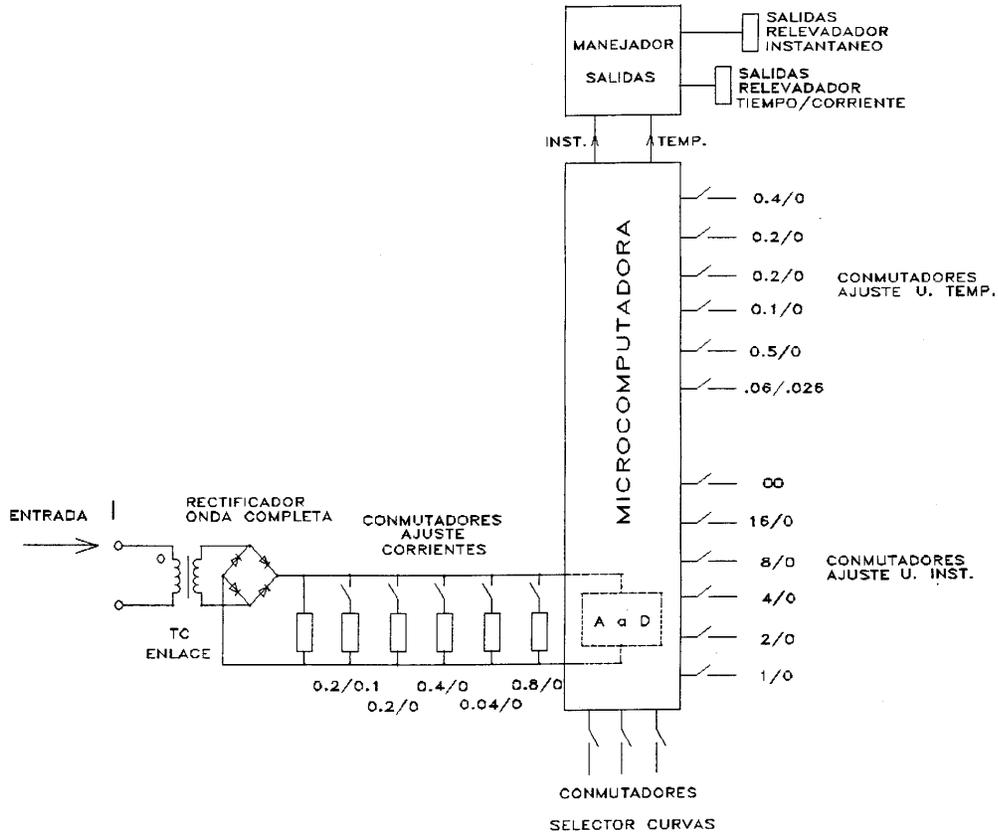


Figura 2.6 Relevador digital de sobrecorriente.

Relevador de sobrecorriente instantáneo (50)

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 falla 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.

En pocas palabras el relevador de sobrecorriente instantánea es un relevador con “respuesta instantánea” para un valor predeterminado de corriente. Su tiempo de respuesta u operación es menor a 3 ciclos (0.05 segundos)

Relevador de sobrecorriente con retardo de tiempo (51)

Es un relevador con una “respuesta retardada” la cual se ajusta a una curva característica de tiempo-corriente definida o inversa que funciona cuando la corriente en el circuito excede de un valor predeterminado.

Se conoce como tiempo inverso a la característica de tiempo-corriente en que a mayor corriente, menor es el tiempo de “respuesta del relevador”; y consecuentemente a menor corriente, mayor será el tiempo de operación del relevador. Es decir, existe una relación de inversidad entre el comportamiento de ambos parámetros. Las diferentes características de estos relevadores que se deben considerar son las siguientes:

a). Tiempo definido:

Los relevadores con este tipo de característica se aplican en donde no existe la necesidad de coordinar con otros dispositivos y en donde la corriente de falla prácticamente no varía entre una condición de máxima y mínima, o bien entre una falla local o un bus remoto.

b). Tiempo inverso:

En las instalaciones eléctricas, en donde por cambios en la potencia suministrada o modificaciones en los elementos del circuito (conexión y desconexión de elementos) se presentan variaciones importantes en la corriente de falla, es recomendable la utilización de esta característica de los relevadores de sobrecorriente.

c). Tiempo muy inverso:

En instalaciones eléctricas, en donde para fallas pequeñas existen variaciones de corriente y el tiempo de interrupción es pequeño, o bien se requiere coordinar con las curvas de fusible, esta característica.

d). Tiempo extremadamente inverso:

Esta característica es recomendable en las redes de distribución de las compañías eléctricas, ya que es la que mejor se coordina con restauradores y fusibles de un mismo circuito, que es una aplicación típica de las redes de distribución aéreas.

Relevadores de sobrecorriente a tierra (de neutro)

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 lograda con los relevadores de fase.

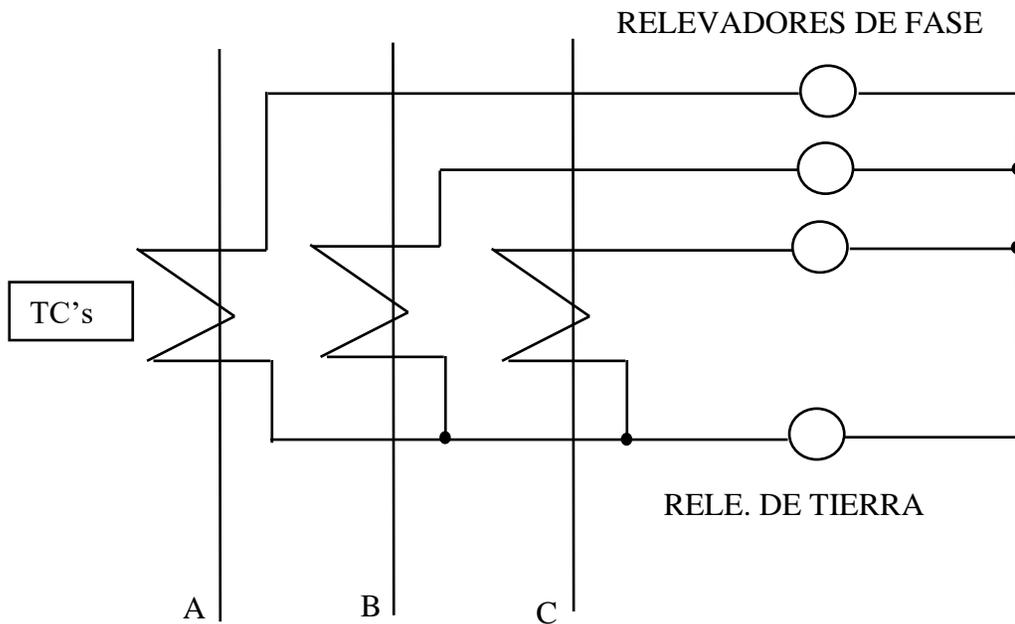


Figura 2.7. Conexión de un relevador de sobrecorriente a tierra.

2.6 Definición de restauradores (automáticos) [1]

El restaurador es un dispositivo electromecánico habilitado para sensibilizar e interrumpir en determinado tiempo, sobrecorrientes en un circuito debidas a la eventualidad de una falla, así como efectuar recierres automáticamente y re-energizando el circuito. Después de una secuencia de operación de disparo-cierre y en caso de persistir la falla, nuevamente abrirá, recerrando por segunda ocasión. Esta secuencia de operación podrá llevarse a cabo, dependiendo del ajuste, hasta tres veces antes de la apertura y bloqueo final. La secuencia de operación realiza dos importantes funciones:

- Prueba la línea para determinar si la condición de falla ha desaparecido
- Discrimina las fallas temporales de las permanentes.

En los sistemas de distribución aérea el 95% de todos los cortocircuitos o fallas son de naturaleza temporal, con una duración de unos cuantos ciclos. Las causas típicas de estas fallas temporales son:

- Conductores barridos que se tocan por el viento.
- Descargas atmosféricas sobre el aislamiento.
- Aves, reptiles o animales pequeños que contactan entre una línea energizada y una parte conectada a tierra.
- Ramas de árboles que tocan o son barridas por el viento sobre las líneas energizadas.
- Sobrecorriente por re-energización de cargas .

Sobre la base de esto, puede reconocerse fácilmente la necesidad de disponer de un equipo con la función de “apertura y cierre automático”. Es decir, si al desconectar la línea, la falla es despejada, el cierre después de unos pocos ciclos será exitoso, debido a que la causa de la falla ha desaparecido (al tratarse desde luego de una falla de naturaleza temporal); naturalmente la función de “apertura-cierre” debe ser efectuada automáticamente.

Por lo anterior el restaurador automático de circuito ha demostrado ser el dispositivo ideal para eliminar virtualmente cortes de energía prolongados en los sistemas de distribución, debido a fallas temporales o condiciones de sobrecarga transitoria

2.6.1 Construcción.

En un restaurador automático, sus contactos de interrupción monofásicos o trifásicos, están contenidos en un tanque con aceite como medio de aislamiento su apariencia se asemeja a un pequeño interruptor en aceite y puede ser conectado directamente a la línea sobre postes, crucetas, plataformas o instalado en una estructura en la subestación. Ver figuras 2.8 y 2.9.

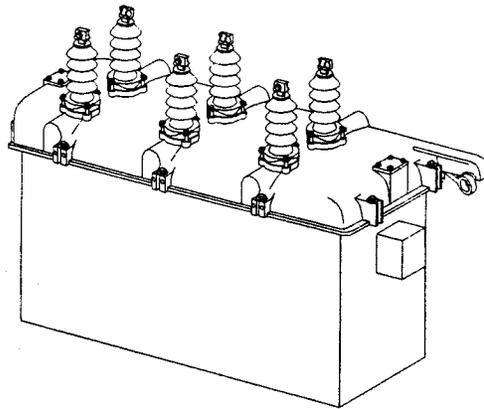


Figura 2.8 Restaurador trifásico.

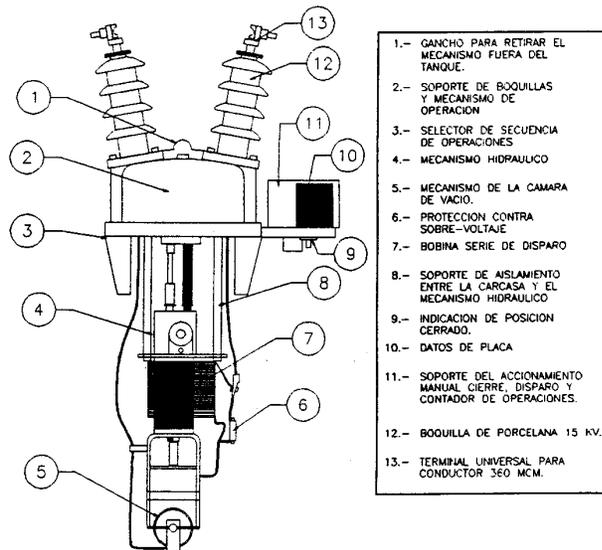


Figura 2.9 Partes componentes de un restaurador monofásico.

2.6.2 Principio de operación.

La detección de fallas se realiza generalmente por bobinas colocadas en serie con la línea, alojadas en el interior del tanque del restaurador.

Estas bobinas series al sensar una corriente superior a su capacidad de disparo, actúan sobre el mecanismo abriendo el restaurador, para el cierre se utilizan principalmente las siguientes formas, por medio de resortes que se cargan por la acción de apertura, bobina de potencial que utiliza la tensión de línea de lado fuente del equipo y mediante motor para la carga de un mecanismo.

En los restauradores telecontrolados la detección de fallas se realiza por medio de transformadores de corriente tipo boquilla, y a través de circuitos electrónicos se provee la señal de disparo y el pestillo de apertura es accionado una pequeña bobina alimentada por una batería, la cual es continuamente cargada por la corriente de la línea.

Los restauradores automáticos cuentan también con un dispositivo para apertura por falla a tierra, con excepción de los de pequeña capacidad, estos dispositivos de falla a tierra generalmente tienen sensibilidad de 5 amperes.

La ventaja de los restauradores va más allá de la simple detección y despeje automático de fallas y recierres, ya que cuenta con la característica de poder operar con diferentes curvas de tiempo-corriente dentro de una misma secuencia de operación, seleccionables

Lo anterior se ejemplifica para un determinado restaurador, que al detectar una falla dispara en pocos ciclos, este disparo rápido minimiza la probabilidad de cualquier daño en un sistema. Luego recorrerá en 1 0 2 segundos, lo que significa una mínima interrupción del servicio.

Después de 1, 2 o posiblemente 3 de estas operaciones rápidas, el restaurador automáticamente cambia a una operación de disparo lento.

La combinación de las operaciones rápidas y lentas permite la adecuada coordinación con otros dispositivos de protección.

Otra característica del relevador es la reposición automática, si un restaurador es ajustado, para quedar abierto después de su 4ª operación de apertura, pero la falla ha sido despejada después de la 1ª, 2ª, o 3ª operación, el restaurador se pondrá automáticamente a su posición original y será capaz de llevar a cabo otras operaciones, en el caso de que la falla sea permanente será necesario cerrarlo manualmente.

2.6.3 Tipos de restauradores.

- Restauradores automáticos.
- Restauradores telecontrolados.

Los restauradores automáticos de distribución pueden clasificarse de la siguiente manera:

- a) Por el número de fases
 - Trifásico

 - Monofásicos

- b) Por el medio de interrupción
 - Aceite

 - Vacío

 - SF6

- c) Por el medio aislante
 - Aceite

 - SF6

- d) Por el tipo de control
 - Mecánico

 - Hidráulico

 - Electrónico

 - Microprocesado

2.7 Equipos auxiliares para la detección de fallas y operación de protecciones [1]

En la aplicación y diseño de los sistemas de protección, es necesario utilizar algunos equipos auxiliares que resultan indispensables e importantes para el buen funcionamiento de los equipos de protección, entre los que están los transformadores de instrumentos, los detectores de fallas y los registradores de disturbios.

Siempre que los valores de voltaje y corriente en un circuito de potencia sean altos para permitir la conexión directa de los instrumentos de medición o protección, es necesario realizar el acoplamiento por medio de transformadores de instrumentos, llamados así porque

su aplicación es exclusivamente para propósitos de medición y/o protección de los sistemas de potencia mediante instrumentos.

La definición o nombre de “transformadores de instrumento” es una clasificación general para transformadores de corriente o de potencial (voltaje) y son dispositivos para modificar y transformar en forma precisa la corriente o el voltaje u otro valor menor, por las siguientes razones:

1. Para reducir en forma precisa, por medio de la transformación la magnitud de la corriente o el voltaje del circuito primario a valores más manejables que sean de uso en las salidas por lo general 120 V o 115 V (en voltaje) y 5A (en corriente).
2. Para aislar el equipo secundario (instrumento de medición y/o protección) de los voltajes primarios que son peligrosos.
3. Para dar a los usuarios mayor flexibilidad en la utilización del equipo, en aplicaciones tales como: medición y protección.
4. Para permitir a los usuarios su uso y a los fabricantes su fabricación menos costosa, mediante el uso de componentes estándares para mayor economía y flexibilidad de aplicación.

El uso de los detectores de fallas y registradores de disturbios en los sistemas de protección, aumentan el nivel de seguridad de los sistemas de protección y por lo tanto de la red eléctrica total.

2.7.1 Transformadores de corriente.

Los transformadores de corriente se conectan con su devanado primario en serie con el circuito que se quiere proteger y puesto que las corrientes primarias son relativamente grandes, éste tiene muy pocas espiras; generalmente el devanado primario está formado por un solo conductor el cual pasa a través de un núcleo en forma de anillo alrededor del cual se devana el secundario como un toroide uniforme, como se muestra en la figura 2.10

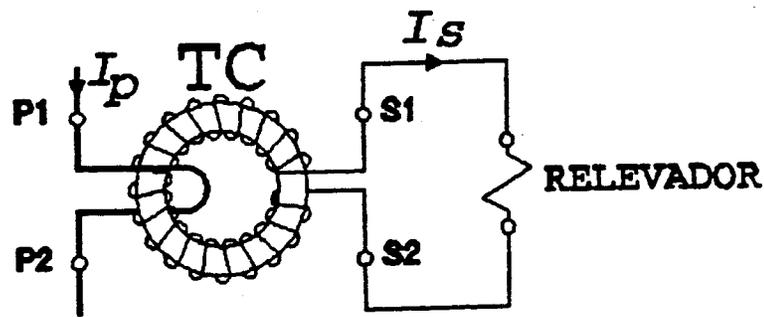


Figura 2.10 Diagrama de conexiones de un transformador de corriente.

La función principal del TC's es transformar o cambiar un valor de corriente de un circuito a otro que permita la alimentación de instrumentos y que por lo general es de 5 Amp. En todos los transformadores de corriente hay un estado de equilibrio entre la intensidad de corriente, el flujo magnético y la tensión, parte de la intensidad de corriente primaria produce el flujo magnético, el cual a su vez genera la tensión en el devanado secundario, y parte es para balancear los ampere-espiras secundarios.

Es necesario mantener siempre el secundario de un transformador de corriente en cortocircuito a través de una impedancia relativamente baja, debido a que en circuito abierto toda la corriente primaria actúa de magnetización, y por consiguiente la tensión secundaria viene a ser peligrosa; la saturación magnética del núcleo de hierro no limita la tensión de circuito abierto, puesto que ésta es proporcional a la relación de cambio máximo de flujo, lo que ocurre cuando el flujo pasa a través de cero.

Los transformadores de corriente para protección, a diferencia de los que se utilizan exclusivamente para medición, en la mayor parte de sus aplicaciones deben de dar una respuesta adecuada en condiciones de falla del circuito principal, de aquí que sus requerimientos de exactitud se refieren a esas condiciones.

En la aplicación adecuada de los transformadores de corriente para protección se deben considerar varios requerimientos tales como: variación de transformación, clase de exactitud, condiciones de servicio, clase y nivel de aislamiento, corriente térmica de cortocircuito, corriente dinámica de cortocircuito y construcción mecánica.

Las funciones básicas del transformador de corriente son:

- Proveer aislamiento adecuado entre el voltaje pleno del sistema y los instrumentos que normalmente operan a voltajes bajos que no representen peligro para los equipos ni para el personal
- Reducir en forma proporcional los valores de corriente del sistema, para que sean utilizados por los dispositivos de protección y medición.

E_s = Tensión secundaria de excitación

Z_s = Impedancia propia del devanado de baja tensión.

I_s = Corriente secundaria

V_t = Tensión final secundaria

Z_c = Impedancia de la carga

La corriente primaria se transforma sin error de relación ó de ángulo de fase a una corriente I_p/N , “conocida como corriente primaria referida al secundario”. Parte de esta corriente es consumida por la excitación del núcleo (I_e), la restante (I_s) es la verdadera corriente secundaria.

La corriente de excitación del núcleo es una función de la tensión secundaria de excitación (E_e) y de la impedancia secundaria de (Z_e). La gráfica que relaciona el voltaje de excitación con la corriente de excitación es conocida como curva de saturación de un TC.

Las curvas de saturación de un TC tipo boquilla, son proporcionadas por el fabricante o determinadas mediante pruebas de campo.

El efecto presentado por la disminución de la impedancia de magnetización del núcleo de TC, se observa con un aumento no proporcional en la corriente secundaria de excitación (localizada arriba de la rodilla de la curva de saturación).

Este efecto es conocido como SATURACIÓN. Cuando se presenta, provoca en la mayoría de los casos un retraso en la operación de las protecciones de sobrecorriente.

De lo explicado anteriormente puede analizarse el comportamiento de un TC ante diferentes situaciones, como las descritas a continuación.

- La corriente primaria es demasiado grande.

La corriente primaria “ I_p ” crece, la corriente I_p/N crecerá proporcionalmente a la primera. Supongamos que la corriente “ I_p ,” es mayor a la especificada en el diseño de TC, las corrientes secundarias de excitación (I_e) y carga (I_s), crecerán también.

Al crecer la “ I_e ”, la excitación del núcleo será mayor y como ya habíamos dicho, el efecto que se presentará será similar a la disminución de la impedancia secundaria de magnetización (Z_e), provocando un crecimiento mayor de la corriente I_e que de la “ I_s ”.

El aumento de la “ I_e ” presenta el efecto de la histéresis del núcleo magnético, traerá consigo un calentamiento y por lo mismo un daño si la exposición es prolongada

- La impedancia de carga es demasiado grande.

Cuando la impedancia de carga (Z_c) tiene una magnitud mayor a la que el TC puede alimentar, la tensión final secundaria (V_T) será mayor para el valor de I_p que el transformador normalmente puede soportar sin problemas. Al ser mayor V_T , la corriente de magnetización crecerá, logrando un efecto similar al anterior.

- El circuito secundario es abierto.

Cuando el circuito secundario abierto, toda la corriente primaria servirá para magnetizar el núcleo, provocando que el voltaje secundario “ V_T ” crezca hasta un valor dado por:

$$V_T = I_p (Z_e / N)$$

Que normalmente es lo suficiente grande para provocar la ruptura del aislamiento entre espiras, explosión del TC ó daños al personal.

2.7.1.1 Carga de un transformador de corriente.

Las consideraciones de la exactitud de un transformador de corriente requieren del conocimiento de la carga conectada a sus bornes secundarios. La carga del transformador de corriente es la impedancia que se conecta a sus bornes secundarios, ésta generalmente se expresa en términos de impedancia así como de sus componentes de resistencia e inductancia.

Las publicaciones de los fabricantes de instrumentos dan los valores de las cargas individuales de los relevadores, medidores, etc., de los cuales en conjunto con la resistencia de las terminales de unión se puede calcular la carga total conectada al secundario del transformador.

La impedancia de la carga de un transformador de corriente disminuye conforme aumenta la corriente secundaria, debido a la saturación de los circuitos magnéticos de los relevadores y otros dispositivos, de aquí que, el valor de una carga dada solo se puede aplicar para un valor específico de la corriente secundaria.

Cargas nominales de exactitud

Con el objeto de normalizar la fabricación de los transformadores de corriente, se han establecido normas donde se indican las cargas nominales para la verificación de su exactitud y se muestran en la tabla 2.1.

Si un transformador de corriente está normalizado para una corriente nominal secundaria diferente a 5A. Las especificaciones de la carga se pueden deducir multiplicando la resistencia y la inductancia dadas en la tabla 2.1 por $[5/(\text{amperes nominales})]^2$; la carga en VA y su correspondiente factor de potencia permanecen sin cambio. Por ejemplo para un transformador de corriente nominal secundaria de 1A. la carga B1, tendrá una resistencia igual a $0.5(5/1)^2 = 12.5 \Omega$, una inductancia igual a $2.3(5/1)^2 = 57.5 \text{ mH}$ y una impedancia igual a $1(5/1)^2 = 25 \Omega$.

TABLA 2.1. Cargas de 5 A. a una frecuencia de 60 Hz nominales de exactitud para transformadores con corriente nominal secundaria.

carga	Características de la carga			Potencia aparente VA	Factor de potencia
	Impedancia Ω	Resistencia Ω	Inductancia mH		
B0.1	0.1	0.09	0.116	2.5	0.9
B0.2	0.2	0.18	0.232	5.0	0.9
B0.5	0.5	0.45	0.580	12.5	0.9
B1	1.0	0.5	2.3	25.0	0.5
B2	2.0	1.0	4.6	50.0	0.5
B4	4.0	2.0	9.2	100.0	0.5
B8	8.0	4.0	18.4	200.0	0.5

2.7.1.2 Clasificación de la exactitud de los transformadores de corriente para protección.

Las normas nacionales clasifican la exactitud de los transformadores de corriente que se utilizan en los sistemas de protección eléctrica, considerando que los transformadores suministran 20 veces la corriente nominal secundaria a una carga nominal de exactitud específica, y se clasifican en base al valor de la tensión eficaz máxima que pueden mantener en sus bornes secundarios sin que el error de relación sea mayor de 10%.

Las clases de exactitud se designan por dos símbolos, una letra y un número, los cuales describen las características del transformador.

Las letras utilizadas son la “C” y la “T”. La clasificación “C”, cubre los transformadores de corriente del tipo toroidal, boquilla o dona, con su devanado secundario distribuido uniformemente y cualquier otro tipo de transformador en el que el flujo de dispersión en el núcleo tenga un efecto despreciable sobre el error de relación, dentro de los límites de corriente y carga establecidos en las normas. La clasificación “T”, cubre los transformadores en los que el flujo de dispersión tiene un efecto apreciable en el error de relación. Un efecto apreciable se define como una diferencia de 1% entre el valor de la corrección real de la relación y el valor de la corrección calculada de la relación.

El número indica la tensión eficaz máxima que el transformador desarrolla en sus bornes secundarios con una carga nominal de exactitud específica, cuando por ella circula una corriente igual a 20 veces la corriente nominal secundaria, sin que el error de relación sea mayor del 10%.

En la figura 10 se muestran en forma esquemática los transformadores clasificados como “C” y “T”.

En la tabla 2.2 se da la clasificación de las clases de exactitud normalizadas para protección, para transformadores de corriente.

Tabla 2.2. Clases de exactitud para protección. Transformador 5A.

CLASIFICACION DE LA EXACTITUD		TENSIÓN NOMINAL SECUNDARIA V	CARGA NOMINAL DE EXCATITUD
C	T		
C10	T10	10	B0.1 Ω
C20	T20	20	B0.2 Ω
C50	T50	50	B0.5 Ω
C100	T100	100	B1 Ω
C200	T200	200	B2 Ω
C400	T400	400	B4 Ω
C800	T800	800	B8 Ω

En la tabla las tensiones nominales secundarias están basadas en una corriente nominal secundaria de 5 A. La clasificación de la exactitud para protección, para transformadores tipo boquilla con relación múltiple y derivaciones en el secundario, se aplica solamente cuando se usa el devanado completo.

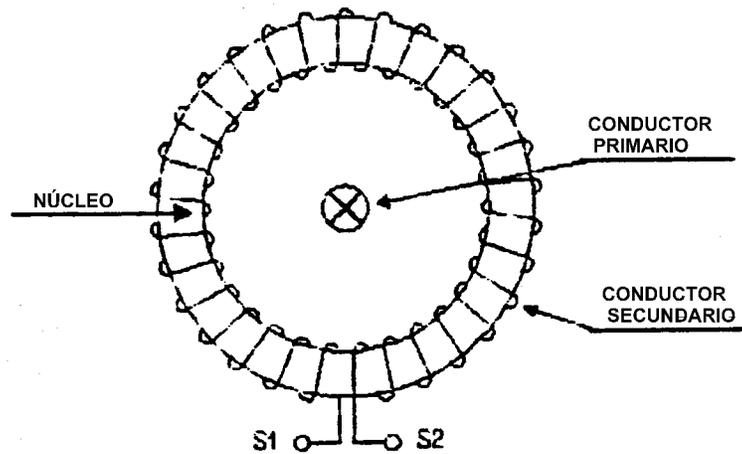


Figura 2.12 Transformador de corriente con clasificación "C".

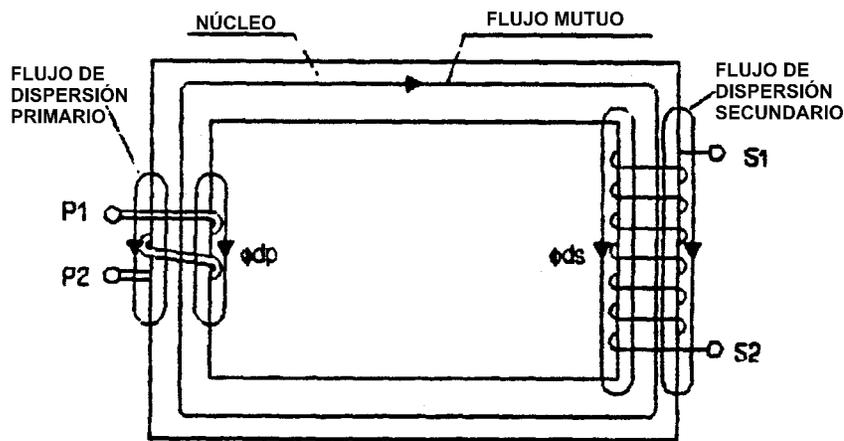


Figura 2.13 Transformador de corriente con clasificación "T".

2.7.1.3 Efectos de las corrientes de falla en los transformadores de corriente.

De la misma manera que las corrientes de falla afectan a equipos eléctricos tales como transformadores, conductores, etc.; los transformadores de corriente deben seleccionarse adecuadamente para evitar su daño o el causar problemas a los relevadores de protección.

Las normas ANSI C57 e IEC 44 indican que los transformadores de corriente para aplicación en sistemas de protección, deben ser clase C; siendo por tanto despreciable las pérdidas de flujo.

Esta clase de transformadores de corriente tienen un error de relación menor del 10% hasta 20 veces la corriente nominal.

Por estar conectadas en serie en las líneas y redes de distribución, los transformadores están sometidos a las mismas sobretensiones y sobrecorrientes que existen en el sistema.

En general las sobrecorrientes son considerablemente superiores a las corrientes nominales de los transformadores de corriente y originan efectos térmicos dinámicos que pueden dañar a estos equipos.

La corriente de corto circuito crean problemas tanto térmicos como dinámicos a los transformadores de corriente, debiendo ser estos capaces de soportar su intensidad de calentamiento nominal, sin que la temperatura de los arrollamientos sobrepase el valor admisible según la clase de aislamiento.

Se considera que todo el calor producido queda almacenado en el conductor primario, cuyo calentamiento máximo se determina en cada norma.

De acuerdo con las normas ANSI solo se admiten dos tipos de transformadores de corriente, desde el punto de vista de calentamiento: los de clases 55 y 30 grados centígrados respectivamente.

Lo anterior da como resultado que los valores de intensidad de calentamiento sean de acuerdo a normas de 1.00, 1.33, 1.50, 2.00, 3.00 y 4.00; además la normativa mencionada especifica que cada una de estas clases una variación de intensidad límite térmica (r.f.)

Los esfuerzos dinámicos o mecánicos son funciones del valor máximo de cresta de la corriente de corto circuito. La intensidad dinámica de corto circuito se obtiene a partir de la térmica, teniendo en cuenta que ésta viene dada en valor eficaz y aquella en valor de cresta máxima. Por lo tanto, la resistencia mecánica de los TC's al corto circuito está dada en función de la intensidad del límite térmico y dinámico.

Para el caso en C.F.E., y de acuerdo a la normativa internacional vigente, se ha establecido que los TC's soporten hasta 20 veces su corriente nominal sin ningún problema. Por tanto, en el lugar donde se instalen este tipo de equipos, el nivel de corto circuito por ningún motivo debe de superar 20 veces la corriente nominal primaria del transformador de corriente.

2.7.1.4 Conexiones de los transformadores de corriente.

Los tipos de conexiones de TC's más usados en los esquemas de protección por sobrecorriente son:

- a.- Conexión monofásica.
- b.- Conexión estrella.

La conexión monofásica se emplea para conducir las corrientes de secuencia cero ($3I_0$) que circulan a través del neutro de un transformador. Esta corriente es sensada por un relevador de sobrecorriente a tierra como se muestra en la figura 2.14.

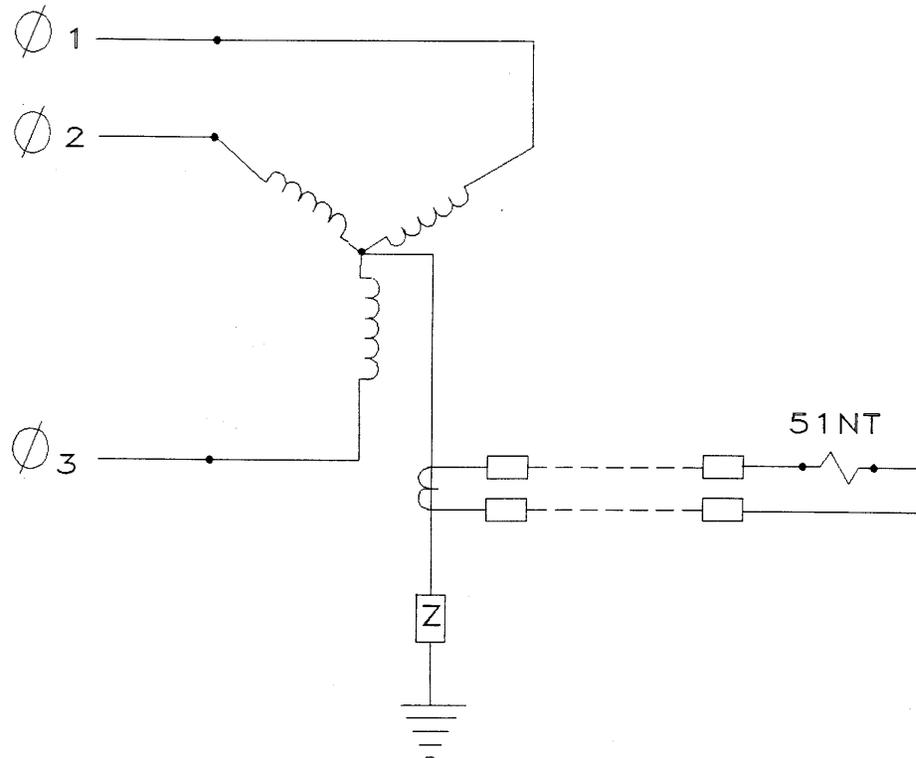


Figura 2.14 Conexión monofásica de un transformador de corriente.

La conexión estrella es usada en sistemas trifásicos. La corriente secundaria de cada fase es conducida y conectada en serie con los circuitos de relevadores de fase, que al igual que los devanados de los secundarios están conectados en estrella. Según el tipo de protección empleada, se puede contar o no con un relevador en el neutro figura 2.15.

Debe cuidarse que la conexión de los puntos de polaridad sea la correcta para las 3 fases. La inversión de una o dos fases desbalanceará la estrella, provocando una corriente residual en el neutro.

La inversión de las polaridades de las 3 fases, invertirá únicamente la dirección de las corrientes secundarias. Esta acción no afecta a los esquemas de protección por sobrecorriente no direccionales.

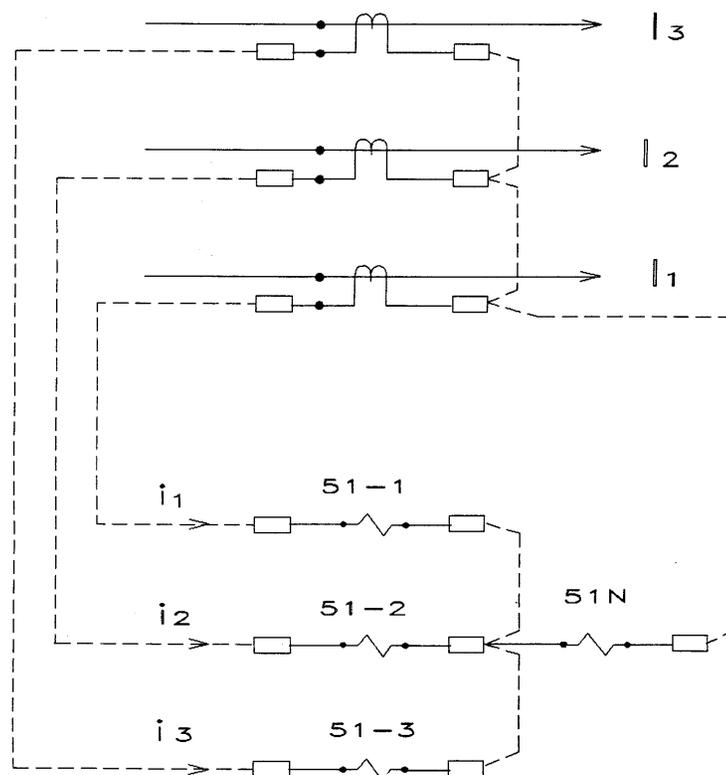


Figura 2.15 Conexión trifásica de transformadores de corriente.

2.7.2 Transformadores de potencial.

Los transformadores de potencial se emplean para medición y/o protección, los cuales permiten reducir un voltaje de un valor (el nominal), a valores utilizados por instrumentos de medición o protección (generalmente 120 volts). Las tensiones primarias pueden tener valores relativamente altos.

Los transformadores de potencial se diseñan para conectarse en paralelo con la carga, en la misma forma que se conecta un voltmetro ordinario. En la figura 2.16 se muestra el diagrama de conexión de un transformador de potencial, en ella se puede observar que el devanado primario está conectado en paralelo con la carga principal, y a su vez el devanado secundario está conectado en paralelo con elementos de gran impedancia tales como voltmetro, bobinas de potencial de wattmetros, bobinas de potencial de wathorímetros, etc.

Puesto que la tensión en el devanado secundario tiene una proporcionalidad conocida con respecto a la tensión en el devanado primario, cualquier cambio en la tensión aplicada al devanado primario se refleja en los instrumentos conectados en paralelo con el devanado secundario.

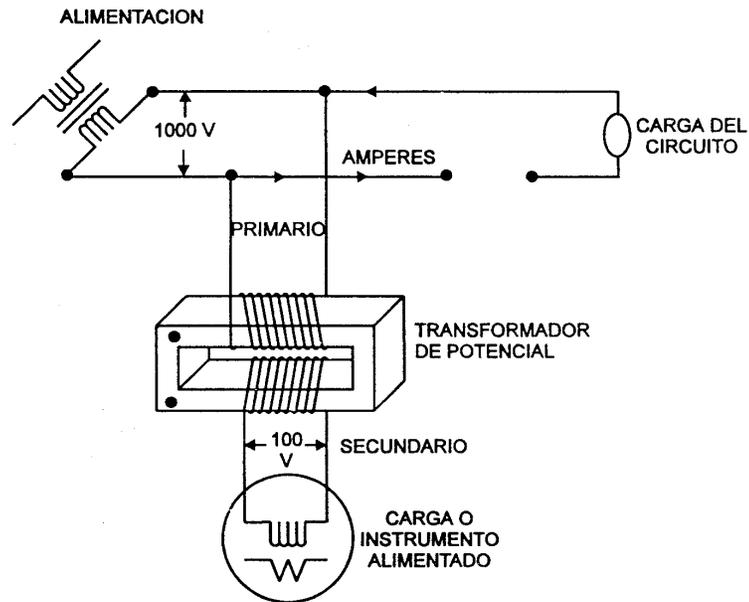


Figura 2.16 Diagrama de conexión de un TP.

De acuerdo con las normas nacionales NOM, los bornes del devanado primario se marcan con las letras e índices P_1 y P_2 , y los del devanado secundario con S_1 y S_2 como se indica en la figura 2.17(a) siguiente.

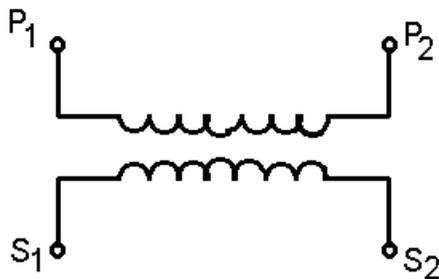


Figura 2.17 (a). Simple relación de Transformación.

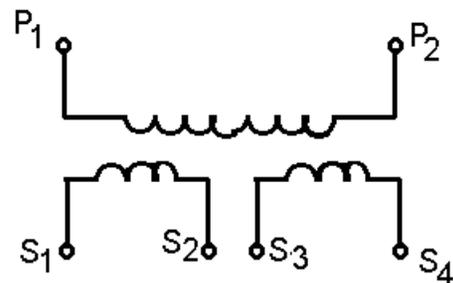


Figura 2.17 (b). Simple relación provista con 2 devanados secundarios independientes.

Si el transformador lleva dos devanados secundarios, el primario se señala con S_1 y S_2 , y el segundo con S_3 y S_4 . El devanado de mayor exactitud se marca con S_1 y S_2 , como lo indica la figura 2.17 (b).

La tensión nominal secundaria de los transformadores de potencial se ha normalizado a 115 o 120 volts, dependiendo de su nivel de aislamiento.

ESPECIFICACIONES GENERALES DE UN TRANSFORMADOR DE POTENCIAL (TP)

1. Relación de transformación
2. Potencia de alimentar (volt-amperes)
3. Clase de precisión
4. Tipo de servicio (interior/intemperie)
5. Número de devanados; 1 primario y 1 secundario, un primario y 2 secundario
6. Especificaciones dieléctricas
 - a) Nivel de aislamiento al impulso de 1.2/50 microsegundos
 - b) Nivel de aislamiento a la tensión de 60 Hz un minuto

CLASE DE PRECISIÓN: Error máximo admisible expresado en % que un transformador de instrumento puede introducir en una medición de potencia.

NIVELES DE AISLAMIENTO: Nivel básico de aislamiento: valor máximo de cresta de una onda de impulso normalizada (1.2 x 50 microsegundos) que puede soportar el equipo sin sufrir ruptura dieléctrica.

NIVEL BÁSICO DE AISLAMIENTO A LA TENSIÓN SOSTENIDA: Valor eficaz máximo de una onda alterna de frecuencia fundamental que puede soportar el dispositivo durante un tiempo de 60 segundos sin sufrir ruptura dieléctrica.

CONSIDERACIONES DE OPERACIÓN: Para respetar las condiciones impuestas en cuanto a la clase de precisión es necesario que el TP no sea sobrecargado, la carga impuesta en volt-amper, se obtiene sumando los consumos individuales de cada uno de los dispositivos conectados a su secundario, la cargabilidad en ohms se expresa como el mínimo valor de impedancia a conectarse en las terminales del devanado secundario, lo que equivale a que al no conectarse ningún instrumento al secundario, este deberá mantenerse en circuito abierto, siendo la impedancia total conectada al secundario, la resolución del paralelo de las impedancias individuales de cada uno de los instrumentos conectados.

RELACIONES DE UN TRANSFORMADOR POTENCIAL

En los transformadores de potencial se pueden distinguir tres tipos de relaciones, estas son: la relación nominal, la relación de espiras y la relación verdadera.

La relación nominal K_n es la relación de la tensión nominal primaria V_{pn} , en el devanado primario, a la tensión nominal secundaria V_{sn} , en el secundario, como se indica en la placa de datos y la cual se utiliza para establecer las especificaciones y el comportamiento del transformador de potencial, esto es:

$$K_n = \frac{V_{Pn}}{V_{Sn}} = \frac{\text{Tensión nominal primaria}}{\text{Tensión nominal secundaria}}$$

La relación de espiras n de un transformador de potencial es la relación del número de espiras en el devanado primario al número de espiras en el devanado secundario, esto es:

$$N = \frac{V_P}{V_S} = \frac{\text{No.de espiras en el devanado primario}}{\text{No.de espiras en el devanado secundario}}$$

La relación de un transformador de potencia K_V , es la relación de la tensión en los bornes primarios a la tensión en los bornes secundarios.

$$K_V = \frac{\text{Tensión primaria}}{\text{Tensión secundaria}}$$

La variación verdadera no es un solo valor fijo, ya que ésta depende de condiciones específicas.

2.7.2.1 Cargas nominales de exactitud y clases de exactitud para transformadores de Potencial.

Puesto que los errores de relación y de ángulo de fase en un transformador de potencial dependen de la naturaleza de la carga secundaria y con el objeto de caracterizar al transformador por su clase de exactitud, las normas nacionales han definido cargas específicas, estas cargas se denominan cargas nacionales de exactitud y se definen como la carga expresada en ohms y factor de potencia con la cual se garantiza los límites del error o sea la clase de exactitud. Las cargas normalizadas se han elegido para cubrir la gama de valores que se encuentran en el servicio. (Ver tabla 2.3).

Tabla 2.3 Cargas nominales de exactitud para transformadores de potencial, con tensión nominal secundaria de 120 v y frecuencia de 60 Hz.

DESIGNACIÓN	CARGA NOMINAL	FACTOR DE POTENCIA	RESISTENCIA	REACTANCIA	CORRIENTE
W	12.5	0.1	115.2	1146.2	0.104
X	25.0	0.7	403.2	411.26	0.208
Y	75.0	0.85	163.2	100.99	0.625
Z	200.0	0.85	61.2	37.87	1.67
ZZ	400.0	0.85	30.6	18.94	3.33

La clase de exactitud se designa por los límites del error en %, que el transformador puede introducir en la medición, operando con una tensión primaria comprendida en un campo del 90% al 110% de la tensión nominal, con frecuencia nominal, desde la condición de vacío hasta la carga especificada.

Las normas nacionales para transformadores de potencial se clasifican según su clase de exactitud o precisión como 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 0.6, 1.2, 3.5 y recomiendan su utilización según la tabla siguiente: 2.4

Tabla 2.4 Clase de exactitud según las normas nacionales.

CLASE	UTILIZACIÓN
0.1	Calibración en aparato de protección y medición
0.2-0.3	Mediciones en laboratorios, alimentación de integradores (wathorímetros) para sistemas de gran potencia.
0.5-0.6	Instrumentos de medición e integradores (wathorímetros)
1.2-3.5	Vóltmetro de tableros Vóltmetro registradores Wattmetros de tablero Wathorímetro Frecuenciómetro de tablero Sincronoscopio Reguladores de tensión Relevadores de protección

2.7.2.2 Conexiones de los transformadores de potencial.

Los transformadores de potencial generalmente están conectados en cualquiera de las conexiones típicas de los circuitos trifásicos, es decir, delta o estrella, aunque algunas veces se pueden conectar en delta abierta (conexión V) cuando las características de la instalación así lo permitan.

En el caso particular de los transformadores usados para alimentar relevadores de protección es recomendable, en particular para aquellos que alimentan relevadores de fase a tierra, que se conectan con la conexión opuesta a la del devanado del transformador de potencia.

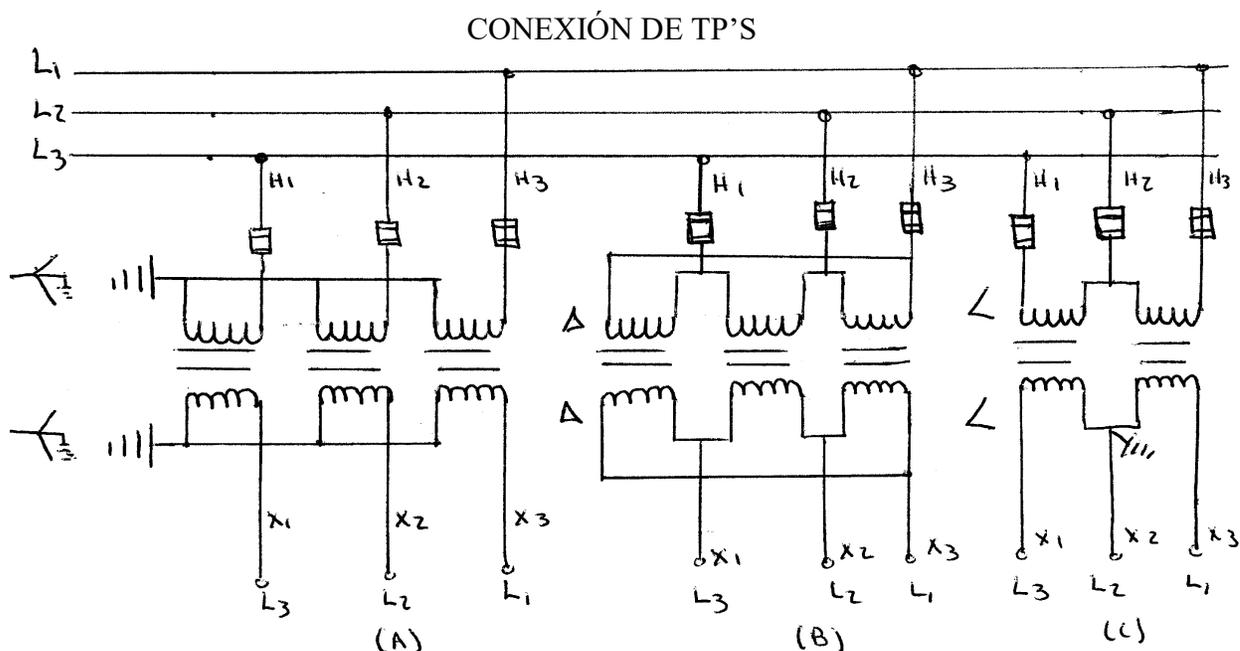


Figura 2.18 Conexión de TP's.

Se selecciona la conexión (A) cuando se requiere la tensión de polarización para relevadores direccionales detectores de falla a tierra. La conexión B y C no proporcionan polarización para relevadores direccionales; de éstas 2, la conexión "C" es la que se utiliza por lo general porque es menos costosa ya que emplea 2 transformadores de potencial.

En la conexión tipo "B" se utilizan 3 transformadores en conexión Δ , por lo cual la carga en cada TC's es menor que en la conexión tipo "C" razón por la cual se utilizaría este tipo de conexión.

2.8. Aspectos generales para la selección de transformadores de instrumento (potencial y corriente) [1,2]

Como elementos generales para la especificación de transformadores de instrumento se deben considerar los siguientes:

- A) Tipo de instalación
- B) Tipo de aislamiento
- C) Potencia
- D) Clase de precisión

A) TIPO DE INSTALACIÓN:

Los transformadores de instrumento se construyen para ser instalados en interiores o exteriores, es decir, pueden ser de tipo interior o de tipo exterior.

Normalmente por razones económicas las instalaciones hasta de 25 Kv se construyen de tipo interior, en tanto que de 34.5 Kv en adelante es prácticamente común que sean intemperie, aún cuando pudiera haber casos particulares de instalaciones con tensiones superiores a 34.5 Kv que fueran tipo interior.

B) TIPO DE AISLAMIENTO:

El tipo de aisladores empleados en los transformadores de instrumento pueden variar según el rango de tensión en que se instalen, así:

b.1) Para baja tensión.

Los transformadores de instrumento usados en baja tensión (hasta 1 Kv) que por lo general son de tipo interior emplean como aislamiento resinas sintéticas o aire.

b.2) Para tensión media.

Los transformadores de instrumento usados en tensiones comprendidos entre 3 y 25 Kv emplean por lo general como aislamiento resinas sintéticas y en algunos diseños antiguos aceite con envoltorio de porcelana. Las resinas sintéticas normalmente se emplean en instalaciones tipo interior en tanto que para las instalaciones de tipo exterior se emplean de porcelana que contiene aceite o bien aislamiento tipo seco.

b.3) Para alta tensión.

Se conceptúan así: a los transformadores de instrumento que se usan en instalaciones eléctricas de 34.5 Kv y tensiones mayores, en estos casos los aislamientos son por lo general de papel dieléctrico impregnado en aceite colocados dentro de porcelana.

Desde el punto de vista de aislamiento los transformadores de instrumento deben cumplir con las siguientes especificaciones:

- Tensión de impulso o de rayo con onda de 1.2/50 microsegundo.
- Tensión a la frecuencia del sistema (60 Hz) durante un minuto.
- Tensión a la frecuencia del sistema (60 Hz) durante 10 segundos en húmedo (para el aislamiento exterior en su caso).

- Tensión de impulso de maniobra con onda de 250/2500 microsegundos (para tensiones superiores a 300 Kv entre fases).
- Descargas parciales
- Factor de potencia dieléctrica.

C) POTENCIA:

Los transformadores de instrumento alimentan a instrumentos de protección o medición los cuales tienen bajo consumo de potencia. No obstante, este parámetro es importante en los transformadores de instrumento ya que tienen relación con la precisión del transformador.

Existen ligeras diferencias en el tratamiento de la determinación de la potencia que debe tener un transformador de corriente o de potencial ya que cada uno opera con un parámetro fundamental diferente; pero en general los elementos que intervienen en la determinación de la potencia son:

- 1) la potencia de los instrumentos por alimentar
- 2) El consumo de potencia de los conductores que conectan al transformador con los instrumentos por conectar.

Estas cantidades son las que frecuentemente determinan que un transformador de instrumentos tenga dos relaciones de transformación (dos devanados secundarios) o bien características distintas de relación de transformación.

La representación convencional para los transformadores de corriente y de potencial es la siguiente:

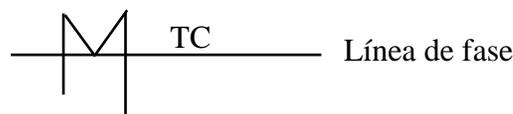


Figura 2.19 Representación para los TC.

El punto respresenta la polaridad que debe estar en correspondencia con la del interruptor por alimentar.

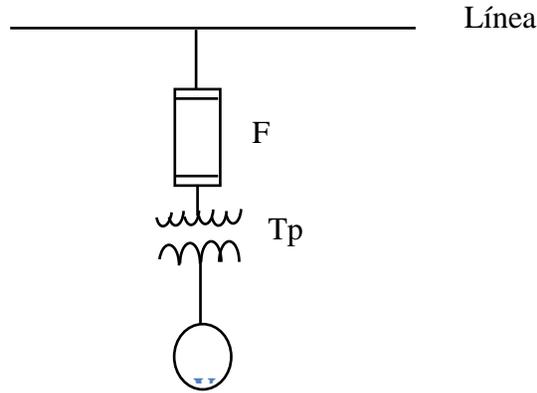


Figura 2.20 Representación para los TP.

F = Fusible de protección contra altas corrientes al TP
 V = Volmétró o instrumento por alimentar.

Es frecuente, sobre todo en instrumentos de alta tensión que la distancia entre el transformador de instrumento y el instrumento de medición oprotección sea realtivamente grande, por lo que se debe tomar en consideración el consumo de potencia de los conductores de alimentación.

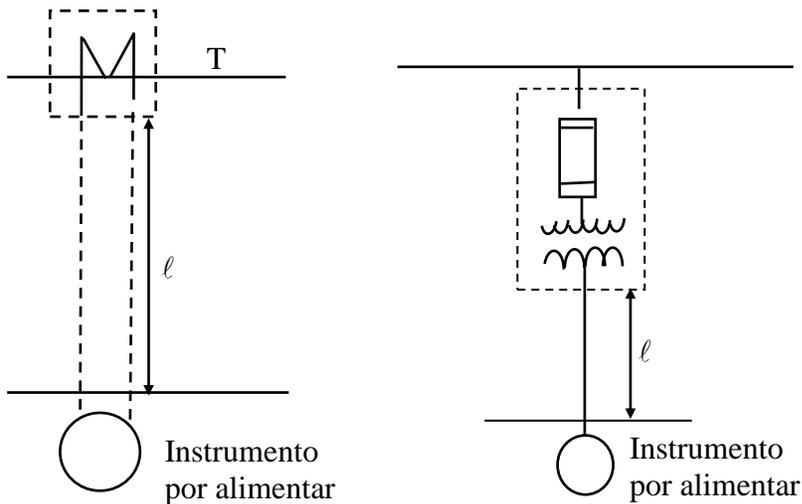


Figura 2.21 Conexión con los instrumentos de medición.

D) CLASE DE PRECISIÓN:

La clase de precisión de los transformadores de instrumento depende del tipo de instrumento por alimentar (de mediciones o de protección), de la potencia de consumo y su factor de potencia. Estos instrumentos se toman en consideración en las recomendaciones que por medio de tablas proporcionan los fabricantes.

CAPITULO III

ESQUEMAS DE ACCIÓN REMEDIAL Y ESQUEMAS DE PROTECCIÓN DE SISTEMAS

Los EAR y EPS son un conjunto de acciones de control automáticas y coordinadas, destinadas a garantizar que el SEP esté protegido frente a grandes perturbaciones que implican múltiples contingencias, por lo general no son causadas por desastres naturales, sino por las condiciones operativas que se van presentando. Los EAR se utilizan principalmente para aumentar la seguridad operativa del SEP.

Los EAR y EPS son un subproducto del proceso de planificación de la operación, cuando en las evaluaciones anuales se comprueba que las capacidades de los sistemas de generación y transmisión, sean inadecuadas o insuficientes para resistir las perturbaciones consideradas por los criterios de planificación del SEP.

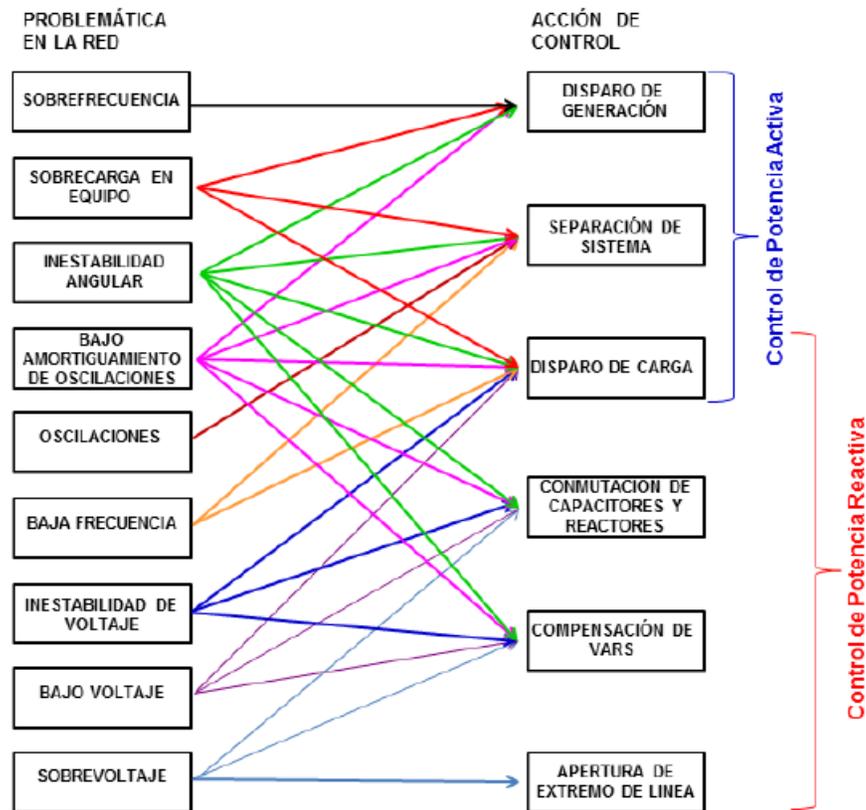


Figura 3.1 Identificación de problemáticas en la red y acciones de control correspondientes.

3.1 Definición de esquema de acción remedial [3]

Es un esquema de protección cuyo propósito es detectar una condición particular de la red que se conoce a través de estudios, provoca una condición inusual de estrés al SEP con efectos tales como, sobrecarga, inestabilidad angular, de frecuencia o de voltaje, tomando un tipo de acción predeterminada, como disparo de generadores, corte de carga intencional, cambio automático de topología, para contrarrestar la condición de una manera controlada.

En la siguiente figura se ilustra la secuencia de eventos que destacan la operación de un EAR en un sistema eléctrico de potencia.

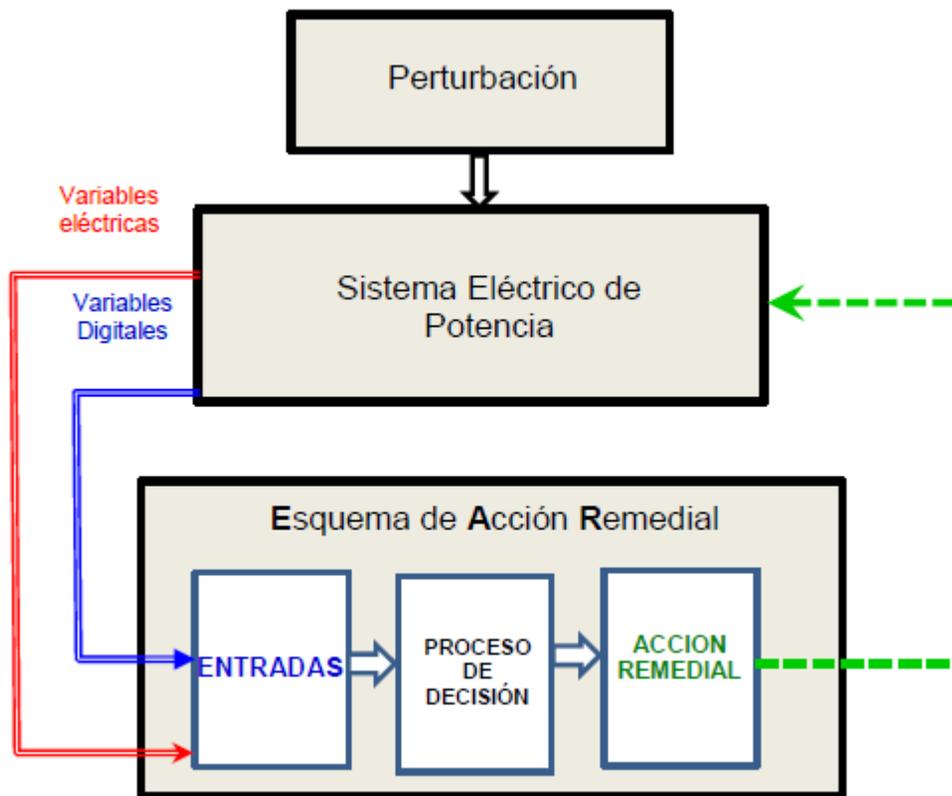


Figura 3.2 Diagrama de flujo de eventos durante la operación de un EAR.

3.2 Definición de esquema de protección de sistema [3]

Un EPS es considerado como un nivel de protección adicional, diseñado para iniciar el último intento de estabilizar el SEP cuando un colapso parcial o total es inminente. El objetivo de contar con un EPS es detener el abatimiento de frecuencia o voltaje, regresarlos a una banda operativa y conservar íntegro el SEP, segregar islas en forma controlada y evitar el colapso del sistema.

El EPS se considera en general para operar rara vez, pero para eventos previsible que podrian debilitar la integridad de la red. Su función es muy distinta a la del EAR que aísla uno o varios elementos del SEP cuando se tiene un evento.

Para los EPS, se requieren estudios considerables de planificación operativa, no sólo para tratar eficazmente disturbios específicos, sino también para asegurar la interacción con otros esquemas automáticos como los EAR. Una de las características de los EPS, es la desconexión de carga distribuida, como una acción final para salvaguardar al SEP y suavizar los efectos ocasionados en los voltajes del sistema.

3.3 Clasificación de los EAR [3]

Los EAR que se encuentran actualmente en operación en el SEN se clasifican en los siguientes grupos, así como las causas que originan su operación.

A). DISPARO AUTOMATICO DE GENERACIÓN (DAG)

- Límite por sobre carga de líneas de transmisión y/o transformadores
- Límite por sobre frecuencia
- Límite de estabilidad angular.

DAG : Se implementa para el disparo de unidades de generación, ante la pérdida de elementos primarios de transmisión que ocasionan sobrecarga o sobrefrecuencia en la red local o la pérdida de estabilidad del sistema. Se debe disparar una o varias unidades generadoras de acuerdo a la condición operativa, para mantener la integridad del sistema. Esta medida de emergencia se ha utilizado para mantener a los enlaces que permanecen en servicio dentro de sus límites de operación.

B). DISPARO AUTOMÁTICO DE CARGA (DAC)

- Sobrecarga de transformadores o líneas.
- Límite de estabilidad voltaje.
- Límite de estabilidad angular.

DAC: Se implementa para el corte de carga de manera controlada y se aplica bajo las siguientes condiciones:

a). Por sobrecarga a transformadores o líneas de transmisión ante la pérdida de elementos primarios en la misma subestación o en otras instalaciones.

- b). Por pérdida de estabilidad angular.
- c). Por pérdida de estabilidad de voltajes.

3.4 Clasificación de los EPS [3]

- Corte de carga por baja frecuencia E81.
- Corte de carga por bajo voltaje E27.

CORTE DE CARGA POR BAJA FRECUENCIA (E81)

Se implementa para lograr el balance de carga-generación, ocasionado por pérdida de generación o elementos de transmisión.

CORTE DE CARGA POR BAJO VOLTAJE (E27)

Se implementa para evitar el colapso de voltaje o voltajes no adecuados en una región, ocasionados por deficiencia de potencia reactiva o por altas transferencias de potencia reactiva.

3.5 Esquema de bajo voltaje EPS (E27) [3]

El esquema de protección de sistemas de corte de carga por bajo voltaje (EPS E27), tiene como objetivo determinar la ubicación, ajustes y monto de carga a afectar en una región determinada ante contingencias que provoquen decrementos en voltajes, tales que no permitan un suministro de energía eléctrica con calidad convenida con los usuarios.

Los sistemas eléctricos de potencia que suministran energía a instalaciones industriales, hoy están mas susceptibles a colpasos de voltaje, sobre todo en aquellos sistemas donde las fuentes de generación están alejadas de los centros de cargas. Lo anterior incrementa las pérdidas de potencia reactiva, puesto que la impedancia de las líneas de transmisión es principalmente reactiva.

La implementación del EPS E27 permitirá afectar carga para que el sistema se aleje de la zona de colapso de voltaje y también para no alimentar carga fuera del rango convenido con los usuarios de acuerdo con la Ley de Servicio Público de Energía Eléctrica.

La desconexión de carga es una acción de control de emergencia destinada a garantizar la estabilidad de voltaje, reduciendo la carga del sistema para suministrar la energía eléctrica con la calidad convenida.

En el diseño de un EPS E27 se deben cubrir ciertos requerimientos que no necesariamente pueden generalizarse, pero deben cumplir al menos donde sea posible con:

- El diseño del EPS E27 debe considerar el bloqueo del mismo ante la pérdida de potencial.
- El diseño del EPS E27 debe considerar las condiciones de seguridad necesarias (voltaje de secuencia negativa) para no operar en falso durante fallas transitorias que se presentan en el SEP.
- El EPS E27 debe estar coordinado con el resto de los esquemas de protección eléctricos del SEP (protecciones 50, 21,67, 87, 85, etc.).
- Los tiempos de operación del EPS E27 son de 1.5 a 10 segundos y no son diseñados para aliviar problemas de estabilidad transitoria.
- En los circuitos, líneas y transformadores donde se tengan relevadores 27, ante la operación de este, el cierre (79) debe quedar bloqueado.

En la siguiente figura se muestra un ejemplo de lógica del esquema de afectación de carga por bajo voltaje. En esta lógica se verifica tener un abatimiento en las tres fases menor a 0.9 p.u. de voltaje, se verifica que este voltaje sea menor a 0.2 p.u. lo cual indicaría que el abatimiento se debe a causas que no podrían ser resueltas con afectación de carga y además que no se tiene presencia de secuencia negativa, con lo cual se descartarían algunas condiciones de falla en la red, cumplidas estas condiciones y si éstas se mantienen durante 4 segundos darían la señal de afectación de carga.

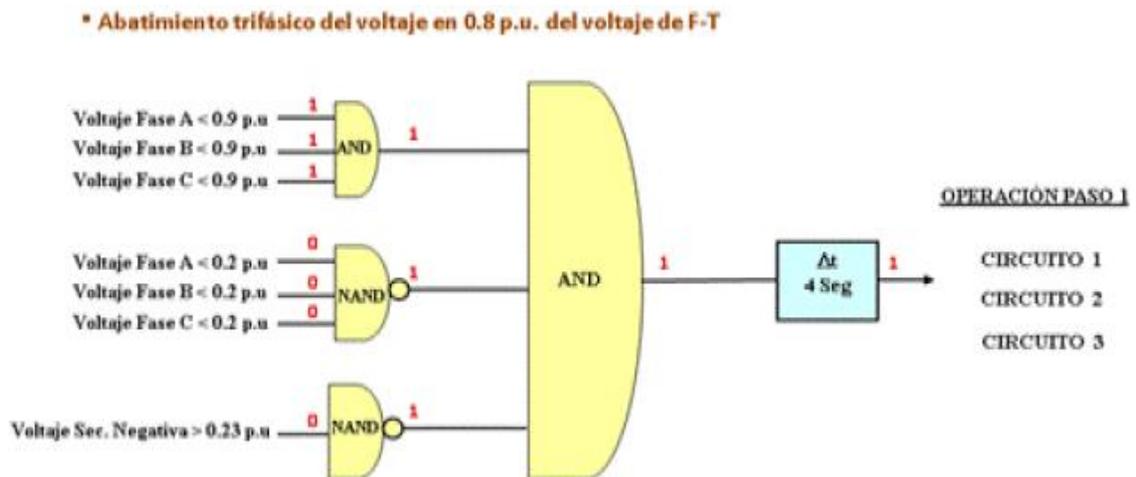


Figura 3.3 Diagrama lógico del esquema de afectación de carga por bajo voltaje.

Los equipos que se utilicen para la implementación del EPS E27, deberán ser relevadores de protección aceptados con la función 27 en el listado de sistemas de protección aprobados LSPA 62-2012 antes LAPEM 05L.

El elemento de medición censará el voltaje en las tres fases y operará cuando se alcance el umbral y haya transcurrido el tiempo del ajuste.

CAPITULO IV

PROTECCIÓN DE BAJO VOLTAJE (E27).

4.1 Relevador de bajo voltaje [3]

Un relevador de bajo voltaje opera cuando este fluye a través de una bobina de relevador por debajo de un valor predeterminado. Un relevador de bajo voltaje protege cargas contra la caída de voltaje que puede llevar a cortes de energía y a apagones. Los contactos del relevador viajan por el interruptor de circuito cuando el voltaje disminuye a cierto nivel.

El bajo voltaje puede generar daños irreparables como: daños mecánicos por sobre esfuerzos, reinicios del sistema eléctrico, subrevolución en motores que necesiten estar en condiciones constantes, etc.

Un relevador de bajo voltaje (E27) se calibra en voltaje decreciente para cerrar un conjunto de contactos para un voltaje especificado.

Los usos típicos del relevador con protección (E27) son:

- a).- Protección de bajo voltaje en el bus
- b).- Esquema de transferencia de fuentes
- c).- Funciones permisivos
- d).- Aplicaciones de cronometraje

Los relevadores con protección (E27) pueden ser del tipo electromecánico o estático.

El relevador (E27) del tipo electromagnético, generalmente usa el principio del disco de inducción, cuando el voltaje aplicado esta por arriba del voltaje de arranque o de disparo, los contactos normalmente cerrados abren y se mantienen abiertos mientras que el voltaje permanezca por arriba del voltaje de disparo. Cuando el voltaje se reduce por abajo del voltaje de disparo, los contactos del relevador inician el cierre. El tiempo de operación es inverso al voltaje aplicado.

El relevador (E27) del tipo estático proporciona una característica inversa de tiempo de operación similar al tipo electromecánico. El diseño de relevadores estáticos tiene disponible la característica de tiempo definido. Cuando el voltaje aplicado está por arriba del voltaje de arranque (en la posición desenergizada), un contacto normalmente abierto está abierto y

permanece abierto mientras que el voltaje permanece por arriba del ajuste de arranque. Cuando el voltaje cae por abajo del ajuste de arranque, el relevador inicia su tiempo de operación. Cuando el tiempo de retardo ha transcurrido, basado en las características de operación tiempo-voltaje los contactos de salida se cierran.

Los ajustes de voltaje en los relevadores estáticos varían, según el fabricante. Estos pueden ser ajustables por taps discretos o continuos sobre un rango especificado. El tiempo de operación es ajustable para ajustes de dial de tiempo o de tiempo definido.

4.2 Datos para ajuste del relevador SEL 351 para protección (E27) [3]

Los datos que se muestran a continuación son datos obtenidos en la subestación Salina Cruz en las placas de los circuitos del T1 y T2 para saber que voltaje tenemos en alta tensión y a qué relación se encuentran.

Datos del T1:

118, 119, 118 KV con una RTP de 70.

Datos del T2:

116.2, 117.2, 116.1 KV con una RTP de 175

Utilizando estos datos de placa y conociendo nuestra RTP, con ayuda y los datos proporcionados de la sub-área podemos calcular el voltaje que se necesita para operar nuestro relevador tomando como ejemplo nuestros circuitos 4030 y 5080 de la subestación Salina Cruz en 13.8 KV y 34.5 KV en dichos circuitos.

4.3 Cálculo de bajo voltaje [3]

Ejemplo 1:

Cálculo para el circuito 4030 de la subestación Salina Cruz:

Datos:

12 Kv = Rango de voltaje mínimo.

4030 = Circuito de 13.8 Kv.

RTP = 70

Fórmula:

$$\frac{\text{Rango de voltaje mínimo}}{\sqrt{3}} / RTP$$

Sustitución:

$$\frac{12000 \text{ volts}}{\sqrt{3}} = \frac{6928.203 \text{ volts}}{70} = 98.974 \text{ volts}$$

Como resultado tenemos que cuando el relevador vea 98.974 volts nuestro relevador tendrá que operar por bajo voltaje en nuestro circuito 4030 de 13.8 Kv, ya que en dicho circuito a 12 Kv se considera el ajuste para la protección de disparo por bajo voltaje.

Ejemplo 2:

Cálculo para el circuito 5080 de la subestación Salina Cruz:

Datos:

30.59 Kv = Rango de voltaje mínimo.

5080 = Circuito de 34.5 Kv

RTP = 175

Fórmula:

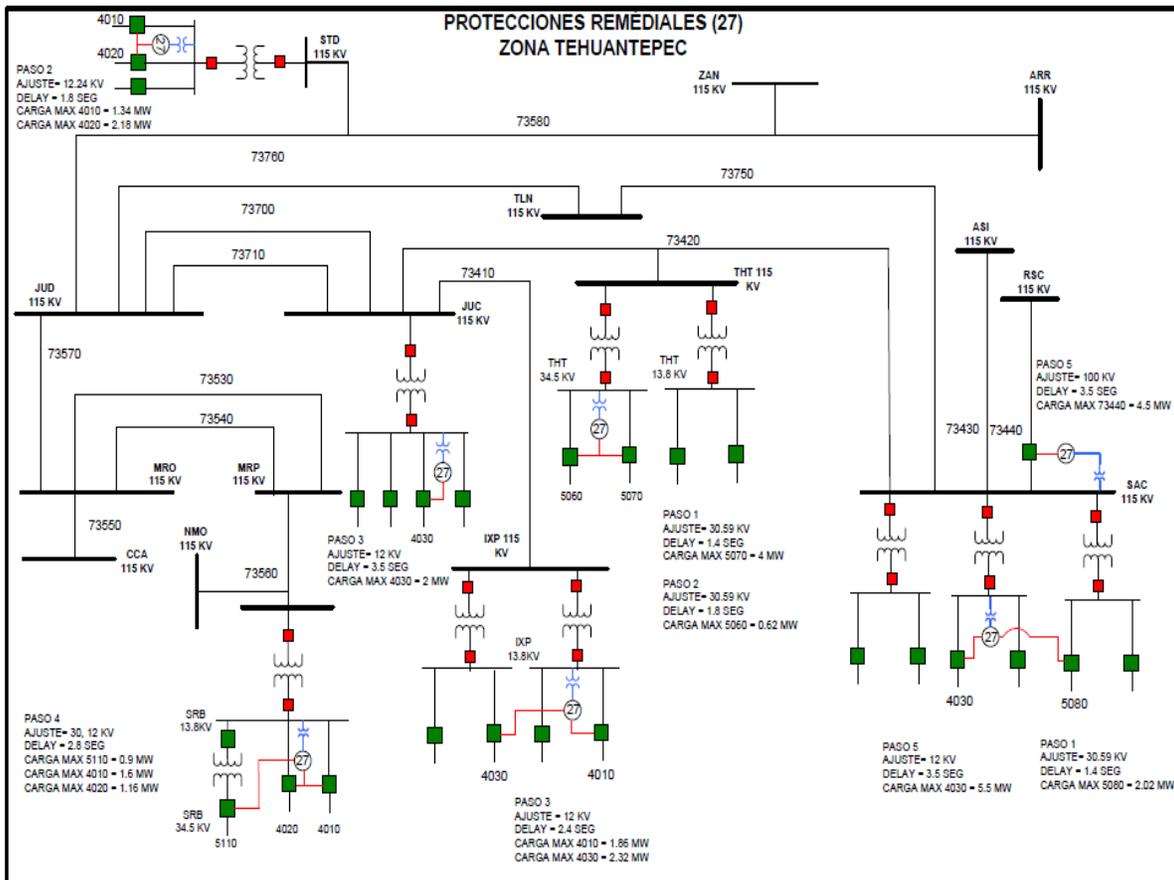
$$\frac{\text{Rango de voltaje mínimo}}{\sqrt{3}} / RTP$$

Sustitución:

$$\frac{30590 \text{ volts}}{\sqrt{3}} = \frac{17661.144 \text{ volts}}{175} = 100.920 \text{ volts}$$

Como resultado tenemos que cuando el relevador vea 100.920 volts nuestro relevador tendrá que operar por bajo voltaje en nuestro circuito 5080 de 34.5 Kv, ya que en dicho circuito a 30.59 Kv se considera el ajuste para la protección de disparo por bajo voltaje.

4.4 Diagrama de protecciones remediales para bajo voltaje de la Zona Tehuantepec [3]



Conclusión

En este trabajo de investigación no solo se mostró la teoría y los cálculos requeridos para realizar los ajustes necesarios para la utilización de este tipo de protección en nuestros esquemas de acción remedial sino que, también ayuda al lector a distinguir la importancia que tiene hoy en día implementar protecciones para sistemas eléctricos de potencia como lo es el cálculo de ajustes de protección remedial por protección por bajo voltaje, ya que esto se implementa para darle una mejor seguridad al sistema eléctrico de potencia al igual que una mejor estabilidad, disminución en el costo y tiempo de reparación de equipos al reducir daños en estos, ya que la protección en relevadores en este caso la protección E27 da una mayor disponibilidad de los elementos, ya que esta protección desconectará selectivamente solo los circuitos o dispositivos necesarios para evitar un colapso en nuestro sistema eléctrico de potencia y de esta manera mantener el suministro de energía en perfectas condiciones.

Una de las aportaciones más importantes para mantener un buen sistema eléctrico en óptimas condiciones y con la tecnología requerida es la utilización y renovación de equipos por los relevadores tipo Laboratorios de Ingeniería Schweitzer (SEL por sus siglas en inglés) los cuales por las características y buen funcionamiento están situados como los mejores equipos de protecciones en ingeniería a nivel mundial.

Bibliografía

- [1] Comisión Federal de Electricidad, *“Criterios de ajuste y coordinación de los sistemas de protección del SEIN”*.
- [2] C. Rousell mason, *“El arte y la ciencia de la protección por relevadores”*. Editorial continental, S.A. Octava impresión 1980.
- [3] Comisión Federal de Electricidad, *“Manual de acción de esquemas remediales”*. Subdirección de transmisión, subdirección de CENACE, subdirección de distribución.