

10
2er.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

"PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO DE UN
TABLERO DE PROTECCION ELECTRICA POR
RELEVADORES."

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
(AREA ELECTRICA - ELECTRONICA)

P R E S E N T A N :

CARLOS / AMARO ROBLES
JAIME ROJAS GARDUÑO



DIRECTOR DE TESIS: ING. ARTURO MORALES COLLANTES

MEXICO, D. F.

1997.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*DEDICAMOS ESTE TRABAJO, A TODAS
LAS PERSONAS QUE DE UNA FORMA U
OTRA, COLABORARON PARA LA
RELIZACION DE ESTE PROYECTO.*

EN ESPECIAL A LOS INGENIEROS:

ARTURO MORALES COLLANTES.

JOSE CORONADO CAMPI.

*POR SU ENTUSIASTA PARTICIPACION
EN LA REALIZACION DE ESTE TRABAJO,
ESPERANDO SEA DE UTILIDAD PARA
LOS ALUMNOS DEL LABORATORIO DE
PROTECCION DE SISTEMAS
ELECTRICOS, DE ESTA NUESTRA
FACULTAD.*

INDICE

PROLOGO

Prologo	II
---------------	----

INTRODUCCION

Introducción	V
--------------------	---

CAPITULO I

INTERPRETACION DE PLANOS Y DIAGRAMAS

1.1 Interpretación de planos y diagramas.....	2
1.2 Número y designación de dispositivos eléctricos de acuerdo a su función según norma ANSI:	6
1.3 Diagramas	8
1.3.1 Diagrama unifilar.....	8
1.3.2 Diagrama trifilar	8
1.3.3 Diagrama esquemático de protección.....	8

CAPITULO II

FILOSOFIA DE LAS PROTECCIONES

2.1 Generalidades	14
2.2 Sistemas de protección.....	14
2.2.1 Protección primaria	15
2.2.2 Protección de respaldo o secundaria	16
2.2.3 Protección de respaldo remoto.....	16
2.3 ¿Qué es un relevador?	18
2.4 Clasificación de los relevadores.....	18

2.5 Características de diseño de los relevadores para protección de sistemas eléctricos de potencia.	20
2.5.1 Sensibilidad.....	20
2.5.2 Selectividad.....	21
2.5.3 Velocidad.....	22
2.5.4 Confiabilidad.....	23
2.6. Transformadores de corriente	25
2.6.1 Simbología y marcas de polaridad.	26
2.6.2 Circuito equivalente de un transformador de corriente.....	27
2.6.4 Clasificación de transformadores de corriente para protección.....	28
2.6.5 Comportamiento de un transformador de corriente.....	32
2.6.6 Clases de precisión de transformadores de corriente para protección.....	35
2.6.7 Comportamiento de un transformador de corriente tipo boquilla mediante la curva de excitación.....	36
2.6.8 Conexiones de transformadores de corriente.....	37
2.6.8.1 Conexión estrella de los transformadores de corriente.....	37
2.6.8.2 Conexión delta de los transformadores de corriente.....	37
2.7 Transformadores de potencial	41
2.7.1 Simbología.	41
2.7.2 Relación de transformación.	42
2.7.3 Clase de precisión.	42
2.7.4 Cargas nominales de precisión en transformadores de potencial.....	42
2.7.5 Transformadores capacitivos.....	43
2.7.6 Conexiones de transformadores de potencial.....	45
2.8 Aplicación de los transformadores de corriente y potencial.	47
2.8.1 Selección de transformadores de instrumento.....	47
2.8.1.1 Tipo de instalación.....	48
2.8.1.2 Tipo de aislamiento.....	48
2.8.1.3 Potencia.....	49
2.8.1.4 Clase de precisión.....	51
2.9 Relevadores de atracción electromagnética	52
2.10 Relevadores de inducción electromagnética	54

2.11 Relevadores estáticos.....	56
2.11.1 Ventajas de los relevadores estáticos.....	58
2.11.2 Los relevadores estáticos tienen las siguientes limitaciones:.....	59
2.11.3 Circuitos lógicos.....	60
2.11.4 Unidades lógicas principales de mayor uso en los relevadores:.....	61
2.11.5 Elementos básicos de un relevador estático.....	64
2.11.5.1 Unidades de procesamiento de datos y detectores de falla.....	64
2.11.5.1.1 Comparador de magnitud.....	64
2.11.5.1.2 Comparador de ángulo de fase.....	67
2.11.5.2 Unidades amplificadoras.....	71
2.11.5.3 Unidades lógicas. (Circuitos de alarma y señalización).....	73
2.11.5.4 Temporizadores.....	75

CAPITULO III

RELEVADORES UTILIZADOS EN EL TABLERO DE ROTECCIONES

3.1 Relevador instantáneo de sobrecorriente (SC).....	78
3.2 Relevador de sobrecorriente (CO).....	82
3.3 Relevador diferencial C.A.	88
3.4 Relevador de corriente equilibrada (H.D).....	94
3.5 Relevador direccional de sobrecorriente (HR).....	101
3.5.1 Elemento de sobrecorriente.....	102
3.5.2 Elemento direccional.....	103
3.6 Relevador direccional de impedancia (HCZ).....	106
3.6.1 Construcción y operación.....	107
3.6.1.1 Elemento Instantáneo de Impedancia (HZ).....	107
3.6.1.2 Elemento de distancia y tiempo inverso (CZ).....	110
3.6.1.3 Elemento direccional (D).....	110
3.6.1.4 Elemento detector de fallas (FD).....	113
3.6.1.5 Contactor auxiliar y unidades de operación.....	113
3.6.2 Características del relevador HCZ:.....	114
3.6.3 Ajuste del elemento HZ instantáneo.....	115
3.6.4 Ajuste del elemento CZ de distancia.....	116

CAPITULO IV

DESCRIPCION DEL TABLERO DE PROTECCIONES

4.1 Descripción del tablero	126
4.2 Descripción detallada del tablero de protecciones por relevadores.	127
4.2.1 Tablero N° 1	127
4.2.2 Tablero 2	130
4.2.3 Contador de ciclos	131
4.3 Puesta en servicio	133
4.3.1 Prueba de continuidad	134
4.3.2 Seguimiento físico	134
4.3.3 Uso de planos	135
4.4 Procedimiento de prueba	135

CAPITULO V

PRACTICAS REALIZADAS EN EL TABLERO DE PROTECCION ELECTRICA POR RELEVADORES

5.1 Sistema alimentado radialmente	139
5.2 Sistema radial con líneas paralelas	146
5.3 Protección de líneas paralelas con alimentación en ambos extremos	153
5.4 Sistema en anillo	157
5.5 Protección diferencial de transformadores	163

CONCLUSIONES

Conclusiones	168
---------------------------	------------

BIBLIOGRAFIA

Bibliografía	173
---------------------------	------------

PROLOGO

PROLOGO

El objetivo principal de este trabajo es obtener una serie de prácticas, utilizando el tablero de protecciones que se encuentra en el Laboratorio de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, con la finalidad de que los alumnos que cursen la materia de protección de sistemas eléctricos de potencia tengan un concepto más amplio del funcionamiento de los relevadores como elementos de protección en los sistemas eléctricos de potencia, para eliminar fallas en líneas de transmisión, distribución, barras colectoras, bancos de transformadores, etc.

Dando una descripción de cada uno de los relevadores empleados en el tablero, de cómo funcionan, cómo realizar sus ajustes en base a sus curvas características de cada relevador, con el objeto de comprender como están interconectados entre si los relevadores para diferentes tipos de arreglos; como puede ser un sistema en anillo o un sistema radial para líneas de distribución, protección diferencial para protección de transformadores y barras colectoras, también se cuenta con una protección para líneas de transmisión que es la de impedancia.

Se manejan conceptos para la interpretación de planos y diagramas esquemáticos de protección, para que el alumno pueda interpretar como esta conectado un tablero de protecciones y poder seguir la secuencia de disparo cuando exista una falla en el sistema por proteger y así poder detectar posibles anomalías en el sistema de protecciones, indicando la nomenclatura empleada en los diagramas esquemáticos de protección.

Los relevadores con los cuales se va a trabajar en el tablero de protecciones son :

Relevador instantáneo de sobrecorriente SC.

Relevador de sobrecorriente CO.

Relevador diferencial de CA.

Relevador diferencial de corriente equilibrada HD.

Relevador direccional de sobrecorriente HR.

Relevador direccional de impedancia HCZ.

INTRODUCCION

INTRODUCCION

Desde principios del siglo XX, los relés electromecánicos han protegido los sistemas eléctricos de potencia, conforme la tecnología eléctrica y electrónica han avanzado, los relés estáticos han ido tomando su lugar. Alrededor de 1970, los sistemas de protección estáticos tienen su aparición con equipos de prueba integrado y funciones de monitoreo continuo, utilizándose en gran escala en sistemas de potencia en extra alto voltaje (EHV), estos sistemas de protección estáticos han contribuido gradualmente a la operación estable de los sistemas eléctricos de potencia en México con alto rendimiento y confiabilidad.

Actualmente la sociedad moderna esta basada en la disponibilidad de un suministro continuo de energía eléctrica, la demanda de energía está creciendo rápidamente, pero las fuentes de esta son limitadas. La explotación de fuentes de energía mediante la construcción de grandes plantas generadoras, tienen por resultado una gran transferencia de energía a través de grandes distancias hasta las redes eléctricas ubicadas en las urbes de gran demanda, lo que se debe satisfacer con un alto grado de confiabilidad.

Las líneas de distribución y transmisión, son elementos de un sistema de potencia mayormente expuestos a todo tipo de fallas y en menor grado lo son los bancos de transformadores, capacitores, barras colectoras, etc; lo que va en contra de la confiabilidad deseada, por lo tanto una de las cuestiones principales de la planeación de los sistemas de potencia es encontrar la solución aceptable en lo técnico, económico y ambiental, para asegurar la continuidad en el suministro de energía eléctrica, un aspecto de la solución práctica es el empleo

de relevadores de protección, que al detectar condiciones anormales en el sistema, actúa para corregirlas, eliminarlas y/o minimizar su efecto.

Un relevador de protección, es un dispositivo electromecánico ó electrónico diseñado para iniciar la desconexión de una parte de una instalación eléctrica o para operar una señal de alarma en condiciones anormales de operación o durante una falla.

Ante la necesidad de que el alumno de la Carrera de Ingeniería Eléctrica, vea en forma práctica los conocimientos básicos del empleo de las protecciones en sistemas eléctricos de potencia, surgió la inquietud de desarrollar material de apoyo para la materia del laboratorio de protecciones. Para la elaboración de dicho material se utilizara el tablero de protecciones por relevadores que se tiene en el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica.

El objetivo de este trabajo es el desarrollo de una serie de prácticas, para que el alumno practique con diferentes esquemas de protección, así como la coordinación entre ellos para obtener un servicio de confiabilidad aceptable, dado que entre más grande sea un sistema su complejidad es mayor.

La información que se tiene acerca del tablero es mínima, ya que no se cuenta con planos e instructivos de los diferentes relevadores que se tienen. Por consiguiente, se tiene que realizar un levantamiento de las conexiones del tablero, para obtener el diagrama del alambrado, facilitando la comprensión de la operación de los diferentes esquemas de protección que se emplearán en las prácticas.

Para la elaboración del diagrama nos vamos a encontrar con el problema de que los cables están amarrados y las partes laterales tienen tapas, teniendo difícil acceso para la identificación de cada conductor, ya que al mover uno de ellos se mueven varios y se tendrán que retirar los interruptores que se encuentran en los costados, así como los transformadores localizados en la parte inferior para llegar a las tablas de conexiones. En el tablero se tienen marcas de referencia, para los relevadores de aquí se va a partir para la elaboración del diagrama de alambrado.

Para sustentar la información generada, se presenta en el capítulo uno, la interpretación de planos y diagramas con el objetivo fundamental de identificar la simbología empleada para la elaboración de los planos y diagramas esquemáticos de protección; En el capítulo dos, se trata de la filosofía de las protecciones con los requisitos a considerar en la selección de una protección, la clasificación de los relevadores y los diferentes tipos de transformadores.

La descripción de los relevadores utilizados en el tablero de protección se mencionan en el capítulo tres, en el capítulo cuatro, se trata de la puesta en servicio de un tablero de protecciones por medio de relevadores, donde se estudia la operación del tablero con sus diferentes alternativas para una mejor protección, también se describe como se realiza un levantamiento de alambrado en un tablero de protecciones así como los pasos a seguir en caso de que no se cuente con la información necesaria del tablero de protecciones con el cual se va a trabajar.

En el capítulo cinco se desarrollan diferentes prácticas con los relevadores descritos anteriormente, analizando sus características de operación individualmente para después poder

realizar su coordinación, combinándolos en esquemas para protección de líneas de transmisión y distribución, barras colectoras, bancos de transformadores, etc.

Finalmente se tienen las conclusiones y la bibliografía consultada para la realización de este trabajo.

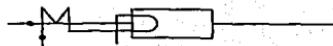
CAPITULO 1
INTERPRETACION DE PLANOS
Y DIAGRAMAS

1.1 Interpretación de planos y diagramas

Simbolos eléctricos empleados en planos de protección control y medición, la interpretación de planos y diagramas de protección control y medición forman parte del conocimiento y aplicación del Ingeniero Electricista, es por eso que tratamos de estructurar la simbología más general que se utiliza en los planos de acuerdo a la Norma CCONNIE 14.1-3.

Descripción	Símbolo
Bus base ó "B"	
Bus auxiliar ó "A"	
Interruptor de potencia	
Interruptor de amarre	
Transformador de potencia de 3φ de dos devanados o banco de transformadores	
Transformador de potencia de tres devanados	
Autotransformador de potencia	

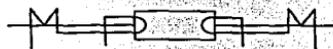
**Transformador de corriente
tipo bushing**



**Transformador de corriente
tipo devanado**



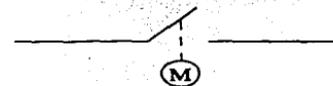
**Interruptor de potencia con transformadores
de corriente tipo bushing**



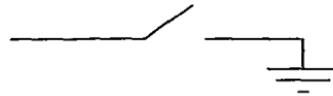
**Cuchilla desconectadora sin carga de operación
manual en grupo**



**Cuchilla desconectadora sin carga de operación
eléctrica en grupo (motorizada)**



Cuchilla de puesta a tierra



**Reactor de neutralización y transformador de
corriente de neutro**



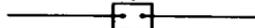
Bobina de potencial de un relevador de protección



Bobina de corriente de un relevador de protección



Tablilla terminal



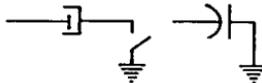
Conexión a tierra



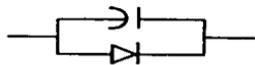
Fusibles desconectadores



Banco de capacitores



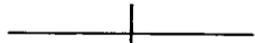
Unidad direccional de disparo



Interruptor termomagnético



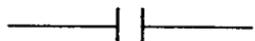
Cruce de señales sin conexión



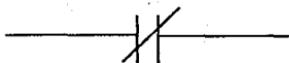
Cruce de señales con conexión



Contacto normalmente abierto "a"



Contacto normalmente cerrado "b"



Ampérmetro



Frecuencímetro



Vóltmetro



Wattmetro



Varmetro



1.2 Número y designación de dispositivos eléctricos de acuerdo a su función según norma ANSI:

No de aparato	Designación	Función del aparato o dispositivo eléctrico
21	Relevador de distancia	Relevador que funciona cuando la admitancia, impedancia o reactancia de un circuito aumenta o disminuye más allá de determinados límites.
27	Relevador de bajo voltaje	Relevador que funciona cuando la tensión desciende de un valor determinado.
50	Relevador instantáneo de sobrecorriente	Relevador que funciona instantáneamente al alcanzar la corriente un valor excesivo o si la corriente aumenta con demasiada rapidez, lo cual es señal de que ha habido una falla en el circuito protegido.
51	Relevador de sobrecorriente de tiempo para corriente alterna	Relevador que opera en función del tiempo cuando la corriente alterna de un circuito excede de un valor determinado, la función del tiempo puede ser definida inversa, muy inversa o extremadamente inversa.
52	Interruptor de potencia para corriente alterna	Dispositivo usado para cerrar o abrir un circuito de corriente alterna bajo condiciones normales o para abrir el circuito bajo condiciones de emergencia o falla.
63	Relevador de flujo, nivel o presión de gases o líquidos	Relevador que funciona a valores dados de la presión, flujo o nivel de un líquido o de un gas o un régimen de variación determinado de dichas magnitudes.

No de aparato	Designación	Función del aparato ó dispositivo eléctrico
74	Relevador de alarma	Relevador que funciona sobre una alarma visible o audible.
86	Relevador de bloqueo sostenido	Relevador accionado eléctricamente y de reposición eléctrica o manual, o dispositivo que funciona para desconectar y mantener desconectado un equipo cualquiera después de producirse condiciones anormales.
87	Relevador de protección diferencial	Relevador de protección que funciona bajo una diferencia de magnitud de porcentaje de corrientes, ángulo de fase, o por otra diferencia cuantitativamente de otras magnitudes eléctricas.
89	Cuchilla desconectadora	Desconectador utilizado como seccionador o separador de circuitos de potencia, de corriente directa o alterna, de operación manual o motorizada sin carga.

1.3 Diagramas

Dentro de los diagramas con los que hay que familiarizarse y que tenemos que conocer existen los siguientes:

Diagrama unifilar

Diagrama trifilar

Diagrama esquemático de protección

1.3.1 Diagrama unifilar

El diagrama unifilar es una representación gráfica que muestra mediante una sola línea las conexiones entre los dispositivos, componentes o partes de un circuito eléctrico o de un sistema de circuitos trifásicos y éstos se representan por símbolos, como se muestra en la figura 1.1.

1.3.2 Diagrama trifilar

El diagrama trifilar es una representación gráfica que nos indica el esquema trifásico de un circuito, subestación o sistema eléctrico, como se muestra en la figura 1.2.

1.3.3 Diagrama esquemático de protección.

Es aquel que muestra en forma sencilla, mediante símbolos el funcionamiento lógico de los esquemas de control, protección, medición, sincronización y alarmas, sin considerar la localización de los componentes, el diagrama esquemático de protección se prepara en la forma siguiente:

- 1.- Se traza el diagrama unifilar.

2.- Dentro de una serie de círculos se escriben con letras y números codificados, de acuerdo con la norma con la cual se esté trabajando, los relevadores seleccionados para las protecciones primarias, de respaldo y los relevadores auxiliares de disparo (bloqueo sostenido).

3.- Se traza una serie de rayas con cabezas de flecha, entre los elementos que intervienen en la protección de acuerdo con las claves siguientes:

a) Raya continua que muestra los circuitos de potencia (____), estas rayas indican de qué transformadores de corriente y potencial reciben alimentación los relevadores correspondientes.

b) Raya discontinua de tramos largos en circuitos entre relevadores, estos circuitos indican qué grupo de relevadores mandan señal de disparo sobre el relevador auxiliar.

c) Raya discontinua de tramos cortos o circuito de disparo a interruptores, indican cuáles relevadores envían señal de disparo a uno o varios interruptores para librar completamente un área bajo condiciones de falla.

En la figura 1.3 se muestra un diagrama esquemático de protección.

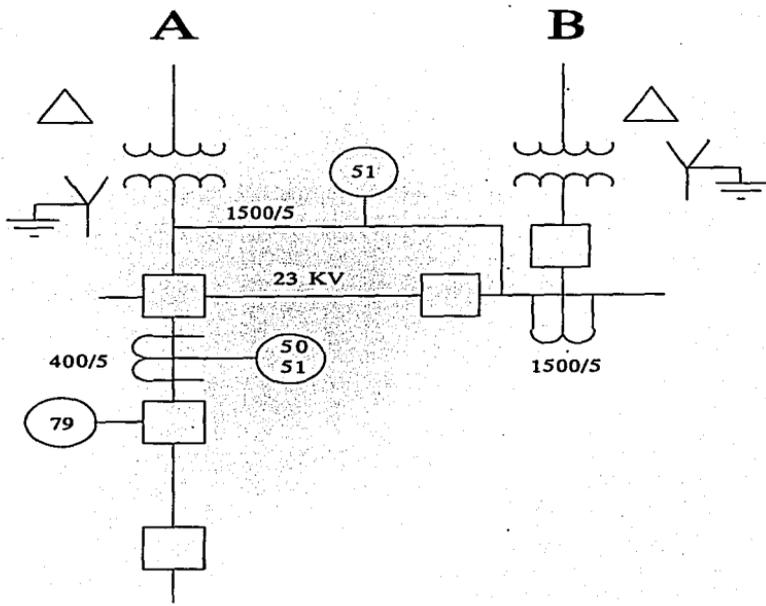


Figura 1.1 Diagrama Unifilar

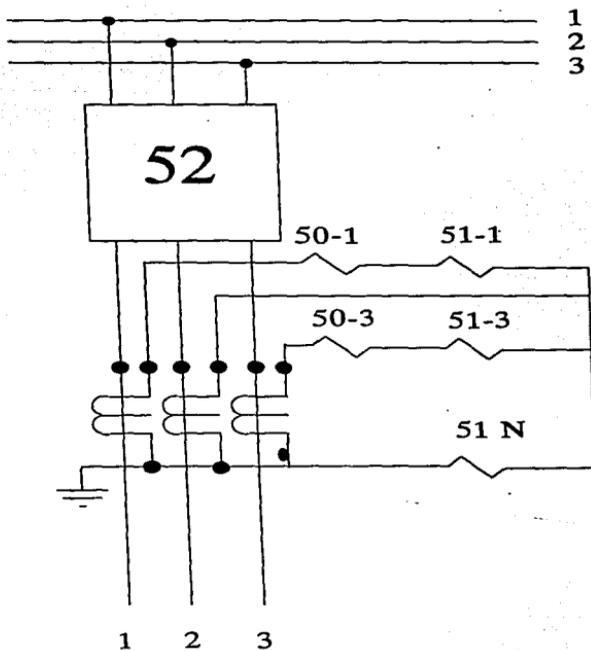


Figura 1.2 Diagrama Trifilar

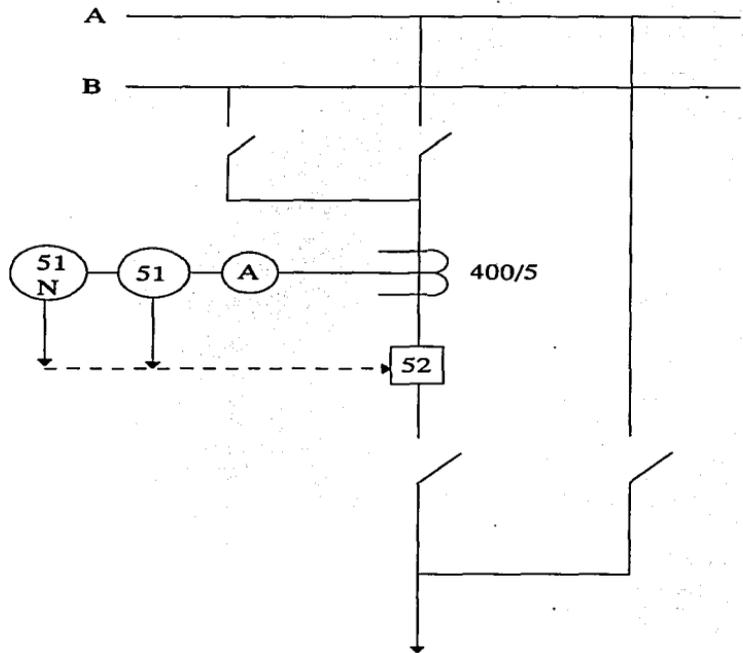


Figura 1.3 Diagrama Esquemático De Protección.

CAPITULO 2
FILOSOFIA DE LAS
PROTECCIONES

2.1 Generalidades

La protección de una instalación eléctrica, es un conjunto de sistemas que mantienen vigilancia permanente sobre variables eléctricas básicas cuya función es detectar condiciones anormales entre ellas, para corregirlas ó disminuir los daños que puede recibir un equipo eléctrico cuando se presenta una falla, la parte sensible de estos sistemas son los relevadores que sirven para detectar la anomalía o falla, efectuando la desconexión automática de interruptores cuando se producen cortocircuitos, aislando las partes del sistema que han fallado.

La selección del tipo de protección que se utiliza en los bancos o líneas de una subestación será más elaborado cuanto mayor sea la complejidad de la instalación y también dependerá de las características de los equipos utilizados, buscando el más alto grado de selectividad, rapidez y confiabilidad de operación, a un costo razonable.

2.2 Sistemas de protección

Un sistema de protección, es un conjunto de equipos con una interrelación funcional que mantienen vigilancia permanente en una determinada zona del sistema eléctrico, la cual debe estar protegida por dos conjuntos o sistemas de protección, que deben ser independientes en su operación, con el objeto de que en caso de que la principal no opere, entonces lo haga la protección de respaldo, estos sistemas se basan en diferentes diagramas esquemáticos de protección, a estos sistemas de protección se les denomina como:

Protección primaria

Protección de respaldo o secundaria

Protección de respaldo remoto

2.2.1 Protección primaria

La protección primaria debe operar con la mayor rapidez posible y en primer lugar, esta protección primaria se diseña de tal manera que desconecte la mínima porción posible de un sistema de potencia de manera que aisle el elemento fallado, tomando en consideración lo siguiente:

Cualquier falla que ocurra dentro de una zona dada deberá disparar todos los interruptores que envían energía a esa zona.

Se deben considerar zonas de traslape, los puntos de unión de zonas contiguas que por lo general son interruptores, que en caso de producirse una falla en la zona de traslape se deberán disparar todos los interruptores que alimentan las dos zonas.

Los transformadores de corriente (tc's) son los elementos que físicamente delimitan las zonas de protección y se localizan en ambos lados de cada uno de los interruptores formando juegos de tres unidades monofásicas.

Las protecciones primarias pueden fallar por:

Falla del interruptor, ya sea del mecanismo de operación o del circuito de disparo

Falla de la alimentación de C.D.

Falla de algún relevador

Falla de los transformadores de medición

En la figura 2.1 se muestra como se delimitan las zonas

2.2.2 Protección de respaldo o secundaria

Es la protección que debe operar cuando la protección primaria falla o está fuera de servicio por mantenimiento o el relevador este dañado, opera mediante componentes independientes de las utilizadas en la protección primaria para no ser afectadas por las mismas causas que produjeron la falla en esta protección, la protección de respaldo generalmente desconecta una porción mayor del sistema, que la protección primaria.

Los relevadores de una protección de respaldo, aunque arrancan al mismo tiempo que los de la primaria correspondientes, no deben operar simultáneamente con esta, siendo necesario retrasar su ajuste para dar tiempo a la protección primaria a que efectúe el ciclo de operación completo, a esto se le llama coordinación.

2.2.3 Protección de respaldo remoto

Cuando tanto la protección primaria como la de respaldo fallen, existe una protección de respaldo remoto que se activa, conocida como un tercer grado de protección que generalmente opera a nivel de los equipos que alimentan la falla considerada.

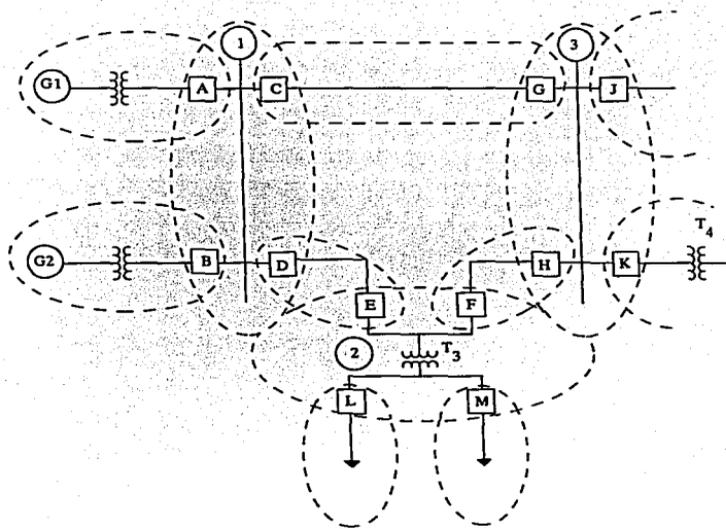


Figura 2.1 Zonas De Protección En Una Subestación.

2.3 ¿Qué es un relevador?

El Instituto de Ingenieros Electricistas y Electrónicos (IEEE), lo define como un dispositivo eléctrico-electrónico diseñado para interpretar condiciones de entrada, prefijadas bajo ciertas especificaciones para dar o proporcionar una respuesta que cause un cambio en el circuito de control asociado, dichas condiciones de entrada son usualmente del tipo eléctrico, pero pueden ser del tipo mecánico, térmicos, etc.

2.4 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, para un transformador de potencia se utilizan relevadores accionados por temperatura.

Los relevadores se pueden clasificar de acuerdo a diferentes formas:

De acuerdo a la naturaleza de la cantidad actuante a la cual el relevador responde

Corriente	Impedancia
Voltaje	Frecuencia
Reactancia	Dirección

De acuerdo al método por el cual el relevador actúa sobre el interruptor, pueden ser de acción directa, cuyos elementos actúan directamente. En forma mecánica para operar el interruptor,

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

De acuerdo a la función del esquema de protección, los relevadores se pueden clasificar como principales o auxiliares.

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

En la protección de sistemas eléctricos de potencia, normalmente se emplean 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 Características de diseño de los relevadores para protección de sistemas eléctricos de potencia.

Se le ha hecho un bosquejo general de las principales características que debe tener un sistema de protección por relevadores, mismas que en lo particular deben satisfacer los relevadores mismos y que en forma bastante descriptiva son las siguientes:

Sensibilidad

Selectividad

Velocidad

Confiabilidad

2.5.1 Sensibilidad

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

Por lo general, los relevadores electromagnéticos operan con 5 amp. Cuando son alimentados por transformadores de corriente y 120 volts alimentados por transformadores de potencial, estos relevadores son bastante confiables y han sido usados en forma eficiente durante muchos años.

Sin embargo los relevadores de estado sólido a base de circuitos integrados permiten los mismos o mejores grados de confiabilidad con cargas mucho menores.

2.5.2 Selectividad

Esta característica de los relevadores, consiste en su capacidad para determinar con gran precisión el nivel de corriente para el cual debe ocurrir la señal de disparo o bien la distancia para una falla remota o lejana al relevador, a la cual una línea se debe sacar de servicio, la protección debe operar solo para fallas dentro de la zona que se ha predeterminado, conceptos como estos dan un índice de selectividad de un relevador.

Desde el punto de vista de operación es frecuente que otros elementos ajenos al relevador afecten la selectividad, tales elementos pueden ser causados por errores en los transformadores de instrumento, debido a saturación o carga excesiva, formas de onda transitorias fuera de ajuste.

La selectividad es un concepto que en cierto modo está relacionado con la velocidad de operación de los relevadores, porque entre mayor es su selectividad tiene mejor respuesta de operación, ya que si bien es cierto que para fallas en barras colectoras, líneas de transmisión, motores y generadores, se desea que la protección opere tan rápido como sea posible por otra parte algunos segmentos de los sistemas eléctricos pueden no requerir de una alta velocidad de operación en la protección.

Por ejemplo: Algunos alimentadores radiales que alimentan motores eléctricos pueden tener como protección principal fusibles y relevadores de sobrecorriente, si los motores son de gran potencia, estos van a tomar un tiempo relativamente grande para arrancar, por lo tanto van a

demandar grandes corrientes. Este tiempo puede ser considerado largo dependiendo del ajuste de la protección, de tal forma que para algunos relevadores no se puede notar la diferencia entre una corriente de arranque o una corriente de falla, de manera que en estos casos es deseable un relevador con características de protección para tiempos mayores ya que de otra forma cada vez que se trate de arrancar el motor se disparará la protección.

2.5.3 Velocidad

Se requiere que los relevadores de protección sean de acción rápida por las siguientes razones:

No deben rebasarse el tiempo crítico de eliminación de la falla.

Los aparatos eléctricos pueden dañarse si se les hace soportar corrientes de falla durante un tiempo prolongado.

Una falla persistente hace bajar el voltaje y ocasiona el arrastre o lento avance en los motores, además de sobre carga en los alimentadores.

Mientras más breve sea el tiempo en que persiste una falla, más carga podrá transmitirse entre puntos dados del sistema de potencia, sin que halla pérdida de sincronía. Las fallas trifásicas tienen un efecto más marcado sobre la capacidad del sistema por lo tanto deben eliminarse con mayor rapidez que una falla simple a tierra.

Los relevadores no deben funcionar extremadamente rápido, es decir a menos de 10 mseg. porque cuando un relámpago produce cualquier variación en la línea, el relevador debe tener el

tiempo suficiente mientras el relámpago es descargado a tierra, de lo contrario el relevador operará innecesariamente en condiciones transitorias.

2.5.4 Confiabilidad

Es un termino cuantitativo, que puede expresarse como la probabilidad de falla. La falla puede ocurrir por defecto en los interruptores, alambrado, fuentes de alimentación, por lo tanto todo componente y circuito relacionados con la eliminación de una falla debe considerarse como fuentes potenciales de falla.

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

Para obtener una seguridad de operación cuando se requiera de la intervención de un relevador además de la confiabilidad misma del instrumento se deben implementar programas de mantenimiento que los mantenga en condiciones tales que en cualquier momento que sea requerida su intervención lo hagan en forma segura y precisa de acuerdo a una politica de seguridad establecida para el sistema eléctrico de que se trate.

Al considerarse la confiabilidad, no debe omitirse la calidad del personal porque las equivocaciones de éste se cuentan entre las causas mas frecuentes de falla, algunas de las características de diseño y manufactura que hace que relevadores sean inherentemente confiables son: altas presiones de contacto, alojamiento o cajas a prueba de polvo, juntas bien ajustadas y bobinas bien impregnadas.

Las estadísticas indican que el orden de los elementos en los que es más probable que ocurra alguna falla es el siguiente: relevadores, interruptores, conductores, transformadores de corriente, transformadores de potencial y baterías. Cuando se trata de relevadores estáticos la probabilidad de falla aumenta más por la sensibilidad de los relevadores.

Transformadores de corriente y de potencial.

Los transformadores de corriente y de potencial se utilizan para proteger tanto al personal como a los aparatos, son instrumentos a través de los cuales se conectan los relevadores a los circuitos de alta tensión, por tal motivo los relevadores pueden hacerse mas compactos y menos costosos por operar a bajas tensiones y bajas corrientes.

2.6. Transformadores de corriente

Cuando se desea hacer mediciones de corriente cuyos valores son elevados y no pueden manejarse directamente por los instrumentos de medición o de protección, o bien cuando se trata de hacer mediciones de corriente en los circuitos que operan a tensiones elevadas es necesario establecer un aislamiento eléctrico entre el circuito primario y los equipos de protección.

Los transformadores de corriente (tc's), proporcionan el aislamiento de la alta tensión del circuito de potencia y reduce la magnitud de la corriente sin modificar sus demás características, los transformadores de corriente se clasifican según su uso:

Transformadores de corriente para medición.

Estos son de una alta precisión y se saturan con dos veces su corriente nominal, como medida de protección de los aparatos de medición en los casos de un corto circuito en alta tensión.

Transformadores de corriente para protección.

Estos transformadores son por lo general de menor precisión que los transformadores de corriente para medición, se saturan con veinte veces la corriente nominal, con el objeto de

tener señal en el circuito secundario en caso de fallas en alta tensión para poner en funcionamiento los relevadores.

2.6.1 Simbología y marcas de polaridad.

En los diagramas eléctricos, los transformadores de corriente se representan en cualquiera de las formas mostradas en la figura 2.2.

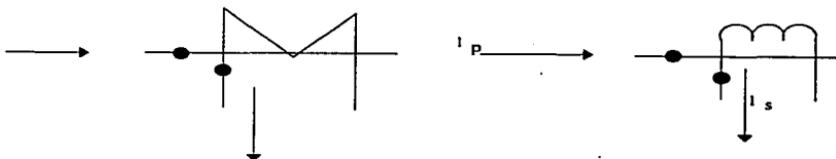


Figura 2.2 Representación De Los Transformadores De Corriente.

Las polaridades relativas de las terminales primarias y secundarias del transformador de corriente están identificadas, sea por marcas de polaridad pintadas o por los símbolos H1 y H2 para terminales primarias, X1 y X2 para terminales secundarias. La convención es que cuando la corriente primaria entra en la terminal H1, la corriente secundaria sale por la terminal X1, o bien cuando la corriente entra en la terminal H2, ésta sale por la terminal X2, cuando se utiliza la marca se pinta en las terminales correspondientes a H1 y X1.

2.6.2 Circuito equivalente de un transformador de corriente.

El circuito equivalente de un transformador de corriente se muestra en la figura 2.3. La magnitud de la corriente se reduce a través de los devanados ab y cd del transformador, la impedancia Z_p por n^2 , para referirlo al secundario, la impedancia del secundario es Z_s y las pérdidas de excitación se representan como R_m y X_m , el circuito se puede reducir ya que el valor de Z_p se puede despreciar puesto que no afecta a la corriente transformada (I_p/n), ni al voltaje a través de X_m , la corriente de excitación (I_e) queda representada como la corriente que circula a través de X_m .

El diagrama fasorial del transformador de corriente muestra las caídas de voltaje, en general Z_I es resistivo, I_e se atrasa a V_{cd} por 90° es la causa principal de error, en la figura 2.4, se muestra el diagrama fasorial para un transformador de corriente.

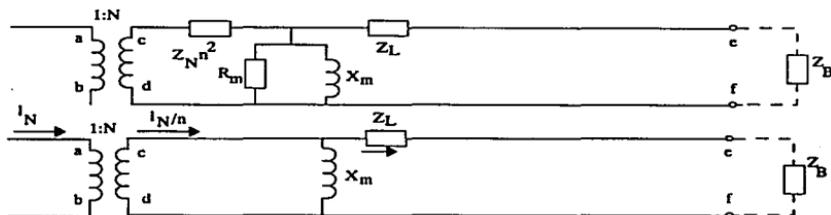


Figura 2.3 Circuito Equivalente De Un Transformador De Corriente

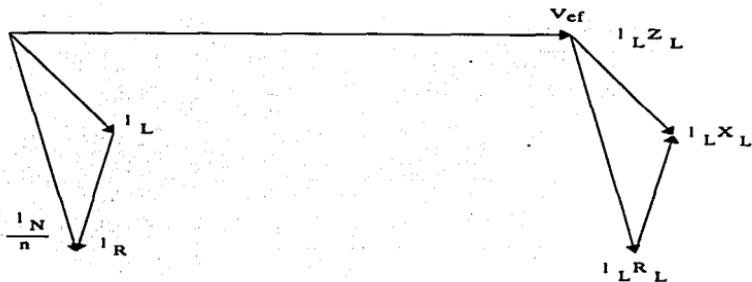


Figura 2.4 Diagrama Fasorial Del Transformador De Corriente

2.6.4 Clasificación de transformadores de corriente para protección.

Los transformadores de corriente para protección se clasifican según las normas nacionales (NOM-J-109/1977), mediante dos símbolos que son:

Una letra

Voltaje de clase

Las letras de designación pueden ser :

C: indica que la relación de transformación puede ser calculada

T: indica que la relación puede ser determinada mediante pruebas

La clasificación "C" corresponde a los transformadores tipo dona o boquilla con el devanado secundario uniformemente distribuido o cualquier otro transformador en el cual, el flujo de dispersión en el núcleo, tiene un efecto despreciable sobre el error de relación dentro de los límites de corriente y carga establecidos por las normas.

La clasificación "T" corresponde a la mayoría de los transformadores de corriente tipo devanado y cualquier otro tipo de transformador en los cuales el flujo de dispersión afecta a la relación de transformación en forma apreciable.

El voltaje en las terminales del secundario o voltaje de clase es el voltaje que el transformador entregará a una carga estándar, con 20 veces la corriente nominal secundaria, sin exceder el 10% de error de relación.

Los transformadores de corriente tipo "C" son de relación múltiple, las combinaciones normales de corriente primarias son:

600/500/450/400/300/250/200/150/100/50 Amp.

1200/1000/900/800/600/500/400/300/200/100 Amp.

2000/1600/1500/1200/1100/800/500/400/300 Amp.

3000/2000/1500 Amp.

4000/3000/2000 Amp.

5000/4000/3000 Amp.

La corriente nominal secundaria es de 5 amp. pero puede ser empleada una corriente de 1 amp. siempre que así se especifique.

El transformador de corriente tipo boquilla recibe así el nombre debido a que normalmente son instalados en las boquillas de transformadores o interruptores de potencia, como se muestra en la figura 2.5.

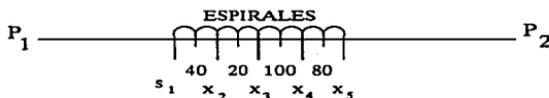


Figura 2.5 Transformador De Corriente Tipo Boquilla.

El transformador de corriente tipo devanado es aquel en el cual el devanado primario está fijado mecánicamente al núcleo y puede tener una o más vueltas primarias, los devanados primarios y secundario están aislados completamente y permanentemente unidos al núcleo formando una estructura integral, figura 2.6.

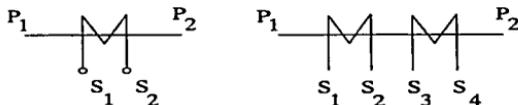


Figura 2.6 Transformador De Corriente Tipo Devanado

Las relaciones normalizadas para los transformadores de corriente tipo devanado son:

5:5, 10:5, 15:5, 20:5, 25:5, 30:5, 40:5, 50:5

150:5, 200:5, 250:5, 300:5, 400:5, 500:5 600:5

1000:5, 1200:5, 1500:5, 1600:5, 2000:5, 2500:5, 3000:5, 4000:5, 5000:5, 6000:5, 8000:5

En cada una de las relaciones el primer número corresponde a la corriente nominal del devanado primario y el segundo número corresponde a la corriente nominal del secundario siendo en todos los casos 5 amp, figura 2.7.

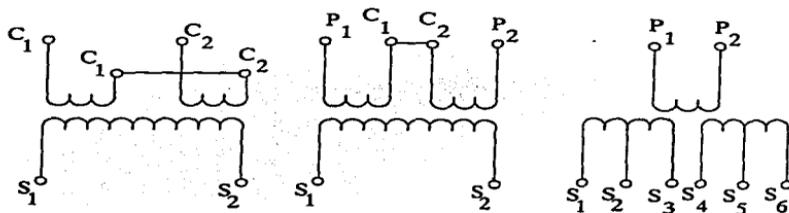


Figura 2.7 Relación De Transformación De Los Transformadores De Corriente.

2.6.5 Comportamiento de un transformador de corriente.

El comportamiento de un transformador de corriente se mide por su habilidad para reproducir la corriente primaria en términos del secundario, en particular por el voltaje secundario más alto que el transformador pueda producir sin saturarse y por consiguiente con bajo porcentaje de error.

El voltaje inducido en el devanado secundario V_{cd} debe ser lo suficientemente alto para hacer circular la corriente a través de la impedancia conectada al secundario.

$$V_{cd} = V_s$$

$$V_s = I_L (Z_L + Z_T + Z_B) \quad (1)$$

Donde:

V_s = voltaje inducido en el secundario.

I_L = corriente secundaria máxima.

Z_B = impedancia conectada (carga).

Z_L = impedancia del devanado secundario.

Z_T = impedancia de las terminales de conexión.

La I_L puede estimarse dividiendo la corriente de falla máxima entre la relación del transformador de corriente seleccionado. En la figura 2.8 , se muestra la capacidad de voltaje secundario para varios transformadores de corriente clase C, graficados contra corrientes secundarias. Con un transformador de clase C200 por ejemplo, la relación de transformación puede ser calculada y el error de relación no debe ser mayor al 10% con corrientes entre 1 y 20

veces la nominal, si la carga no excede el valor de 2.0Ω . El número 200 indica que en las terminales secundarias del transformador de corriente aparecen 200 volts cuando entrega una corriente de 100 amp., (20 veces la corriente nominal secundaria de 5 amp.), a la carga normalizada B2.0 (2Ω), de acuerdo con $V = ZI$.

La precisión normalizada se aplica solamente al devanado completo del transformador, cuando se usa una derivación (parte del devanado), se tiene un voltaje menor proporcional al voltaje nominal, como se observa en la curva de excitación de la figura 2.9.

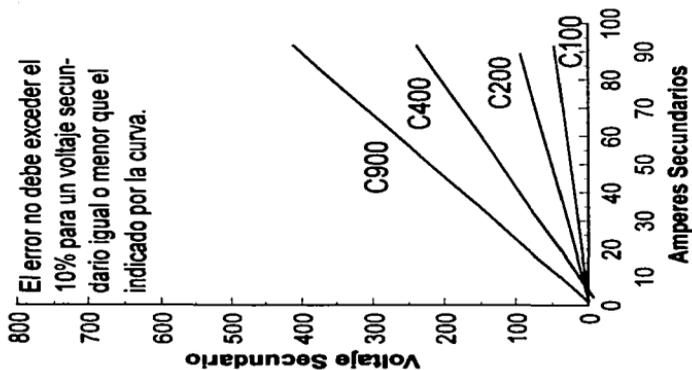


Figura 2.8 Capacidad De Voltaje Para Transformadores De Corriente, Clase C.

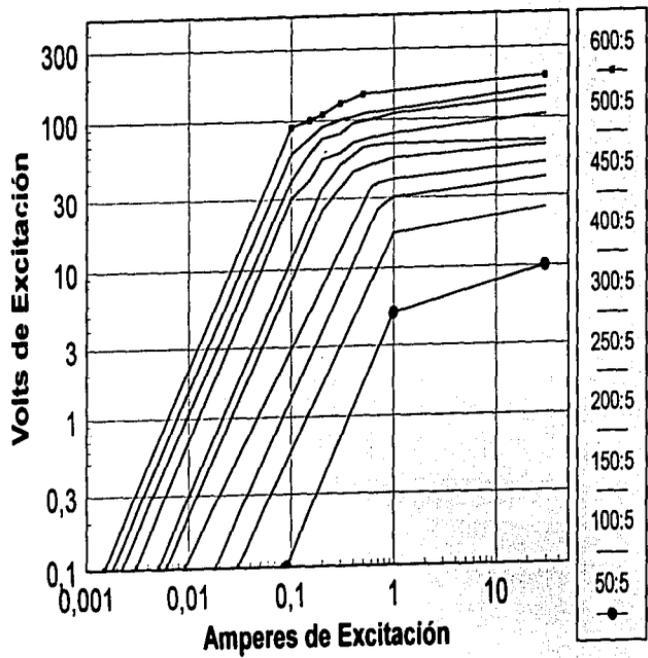


Figura 2.9 Curva De Saturación Del Transformador De Corriente.

2.6.6 Clases de precisión de transformadores de corriente para protección.

Clasificación de la precisión		Tensión secundaria en volts	Carga normalizada
C	T		
10	10	10	B 0.1
20	20	20	B 0.2
50	50	50	B 0.5
100	100	100	B 1.0
200	200	200	B 2.0
400	400	400	B 4.0

La tabla anterior muestra las cargas normalizadas para los transformadores de corriente. Para los transformadores de corriente del tipo "C" cuando se usa solo una parte del devanado únicamente puede aplicarse una parte de la carga normalizada, sin exceder el 10% del error, la carga permisible se obtiene por:

$$ZB = (N_p \cdot V_{cl}) / (20 I_N) \quad (2)$$

Donde:

ZB = carga permisible en el transformador de corriente

N_p = espiras utilizadas divididas entre el total de espiras

V_{cl} = voltaje de clase del transformador de corriente

I_N = corriente nominal secundaria (5amp).

2.6.7 Comportamiento de un transformador de corriente tipo boquilla mediante la curva de excitación.

La curva típica de excitación para un transformador de corriente se observa en la figura 2.9. Esta gráfica se obtiene aplicando al devanado secundario un voltaje creciente en forma gradual tomando simultáneamente los valores de corriente de excitación, la curva proporciona la corriente de excitación aproximada para un voltaje secundario dado. La curva de excitación puede utilizarse para seleccionar el tap del relevador y la relación adecuada del transformador de corriente.

Ejemplo:

Un alimentador está protegido con relevadores de sobrecorriente conectados a T.C. de relación múltiple de 600/5, los relevadores deben operar con 60 amperes primarios, la carga total de los T.C. es de 1.6Ω , por fase si se usa el tap 6.0 A y de 3.0Ω se usa el tap de 3.0 A. Si la corriente primaria con la que debe operar el relevador es de 60 A y se desea usar el tap 6, se puede seleccionar en el T.C. una relación de 50/5, es decir:

$$60/6 = 10 = 50/5$$

Aplicando la ecuación 1 con los valores seleccionados se tiene:

$$N = 10$$

$$I_c = I_p / N = 60 / 10 = 6$$

$$V_s = I_L * Z_T = 6 * 1.6 = 9.6 \text{ V}$$

de la curva de excitación para $V_s = 9.6 \text{ V}$, $I_c = 6 \text{ A}$, por lo tanto la corriente primaria para que circulen 6 A, por el relevador es:

$$I_p = N I_L + N I_c$$

$$I_p = 10 * 6 + 10 * 6 = 120 A.$$

Como se aprecia este valor es el doble de la corriente que se desea (60 A), otra alternativa es usar el relevador en el tap de 3.0 A y una relación de T.C. de 100 / 5 en este caso:

$$N = 20$$

$$I_L = 3 A$$

$$Z = 3 \Omega$$

$$V_s = I_L * Z_T = 3 * 3 = 9 V$$

de la curva de excitación I_e es igual a 0.5, entonces la I_p es igual a:

$$I_p = N I_L + N I_c = 20 * 3 + 20 * 5 = 70 A$$

Por lo tanto la protección operara 10 Amps. arriba del valor deseado.

2.6.8 Conexiones de transformadores de corriente.

En los sistemas de potencia trifásicos se utilizan generalmente las conexiones estrella y delta en los secundarios de los transformadores de corriente, para propósitos de protección .

2.6.8.1 Conexión estrella de los transformadores de corriente.

Se unen las terminales de no polaridad para formar la estrella y se aterriza, las terminales de polaridad van conectadas a los relevadores de protección, como se indica en la figura 2.10.

2.6.8.2 Conexión delta de los transformadores de corriente.

Hay dos posibilidades de efectuar la conexión delta, en el primer caso las corrientes fuera de la delta, es decir las corrientes que van a los relevadores están adelantadas 30° con respecto a las

corrientes de fase, para el segundo caso dichas corrientes están atrasadas por el mismo ángulo, considerando un sistema trifásico balanceado, como se muestra en la figura 2.11.

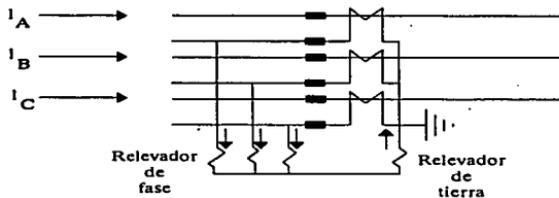


Figura 2.10 Conexión Estrella.

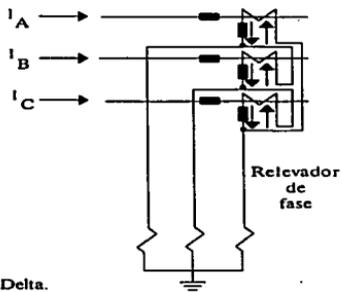


Figura 2.11 Conexión Delta.



Por ejemplo:

Determinar la potencia que debe tener un transformador de corriente que alimenta a un ampérmetro y a un wáttmetro que se encuentra a 50 m del transformador y que de acuerdo a tablas tienen los siguientes consumos:

Ampérmetro 2.5 VA

Wáttmetro 1.5 VA

El conductor tiene una sección de 2.5 mm^2 , y una resistencia de $8.71 \Omega / \text{Km}$. El transformador tiene una relación de transformación de 100/5.

La potencia consumida por el conductor se calcula como:

$$VA_{\text{conductor}} = P_{\text{conductor}} I^2$$

$$VA_{\text{conductor}} = R \cdot 2l \cdot I^2$$

$$VA_{\text{conductor}} = 8.71 \cdot 2 \cdot 0.05 \cdot 5^2$$

$$VA_{\text{conductor}} = 21.77 \text{ VA}$$

La potencia del transformador de corriente deberá ser:

$$VA_{\text{transformador}} = (2.5 + 1.5) + 21.7 = 25.77 \text{ VA}$$

Un valor comercial de potencia sería 30 VA como especificaciones principales :

Corriente primaria	100 A
Corriente secundaria	5 A
Relación de transformación	$100 / 5 = 20$
Potencia	30 VA
Clase de precisión	0.5

Dada la capacidad de potencia del transformador que se obtuvo, se busco en términos comerciales, cual era el transformador próximo en cuestión de capacidad para utilizarse y no afectar las condiciones del sistema.

2.7 Transformadores de potencial.

Los llamados transformadores de potencial se emplean para medición o protección su nombre se debe a que la cantidad principal por variar es la tensión, o sea que permiten reducir un voltaje de un valor que puede ser muy alto a un valor utilizado por los instrumentos de medición o protección.

La norma nacional NOM-J-168-1980, define al transformador de potencial como el transformador diseñado para suministrar la tensión adecuada a los instrumentos de medición, protección o ambos, en el cual la tensión secundaria en las condiciones normales de uso, es proporcional a la tensión primaria, desfasada respecto a ella un ángulo cercano a cero.

2.7.1 Simbología.

En la figura 2.12, se muestra el esquema del transformador de potencial y su conexión a la barra, así como los símbolos utilizados para su representación en los diagramas.

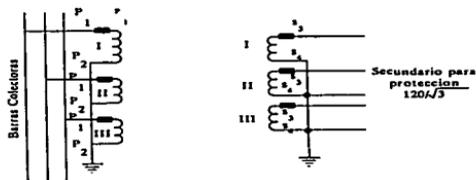


Figura 2.12 Transformadores De Potencial.

2.7.2 Relación de transformación.

La relación de transformación esta en función del voltaje nominal primario y del voltaje nominal secundario éste último es normalmente $120 / \sqrt{3}$ para protecciones y $200 / \sqrt{3}$ para medición. Las tensiones primarias pueden tener valores relativamente altos, como por ejemplo; 150 KV, 230 KV, 400 KV, etc.

2.7.3 Clase de precisión.

La clase de precisión de acuerdo a las normas internacionales (ANSI) se designa por el máximo error admisible expresado en porciento, que el transformador puede introducir en la medición de potencia, operando con su tensión nominal primaria y a su frecuencia nominal. La clase de precisión especificada debe asociarse con una o varias cargas nominales de precisión de acuerdo a la tabla que se muestra a continuación.

2.7.4 Cargas nominales de precisión en transformadores de potencial.

Carga nominal de precisión VA	Designación equivalente	Factor de potencia	Resistencia Ω 120 Volts	Reactancia Ω 120 Volts	Corriente Amps 120 Volts
12.5	W	0.1	115.2	1146.2	0.104
25	X	0.7	403.2	411.26	0.208
75	Y	0.85	163.2	100.99	0.625
200	Z	0.85	61.2	37.87	1.67
400	ZZ	0.85	30.6	18.94	3.33

De acuerdo a lo anterior observamos que las especificaciones importantes para la designación de transformadores de potencial son las siguiente:

Relación de transformación (V_1 / V_2).

Potencia a alimentar en (VA).

Clase de precisión.

Tipo de servicio (interno o intemperie)

Número de devanados.

Especificaciones dieléctricas.

2.7.5 Transformadores capacitivos.

Otro tipo de transformadores de potencial es el denominado divisor de voltaje, que es utilizado para la medición o protección en los sistemas eléctricos como elemento primario de detección.

Desde el punto de vista de su construcción estos pueden ser resistivos o capacitivos, aun cuando en aplicaciones específicas en sistemas eléctricos de potencia normalmente se emplean en sistemas de alta tensión (115- 400 KV) y por lo general son del tipo capacitivo. A estos divisores se les conoce también en algunos lugares como transformadores capacitivos, que por lo general son compensados por medio de un circuito inductivo que físicamente es un reductor de voltaje como se muestra en la figura 2.13.

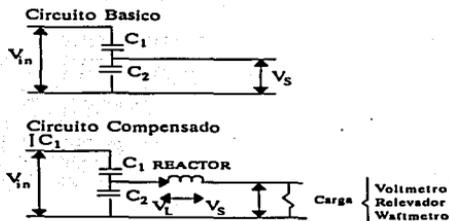


Figura 2.13 Transformador Capacitivo.

Normalmente estos divisores capacitivos están contruidos en forma modular es decir , que una unidad de 400 KV puede estar formada por dos de 230 KV o cuatro de 115 KV.

Por lo general se diseñan de tal forma que $C_1 \ll C_2$. La reactancia de compensación sirve para compensar la caída del voltaje debido al efecto inductivo de los capacitores y su valor se calcula de acuerdo a la expresión :

$$wL = 1 / (wC_1 + wC_2)$$

$$\text{Si } C_1 \ll C_2$$

$$wL = 1 / wC_2$$

2.7.6 Conexiones de transformadores de potencial.

En caso de circuitos muy importantes se utiliza un juego de transformadores de potencial exclusivo instalados en el propio circuito. Lo más usual es instalar un juego de transformadores de potencial por barra y con ello se polarizan todos los circuitos correspondientes a la misma barra.

Los transformadores de potencial normalmente tienen tres devanados secundarios, uno para medición, otro para polarizar relevadores con voltaje de fase y tierra y el tercero se conecta en delta abierta para polarizar relevadores con tres voltajes secundarios como se muestra en la figura 2.14.

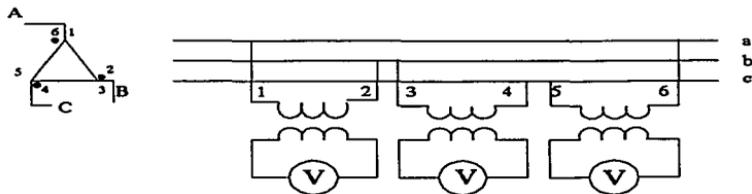


Figura 2.14 Conexiones De Transformadores De Potencial.

En el caso particular de los transformadores usados para alimentar relevadores de protección es recomendable en particular para aquellos que alimentan relevadores de falla a tierra que se conectan con una conexión opuesta a la del devanado del transformador de potencia o a la del devanado del generador cuando se protege éste.

En particular se debe tener cuidado de la polaridad de los transformadores que debe estar en correspondencia con la de los instrumentos que alimenta.

Por ejemplo:

Una conexión estrella de los transformadores de potencial para alimentar relevadores de sobrecorriente y a tierra se muestra en la figura 2.15.

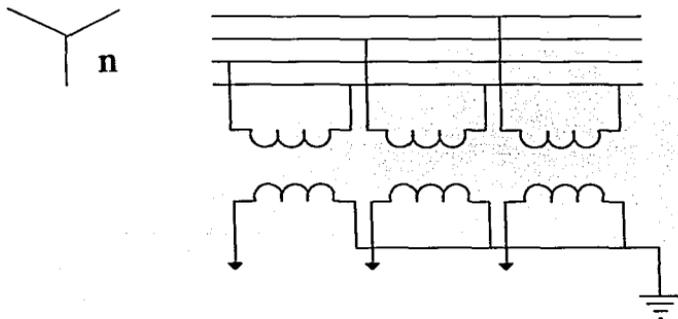


Figura 2.15 Conexión Estrella De Transformadores De Potencial.

2.8 Aplicación de los transformadores de corriente y potencial.

Como ya se ha indicado los transformadores de corriente y potencial tienen su utilización principalmente en la alimentación de instrumentos de medición, y protección para lo cual se tienen ya recomendaciones establecidas por las normas y por los fabricantes, en donde se indican las aplicaciones más adecuadas en función del tipo del servicio por prestar. Para el caso de los transformadores de corriente se dan en tablas las precisiones recomendadas según su aplicación.

2.8.1 Selección de transformadores de instrumento.

En los transformadores de instrumento se deben considerar las siguientes especificaciones:

Tipo de instalación

Tipo de aislamiento.

Potencia

Clase de precisión.

2.8.1.1 Tipo de instalación.

Los transformadores de instrumento se construyen para utilizarse en interiores o exteriores, es decir pueden ser del tipo intemperie o interior. Por razones económicas los transformadores hasta de 25 KV, se construyen de tipo interior, en tanto que de 34.5 KV en adelante son del tipo intemperie.

2.8.1.2 Tipo de aislamiento.

El tipo de aislamiento empleado en los transformadores de instrumento puede variar según el rango de tensión en que se instalen:

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

Para mediana tensión. Los transformadores de instrumento usados en tensiones comprendidas entre 3 y 25 KV, emplean por lo general como aislamiento resinas sintéticas y algunos diseños aceite con envoltorio de porcelana.

Para alta tensión. Se conceptúan así a los transformadores de instrumentos que se usan en instalaciones eléctricas de 34.5 KV en adelante, en estos casos los aislamientos son por lo general de papel dieléctrico impregnado en aceite colocados dentro de porcelana.

2.8.1.3 Potencia.

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 diferente, pero en general los elementos que intervienen en la determinación de la potencia son:

La potencia de los instrumentos por alimentar.

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 instrumento tenga dos relaciones de transformación (dos devanados secundarios), o bien características distintas de relación de transformación.

El consumo de los conductores se calcula a partir de sus características es decir, para alimentar a un instrumento de corriente, por ejemplo a 5 A. se conoce el calibre o sección transversal en mm², así como el tipo de material del conductor con lo cual se determina su resistencia o impedancia, de manera que el consumo sería:

$$VA = \frac{RI^2}{\cos \phi}$$

siendo $\cos \phi$ el factor de potencia del transformador de instrumento.

Para los transformadores de potencial el consumo de los conductores se determina a partir de la señal de tensión como:

$$VA_{\text{conductor}} = \frac{V^2}{Z_{\text{conductor}}}$$

siendo la V la tensión de salida del transformador de potencial, de manera que los VA de un transformador de instrumento se calcula como:

$$VA_{\text{transformador}} = VA_{\text{instrumento}} + VA_{\text{conductor}}$$

Por ejemplo:

Especificar las características principales para un transformador de potencial que va a alimentar los siguientes instrumentos a 120 volts:

1 Relevador con 8 VA de consumo

1 Voltmetro con 3 VA de consumo

Los instrumentos se encuentran localizados a 25 metros de distancia del transformador de potencial y están conectados por un conductor forrado, que tiene una resistencia de $0.005 \Omega/\text{m}$.

El primario del transformador de potencial se encuentra a 115 KV.

El consumo de los conductores en este caso se determina como sigue:

Los instrumentos que se van a alimentar a 120 V demandarán una potencia de $8 + 3 = 11 \text{ VA}$, o sea que la corriente que circulará es:

$$I = P / V = 11 / 120 = 0.091 \text{ A}$$

de manera que la potencia consumida por los conductores es:

$$\begin{aligned} VA_{\text{conductor}} &= r \cdot 2l \cdot I^2 \\ &= 0.005 \Omega/\text{m} \cdot 2 \cdot 25 \text{ m} \cdot 0.091^2 \\ VA_{\text{conductor}} &= 2.07 \times 10^{-3} \text{ VA} \end{aligned}$$

La potencia del transformador de potencia es:

$$\begin{aligned} VA_{\text{transformador}} &= 8 + 3 + 2.07 \times 10^{-3} \text{ VA} \\ VA_{\text{transformador}} &= 11.02 \text{ VA} \end{aligned}$$

y las especificaciones principales son:

Tensión principal	$115 / \sqrt{3}$	KV
Tensión secundaria	$120 / \sqrt{3}$	KV
Relación de transformación	115 / 120	
Clase de precisión	1.2	

2.8.1.4 Clase de precisión.

La clase de precisión de los transformadores de instrumento depende del tipo de instrumento por alimentar (de medición o de protección), de la potencia de consumo y su factor de potencia, estos instrumentos se toman en consideración en las recomendaciones que el fabricante proporciona por medio de tablas.

2.9 Relevadores de atracción electromagnética

Estos relevadores constan básicamente de cuatro partes las cuales se muestra en la figura 2.16; una bobina de alambre, un núcleo de hierro donde se encuentra devanada la bobina, una armadura consistiendo parcialmente de hierro de tal forma que pueda ser atraída por el núcleo de la bobina cuando circula corriente por ella y el flujo magnético ejerce una fuerza de atracción sobre el contacto móvil que es proporcional al cuadrado del flujo en el entrehierro; si despreciamos el efecto de saturación, la fuerza neta de atracción puede expresarse como:

$$F = K_1 \times I^2 - K_2$$

Donde:

F es la fuerza neta

K₁ es constante de conversión de fuerza

K₂ es la fuerza de retención incluyendo la fricción del resorte

I² es la magnitud de corriente en la bobina (valor eficaz)

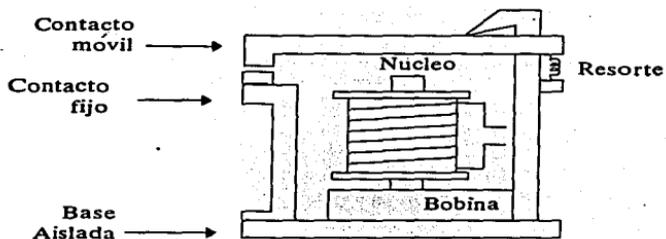


Figura 2.16 Relevador De Atracción Electromagnética.

2.10 Relevadores de inducción electromagnética

Estos relevadores son los más usados para propósitos de protección, operan bajo el principio de los motores de inducción, la fuerza de operación se desarrolla en un elemento móvil, que puede ser un disco u otra forma de rotor de material no magnético, en la figura 2.17, se muestra una sección del disco atravesado por dos flujos alternos ($\phi_1 - \phi_2$) que se encuentran desfasados entre sí, cada flujo induce al atravesar el disco generalmente de hierro, corrientes de Eddy ($I\phi_1 - I\phi_2$) que circulan en un plano perpendicular a la dirección del flujo, la corriente producida por uno de los flujos reacciona con el otro flujo y viceversa para producir las fuerzas que actúan en el rotor, como se trata de flujos alternos como forma senoidal podemos escribir:

$$\phi_1 = \Phi_1 \text{ sen } \omega t \quad (1)$$

$$\phi_2 = \Phi_2 \text{ sen } (\omega t + \theta) \quad (2)$$

Donde θ es el ángulo de desfase entre los dos flujos considerando despreciable la autoinductancia de las corrientes que circulan en el disco, podemos escribir :

$$I\phi_1 = \frac{d\phi_1}{dt} \quad I\phi_1 = K_1 \Phi_1 \cos \omega t \quad (3)$$

$$I\phi_2 = \frac{d\phi_2}{dt} \quad I\phi_2 = K_2 \Phi_2 \cos (\omega t + \theta) \quad (4)$$

Como se observa en la figura 1.3 las fuerzas F_1 y F_2 están en oposición y consecuentemente podemos escribir la función neta como sigue:

$$F = F_2 - F_1 \quad F = I_1\phi_2 - I_2\phi_1 \quad (5)$$

Sustituyendo las ecuaciones 1-2-3 y 4 en 5 se tiene :

$$F = K_1 K_2 \Phi_1 \Phi_2 (\sin(\omega t + \theta) \cos \omega t - \sin \omega t \cos(\omega t + \theta))$$

desarrollando la ecuación anterior se tiene:

$$F = K \Phi_1 \Phi_2 \sin \theta \quad (6)$$

Donde la ecuación 6 nos indica que la fuerza resultante es constante en todo momento dependiendo únicamente de los valores máximos de los flujos y el ángulo de fase entre ellos que es máximo cuando los flujos tienen un ángulo de fase entre si de 90° .

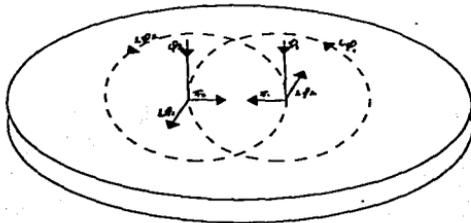


Figura 2.17 Relevador De Inducción Electromagnética.

2.11 Relevadores estáticos.

Un relevador estático para la protección es aquel en el que la medición o la comparación de las cantidades eléctricas se hace por medio de una red estática, diseñada para dar una señal de salida en la dirección de disparo, cuando se pasa una condición preestablecida. La señal de salida opera un dispositivo de disparo que puede ser electrónico o electromagnético.

La base de la llamada relevación estática la constituye el empleo de circuitos y componentes electrónicos, lo que permite que esos relevadores sean de menor volumen que los relevadores electromecánicos, para lograr la variedad de funciones y características de operación, que con fines de protección tradicionalmente se han venido obteniendo mediante dispositivos electromecánicos.

La confiabilidad del servicio eléctrico siempre tan importante ha sido objeto de especial atención al aumentar los niveles de cortocircuito, la capacidad de los circuitos, la complejidad de las conexiones y la reducción de los tiempos de operación de la protección, se ha convertido en un factor esencial para preservar la estabilidad dinámica y la carga de los sistemas a los límites de diseño, estos requisitos pueden cumplirse eficientemente con el empleo de los relevadores estáticos.

Los relevadores estáticos están compuestos básicamente por transistores, las características de los transistores son tales que pueden reemplazar a los elementos funcionales que se usan en el relevador electromecánico para dar las características necesarias. Las características técnicas,

particularmente adecuadas para el diseño de las unidades funcionales, son las de amplificación, interrupción, sensibilidad y velocidad.

Los circuitos de transistores no sólo pueden realizar las funciones esenciales de un relevador, tales como la integración y la comparación de parámetros de entrada e integración de los mismos, sino que también tienen la necesaria flexibilidad para adecuarse a los diversos requisitos de los relevadores.

Un relevador detecta el cambio entre las condiciones normales y anormales, comparando dos cantidades eléctricas vectoriales que se derivan de los voltajes y de las corrientes del sistema y que prevalecen en una posición particular del relevador. En la mayoría de los esquemas de protección solamente se emplean dos dispositivos de alimentación, por lo general la función se define por la relación entre las alimentaciones, la cual rige las condiciones límite para la operación, los comparadores pueden ser de fase o de amplitud, en la figura 2.18 se ilustran dos arreglos básicos de relevadores basados en los comparadores de fase.

En cualquiera de estos dos circuitos pasa una corriente de magnitud constante por el circuito de colector, sólo cuando las cantidades de entrada de C.A. (A ó B) son simultáneamente negativas. Un relevador del circuito colector entra en acción cuando el ángulo de traslape rebasa un cierto valor predeterminado (por que se trata de un comparador de fases) es decir, cuando el nivel principal de C.D. en el circuito colector, sobrepasa el valor de la entrada en operación del relevador como resultado de la coincidencia de fases.

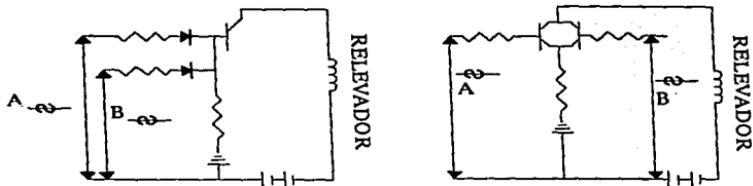


Figura 2.18 Comparadores Estáticos.

2.11.1 Ventajas de los relevadores estáticos.

Las ventajas de los relevadores estáticos son:

Respuesta rápida, larga vida, alta resistencia al choque y a la vibración.

Acción rápida de restablecimiento y la ausencia de sobrecarrera, son condiciones que se logran fácilmente, por la ausencia de inercia mecánica y de almacenamiento térmico.

No hay fricción en los cojinetes, ni problemas de contactos, por lo cual requiere un mantenimiento mínimo.

La facilidad de proveer amplificación, permite obtener mayor sensibilidad.

Los bloques básicos de la construcción de los circuitos semiconductores, permiten lograr un mayor grado de elaboración en la conformación de las características de operación, lo cual facilita la realización práctica de relevadores con características críticas que se aproximan más a los requerimientos ideales.

Como representan una baja carga (Burden), existen menos problemas en la precisión de los transformadores de corriente y potencial.

El empleo de circuitos impresos, evita los errores del alambrado.

2.11.2 Los relevadores estáticos tienen las siguientes limitaciones:

La variación de las características con la temperatura y con el paso de los años.

La baja capacidad de sobrecarga en un tiempo corto, en comparación de los relevadores electromagnéticos.

La dependencia de la confiabilidad de un mayor número de pequeños componentes y sus conexiones eléctricas.

Los dispositivos electrónicos operan ya sea como interruptores o como dispositivos de control de una corriente o de un voltaje, en respuesta de una señal de entrada. Puede suceder que la interrupción o el control sean muy rápidos y pueden lograrse con muy poca alimentación de energía.

Como la energía controlada puede ser grande, es importante el concepto de la ganancia de potencia o amplificación, en algunos casos una pequeña señal energizante puede crecer o generarse en una señal de salida muy grande, a partir de la energía suministrada por una fuente de

potencia de CD o CA . Los semiconductores se utilizan mucho y son eficaces en la realización de diversas funciones.

2.11.3 Circuitos lógicos.

El concepto de los relevadores estáticos y analógicos, puede comprenderse mejor considerando las operaciones lógicas que efectúan los dispositivos y no lo que realmente ocurre durante su operación, esto simplifica la compleja operación del relevador estático porque el interés se concentra en lo que ocurre, más que en la forma en como ocurre.

Básicamente todos los relevadores estáticos son dispositivos biestables es decir, tienen dos estados estables, operan o no operan.

En el sistema lógico, se utilizan dos tipos de estados, el voltaje más positivo es el nivel lógico "1" y el otro es el nivel lógico "0", se dice que el sistema emplea lógica positiva de C.D. Para un sistema de lógica negativa de CD es aquel que designa al estado de voltaje más negativo como el nivel lógico "1" y el más positivo como el nivel lógico "0", en la figura 2.19, se ilustran estos dos tipos de sistemas lógicos.



Figura 2.19 Estados Lógicos (Lógica Positiva Y Lógica Negativa).

2.11.4 Unidades lógicas principales de mayor uso en los relevadores:

Compuerta " Y " (AND).

La salida de una "Y" asume el estado "1" si y sólo si todas las entradas asumen el estado "1"

Compuerta " O " (OR).

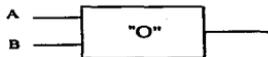
La salida de un "O" asume el estado "1" si una o más entradas asumen el estado "1"

Compuerta " NO " (NOT).

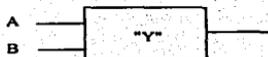
La salida de una "NO" toma el estado "1" si y sólo si la entrada no asume el estado "1".

Compuerta inversor " N " toma el estado "1" si y sólo si a la entrada se tiene un "0".

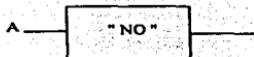
Estas operaciones básicas aparecen representadas en bloques junto con la tabla de verdad correspondiente, con todos los posibles valores de entrada y las salidas correspondientes figura 2.20.



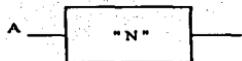
Entrada		Salida
A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1



Entrada		Salida
A	B	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1



Entrada	Salida
A	Y
0	1
1	0



Entrada	Salida
A	Y
0	1
1	-1

Figura 2.20 Diagramas De Bloques De Las Operaciones Básicas.

Para establecer una relación entre los circuitos de relevadores y sus operaciones lógicas, en la figura 2.21, se ilustran las operaciones básicas mecanizadas. Todos los contactos aparecen en su posición normal, es decir en posición desenergizada, en consecuencia cada operación del relevador puede subdividirse en funciones básicas de interrupción y éstas a su vez representarse por medio de un circuito lógico adecuado.

Estos circuitos lógicos pueden obtenerse usando dispositivos semiconductores como, diodos, transistores, microprocesadores, etc.

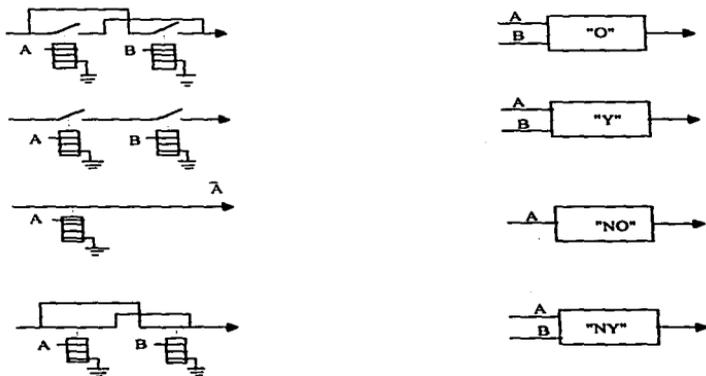


Figura 2.21 Operaciones Lógicas Utilizando Relevadores.

2.11.5 Elementos básicos de un relevador estático.

Los semiconductores y las unidades lógicas de estado sólido pueden combinarse de diversas maneras, para formar unidades lógicas básicas para relevadores y equipos de protección. Dichas unidades pueden clasificarse en: detectores de falla con procesamiento de datos, unidades amplificadoras y unidades auxiliares.

2.11.5.1 Unidades de procesamiento de datos y detectores de falla.

Estas unidades reciben la señal de entrada del sistema de potencia (voltaje, corriente, ángulo de fase, etc.) para determinar si existe alguna condición anormal en el sistema, dentro de la zona de protección del relevador, dentro de los detectores mencionados se encuentran los comparadores de magnitud y los comparadores de ángulo.

2.11.5.1.1 Comparador de magnitud.

En la figura 2.22 se muestra el circuito lógico de un comparador de magnitud, en el cual es básicamente un detector de nivel que puede utilizarse como una unidad de sobrecorriente instantánea. El circuito se alimenta con corriente de los T.C. y mediante un transductor, se transforma la señal de corriente en una señal de voltaje. Este voltaje queda limitado por un diodo cliper (recortador) Z1 y una resistencia R2. El valor mínimo de operación se ajusta con R1, un ajuste bajo de R1 permite que se derive más corriente a través de R1 y R3 pasando menos corriente hacia el circuito rectificador.

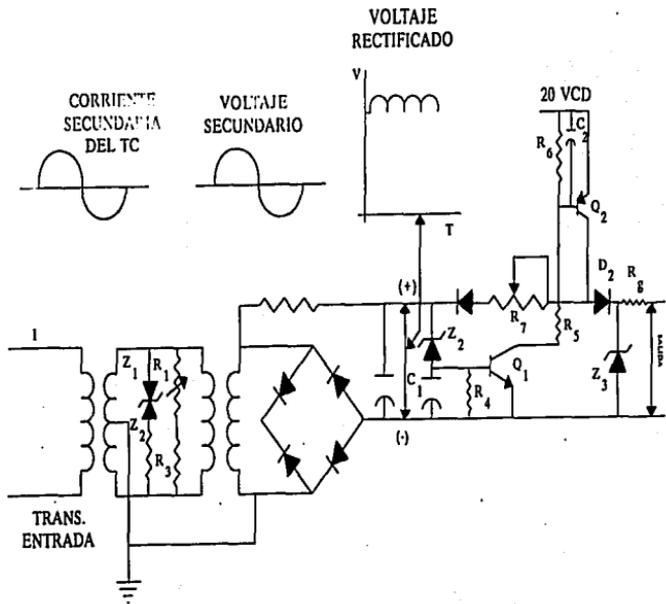


Figura 2.22 Diagrama De Un Comparador De Magnitud Aplicado Como Unidad De Sobrecorriente Instantánea.

El circuito rectificador consta de un puente para transformar la señal de C.A. a C.D., además de un arreglo de resistencia y capacitancia para reducir el rizo de la señal. El voltaje de salida se muestra en la parte superior de la figura 2.23. Cuando este voltaje iguala el voltaje del zener Z2, conduce suministrando corriente de base a Q1 para que conduzca, Q1 a su vez polariza a Q2 para que conduzca y se tenga una señal de salida a través de D2 y R9. se tiene además una retroalimentación que sirve para sellar o mantener el circuito de disparo cuando la corriente de operación sea mínima evitando el parpadeo de la señal de disparo.

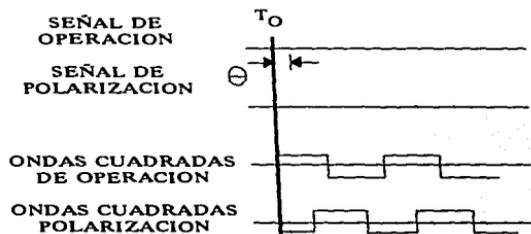


Figura 2.23 Relación De Fases Del Comparador Tipo Bloqueo Para Condiciones De Operación.

2.11.5.1.2 Comparador de ángulo de fase.

El circuito lógico del comparador de ángulo de fase produce una salida cuando el ángulo de fase entre dos cantidades está dentro de ciertos límites críticos, tanto la magnitud de polarización como la de operación pueden ser voltaje o corriente. Un tipo de comparador usado en relevadores de protección es el de bloqueo.

El comparador de ángulo de fase tipo bloqueo, usa el principio de detección, cuando la senoide pasa por cero, para generar ondas cuadradas. Los circuitos lógicos adicionales dan señal de salida si la magnitud de operación adelanta a la magnitud de polarización, la relación de fases para condiciones de operación, se muestra en la figura 2.23. La señal de salida se tiene cuando la magnitud de operación adelanta a la magnitud de polarización de 0 a 180°, por otra parte no se tendrá señal de salida si la magnitud de operación atrasa la magnitud de polarización de 0 a 180°.

La relación de fase para la condición de restricción se muestra en la figura 2.24. Los medios ciclos de onda cuadrada se generan cada vez que las senoides pasan por cero. La polaridad de las ondas cuadradas son las mismas que las senoides que las generan, es decir si la senoide corresponde al semiciclo positivo, la onda cuadrada también es positiva y viceversa.

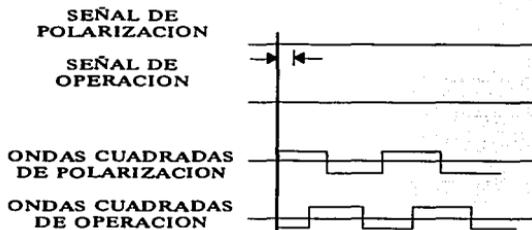


Figura 2.24 Relación De Fases Del Comparador Tipo Bloqueo Para Condiciones De Restricción.

La mitad del circuito comparador figura 2.25, realiza la comparación durante el semiciclo positivo y otro circuito similar realiza la comparación durante el medio ciclo negativo. Los diodos de entrada, y los grupos DA y DB, limitan el voltaje de entrada a 1.5 volts y el voltaje de salida de los transformadores T1 y T2 a 12 volts. Para las condiciones de operación mostradas en la figura 2.23, la magnitud de operación adelantada, polariza positivamente a Q1, antes que la magnitud de polarización pueda hacer la base de Q3 positiva. Al conducir Q1, polariza a Q2 para que también conduzca, puesto que Q3 no ha sido disparado, se encuentra en estado de bloqueo, permitiendo la salida a través de Q2, R8 y los diodos de salida. Cuando Q2 conduce, D3 se polariza inversamente a través de D4 de la fuente de 20 volts, esto evita el flujo de corriente de base para que Q4 no

conduzca cuando la magnitud de polarización se vuelva positiva, haciendo conducir únicamente a Q3, debido a que Q4 no conduce, se tiene una señal de salida durante todo el medio ciclo.

Durante el semiciclo negativo, en forma similar, la señal de operación adelantada manda una señal a la otra mitad del circuito, la cual se conecta a través del diodo para el medio ciclo negativo a la salida.

Por otra parte si la señal de polarización adelanta a la señal de operación, figura 2.24, la base de Q3 se vuelve positiva antes que la base de Q1, Q3 conduce y también conduce Q4, la corriente fluye a través de Z1, Q4, R6 y R7, produciendo una caída de voltaje a través de R7. Este voltaje polariza el tiristor Q5, haciendo que conduzca y a la vez puentea el circuito de salida, es decir no se puede tener señal de salida.

Cuando la señal de operación se vuelve positiva, hace conducir a Q1 y Q2 pero debido a que Q5 está conduciendo, la corriente a través de Q2 y R8 se puentea al negativo. La señal de operación que permanece cuando se completa el medio ciclo de la señal de polarización, no produce salida debido a que Q5 continúa conduciendo. El restablecimiento de Q5 queda determinado por la corriente de ánodo a cátodo. R8 se ajusta de manera que circule la corriente suficiente de la fuente de 20 volts para mantener a Q5 en el estado de conducción hasta que la señal de operación sea prácticamente cero.

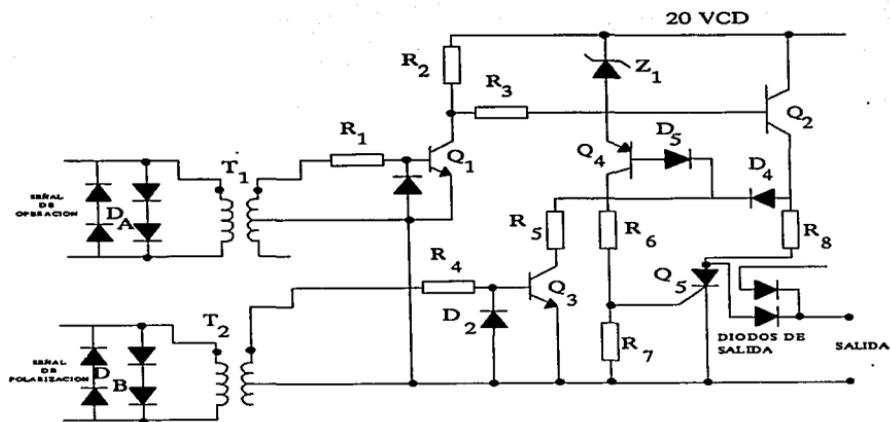


Figura 2.25 Diagrama Del Comparador De Ángulo De Fase.

2.11.5.2 Unidades amplificadoras

Un ejemplo de una unidad amplificadora es la que se utiliza como circuito iniciador de disparo de un relevador. Este circuito realiza dos funciones, amplifica la potencia del circuito de disparo y aísla el circuito de control de la fuente de energía de la bobina de disparo del interruptor, la figura 2.26, muestra un circuito típico de iniciación de disparo, el cual funciona de la siguiente forma.

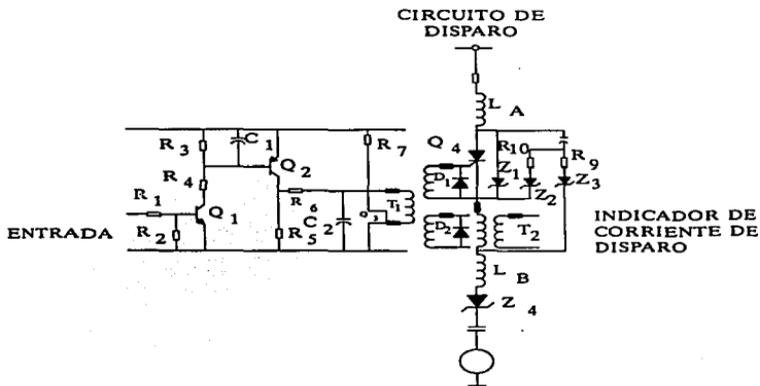


Figura 2.26 Circuito De Iniciación De Disparo.

Q1 conduce cuando el voltaje de entrada proveniente del comparador es mayor de 2V. A continuación Q1 hace conducir Q2, permitiendo que C2 se cargue a través de R6. Cuando el voltaje a través de C2 alcanza el valor de arranque de la unijuntura Q3, la energía del capacitor se descarga a través de T1. Esta descarga reduce el voltaje a través del capacitor dejando nuevamente a Q3 en reposo, hasta que C2 alcanza nuevamente el voltaje de arranque de Q3, de manera que se obtiene una serie de pulsos durante todo el tiempo que esté presente la señal de entrada. Los pulsos son transformados a través de T1 para disparar el tiristor Q4, permitiendo la circulación de corriente a través de LA, Q4, el primario de T2, LB, Z4 y la bobina de disparo del interruptor. El tiempo de operación de este circuito es de aproximadamente 1 milisegundo. El segundo devanado secundario de T1 se conecta en forma similar al primer secundario cuando se necesita otro disparo.

Los elementos asociados a Q4, excepto T2 que energiza el circuito de señalización, son aditamentos de seguridad. El zener Z1 es una trampa para transitorios de alto voltaje en las terminales de la batería, que sirven para evitar falsas operaciones de Q4 debido a transitorios y sobrevoltajes. El reactor de dos devanados LA-LB suprime cualquier transitorio que pudiera transmitirse a través de la capacitancia entre devanados de T1 o entre el circuito de disparo y el alambrado de otro circuito lógico. El zener Z4 evita el transitorio de excitación que provoca una oscilación de alta frecuencia que puede invertir el sentido de la corriente a través de Q4 regresando a esté a su estado de bloqueo.

El capacitor C3 se carga inicialmente a través de R9 y Z3 cuando el interruptor se cierra, punteando a T2 para evitar una indicación falsa. Cuando Q4 se dispara C3 se descarga a través de

Q4, Z2 y R8. Esta descarga suministra una corriente de sostenimiento para Q4 de aproximadamente 1 milisegundo (tiempo suficiente para que la corriente inductiva a través de la bobina de disparo alcance la corriente de sostenimiento requerido para Q4).

2.11.5.3 Unidades lógicas. (Circuitos de alarma y señalización)

Existen dos tipos de circuitos que se utilizan como indicadores luminosos y de alarmas, uno es para las operaciones de disparo de interruptor y la otra es para uso general.

En la figura 2.27 se muestra un circuito típico de indicación de disparo de interruptor y alarma, el transformador T2 se encuentra en el circuito, como se indica en la figura 2.26, el núcleo del transformador utiliza un material con ciclo de histéresis cuadrada, para producir una corriente de excitación muy pequeña y una reactancia inductiva despreciable cuando se satura. Cuando la corriente de disparo fluye (después de arrancar Q4), el circuito de R1, C1, R2 y R3 aumenta el pulso de 2 milisegundos del secundario de T2 a 6 milisegundos y 20 volts a la salida de Q2. La señal de entrada hace conducir a Q1 y Q2 para cargar el condensador C2.

Cuando el voltaje llega al valor de conducción de la uninjuntura, Q3 conduce y polariza a Q4 energizando la indicación luminosa, al conducir Q4 polariza la compuerta de Q5 a través de R10 y la caída de voltaje a través de R11, Q5 energiza el relevador de alarma aunque el circuito de indicación luminosa se abra, Q5 permanecerá conduciendo.

El circuito de indicación o señalización de uso general se muestra en la figura 2.28, la condición normal es un " 1 " en la entrada, lo que hace que Q1 conduzca, para indicación el " 1 "

es removido, dejando a Q1 fuera. En estas condiciones C1 se carga a través de R3 y R7, cuando el voltaje a través de C1 alcanza el valor de disparo de Q2, este conduce y polariza a Q4 y Q5 para energizar la lámpara indicadora y el relevador de alarma.

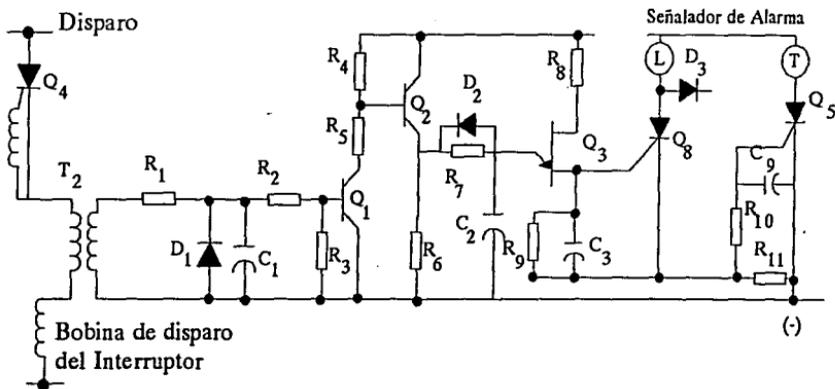


Figura 2.27 Circuito Típico Indicador De Disparo De Interruptor Y Alarma.

través de C1 alcanza el voltaje zener de Z1 más el potencial de umbral de D1 y Q2, la corriente de base fluye, conduciendo Q2.

Al conducir Q2, se elimina el voltaje de salida, el tiempo de retardo es el intervalo entre la eliminación de la señal de entrada y la eliminación de la señal de salida. Se puede usar circuitos similares para obtener un retardo durante el intervalo entre la aparición de una señal de entrada y la aparición de una señal de salida, los temporizadores pueden ser de tiempo ajustable haciendo algunos elementos como R3 ajustables.

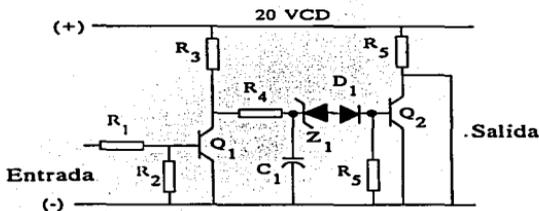


Figura 2.29 Circuito Típico De Un Temporizador.

CAPITULO 3

RELEVADORES UTILIZADOS EN EL

TABLERO DE PROTECCIONES

3.1 Relevador instantáneo de sobrecorriente (SC)

Este tipo de relevador opera por el principio del solenoide, consta de un marco en forma de U, montado sobre una base moldeada que sostiene la bobina y sirve como trayectoria exterior del circuito magnético, la bobina rodea un núcleo atornillado a la parte superior del marco con una tuerca, una pieza tubular sujeta al núcleo y con rosca en la parte inferior sirve como conducto al émbolo, este último tiene una flecha inferior con una chumacera grafitada que permite su movimiento, el émbolo no toca las paredes del tubo que lo contiene.

El ajuste se obtiene mediante un puente magnético que rodea al núcleo y que se atornilla o destornilla sobre el tubo, la parte inferior de este puente magnético esta biselado y moleteado para sujetarla con los dedos y efectuar el ajuste, una escala adyacente sirve para indicar la calibración por medio de una ranura en el extremo inferior del puente magnético.

Por la construcción del émbolo, núcleo y puente se tiene que cuando opera el relevador el émbolo queda en una posición intermedia sin tener ningún tope que limite su avance aún cuando la corriente tenga un valor mayor del valor de ajuste, por lo tanto no hay ruido y los contactos no sufrirán vibraciones, el puente magnético se mantiene fijo en el punto de ajuste mediante un mecanismo de resorte que oprime una palanquita contra el cuerpo cilíndrico, cuando se desea mover el cilindro basta aliviar la presión que ejerce este resorte y efectuar el ajuste, los contactos estacionarios están montados sobre unas ménsulas con ranura de corredera, fijas sobre la base del relevador mediante tornillos con rondana de presión, este arreglo permite girar el contacto estacionario para obtener contactos normalmente cerrados o normalmente abiertos según se

requiera, estos contactos son capaces de tomar 5 amperes continuamente y de abrir con 5 amperes a 115 VCA o 1 amper a 125 VCD.

Los indicadores de operación pueden usarse para marcar la carrera ascendente o descendente del émbolo, de fábrica indican la ascendente, pero con una inspección del mecanismo se vera que se puede invertir su operación, y que siempre se deberá restituir el indicador a su posición inicial mediante una varilla que sale al exterior por el centro del tornillo que sujeta la tapa de cristal, de no hacerlo puede haber una pequeña diferencia en el valor minimo de operación del relevador, se cuenta con tres relevadores con las siguientes características:

Frecuencia ciclos	Gama amps	Contactos amps. max.	Relación de desconexión	
			CA	CD
25 - 60	2 - 8	6	90 - 98 %	65 - 80 %
25 - 60	4 - 16	12	90 - 98 %	65 - 80 %
25 - 60	10 - 40	25	90 - 98 %	65 - 80 %

Para realizar el ajuste necesario para la operación del relevador, primero se debe calcular el valor al que debe operar, mediante el cilindro que constituye el puente magnético se efectúa el ajuste.

Debido a que es una de las protecciones más sencillas y económicas se utiliza fundamentalmente en alimentadores de distribución, líneas de transmisión corta y como protección de respaldo de circuitos de cierta importancia, en la figura 3.1 se muestra el relevador de atracción electromagnética.

En la figura 3.2 se muestran las curvas características de operación del relevador instantáneo de sobrecorriente tipo SC, las cuales nos van a servir para realizar los ajustes para la mejor selectividad del relevador.

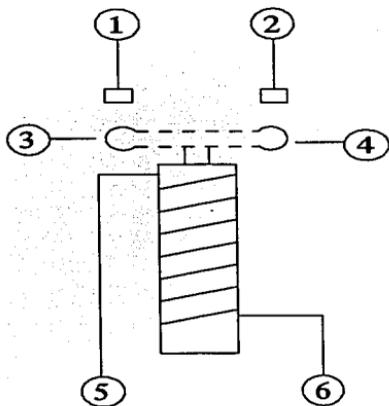
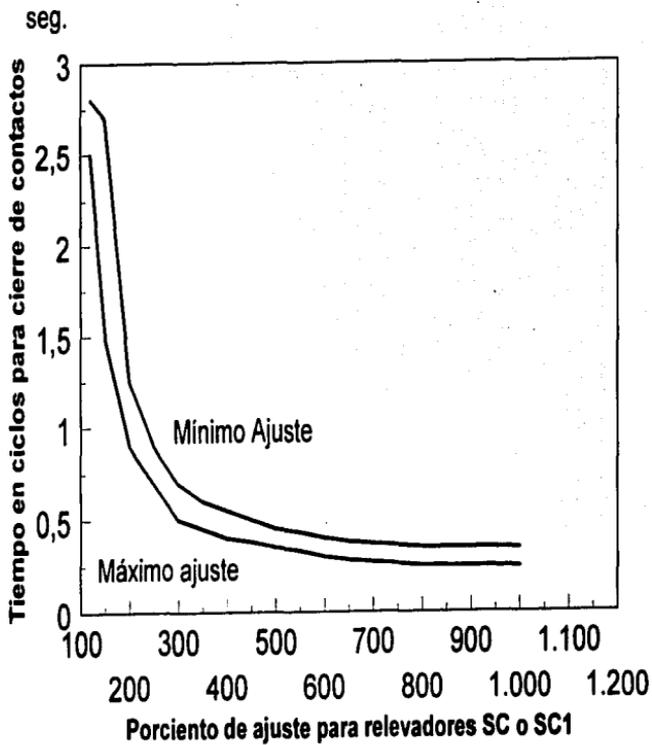


Figura 3.1 Relevador De Atracción Electromagnética.

Figura 3.2. Curvas Características Del Relevador Instantáneo De Sobrecorriente Tipo S.C.



3.2 Relevador de sobrecorriente (CO)

La protección de sobrecorriente se aplica en la supervisión de fallas, entre fases y las fallas de fase a tierra, en los circuitos de corriente alterna de los sistemas eléctricos de producción, transmisión y distribución de energía eléctrica.

Este tipo de protección es de las más sencillas y económicas, se utiliza fundamentalmente en alimentadores de distribución, líneas de transmisión y como protección de respaldo de ciertos circuitos. Este relevador es el más comúnmente usado en protección, funciona por el mismo principio de los wathorímetros y cuando se aplica a la construcción de relevadores se puede tener muchas variedades en cuanto a características de tiempo de operación, en función de pequeñas diferencias en diseño eléctrico y mecánico, el relevador de inducción se compone como se muestra en la figura 3.3.

Se trata de un disco montado sobre un eje que gira contra la acción del resorte, el contacto móvil queda fijo al eje del disco, por lo tanto el par que produce el giro del disco es provocado por un electroimán, el imán amortiguador produce un efecto de freno, cuando el disco empieza a moverse y es un factor importante para tener la característica de tiempo deseada, la escala de tiempo marca la posición inicial del contacto móvil y su calibración determina el tiempo necesario para que el relevador cierre el circuito de disparo.

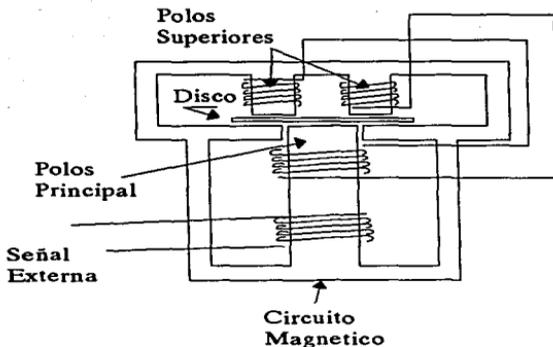


Figura 3.3 Circuito Magnético Del Relevador De Inducción.

En la figura 3.3, se puede ver que el polo inferior tiene dos embobinados, el embobinado principal se conecta al exterior y otro queda conectado en serie con las bobinas de los polos superiores, al circular una corriente en la bobina principal se induce un voltaje en la bobina secundaria circulando corriente en los embobinados de los polos superiores, esta corriente estará atrasada con respecto a la corriente del polo inferior produciendo un flujo desfasado con relación al flujo del polo inferior, entonces se producirán corrientes de eddy en el disco que reacciona con los flujos para producir el movimiento con el cual comienza la operación del relevador.

Un relevador construido de acuerdo con estos principios tendrá una curva de tiempo inverso como se muestra en la figura 3.4. lo que significa que el relevador operará lentamente para pequeños valores de corriente pero al aumentar la corriente el tiempo de operación disminuirá, sin embargo hay un limite para la velocidad de giro del disco, debido a la acción del imán amortiguador y al hecho de que cuanto más rápido gire el disco más se acerca a su velocidad de sincronismo de aquí que llegará un momento en que a pesar del incremento de corriente la curva de tiempo del relevador tenderá a adquirir un valor constante. La curva de operación del relevador de sobrecorriente de tiempo inverso tipo CO se muestra en la figura 3.4.

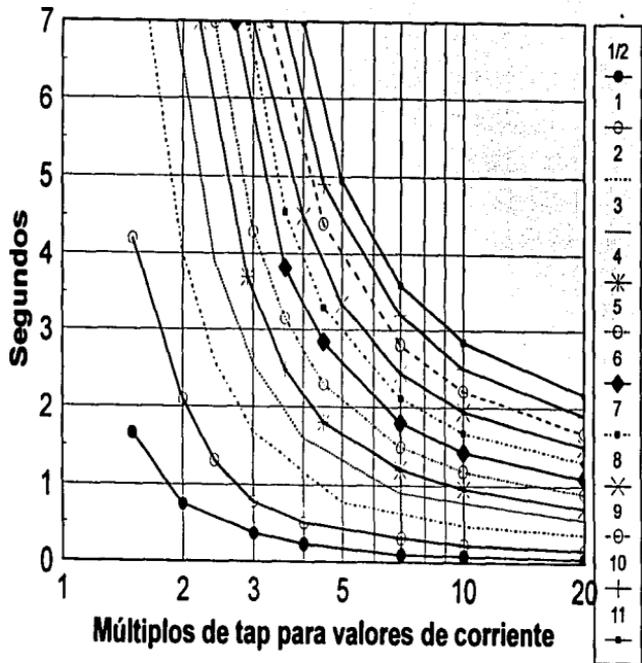


Figura 3.4 Curva Típica De Un Relé Tipo C.O. De Tiempo Inverso.

El relevador tipo CO de tiempo inverso se usa cuando se requieren las condiciones siguientes:

Una carga baja para el transformador de corriente .

Una curva de tiempo inverso para tener buena selectividad .

Una gama de corrientes de operación bajas como el caso de protección de tierras en líneas de transmisión .

Opera en una gama de corriente entre 4 y 15 amperes, el valor que se seleccione será la corriente mínima requerida para cerrar los contactos del relevador. Adicionalmente a las terminales de selección de corriente (tap's), existe una escala semicircular calibrada en 11 divisiones para el ajuste inicial del contacto móvil, para el circuito de disparo los contactos principales pueden cerrar 30 amps. a 250 VCD y los contactos del contactor auxiliar pueden soportar el tiempo necesario para producir el disparo, si la corriente es menor de 2.25 amp. CD no se requiere el uso del contactor y se podría desconectar.

Hay dos factores para realizar los ajustes de relevador:

Valor de la corriente al que el relevador debe cerrar sus contactos .

Tiempo que debe tomar el relevador en cerrar contactos .

En el caso de seccionar sistemas de transmisión, la corriente y el ajuste de tiempo se deberá determinar mediante análisis del sistema a fin de dar él tiempo adecuado para la apertura de cada interruptor y obtener una buena selectividad en todo el sistema.

Para el ajuste de corriente, el tornillo de conexión en la placa de terminales situada arriba de la escala de tiempo sirve para conectar a distintos puntos de la bobina de operación, se deberá entonces colocar el tornillo en el orificio que corresponda al valor mínimo de la corriente a que deba cerrar sus contactos el relevador, los valores que se pueden seleccionar son: 4-5-6-8-10-12-15 amps. El valor de la corriente de disparo en el relevador para cualquier conexión, puede ser variado en un 15% arriba o abajo cambiando la tensión inicial del resorte con un desarmador insertandolo en una de las ranuras de la placa, a la cual esta sujeta la espiral exterior del resorte, por cada ranura se tiene un 15%.

Para ajuste de tiempo, el índice es el semicírculo superior cuya función es limitar el movimiento del disco y de esta manera cambiar el tiempo de operación; esta variación se aprecia en la curva típica de tiempo que aparece en la figura 3.4.

El relevador cuenta con un dispositivo que permite al operador identificar cuando el relevador ha operado, ésto es por medio de una bandera la cual indica que opero el relevador, para restablecer basta con oprimir la palanquita que se tiene en la parte inferior del relevador.

3.3 Relevador diferencial C.A.

Este relevador es diseñado para protección diferencial de transformadores de potencia, el relevador C.A. consiste en un elemento diferencial, un indicador de operación y contactos.

El elemento diferencial tiene un elemento de inducción con varios embobinados, dos de ellos colocados en el polo inferior izquierdo, las cuales son de retención, la bobina de operación se encuentra en el polo inferior derecho. Unas bobinas transformadoras colocadas en ambos polos y conectadas en paralelo, suministran corrientes a los embobinados del polo superior; la corriente en el polo superior genera un flujo que está en cuadratura con el flujo resultante de los polos inferiores, produciendo un par en el disco como se muestra en la figura 3.5.

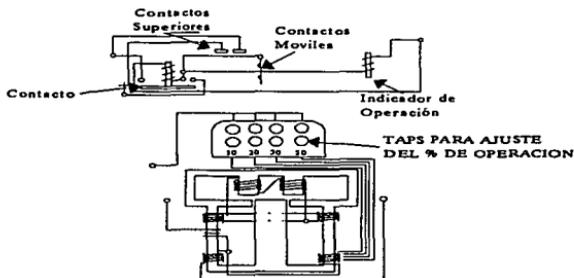


Figura 3.5 Esquema Del Relevador Diferencial De C.A.

Si la bobina operadora está energizada, el par producido, es en la dirección del cierre de contactos y si circula corriente en las bobinas de retención en la misma dirección se produce un par opuesto al cierre de contactos. Con el relevador conectado como se ilustra en la figura 3.6, la falla indicada provoca corrientes que circulan por las bobinas de retención en la misma dirección, si los transformadores de corriente operan debidamente, estas corrientes serán iguales (serán iguales si se han usado los tap's adecuados para compensar diferencias de los transformadores de corriente) y no habrá corriente en la bobina de operación y por lo tanto se tendrá un par en el sentido de abrir contactos, si las corrientes en las bobinas de retención fueran efectivamente desiguales la diferencia debe circular por la bobina operadora, la corriente necesaria en esta bobina para superar el par de retención y cerrar contactos es una función de la corriente de retención, como se indica en la figura 3.7.

En el caso de una importante falla interna, cuando una fuente exterior alimenta corriente en dirección a la falla, las corrientes de retención son de dirección opuesta y el par de retención tiende a anularse, cuando las corrientes son iguales y opuestas el par de retención es nulo; cuando son desiguales y opuestas, el par es equivalente a la diferencia entre corrientes efectivas dividida entre dos, pero desde el momento en que la bobina operadora, que es más sensible esta energizada por la suma de las dos corrientes, el par de retención es pequeño y se produce un par de operación grande que cierra contactos, se podrá ver en la figura 3.7. La operación del relevador con corrientes de retención a 180° de desfaseamiento, también corresponde al caso en que solo haya corriente en una bobina limitadora y en la bobina de operación.

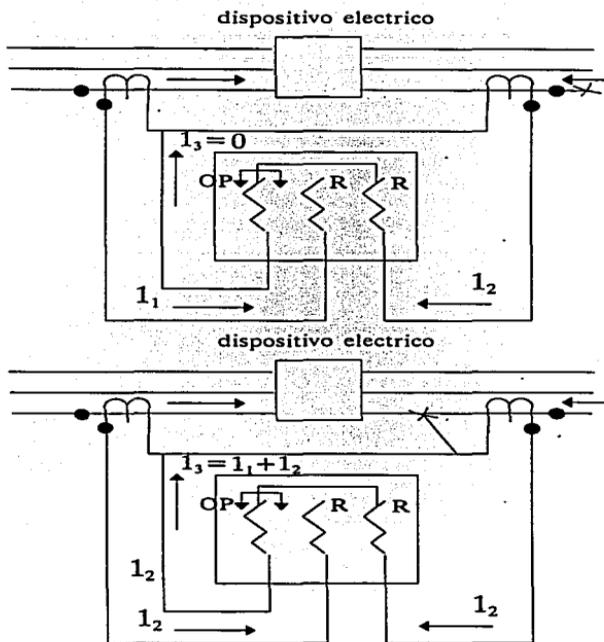


Figura 3.6 Circulación De Corrientes En Caso De Falla Dentro Y Fuera De La Zona Protegida.

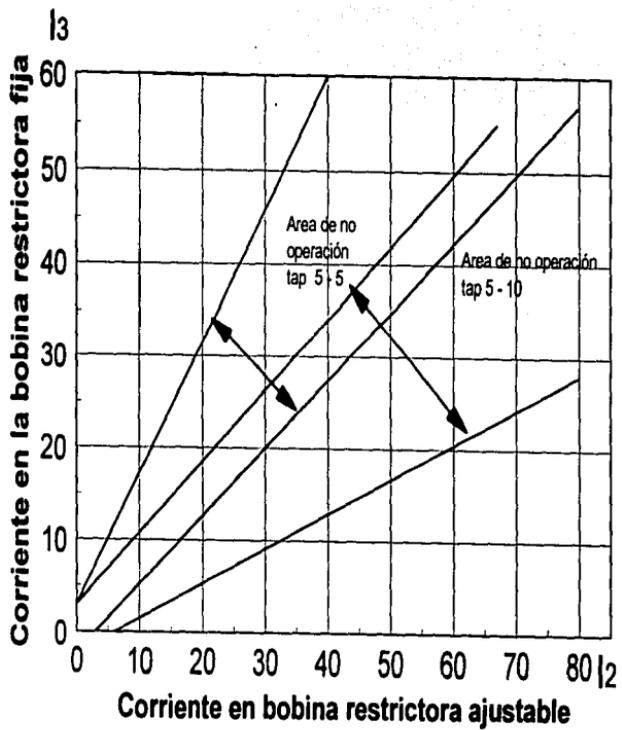


Figura 3.7. Curva Característica Del Relevador Diferencial.

El contactor de corriente directa según la figura 3.5, es del tipo solenoide cuya bobina está en serie con los contactos del relevador y con la bobina de disparo del interruptor que se desea operar.

El indicador de operación, está constituido por un solenoide conectado al circuito de disparo, al energizarse permite la operación de un resorte que libera la banderita blanca que cae por gravedad. La banderita se restablece a su posición inicial mediante la barrita que sale al exterior del relevador por uno de los tornillos de la tapa.

Las características normales de operación se muestran en las curvas de figura 3.7, cuando se toman las corrientes que circulan en el relevador y se fijan en las curvas, si el punto queda fuera de las áreas inoperantes, el relevador cerrará sus contactos; en las gráficas están marcados como áreas inoperantes las correspondientes a los puentes 5-5 y 5-10, para obtener las áreas inoperantes correspondientes a estos tap's se pueden determinar en forma aproximada con las fórmulas siguientes:

$$\text{curva superior} \quad I_1 = \frac{7.5 \times I_2}{T}$$

$$\text{curva inferior} \quad I_2 = 0.37 \times I_1$$

donde T es el número mayor del par de tap's.

Para efectuar los ajustes observa, al frente del relevador una tablilla de tap's o puentes, que se seleccionan colocando el tornillo en el lugar deseado, quedando un tornillo en cada fila, para determinar la correcta calibración se calculan las corrientes que entran al relevador a plena carga del banco de transformadores, tomando en consideración no sólo las relaciones de los

transformadores de corriente sino también cualquier conexión delta que se use, las corrientes calculadas tendrán cierta relación y los tap's escogidos deberán coincidir con esta relación al máximo posible.

3.4 Relevador de corriente equilibrada (H.D)

Este relevador es de alta velocidad, es adecuado para protección de líneas paralelas mediante supervisión de equilibrio de corrientes, lo que permite detectar fallas entre fases, entre fase y tierra, tiene contactos de doble tiro, haciendo posible la protección por corriente equilibrada en un extremo de ambas líneas con el uso de cuatro relevadores, tres por fase y uno para tierra, no puede usarse en el extremo receptor de un par de líneas paralelas radiales, puesto que siempre la corriente será igual y no operaría.

El relevador es del tipo de espira inductora, según la Fig. 3.8, ésta se encuentra montada sobre un pivote y constituye el secundario de un pequeño transformador, el primario del transformador consiste en dos bobinas simétricas T_1 y T_2 , conectadas de modo que circulan corrientes en la misma dirección, la corriente inducida en la espira es proporcional a la diferencia de magnitud de las corrientes. La espira está colocada en un campo magnético producido por dos bobinas de corriente C_1 y C_2 , conectadas de tal forma que sus flujos se suman cuando las corrientes son de la misma dirección, el campo magnético resultante producido es proporcional a la suma de las corrientes de ambas líneas como se muestra en la figura 3.8.

Es evidente que el par resultante en la espira existirá sólo cuando hay diferencia entre las corrientes independientemente de que circulen en una dirección o en otra, de existir esta diferencia entre las corrientes, se producirá un par que cerrará los contactos y abrirá el interruptor de la línea con corriente mayor, el contacto móvil está sujeto sólidamente a la espira inductora mediante una

barrita de micarta, los contactos estacionarios están localizados de tal modo que con $1/16''$ de movimiento del contacto móvil se cierra el circuito y se dispara el interruptor.

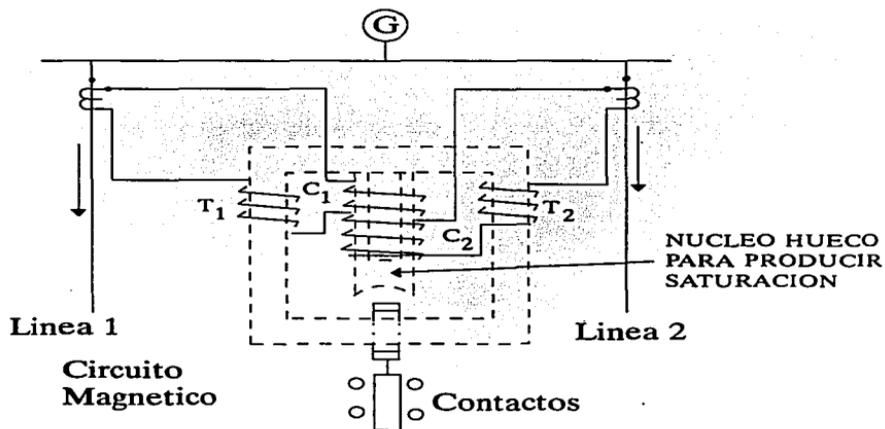


Figura 3.8. Relevador De Corriente Equilibrada.

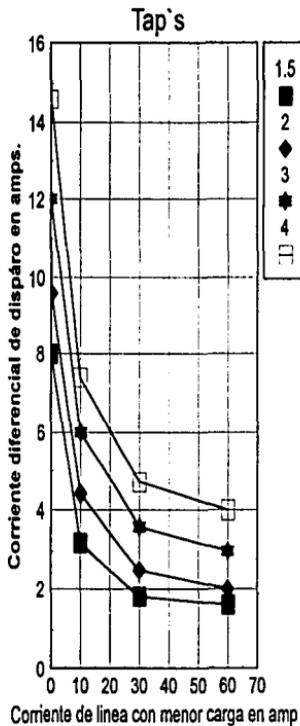
También montada en la espira, se tiene una pequeña pieza de hierro dulce que constituye la armadura de las bobinas de amarre, estas bobinas se excitan al cierre de los contactos principales y las mantienen firmemente cerrados para evitar vibración en los contactos en los casos de un par muy alto.

Estas bobinas de amarre permanecen energizadas al mismo tiempo que el contactor permanezca energizado, puesto que están en serie con el circuito de disparo, hay también dos indicadores de operación para mostrar cuál de los circuitos de disparo ha actuado, la resistencia del circuito de disparo del relevador es aproximadamente 1 ohm, los contactos principales del relevador pueden tomar fácilmente una corriente de 30 amps. a 125 VCD y el contactor puede llevar ésta misma corriente durante el tiempo que sea necesario para el disparo del interruptor, el relevador operará solamente cuando la diferencia de corrientes entre líneas lleguen a un valor predeterminado, el cual se ajusta previamente en el relevador.

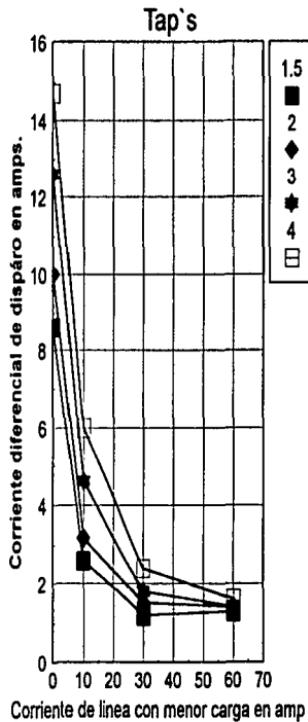
Las características de operación se muestran en las gráficas de la figura 3.9. Los valores que se tiene para ajustes son 1.5, 2, 3 y 4, y representan la diferencia de corriente necesaria para que opere el relevador con 60 amps y 30 amps secundarios en la espira inducida, de las curvas características de operación de la figura 3.9, se podrá apreciar que el relevador opera a valores menores de diferencia de corriente, cuando las corrientes son de direcciones opuestas, esta particularidad es conveniente desde el momento en que no pueden circular corrientes de direcciones opuestas excepto en caso de falla.

H.D.

Figura 3.9. Curvas Características De Operación Del Relevador De Corriente Equilibrada



En una sola dirección



Dirección opuesta

Los factores más importantes que se deberán tomar en cuenta para los ajustes son:

Corriente normal en la línea

Corriente de corto circuito (amperes secundarios)

Precisión de los transformadores de corriente

La corriente normal de la línea, es importante puesto que determina el valor de la corriente en una línea cuando la otra está fuera de servicio, es decir si la corriente de carga es poco mayor de 3 amps. en el secundario del transformador, el relevador puede ser usado en 1.5 puesto que son necesarios más de 6 amps. (Doble de la corriente de carga), para la operación del relevador con una sola línea en servicio, para corrientes de carga mayores se deberá seleccionar otro ajuste mayor.

La magnitud de la corriente secundaria de corto circuito es importante puesto que determina el punto de la curva característica en que el relevador opera, como el relevador es más sensible con corrientes altas, los transformadores de corriente se deben seleccionar de modo de obtener la mayor corriente posible en condiciones de falla, teniendo en cuenta las necesidades indicadas en el párrafo anterior. El funcionamiento satisfactorio del relevador durante condiciones de falla exteriores a la zona protegida está íntimamente ligada con la precisión de los transformadores de corriente, por esto es necesario considerar la precisión de los transformadores de corriente en la selección del ajuste. Para la calibración del relevador se harán las conexiones como se indica en la figura 3.10.

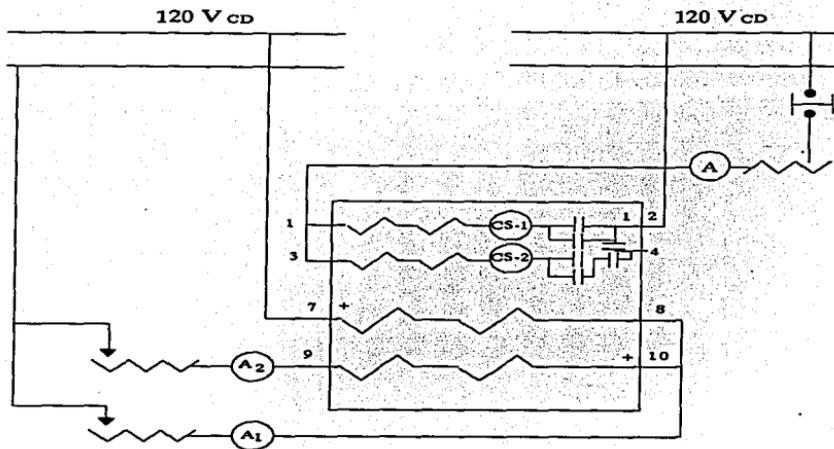


Figura 3.10. Diagrama De Conexiones De Prueba De Corrientes En Una Sola Dirección.

Ahora, de acuerdo con la curvas de operación, ajústense las cargas para tener las lecturas siguientes:

$$A_1 = 60 \text{ amp.} \quad A_2 = 1.5 \text{ amp.}$$

Esto se debe hacer con voltajes aplicados bruscamente siendo la condición en que operará el relevador, si se hace con corrientes obtenidas gradualmente se tendrá resultados diferentes a causa del calentamiento, por lo tanto se deberá hacer tanteos hasta lograr las lecturas indicadas exactas, una vez obtenida las lecturas, ajústese el resorte para que se produzca el disparo a la izquierda en estas condiciones teniendo los tap's en 1.5, como comprobación se deberá observar que el relevador envíe el disparo cuando $A_1=0$ amps. y $A_2=7-9$ amps. Para calibrar el disparo a la derecha intercámbiense las conexiones 7 y 9.

3.5 Relevador direccional de sobrecorriente (HR)

Es un relevador direccional instantáneo de sobrecorriente para protección de alta velocidad entre fases y tierra, consiste en un elemento de inducción de alta velocidad tipo loop y de un elemento instantáneo de sobrecorriente tipo SC.

Los relevadores direccionales de sobrecorriente son monofásicos y se utilizan como protección de respaldo en las líneas de transmisión, son relevadores que actúan por efecto de una sobrecorriente, pero solamente cuando la energía circula en un sentido determinado, la referencia del sentido de circulación de la energía se consigue de igual forma que los waththorímetros. Están accionados por dos fuentes diferentes independientes por lo tanto emplean estructuras actuales para dos magnitudes de influencia.

Es adecuado para las siguientes aplicaciones en casos de una línea:

Aquellos casos en que no hay problemas de selección con secciones subsecuentes, tal como en sistemas en anillo con una sola fuente de energía, en estos sistemas el relevador es aplicable en los extremos distantes de secciones adyacentes al suministro de energía.

Aquellos casos en que la magnitud de la corriente de falla es un buen dato de distancia independientemente de la capacidad de la fuente, como en las líneas cuya impedancia es alta comparada con la impedancia del sistema atrás de la línea, para estas aplicaciones el elemento de sobrecorriente instantáneo debe ser ajustado para fallas mínimas, inmediatamente arriba de la corriente de falla asimétrica máxima, en caso de falla en el bus más próximo con la máxima

capacidad conectada, fallas cercanas al relevador dan corrientes superiores al ajuste del elemento de sobrecorriente y provocan una operación instantánea.

Si la impedancia del sistema no aumenta apreciablemente con los cambios de capacidad máximos y mínimos, una gran porción de la línea quedará protegida con un relevador de alta velocidad, la protección para la parte restante de la sección de línea, así como la protección de respaldo para la sección siguiente, deberá obtenerse con relevadores adicionales con las características de tiempo adecuado.

3.5.1 Elemento de sobrecorriente

El elemento de sobrecorriente consiste en un marco de hierro en forma de U, montado en la sub base, la bobina quedará soportada en este marco que también sirve como trayectoria del flujo magnético, la bobina tiene dos taps (4 y 7 amp.) rodea un núcleo magnético y el ajuste de corriente mínima de operación se afina con contrapesos, Fig. 3.12.

El extremo inferior del puente de flujo está moleteado para poder ser movido con los dedos para hacer el ajuste. Una placa calibrada adyacente es la que sirve para indicar el ajuste con auxilio de un índice en la parte móvil, el puente queda sujeto en la posición deseada mediante una palanca y un resorte que apoyan una punta contra el puente, al empujar la palanca a la izquierda se libera el mecanismo y se puede hacer el ajuste.

3.5.2 Elemento direccional

El elemento direccional es del tipo de anillo inductor, como se muestra en la figura 3.11, el anillo rectangular de aluminio al cual están sujetos los contactos móviles, forma un secundario en corto circuito de un pequeño transformador, el primario es la bobina de voltaje, el anillo está en el campo producido por las bobinas de corriente, el par es producido por la interacción de la corriente que se induce en el anillo y el flujo de las bobinas de corriente, este relevador cuenta también con un contactor auxiliar y su indicador de operación.

El elemento de sobrecorriente operara en menos de 1 ciclo según el ajuste, la sensibilidad del elemento direccional es de 5 amps. 2.5 volts en fase. Para los ajustes solamente se deberán efectuar los ajustes requeridos para la operación del elemento de sobrecorriente tap y contrapesos y del direccional sólo se verifica sensibilidad, figura 3 12.

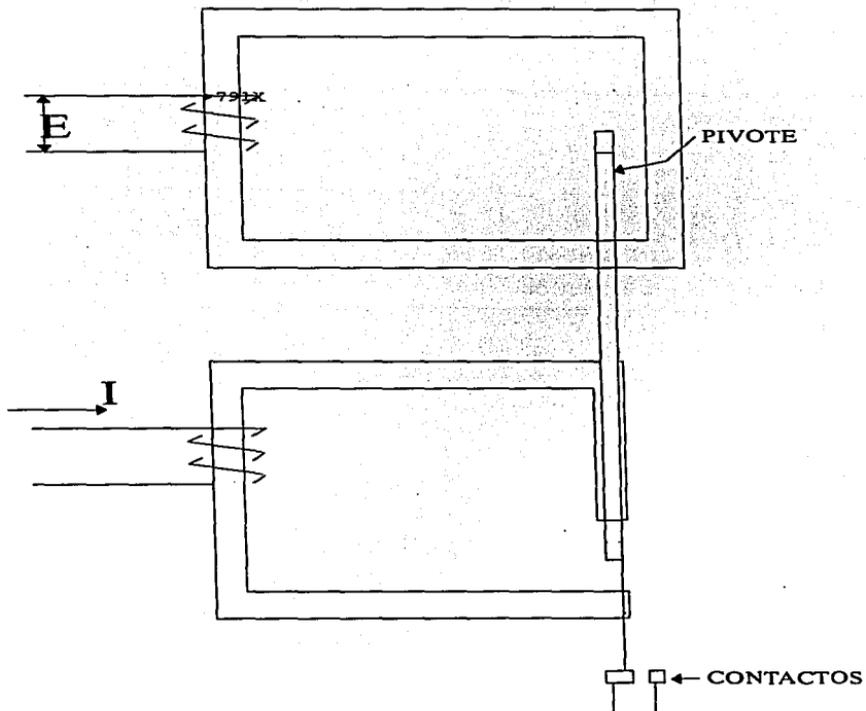


Figura 3.11 Relevador Direccional De Sobrecorriente Hr.

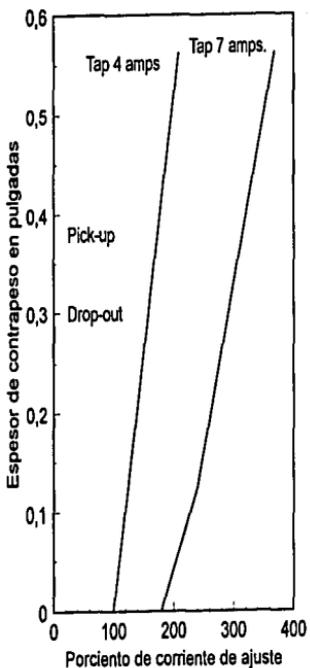
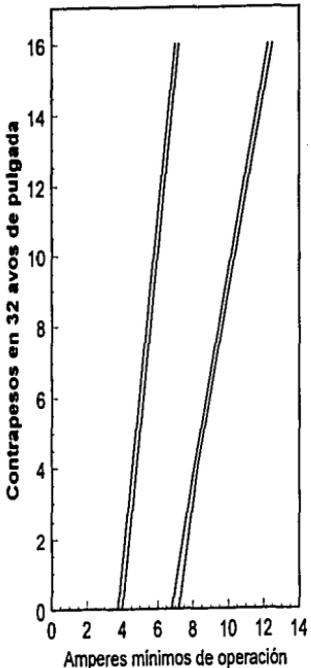


Figura 3.12 Curvas Características De Operación Del Elemento De Sobrecorriente Instantáneo Del Relevador H.R.

3.6 Relevador direccional de impedancia (HCZ)

Este relevador es una combinación de tres elementos, uno instantáneo de impedancia, un direccional y un elemento de distancia, se usa para suprimir a alta velocidad fallas entre fases en sistemas de transmisión, proporciona una protección instantánea sobre un 80% a 90% de la sección de línea que protege y una protección con retraso ajustable sobre el restante 10% a 20% de la sección que protege y secciones vecinas, como se muestra en la figura 3.13

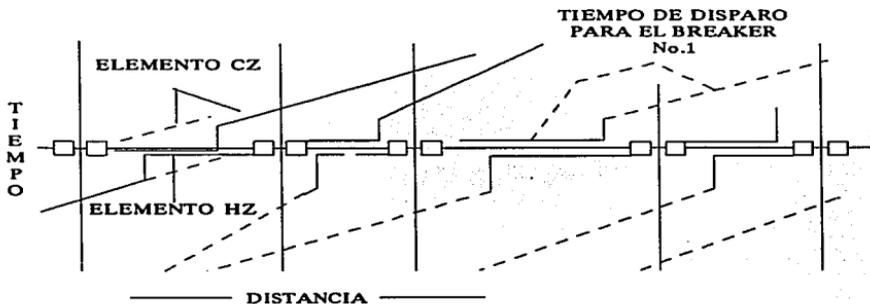


Figura 3.13 Característica Tiempo-Distancia Para El Relevador Tipo H.C.Z.

3.6.1 Construcción y operación.

El relevador tipo HCZ contiene:

Un elemento instantáneo de impedancia (HZ),

Un elemento de distancia de tiempo inverso (CZ),

Un elemento direccional (D)

Un elemento detector de fallas (FD)

Contactores auxiliares e indicadores de operación.

3.6.1.1 Elemento Instantáneo de Impedancia (HZ).

El elemento instantáneo de impedancia (HZ), consiste en una barra puente equilibrado montado sobre un pivote central y que al ser atraído por una bobina de corriente colocada al frente cierra los contactos del relevador, a la atracción de esta bobina, se opone a la acción de dos bobinas de voltaje que actúan sobre el otro extremo del puente, los flujos establecidos por esta bobina de potencial están desfasados entre sí, de tal modo que el equilibrio entre el flujo de corriente y el flujo de voltaje puede mantenerse dentro de los límites deseados para cualquier ángulo de fase.

Una tablilla de conexiones al frente del elemento permite cambiar el número de espiras de la bobina de corriente con la ayuda de un tornillo para este fin y un tornillo en la parte inferior del elemento permite variar el entrehierro del circuito magnético, estos dos ajustes hacen posible que el elemento de impedancia opere instantáneamente para todas las fallas que ocurran dentro de un 80% o 90% de la zona de la línea protegida, para el caso de una falla en el punto de equilibrio del

elemento, la acción de la bobina de voltaje que mide la caída IZ desde la falla al relevador, será igual a la acción ejercida por la bobina de corriente que recibe I, si la falla ocurre dentro del punto de equilibrio el voltaje IZ tendrá menor fuerza que la corriente I y el puente se moverá cerrando los contactos, en el caso inverso no se produce el disparo por la localización de los contactos.

En el extremo frontal del puente hay un contacto flexible rectangular cuyo fin es producir el disparo al conectar entre si dos contactos estacionarios montados en el extremo libre de resortes de hoja, un pequeño tornillo sirve para el ajuste de posición de estos últimos contactos, como se muestra en al figura 3.14.

FALTA PAGINA

No. 109

3.6.1.2 Elemento de distancia y tiempo inverso (CZ)

El elemento de distancia y tiempo inverso (CZ), consiste en un elemento de inducción de disco que opera por corriente y de un sistema de bobina solenoide limitadora con émbolo, operado por voltaje. Estos elementos están mecánicamente interconectados mediante palancas que sirven para actuar los contactos de disparo. El elemento de inducción enrolla un resorte espiral que inclina una palanca en la dirección de cierre de contactos. A este movimiento se opone el jalón de la bobina limitadora sobre el émbolo y las palancas.

Cuando la fuerza ejercida por el resorte espiral es mayor que la ejercida por el solenoide, la palanca de cierre sube bruscamente y cierra contactos. El tiempo de operación es por lo tanto proporcional a la velocidad del disco y a la magnitud del voltaje. Consiguientemente cuanto más cercana sea la falla, mayor será la corriente y menor el voltaje y por ello más rápida la operación, como se muestra en la figura 3.15:

3.6.1.3 Elemento direccional (D)

El elemento direccional (D), es un pequeño transformador de voltaje con un secundario de una sola espira de aluminio, en el cual circula una corriente elevada en fase con el voltaje, la espira es móvil. Las bobinas de corriente están montadas en un marco magnético y los elementos de corriente y voltaje están colocados 90° entre sí, con la espira móvil situada en el entrehierro de la bobina de corriente. La interacción de los flujos ocasionados por la corriente y el voltaje produce un par que gira la espira en una u otra dirección en función de la dirección de la energía.

Un brazo aislante sujeto a la espira móvil sostiene un contacto rectangular de plata que al operar conecta entre sí dos contactos estacionarios, colocados a ambos lados. Estos contactos

estacionarios, están montados sobre hojas de resorte, la separación es ajustable por medio de un tornillo cercano al extremo superior del soporte rígido. En el extremo inferior del brazo rígido hay un tornillo para ajustar el cierre de contactos simultáneo, como se muestra en la figura 3.15.

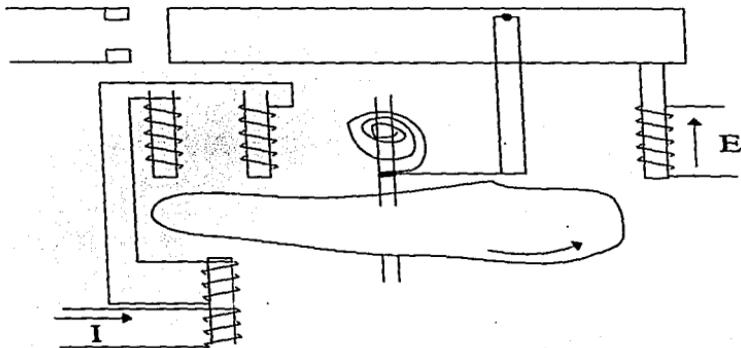


Figura 3.15 Unidad De Distancia Y Tiempo Inverso (Cz)

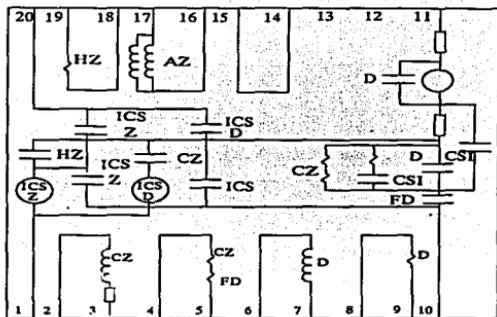


Figura 3.16 Esquema De C.D. De Operación Conjunta Del Relevador Hcz.

3.6.1.4 Elemento detector de fallas (FD)

El elemento detector de fallas, es del tipo solenoide. Un émbolo cilíndrico con un disco de plata en su extremo inferior sujeto a la varilla guía. Cuando opera el solenoide, sube el émbolo y el disco de plata puentea tres contactos cónicos.

Está unidad es utilizada para detectar fallas de sobrecorriente. Este elemento tiene su bobina conectada al circuito de corriente del elemento de distancia y opera con una corriente de 8 amps. de falla.

Los contactos de este elemento están en serie con los del elemento direccional y con los del elemento de distancia, para evitar que el relevador opere si la corriente es menor de 8 amps. también controlan la operación de un contactor auxiliar de corriente directa que a su vez controla la iniciación de operación del elemento de distancia (CZ).

3.6.1.5 Contactor auxiliar y unidades de operación

Contactor auxiliar, es de construcción similar al detector de fallas pero trabaja con C.D. la operación de este contactor, se controla como se ha dicho con el elemento detector de fallas y el direccional. Cuando hay una corriente suficiente para que opere el detector de fallas y en la dirección necesaria para el disparo, el contactor auxiliar opera para cerrar el circuito del polo superior del elemento de inducción de distancia, permitiendo que el disco gire.

Si la dirección de la corriente de falla cambia, un contacto en el elemento direccional pone en corto las terminales de la bobina del contactor auxiliar produciendo la desconexión y restablecimiento del elemento de distancia y abriendo el circuito de control direccional.

Existe también un contactor para el disparo que opera en forma similar a los relevadores antes mencionados y dos indicadores de operación marcados HZ y CZ que indica si ha operado el elemento instantáneo de impedancia o el elemento de distancia respectivamente. En la figura 3.16 se muestra el esquema de operación conjunta del relevador HCZ.

3.6.2 Características del relevador HCZ:

Elemento instantáneo HZ	0.6 a 6Ω
Conexión (tap)	6.2- 9.4- 13.5- 20.8- 29.8- 45
Tornillo de núcleo	0.8- 0.9- 1.0- 1.1- 1.2- 1.3- 1.4
Elemento de distancia CZ	
Conexiones de corriente	4- 5- 6.5- 8- 10- 15- 20- 25
Conexiones de voltaje en la resistencia en serie	125-150-175-200-250-300-350-400-500-600-700 800-1000-1200-1400-1600-1800

Para realizar los ajustes se necesitan dos ajustes distintos, uno para el elemento HZ instantáneo y otro para el elemento CZ de distancia, se usara la nomenclatura siguiente:

Z = Impedancia ohmica de linea al neutro. Para el elemento instantáneo, la impedancia del 80 ó 90% de la sección de linea protegida, para el elemento de distancia los ohms de la longitud de linea a que el elemento debe operar en un tiempo determinado al escoger K.

K = Constante determinada por la coordinación de intervalos de tiempo entre relevadores.

Rc = Relación de transformador de corriente.

Rv = Relación de transformador de potencial.

T = Conexión (tap) del elemento HZ instantáneo.

S = Ajuste del tornillo del núcleo del elemento HZ.

Tc = Conexión (tap) de corriente del elemento CZ.

Tv = Conexión (tap) de voltaje en la resistencia exterior del elemento CZ.

3.6.3 Ajuste del elemento HZ instantáneo.

Para el ajuste del elemento HZ instantáneo, se debe ajustar para dar una protección instantánea aproximada 90% de la sección de línea por cubrir, puesto que la impedancia de la bobina de voltaje es la misma en todo tiempo, el punto de equilibrio deseado del elemento se tiene mediante el ajuste de la fuerza ejercida por la bobina de corriente, esto se lleva a cabo mediante la selección de un tap, conexión (T) en la bobina de corriente y el tornillo de ajuste fino (S) que varía el entrehierro, se usan las ecuaciones siguientes

Conexión delta

$$TS = \frac{10ZR_c}{R_v}$$

Conexión estrella

$$TS = \frac{17.3ZR_c}{R_v}$$

Estas fórmulas son para líneas a 60°, en caso de tener líneas con 40° ó 80°, puede haber error de 8% y 6 % respectivamente, error que puede ser corregido con el uso de las curvas, como se indica en las figuras 3.17, a 3.20.

3.6.4 Ajuste del elemento CZ de distancia

Para ajustar el elemento CZ de distancia se debe ajustar para protección del 10 ó 20% finales de la sección de línea protegida y protección de respaldo de la sección correspondiente al elemento HZ y secciones de líneas adyacentes en la dirección de disparo, en consecuencia debe ser un ajuste cuidadoso para lograr coordinación entre los relevadores que protegen secciones adyacentes, dando oportunidad a que operen antes, veamos los ajustes sin considerar la coordinación con los otros relevadores.

Ajuste individual La curva de impedancia y consiguientemente el tiempo de operación del elemento de distancia es aproximadamente constante para corriente de falla en la gama de 200% a 1000% del valor de corriente de ajuste, la selección de la conexión T_c debe hacerse de tal modo que el elemento opere en esta gama para corrientes de fallas máximas y mínimas, en ningún caso la corriente de falla mínima para la cual el relevador debe operar será menor de un 200% del tap seleccionado y es siempre conveniente usar el tap mas alto posible, con la selección del tap adecuado de corriente T_c , el tap de voltaje T_v debe ser determinado con el uso de las curvas mostradas en las Figuras, 3.21 y 3.22. O mediante la ecuación abajo indicada, el uso de las curvas es como sigue, el % de la corriente de disparo en la abscisa es la corriente de falla a través del relevador es %, de la corriente T_c elegida, la ordenada es el tiempo de operación que se desea en segundos para el caso de la falla que se considera, el punto localizado de esta manera sobre una

de alguna de las curvas, los valores de las curvas son de caída de voltaje desde el punto de falla al relevador (volts en el relevador), para $T_v=125$ conociendo la caída real de voltaje T_v se determina mediante la relación:

$$\text{Caída de voltaje} = \frac{T_v}{125} \times \text{valor del voltaje en la curva}$$

El relevador no operará si la caída de voltaje de la falla al relevador es menor de 5 volts (relevador), ahora T_v se calcula :

$$T_v = \frac{T_c \times R_c \times Z \times K}{R_v}$$

Este valor T_v permitirá al elemento de distancia cerrar contactos a un tiempo que depende de la selección de K para una falla a Z ohms de distancia del relevador, el valor 0.75 seg. es un tiempo convencional entre subestaciones de operación, se llega a este valor considerando 0.25 seg. para tiempo de cierre del relevador y 0.5 seg. para operación de los relevadores adyacentes a interruptores, los valores de K para este y otros intervalos de tiempo se tienen en la siguiente tabla:

Valor de K para transformadores de corriente

Intervalo de tiempo	Conexión estrella	Conexión delta
1.2	68	39
1.1	72	42
1.0	77.5	45
0.9	83	48
0.8	91	53
0.75	96	56
0.7	101	59
0.6	113	65
0.5	130	75
0.4	152	88

Como T_v no siempre resulta coincidente con los valores seleccionables en el relevador, se escogerá el valor inmediato inferior, que nos de un tiempo de operación ligeramente mayor.

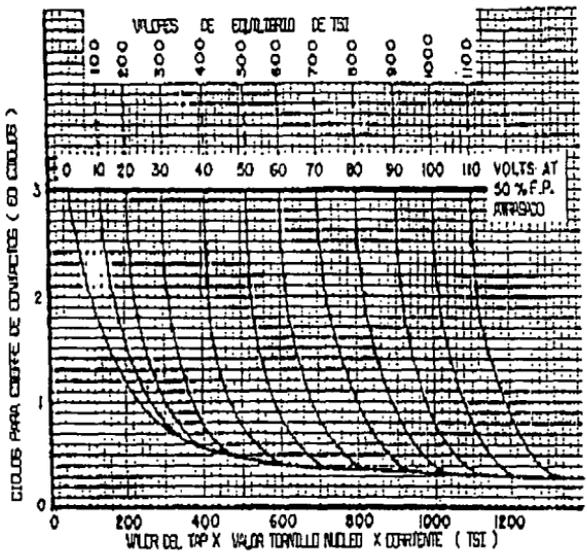


Figura 3.17 Curvas De Tiempo Para El Elemento Instantáneo (H.Z.).

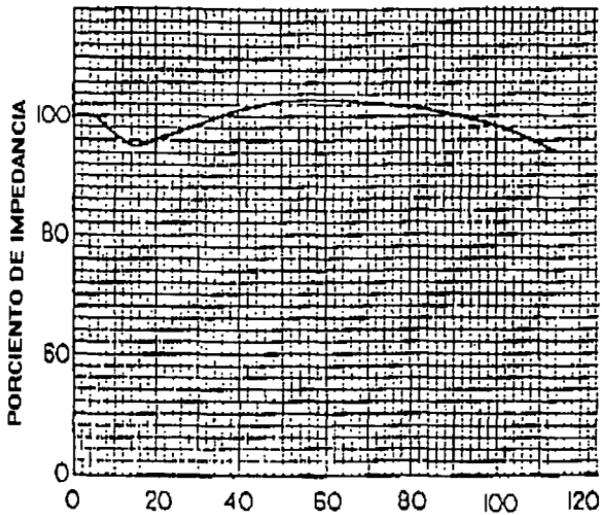


Figura 3.18 Curva De Impedancia De La Unidad Instantánea (H.Z).

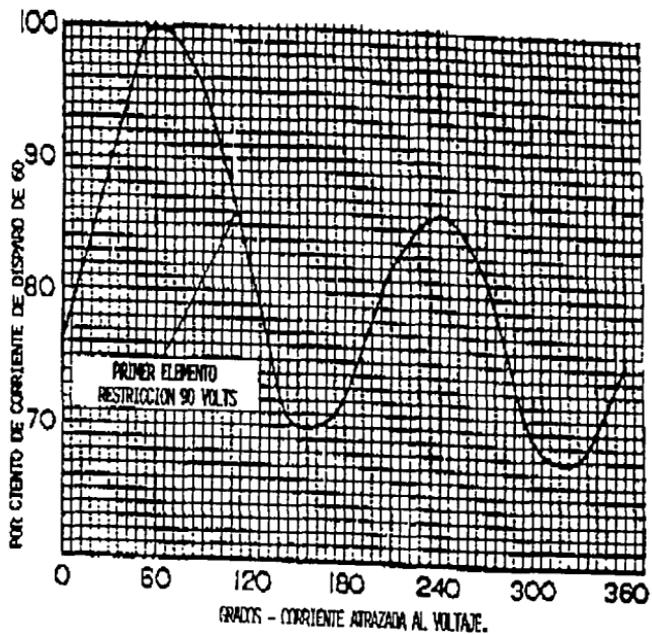


Figura 3. 19 Curva Típica De Angulo De Fase De La Unidad Instantánea (H.Z.)

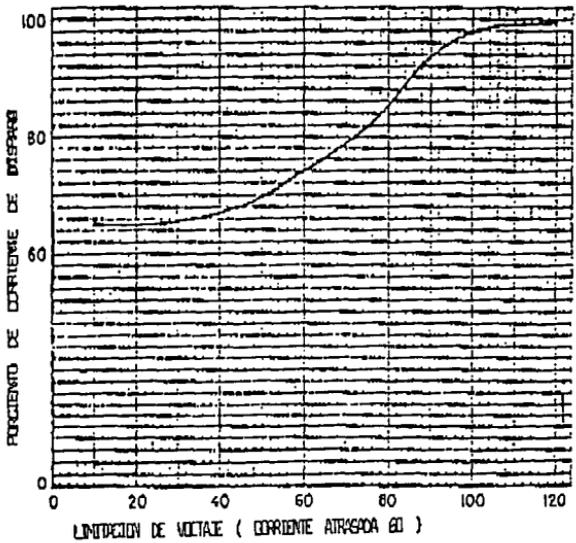


Figura 3.20 Curva De Restablecimiento De La Unidad Instantánea (H.Z.).

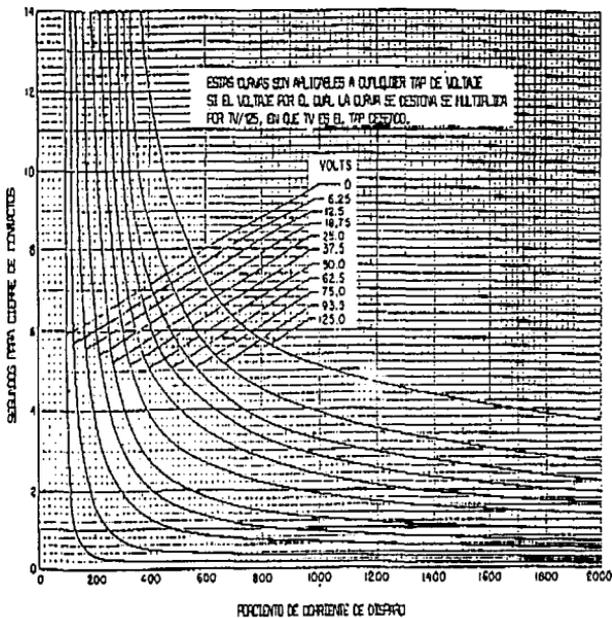


Figura 3.21 Curvas Corriente - Tiempo De La Unidad Tiempo - Distancia (C.Z).

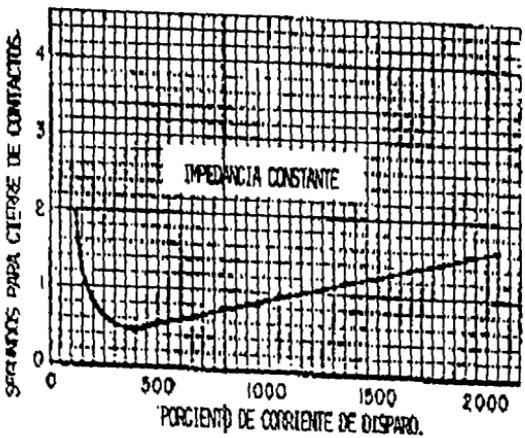


Figura 3.22 Curva típica Tiempo - amperes para el relevador (C Z) para una distancia constante.

CAPITULO 4
DESCRIPCION DEL TABLERO
DE PROTECCIONES

4.1 Descripción del tablero

Este tablero está diseñado de tal modo que se pueden simular los tipos más comunes de sistemas de potencia y el sistema de relevadores para aislar correctamente las fallas, es del tipo de frente muerto lo que permite operarlo totalmente sin peligro de recibir una descarga o producir un corto circuito involuntario.

Los relevadores están sobrepuestos, con cubiertas de vidrio, de tal modo que se tiene el acceso necesario para ajustes y visibilidad para poder observar la operación del relevador, su colocación en el tablero está hecha de tal modo que son adyacentes al interruptor que actúan.

Un diagrama unifilar de las conexiones entre interruptores, relevadores y barras colectoras pintado sobre el tablero con distintos colores permite distinguir entre el sistema de 115 volts y el de 220 volts.

Cada relevador tiene sus terminales de potencial y de corriente conectadas a tornillos aislados en el frente del tablero, las terminales de corriente están provistas de puentes para hacer posible desconectar el relevador del sistema. Estas terminales sirven para hacer posible también, conectar aparatos portátiles al sistema, esto permite llevar a cabo pruebas de una fuente externa, cuando se desea de mostrar la operación de algún relevador específico.

Las luces indican cuando un bus está energizado, además al ocurrir la falla se ilustra visualmente la caída de voltaje y la duración de la misma, tanto la alimentación de C.A. como la de C.D; pasan por un interruptor térmico tipo AB (9 y 10 respectivamente), localizados en la parte

superior del tablero #1 dando así protección al tablero, la alimentación de C.A. está dividida para alimentar ambos tableros y como estos están conectados en la parte inferior mediante el auto-transformador en realidad tienen doble alimentación, sin embargo la operación con una sola fuente en cada tablero puede hacerse abriendo una de las dos alimentaciones asociadas al interruptor #7 y #8 que ligan los tableros o quitando los puentes respectivos, así pues el sistema de transmisión en miniatura posee gran flexibilidad para la amplia demostración de los diversos principios de los relevadores.

4.2 Descripción detallada del tablero de protecciones por relevadores.

En la figura 4.1 se ilustra la disposición de los relevadores, interruptores, puentes y contador de ciclos para el tablero N° 1 y N° 2.

4.2.1 Tablero N° 1

El tablero N° 1 es el básico al ilustrar muchos principios de operación de relevadores, se tienen dos fuentes de alimentación con dos auto-transformadores de 115/230 V. También un banco de resistencias para simular cargas está incluido y sirve para estudiar el efecto de las corrientes de carga particularmente en los elementos direccionales.

En el tablero N° 1 se tienen los siguientes relevadores con su interruptor:

El principio de protección instantánea contra sobrecorriente está ilustrado por el relevador SC, asociado con el interruptor N° 6.

La protección de tiempo para sobrecorriente queda mostrada por el relevador CO, asociado con los interruptores N° 5, 1 y 2.

La protección por corriente desequilibrada selectiva en líneas paralelas, está ilustrada por el relevador HD de alta velocidad asociado con los interruptores N° 1 y 2.

La protección en líneas paralelas desequilibradas, selectiva direccionalmente, queda ilustrada por el relevador HR de alta velocidad, doble direccional, asociado a los interruptores N° 3 y 4.

La protección de tiempo retardado por sobrecorriente, está mostrada por el relevador CO cuyos contactos están en serie con los contactos direccionales del relevador HR. Tanto el CO como el HR están ligados con los interruptores N° 3 y 4.

Si ambos interruptores están cerrados, su polo adicional, conectado al interlock de disparo, permite al relevador HR disparar sin que el contacto del relevador CO esté cerrado, pero en cambio si sólo uno de estos interruptores está cerrado, el disparo deberá esperar el cierre de contactos en el relevador CO.

El principio de operación del relevador diferencial se ilustra con un relevador CA tipo transformador ligado a los interruptores N° 7 y 8.

En la parte superior están los interruptores 9 y 10 a los que están conectados los alimentadores de 115 VCA, 60 HZ y 125 VCD. La corriente directa es empleada para energizar bobinas de disparo que pasa a través de un juego de puentes con fines de medición, en serie con la fuente de CD esta un relevador de sobrecorriente tipo SC cuyos contactos ponen en corto circuito la bobina de escape del contador de ciclos.

La alimentación de 115 VCA pasa a través del interruptor N° 10, a la bobina de un relevador SC de sobrecorriente y de un juego de puentes de prueba. Uno de estos puentes conecta el auto transformador que eleva el voltaje a 230 V para uso en el equipo del tablero, el otro puente conecta al sistema de 115 V para el tablero 2.

El auto transformador alimenta a 230 V las barras principales en la parte superior del tablero, conectadas a estas barras hay dos líneas que pasan a través de los puentes de prueba de corriente y de las bobinas de corriente de los relevadores HD y CO hasta los interruptores N° 1 y 2. Desde estos interruptores las líneas se prolongan a través de dos bancos de resistencias que presentan la impedancia de la línea, hasta los interruptores N° 3 y 4, de estos interruptores las líneas pasan por el primario de dos transformadores de corriente y conectan a otras barras de 230 V, que denominamos barras receptoras, los secundarios de estos transformadores están conectados diferencialmente y alimentan los relevadores HD y CO que protegen los interruptores N° 3 y 4.

Desde las barras receptoras se prolongan dos líneas al sistema, una de estas pasa a través de un puente de prueba de corriente y del relevador CO hasta el interruptor N° 5, de aquí continúa a través de una resistencia de línea hasta unas barras secundarias desde las cuales está conectado un circuito de carga, el circuito de carga pasa por el interruptor N° 6, por puentes de prueba y por un relevador instantáneo de sobrecorriente SC hasta una carga final .

La otra línea que sale de las barras receptoras pasa por el primario de un transformador de corriente y por el interruptor N° 7 hasta el lado de 230 V, de otro auto transformador, donde el

voltaje se reduce a 115 V. Desde este punto la línea pasa a través de otro interruptor N° 8, al primario de un transformador de corriente y un puente de prueba para alimentar al lado inferior del sistema en el tablero 2.

Los secundarios de ambos transformadores de corriente en esta línea, se conectan a través de puentes de prueba a las bobinas de corriente de un relevador diferencial tipo CA, la operación de este relevador disparará los interruptores N° 7 y 8.

4.2.2 Tablero 2

El equipo del tablero 2 se ilustra en la figura 4.1. En el cual se tiene la protección direccional a distancia como la usada en sistema cerrado con dos fuentes de energía, sin embargo, acortando la impedancia unitaria de una línea con el puente que existe a la derecha para este fin, el sistema representa líneas paralelas de modo que se puede hacer una comparación directa entre protección direccional a distancia y protección de líneas paralelas desequilibradas como se ilustra en el tablero.

Con objeto de demostrar que la resistencia de la falla si afecta materialmente la operación de estos relevadores de tipo impedancia, la resistencia de falla puede ser usada o eliminada mediante un puente para ello destinado.

Los relevadores H CZ muestran dos tipos de protección a distancia, a saber, la del relevador HZ con elementos equilibrados que cortan a cierta impedancia y la del elemento de relevo CZ, cuyo tiempo de operación varía proporcionalmente a la impedancia al punto de la falla. De hecho

estos relevadores pueden ser usados simplemente como relevadores CZ, bloqueando el elemento de impedancia HZ y al quitar este bloqueo se puede apreciar la diferencia en tiempo de operación cuando se tiene el elemento HZ en servicio al repetir la prueba efectuada para cierta falla.

La energía para la operación del equipo de este tablero se toma del tablero 1 a 115 V, un reactor conectado en serie con la alimentación representa la impedancia de un transformador, conectado antes de las barras en la parte superior del tablero, en estas barras parten dos líneas a través de las bobinas de corriente de los relevadores HCZ hasta los interruptores N° 11 y 12. desde estos interruptores las líneas continúan a través de varios grupos de impedancias, representando impedancias típicas de línea hasta los interruptores N° 13 y 14 y las bobinas de corriente de otros relevadores HCZ, terminando en las barras receptoras, estas a su vez están conectadas a las barras receptoras del tablero 1, mediante puentes de prueba y los interruptores N° 7 y 8.

La línea entre los interruptores N° 12 y 14 contienen una sección adicional de impedancia de línea que puede eliminarse mediante un puente, el objeto de esta sección adicional es desequilibrar intencionalmente las dos líneas, para mostrar que los relevadores HCZ funcionarán adecuadamente para líneas desequilibradas.

4.2.3 Contador de ciclos

Este dispositivo está conectado para conocer el tiempo requerido por los contactos del relevador para cerrar después de la falla, el relevador tipo SC en serie con el circuito de CA, cierra sus contactos cuando una falla ocurre y arranca el contador, cuando la bobina de disparo de

un interruptor, se energiza, la corriente directa de disparo cierra el relevador SC conectado en serie con la alimentación de CD cuyos contactos ponen en corto circuito el embobinado de escape del contador, provocando su parada, abriendo el puente de prueba al centro y a la izquierda del contador, el relevador SC de CD que pone en corto el embobinado de escape queda desconectado esto permite al contador continuar midiendo hasta que la falla es eliminada al abrir los contactos del relevador SC de CA.

El contador registrará no sólo el tiempo de cierre del relevador sino también el tiempo de apertura del interruptor, estos interruptores abren tan rápidos que habrá poca diferencia entre el tiempo de cierre del relevador y el tiempo de cierre del relevador más el tiempo de disparo del interruptor, el tiempo de los relevadores CO, CA, ó del elemento de inducción CZ de los relevadores HCZ pueden ser comprobados muy precisamente en el contador, puesto que los valores obtenidos serán mucho mayores que aquellos tomados por los relevadores HD, HR y HCZ, de alta velocidad en el cierre de sus contactos.

4.3 Puesta en servicio

Quando se va a poner en servicio un tablero de protecciones es necesario realizar una inspección visual de los aparatos con los cuales cuenta el tablero y lo que se especifica en el proyecto, verificando que los relevadores que están instalados son los requeridos en el proyecto. Posteriormente hay que comprobar que las conexiones que se tienen en los planos (proyecto) sean las mismas que se tienen en el tablero, verificando las conexiones entre los relevadores, polarización y conexiones adecuadas de los tc's y de tp's, esto se realiza cuando se cuenta con el proyecto, pero en nuestro caso no se cuenta con los planos del tablero que nos ocupa, entonces hay que realizar un levantamiento del tablero el cual consiste en hacer un esquema del equipo que está instalado, para poder seguir sus conexiones e identificar a qué función corresponde cada borne, posteriormente se tiene que investigar cómo está interconectado el tablero, para esto hay que identificar cada uno de los cables que están en el tablero, toda la información obtenida se va transcribiendo en un plano, que al final va a ser el levantamiento del tablero

Para la identificación de cada una de las conexiones se puede proceder de las siguientes formas:

Prueba de continuidad

Seguimiento físico de los conductores en cada borne

Mediante un plano reciente, identificar cada dispositivo y verificar como está conectado

Para la prueba de continuidad se requiere utilizar un ohmómetro o un zumbador, por medio de estos aparatos se identifican cada uno de los conductores, esto se realiza cuando se cuenta con los planos correspondientes al tablero tomando un punto en común, el otro extremo se pone en el punto por localizar, si se cuenta con zumbador éste va a producir un sonido cuando cierre el circuito lo que indica que el conductor esta en la posición correcta, si se tiene un ohmetro nos va a marcar continuidad, se debe tener cuidado cuando se ocupa éste método porque nos puede llevar a cometer errores, si se tienen contactos cerrados o bobinas de por medio los cuales nos puede dar puntos de conexión erróneo.

Para la prueba de seguimiento de los conductores en cada punto, cuando no se cuenta con los planos del tablero, se va siguiendo cada uno de los conductores tomando un punto de partida registrándolo en el plano por elaborar, el conductor se va siguiendo hasta donde ya no tenga conexión alguna, porque muchas veces estos conductores tienen varios puntos en común, después de que ya no haya puntos en común y que se hayan registrado en el plano correspondiente, se procede a la localización de otro conductor realizando el mismo procedimiento indicado anteriormente, esto se efectúa hasta concluir con todos los conductores, después de realizar el plano correspondiente se puede emplear el método de continuidad para verificar las conexiones y saber que el plano es confiable.

Mediante un plano reciente, identificar cada dispositivo y como está conectado, en este método se emplean los dos métodos descritos anteriormente.

Cuando se va a realizar un levantamiento de un tablero de protecciones es importante saber si el tablero está energizado para tomar las precauciones debidas, si se puede desenergizar el tablero sería mucho mejor porque así se puede trabajar sabiendo que no hay peligro de sufrir una descarga eléctrica.

4.4 Procedimiento de prueba.

El procedimiento usual para llevar a cabo una prueba en el tablero es como sigue :

Selección del tipo de sistema a demostrar.

Preparación de este sistema mediante el arreglo pertinente en los puentes de prueba eliminando los relevadores que no se van a emplear.

Realización de los cálculos y ajustes necesarios para la operación de los relevadores (Coordinación de protecciones).

Conexión de los instrumentos de medición que se deseen, del contador de ciclos u oscilógrafo, para medir voltajes, corrientes, tiempos de duración de falla y dirección de la corriente.

Cerrar switch de falla previamente seleccionado y observación del funcionamiento de los relevadores e interruptores seleccionados.

Las lámparas de indicación conectadas a cada una de las barras principales, parpadearán cuando ocurra una falla. Esto dará una indicación visual de la falla y una aproximación del tiempo de su duración. Siempre será necesario cerrar los interruptores N° 9 y 10, antes de aplicar la falla.

Se debe siempre tener cuidado en que el interruptor de CD N° 9 este cerrado antes de la falla, puesto que es la fuente de energía para el disparo de los interruptores que eliminan la falla. De lo contrario el elemento térmico en el interruptor N° 10 operará desconectando la fuente principal de energía del tablero.

Después de decidir qué tipo de sistema se va a demostrar, la porción de tablero que no se utilizará para ello se desconectará. También aquellos relevadores no requeridos para una prueba específica pueden ser eliminados mediante sus puentes de prueba.

Es necesario calcular y hacer los ajustes necesarios en los relevadores antes de llevar a cabo la prueba. Al hacer los cálculos para el relevador HCZ, se debe usar la impedancia de línea mostrada en el diagrama, teniendo en cuenta que al no existir transformadores de corriente o de potencial, los valores de R_v y R_c son la unidad.

Después de hacer el ajuste preliminar y de cerrar los interruptores necesarios para representar el sistema deseado, se pueden aplicar fallas cerrando los interruptores para este propósito en las secciones de líneas. Una vez que se ha aplicado la falla el interruptor que la produce no debe ser abierto hasta la total operación del interruptor que debe eliminarla. Estos interruptores están diseñados para admitir la corriente de falla pero no para abrir cuando está circulando.

Las prácticas del capítulo siguiente están dadas para distintos tipos de sistemas y para mostrar el funcionamiento de los relevadores, el flujo de corriente y secuencia de operación de interruptores durante condiciones de falla.

CAPITULO 5
PRACTICAS REALIZADAS EN EL
TABLERO DE PROTECCION
ELECTRICA POR RELEVADORES

Los siguientes arreglos del tablero están dados para distintos tipos de sistemas y para mostrar el funcionamiento de los relevadores, el flujo de corriente y secuencias de operación de interruptores durante condiciones de falla.

5.1 SISTEMA ALIMENTADO RADIALMENTE.

Consiste en una fuente generadora principal que alimenta unas barras generales que a su vez alimenta barras menores de las que salen alimentadores a centros de carga. El diagrama de la figura 5.1, ilustra una rama desde las barras generales de un sistema radial simple.

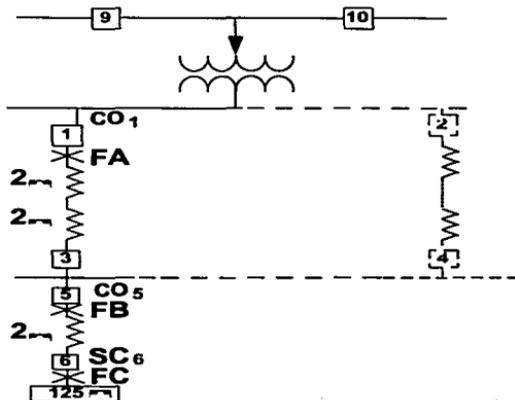


Figura 5.1 Sistema Radial Simple.

Esto puede ser simulado en el tablero por medio de la sección 1, cerrando los interruptores N° 1-3-5-6-9 y 10. Donde los interruptores 9 y 10 son los de la alimentación de CD y CA.

En caso de falla en cualquiera de estas secciones de línea, la adecuada operación de un relevador aislará la sección dañada, dejando en servicio todo lo que sea posible del sistema. En el caso de la falla A, será imposible mantener en servicio cualquiera de las líneas alimentadas mediante la línea dañada.

Cuando ocurre la falla B, la línea controlada por el interruptor N° 1, quedará en servicio y para la falla C, todas las líneas quedaran en servicio excepto aquella que alimenta la carga al extremo. Una falla al final de la línea o al principio de la siguiente producirá el mismo valor de corriente de falla. Esto hace difícil usar tan solo la magnitud de corriente para la correcta selección de la sección de línea de falla, y la sección en orden. Esto se logra mediante el uso de relevadores de sobrecorriente (CO), y un tiempo de retraso para disparar los interruptores 1 y 5, y el relevador de sobrecorriente instantáneo (SC) para el disparo del interruptor N° 6.

Para la falla C, no hay necesidad de un tiempo de retardo intencional para permitir el disparo de otros interruptores, puesto que es la sección final de la línea.

El interruptor es disparado mediante un relevador de sobrecorriente instantáneo, que cierra sus contactos en 1.5 a 0.25 ciclos (base de 60 ciclos), después de ocurrir la falla o sobrecarga arriba de su punto de ajuste o valor de operación, dependiendo de la relación entre corriente de falla y el valor de operación.

Para una falla localizada en B, no hay otra necesidad además de la apertura del interruptor Nº 5. Por consiguiente, el relevador que controla al interruptor Nº 1, debe tener un tiempo mayor que el relevador del interruptor Nº 5, de modo que este último aisle la falla del circuito .

Para la falla B, los ajustes de tiempo en estos relevadores deben ser tales que el relevador Nº1, tenga más tiempo de retardo que el relevador del interruptor Nº 5, y el relevador SC Nº 6 no tenga tiempo intencional de retardo. Este método de protección es conocido como protección de sobrecorriente con discriminación de tiempo.

De acuerdo con el circuito descrito anteriormente, tenemos que la corriente normal en la línea es:

$$I = V.C.A. / (RC + RL)$$

Donde:

I = Intensidad de corriente en la línea.

V.C.A. = Voltaje de alimentación en las barras A, B.

RL = Resistencia que presenta la línea.

RC = Resistencia que presenta la carga.

Por lo tanto:

$$I = 235 / 131 = 1.79 \text{ amp.}$$

En este caso se desprecia la impedancia del autotransformador ya que no es posible tener en cuenta todas las características de los elementos más allá del tablero mismo.

Ahora con base en la corriente normal en la línea haremos las consideraciones siguientes:

Supondremos una sobrecarga permisible en la línea del 25 %, por lo que la intensidad de corriente en la línea a que deben operar las protecciones será:

$$1.79 * 1.25 = 2.24 \text{ amp.}$$

Se tendrá que el relevador CO operará en un tiempo mayor que el SC6, con objeto de lograr la selectividad deseada y permitir que solamente se desconecte la sección dañada de línea dejando en servicio el máximo de línea posible.

Por consiguiente los ajustes que podemos hacer de acuerdo con las siguientes curvas de operación, escogiendo el tap adecuado basandose en la corriente incrementada en la línea y la relación de transformación de los Tc's sera:

$$\text{TAP} = I / \text{Relación de transformación} = 2.24 / (5/10) = 4.48 \text{ amp}$$

Por consiguiente pondremos los taps de los relevadores en dos valores diferentes para escoger el de respuesta mas rapida, como se observara a continuación:

Caso 1

Relevador SC6	Tap 4 amp.
Relevador CO5	Tap 4 amp. Palanca tiempo 2.5
Relevador CO1	Tap 4 amp. Palanca tiempo 3.5

Con estos ajustes observar para las tres fallas propuestas, el tiempo de operación de cada relevador y que protecciones operan.

Los resultados con estos ajustes son:

Para la falla A, opero el relevador CO6, abriendo el interruptor número 1, con un tiempo de operación de 75/100 de segundo y con una corriente de falla de 90 amp.

Para la falla B, opero el relevador CO5, abriendo el interruptor número 5, con un tiempo de operación de 78/100 de segundo y con una corriente de falla de 34 amp.

Para la falla C, opero el relevador SC6, abriendo el interruptor número 6, con un tiempo de operación de 2/100 de segundo.

Caso 2

Considerando los siguientes ajustes se tiene:

Relevador SC6	Tap 5 amp.
Relevador CO5	Tap 5 amp. Palanca tiempo 2.5
Relevador CO1	Tap 5 amp. Palanca tiempo 3.5

Los resultados con estos ajustes son:

Para la falla A, opero el relevador CO6, abriendo el interruptor número 1, con un tiempo de operación de 80/100 de segundo y con una corriente de falla de 90 amp.

Para la falla B, opero el relevador CO5, abriendo el interruptor número 5, con un tiempo de operación de 89/100 de segundo y con una corriente de falla de 34 amp.

Para la falla C, opero el relevador SC6, abriendo el interruptor número 6, con un tiempo de operación de 2/100 de segundo.

En conclusión se tiene que:

La razón de que opere el CO5, con el menor tiempo que el CO1 para la falla B, es que en la falla A, la corriente de C.C. es mayor que en la falla B, por la impedancia de 4Ω de la línea, así mismo se observa que mediante la variación en los tap's, sin modificar el dial de tiempo el cierre de contactos es mayor en el tap 5, por lo tanto el tap 4 es el adecuado para este caso.

Una inversión en el dial de tiempo en los relevadores CO5 y CO1 respectivamente para la falla B, haría operar el CO1, dejando sin alimentación a toda la línea.

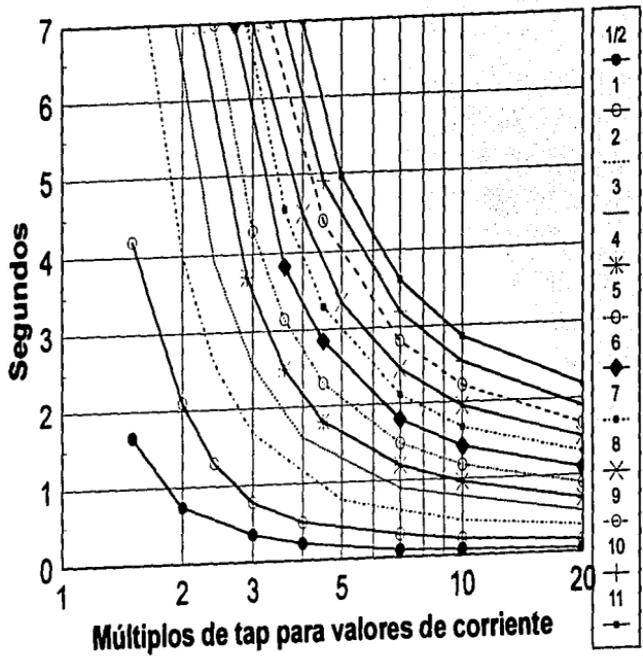


Figura 5.2 Curvas De Operación Del Relevador De Sobrecorriente C.O

En caso de una falla en cualquier parte de la línea 1-3, los relevadores deberán abrir los interruptores N° 1 y 3, dejando la línea 2-4 en servicio, para alimentar el resto del sistema.

Dos tipos de protección se usan para la protección de dos líneas paralelas en un sistema radial, uno mediante el método de corriente equilibrada en el lado generador y el otro es de la protección direccional de sobrecorriente en el lado receptor.

La protección por corriente equilibrada se tiene con el relevador tipo HD, en el extremo generador de estas dos líneas y la protección direccional de sobrecorriente con el relevador HR, en el extremo receptor de estas dos líneas.

La falla A, cerca del extremo generador de la línea 1-3, produce substancialmente una corriente de falla, através del interruptor N° 1. La otra trayectoria de la corriente de falla es a través de la línea 2-4 y de la 3-1, al punto de falla. Sin embargo esta trayectoria tiene una impedancia muy grande comparada con la trayectoria a través del interruptor N° 1.

Las corrientes de falla serán inversamente proporcional a las impedancias, por lo que prácticamente toda la corriente circulará por el interruptor N° 1, que se dispara al operar el relevador HD, como un dispositivo de sobrecorriente.

Posteriormente al tomar la corriente la trayectoria 2-4, 3-1 el interruptor N° 3, se deberá disparar, para aislar la línea defectuosa. (1-3). Esto último se logra con el relevador HR, que cierra los contactos del circuito de disparo del interruptor N° 3 para un flujo de corriente en dirección contraria a la normal en la línea 1-3.

El relevador HR se energiza de un juego de transformadores de corriente conectados diferencialmente entre ambas líneas. Cuando corrientes iguales circulan en el mismo sentido en las dos líneas, no hay corriente circulando en el relevador.

Ahora si las corrientes son iguales pero en sentido contrario, el relevador recibe el doble de la corriente en una línea. Este es el caso de la falla antes descrita en que el interruptor N° 3 se dispara.

En particular el relevador HR tiene dos elementos, uno para detección de sobrecorriente y el otro para el control direccional. Este último tiene dos juegos de contactos, uno que cierra para corriente inversa en la línea 1-3 y otro cierra para el mismo caso en la línea 2-4.

Los contactos del elemento de sobrecorriente quedan en serie con los direccionales, por lo que es necesaria la condición de sobrecorriente para que el disparo ocurra.

Consideremos ahora la falla B. La cual está localizada al centro de la línea 1-3, y consiguientemente las corrientes de falla tienen otros valores que en el caso anterior. Tres cuartos de la corriente de falla circulan por el interruptor N° 1, y el resto a través de los interruptores 2, 4, y 3. Esta división en las corrientes de falla operará simultáneamente los relevadores HD y HR de corriente balanceada y direccional de sobrecorriente respectivamente, aislando la línea dañada a un mismo tiempo.

Si la falla ocurriera cerca del interruptor N° 3 de la línea 1-3, las corrientes de falla serían iguales y no operaría el relevador HD, pero el relevador HR producirá el disparo del interruptor N° 3, desde el momento en que la corriente tiene una dirección contraria a la normal y mayor que la tomada para el ajuste del elemento de sobrecorriente.

Una vez abierto el interruptor N° 3, la única trayectoria que puede seguir la corriente de falla es a través del interruptor N° 1, entonces el relevador HD operará como dispositivo de sobrecorriente disparando el interruptor N° 1 y aislando la parte defectuosa. Esta operación alternada es similar a la obtenida al ocurrir la falla A, pero invirtiendo los interruptores. A causa de la alta velocidad de operación de los relevadores e interruptores la secuencia no se puede apreciar visualmente, pero un oscilograma si la detectaría.

Ahora si aparece una falla en las líneas 5 ó 6, no habrá desconexión de las líneas 1-3 y 2-4, por ser fuera de la zona de protección correspondiente, a estas líneas.

La corriente producida por una falla en 5 ó 6 es equilibrada en las líneas 1-3, y 2-4, que no produce par al relevador HD, y no circulara corriente en la conexión diferencial de transformadores de corriente del relevador HR.

La falla será detectada por el relevador CO o el SC, dependiendo de la localización de la falla y dispararán sus respectivos interruptores, sin interferir en el servicio de las líneas 1-3 y 2-4.

Preparando el circuito conforme a la explicación anterior, la corriente normal en las líneas es:

$$IL = 235 / (2 * 127) = 0.93 \text{ amp.}$$

Consideremos 25 % permisible de sobrecarga por lo que la corriente a que debe operar la protección es:

$$I = 1.25 * IL = 0.93 * 1.25 = 1.16 \text{ amp.}$$

Veamos ahora el caso de la falla A, tenemos que la corriente de falla circulará por las trayectorias 10 - 1 y 10 - 2 - 4 - 3, pero se podrá observar que sería mucho mayor la corriente en la 1ª trayectoria, por esto el relevador HD, correctamente ajustado trabajara como dispositivo de sobrecorriente y disparara el interruptor N° 1.

Por consiguiente el ajuste en el relevador HD deberá ser:

Tap 15, para ambas líneas.

Esto significa que el relevador HD, operara solamente cuando la corriente en una línea sea 1.5 amp. mayor que la otra. También se podrá observar que a pesar de que se ponga en servicio exclusivamente la línea 1-3, el relevador no operara ya que la corriente de línea 1-3 será de 1.79 amp. y de acuerdo con la curva característica de la figura 5.4, con el ajuste de 1.5 (tap), el relevador operará, cuando la corriente sea mayor de 7 amps; o sea que el ajuste 1.5 será el mas adecuado para nuestro caso.

Ahora en lo que se refiere al relevador HR, se vera que para el caso de la falla A, una vez que ha operado el relevador HD y desconectado el interruptor 1, habrá una corriente de trayectoria 2-4-3 y operara el relevador HR desconectando el interruptor N° 3 y aislando la falla, esto ocurre puesto que el relevador HR esta energizado por dos transformadores de corriente colocados sobre cada línea y conectados diferencialmente, por lo que al circular corrientes iguales

en magnitud pero en sentido contrario, harán operar al relevador. Desde luego será necesario que adicionalmente a la condición de corriente inversa exista la condición de sobrecorriente con objeto de que el disparo se produzca, ya que por los contactos del elemento direccional están en serie con los del elemento de sobrecorriente.

El ajuste en el relevador HR será solamente en el elemento de sobrecorriente y bastara con seleccionar el tap 4 (4 amps) que es el mínimo existente.

En el caso de la falla B se verá que las corrientes son 3/4 de la corriente total para la trayectoria 1 y 1/4 por la trayectoria 2-4-3, por lo que en el relevador HD existiera un desbalance o diferencia de 50 % de la total y en el HR existirá una corriente en sentido contrario del 100% y ambos relevadores operarán inmediatamente aislando la falla.

Ahora en el caso de la falla C no operara el relevador HD por ser iguales las corrientes en las líneas pero operara el HR y al quedar abierto el interruptor N° 3, toda la corriente pasara por el interruptor N° 1 y operara el relevador HD como dispositivo de sobrecorriente.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Para la falla A operó el relevador HDI (lado izquierdo) en 5/100 de segundo, pero provoco el disparo de los interruptores 1 y 2 lo cual es incorrecto. La causa de esto es que por ser un relevador de alta velocidad no permitio que el relevador HRI operara.

Por consiguiente se tuvo que tomar el Tap 3 del relevador HD, con este cambio se tomaron las siguientes lecturas:

Para la falla A, operaron los relevadores HRI y HDI, abriendo los interruptores 1 y 3, en un tiempo de 3/100 de segundo, la barra sigue alimentada por la línea 2 - 4.

Para la falla B, operaron los relevadores HRI y HDI, abriendo los interruptores 1 y 3, en un tiempo de 2/100 de segundo, la barra sigue alimentada por la línea 2 - 4.

Para la falla C, operaron los relevadores HRI y HDI, abriendo los interruptores 1 y 3, en un tiempo de 3/100 de segundo, la barra sigue alimentada por la línea 2 - 4.

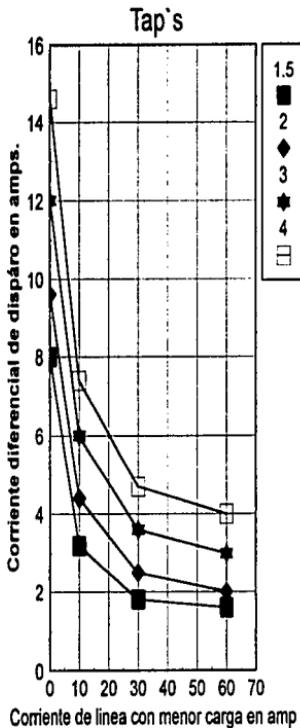
Se provocó una falla a la mitad de la línea 1 - 3, operando los relevadores HRD y HDD, abriendo los interruptores 2 - 4, en un tiempo de 3/100 de segundo, quedando alimentada la barra por la línea 1 - 3.

Una falla en la línea 5 - 6, no altera la operación de los relevadores HD y HR, porque en ambas líneas circula la misma corriente.

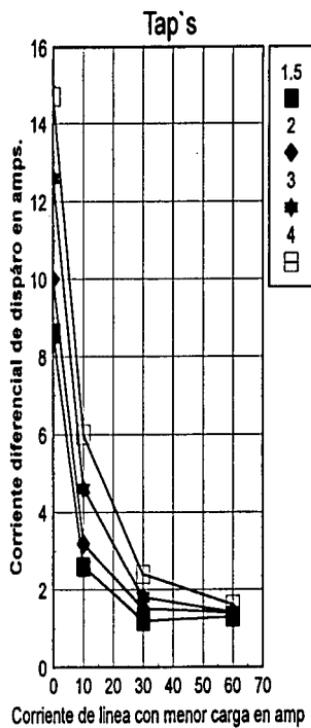
Por lo tanto se puede concluir que cuando la línea 1 - 3, se encuentra abierta toda la corriente circulara por la línea 2 - 4, en caso contrario circulara la corriente por la línea 1 - 3.

En condiciones normales de operación el generador aportara a cada línea (1 - 3 y 2 - 4), el 50 % de la corriente demandada por la carga.

En caso de ocurrir una falla fuera de la zona de protección de las líneas paralelas, el sistema no se debe alterar, por que la corriente que circula por ambas líneas sigue siendo proporcional.



En una sola dirección



Dirección opuesta

Figura 5.4 Curva De Operación Del Relevador H. D.

5.3 PROTECCION DE LINEAS PARALELAS CON ALIMENTACION EN AMBOS EXTREMOS.

Este sistema se puede tener en el tablero cerrando los interruptores N° 1,2,3,4,7,8,9,10,11, 13, 5 y 6. Las líneas 1-3 y 2-4 serán las paralelas en cuestión con una conexión del extremo receptor a través de los interruptores 7-8 y 11-13, regresando al extremo transmisor, los interruptores 9 y 10 son los que nos proporcionan la alimentación de CD y CA.

Consideremos fallas en ambos extremos y al centro de la línea 1-3, para apreciar el funcionamiento de los relevadores HD y HR, protegiendo este tipo de sistema, como se ilustra en la figura 5.5.

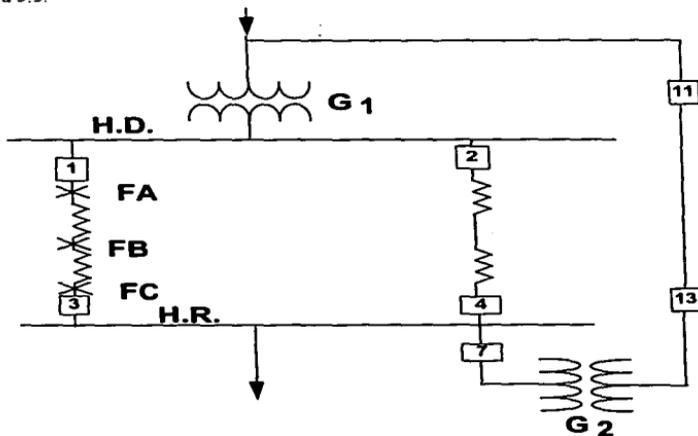


Figura 5.5. Protección De Líneas Paralelas Con Alimentación En Ambos Extremos.

Primeramente consideremos la falla A y la corriente a través del interruptor N° 1. Toda la corriente del lado generador N° 1, pasará por el interruptor N° 1 a la falla. Adicionalmente existirá la corriente de falla del lado generador N° 2, la mitad de la cual circulara por la línea 4-2, también circulando por el interruptor N° 1.

El relevador HD detectará una corriente desequilibrada y disparara el interruptor N° 1, hasta el momento el relevador direccional HR, no habrá operado puesto que las corrientes de falla en las líneas 2-4 y 1-3, son iguales y por consiguiente no hay diferencia de corrientes para operarlo, pero una vez que el interruptor N° 1, está abierto la corriente en 2-4, cambia de dirección y se suma con la corriente del lado generador N° 2, para circular en la línea 3-1 a la falla.

Los transformadores conectados diferencialmente entre las líneas 1-3 y 2-4, sumarán las corrientes en estas líneas y al circular en el relevador HR provocarán el disparo del interruptor N° 3, con esto queda aislada la línea defectuosa y queda en servicio la línea 2-4.

Ahora una falla B, en el centro de la línea 1-3 tomará corrientes de igual magnitud de ambos extremos generadores siempre que estos tengan las mismas características de impedancia. En estas condiciones la línea 2-4 no se verá afectada por ninguna corriente de falla y los relevadores HD y HR operarán simultáneamente abriendo teóricamente al mismo tiempo los interruptores N° 1 y 3.

Como conclusión, una falla C al extremo de la línea 1-3 hará circular corriente en las líneas 1-3 y 2-4 en igual magnitud. Entonces el relevador HD no operará por no haber corriente desequilibrada. Pero el relevador HR detectará una corriente de dirección contraria, resultante de la suma de la corriente normal de la línea y la corriente a la falla que pasa por el interruptor N° 3 y se dispara el interruptor N° 3. Ahora la trayectoria de la corriente de falla será por la línea 2 - 4, desde la fuente generadora N° 2 y se sumará a la corriente que proviene del lado generador N° 1 circulando por la línea 1-3 a la falla. Entonces la corriente que pasa por el interruptor N°1 será la suma de las corrientes de ambas fuentes generadoras y por consiguiente mayor que la que pasa por el interruptor N° 2, es decir tendremos un desequilibrio de corrientes que al ser percibido por el relevador HD, operará y disparara el interruptor N°1.

En este caso también se emplean los relevadores HD y HR para la protección de la línea, estudiemos en el circuito propuesto :

Falla A, toda la corriente del lado Gen 1 pasara por el interruptor N° 1 a la falla y la corriente del lado Gen 2 se ira, 50 % a la trayectoria 4-2 y 50 % a la trayectoria 3-1, entonces y de acuerdo con el estudio anterior para líneas paralelas se tiene que el relevador HR no operara por tener corrientes iguales en ambas líneas, pero el relevador HD operara por detectar una corriente desequilibrada, acto seguido cambiara la corriente en 4-2 y será en el sentido 2-4 y se sumara a la corriente 3-1 y operara el relevador HR.

En el caso de la falla B teóricamente no tendremos corriente en la línea 2-4, si los extremos generadores son de iguales características y los relevadores HD y HR operaran simultáneamente abriendo los interruptores 1 y 3.

Ahora para la falla C (caso opuesto a la falla A), el relevador HD no operara por ser iguales las corrientes en 1-3 y 2-4, pero operara el HR por que detectara corriente en dirección contraria (corriente normal mas corriente de falla), en el interruptor N° 3. Al quedar desconectado el interruptor N° 3, la corriente de falla circulara por 4-2, desde Gen 2 y se sumara a la corriente que proviene de Gen 1 en la trayectoria 1-3 por lo que existirán corrientes desequilibradas en las líneas y operara el relevador HD desconectando el interruptor N° 1 y aislando la falla.

Los ajustes convenientes en los relevadores para este caso son los mismos que para el caso de líneas paralelas alimentadas radialmente ya que son los minimos posibles en los relevadores. Por consiguiente los ajustes quedarón como sigue:

Relevador HD Tap 3.

Relevador HR Tap 4.

Los resultados obtenidos provocando las fallas fuerón los siguientes:

Para la falla A, operaron los relevadores HR y HD, abriendo los interruptores 1 y 3 respectivamente en un tiempo de 3 / 100 segundo, dejando fuera de servicio la línea 1 - 3, en operación las líneas 2 -4 y 11 - 13.

Para la falla B, operarán los relevadores HR y HD, abriendo los interruptores 1 y 3 respectivamente, ailando la falla en un tiempo de 2 / 100 de segundo, dejando en operación las líneas 2 -4 y 11 - 13.

Para la falla C, operarán los relevadores HR y HD, eliminando la falla en un tiempo de 3 / 100 de segundo, abriendo los interruptores 1 y 3 respectivamente, dejando en operación las otra dos líneas.

Podemos concluir que cuando la línea 1 - 3 se encuentra abierta toda la corriente circulara por la línea 2 - 4 y por la aportación del generador numero 2, cuando ambas líneas se encuentran fuera de servicio, toda la corriente la proporcionara el generador numero 2, el cual es capaz de soportar toda la carga alimentada por las líneas 1 -3 y 2 - 4.

5.4 SISTEMA EN ANILLO

Este sistema consiste en una serie de subestaciones conectadas a las líneas de transmisión, formando, un anillo con origen y fin en la estación generadora. Puede haber más de una estación generadora conectada al anillo. En el tablero, el sistema de anillo puede ser simulado cerrando los interruptores 11, 12, 13, 14, 9, 10, 7, 8, 5 y 6, como se muestra en la figura 5.6

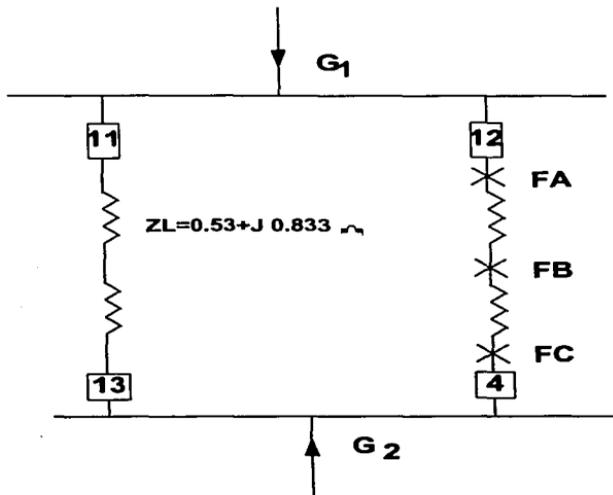


Figura 5.6. Arreglo De Sistema En Anillo.

Consideraremos las líneas 11-13 y 12-14, como integrantes del sistema de anillo, con estaciones generadoras en dos extremos. Una estación generadora se tiene con la línea de entrada en la parte superior de la sección N° 1. La segunda estación generadora se tiene en la parte inferior de la misma sección mediante el banco de auto-transformadores.

Los interruptores que debemos cerrar para formar el sistema son los siguientes: 9, 10, 11, 12, 13, 14, 1, 2, 3, 4, 7 y 8.

Se ha escogido el relevador HCZ, de impedancia o de distancia para la protección del sistema. Este relevador cuenta con, un elemento instantáneo de impedancia que mide la impedancia de la línea desde su situación hasta el punto de la falla, un elemento de impedancia de tiempo y distancia, cuyo tiempo de operación depende de la distancia a la falla, un elemento direccional de corriente y un elemento instantáneo de sobrecorriente.

Los contactos de los elementos direccional y de sobrecorriente condicionan la operación de los dos elementos de impedancia, siendo necesario que la corriente tenga cierta dirección y magnitud para que se produzca la operación del relevador y el disparo.

El sistema de anillo en la figura 5.4, está constituido por las líneas 11-13 y 12-14. Los interruptores 11-13 y 12-14 controlan las líneas. Cada interruptor está controlado por un relevador HCZ, cuyo elemento direccional sólo permitirá el disparo si la corriente de falla circula de las barras hacia la línea.

El elemento de alta velocidad ó instantáneo de impedancia puede ser ajustado para medir la impedancia de un 80% ó 90% de la longitud de su sección de línea y producir el disparo para cualquier falla dentro de esa zona, la parte restante de la línea quedará protegida por el elemento de tiempo y distancia.

Analicemos la operación de los relevadores del sistema para la falla A, el relevador 12 es el mas cercano a la falla y su elemento de alta velocidad disparará el interruptor N° 12, al mismo tiempo los elementos de distancia 13 y 14, inician su movimiento para cerrar sus contactos. Pero como el interruptor N° 12 abre rápidamente el relevador N° 13 no llega a cerrar contactos y queda

restablecido a su posición inicial, el relevador N° 14 está aún conectado a la línea defectuosa, por lo que concluye su operación cerrando sus contactos y disparando el interruptor N° 14, como la falla ha sido a más de un 80 % de la longitud de la línea con respecto al relevador 14, el elemento de alta velocidad de esté no opera.

Consideremos ahora la falla B, al centro de la línea 12-14, este punto se encuentra dentro del 80% de la zona de los relevadores 12-14 y sus elementos de alta velocidad dispararán simultáneamente sus interruptores.

Ahora la falla C cerca del interruptor 14 hará que opere al relevador 14 instantáneamente y posteriormente el elemento de tiempo del relevador 12 disparará el interruptor 12, está secuencia es invertida a la que se tiene al ocurrir la falla A.

En el tablero se tiene que en la línea 12-14, existe una sección extra de impedancia de línea que normalmente está eliminada con un puente, esta sección adicional de línea puede ser intercalada quitando el puente, y darnos un punto para una falla, situado un poco menos del 80% de la longitud de la línea, esto se usa para ilustrar la operación del elemento de impedancia de alta velocidad cuando ocurre una falla cerca del 80% de la longitud de la línea.

Otro uso de esta impedancia de línea adicional en la línea 12-14, es ilustrar la protección de líneas paralelas desequilibradas.

Se harán las conexiones indicadas anteriormente, para la prueba y de acuerdo con lo explicado, se tiene que cada interruptor es operado por un relevador HCZ de impedancia que protegerá las líneas en un 80 % de la longitud de la línea, con su elemento instantáneo y el 20 % restante con su elemento de tiempo y distancia. Los elementos direccionales están conectados de tal modo que el relevador efectúe el disparo solamente que el flujo de energía sea hacia la línea y alejándose del bus respectivo.

Es conveniente recordar que la operación del relevador está condicionada por su construcción a que existan condiciones de corrientes cuya dirección y magnitud hagan operar el

elemento direccional y el detector de falla para que estos cierren el relevador auxiliar y operen los elementos instantáneo y de distancia.

Para determinar los ajustes que se deben efectuar, consideremos primeramente que:

$$Z1 = \text{impedancia de la línea} = 2 * (0.53 + j 0.833)$$

$$Z1 = 1.06 + j 1.66$$

$$Z = 80 \% Z1 = 0.8 * (1.06 + j 1.66) = 0.848 + j 1.33$$

$$Z = 1.58 \text{ cis } 57.8^\circ$$

En nuestro caso los ajustes para los cuatro relevadores deberán ser iguales. Ahora para los ajustes se tiene :

Ajustes al elemento (HZ) Instantáneo direccional

$$TS = (10 * RcZ) / Rv \quad \text{Aplicable en nuestro caso monofásico}$$

donde:

TS es la conexión de la bobina de corriente y el tornillo de ajuste que varía el entrehierro.

Rc es la relación del transformador de corriente

Rv es la relación del transformador de voltaje

Rc y Rv son igual a la unidad.

$$TS = 10 Z = 10 * 1.58 = 15.8$$

Seleccionando S de los valores disponibles:

$$\text{si } S = 1.2$$

$$T = 15.8 / S = 15.8 / 1.2 = 13.2$$

Por lo tanto los ajustes para el elemento instantáneo HZ son:

$$T = 13.5$$

$$S = 1.2$$

Ajustes del elemento de distancia (CZ)

Seleccionamos un intervalo de operación del relevador de 0.75 seg. y de la tabla de constantes K para transformadores de corriente se tiene para nuestro caso: $K = 56$.

Siendo K la constante determinada por la coordinación de intervalos de tiempo entre relevadores.

Ahora seleccionamos un tap de corriente de tal modo que nuestra corriente de falla quede entre el 200 % y el 1000 % del valor seleccionado en el tap.

En nuestro caso la I_{cc} (corriente de corto circuito) mínima de falla será:

$$I_{cc} = 115 / 1.58 = 72.8 \text{ amp.}$$

$$\text{considerando el 10 \% de } I_{cc} \text{ se tiene } 0.1 I_{cc} = 0.1 * 72.8 = 7.28$$

Escogiendo el tap mas cercano posibles resulta que $T_c = 4$.

Y de la ecuación:

$$T_v = (T_c * R_c * Z * K) / R_v$$

donde:

T_c es la conexión (tap) de corriente del elemento CZ

T_v es la conexión (tap) de voltaje en la resistencia exterior del elemento CZ

R_c es la relación del transformador de corriente

R_v es la relación del transformador de voltaje

K es la constante determinada por la coordinación de intervalos de tiempo entre relevadores.

R_c y R_v son igual a la unidad.

$$T_v = T_c * K * Z$$

$$T_v = 4 * 56 * 1.58 = 353.92.$$

Como solo hay disponibles los taps 300 ó 350, para nuestro caso escogeremos el tap 350.

Por consiguiente los ajustes para el elemento de distancia CZ son.

$$T_v = 350$$

$$T_c = 4$$

Como los ajustes son los mismo para los cuatro relevadores se procedio simular las fallas descritas anteriormente obteniendo los siguientes resultados:

Para la falla A :

Opera el relevador HCZ 12 con el elemento HZ, con un tiempo de 1 / 100 de segundo, abriendo el interruptor 12. El relevador HCZ 14, opero con su elemento CZ en un tiempo de 2.34 seg., abriendo el interruptor 14. La linea 11 - 13 no se ve afectada por por la falla y sigue en operación.

Para la falla B :

Operan simultaneamente los relevadores HCZ 12 y 14, con su elemento instantaneo HZ, abriendo los interruptores 12 y 14 respectivamente, en un tiempo de 8 /100 de segundo, las linea 11 - 13 no se altera durante la falla, sigue en operación.

Para la falla C :

Opero el relevador HCZ 14 con su elemento HZ, abriendo el interruptor 14, en un tiempo de 5 / 100 de segundo. Ademas el relevador HCZ 12 opero con su elemento CZ, en un tiempo de 2.15 segundos, abriendo el interruptor 12, al igual que las fallas anteriores la linea 11 - 13 no se ve alterada en su funcionamiento.

Podemos concluir que cuando ocurre una falla dentro de un sistema en anillo, la linea en la cual ocurre la falla se va a interrumpir inmediatamente por medio del elemento instantaneo HZ, posteriormente por el elemento de distancia CZ, con lo cual se aísla la falla y no se provoca que la otra linea que esta en operación se salga de servicio. Dependiendo la distancia donde se encuentra la falla va ser la operación de los relevadores, pero siempre va a operar primero el elemento instantaneo HZ si la falla esta dentro del 80 % de la linea, el restante 20 % de linea va ser protegido por el elemento de distancia CZ.

5.5 PROTECCION DIFERENCIAL DE TRANSFORMADORES.

En la línea que liga los interruptores 7 y 8 en la sección N° 1 del tablero, está intercalado un banco de transformación de relación 2/1. El relevador CA diferencial, es el tipo que se usa en la protección del transformador en caso de fallas internas. Refiriéndonos a corrientes en el secundario de los transformadores de corriente, la corriente que entra al transformador será la misma que salga.

En la figura 5.5, se muestra las conexiones para la protección diferencial del transformador, la cual se logra cerrando los interruptores 9, 10, 11, 13, 7, 8, 5, y 6.

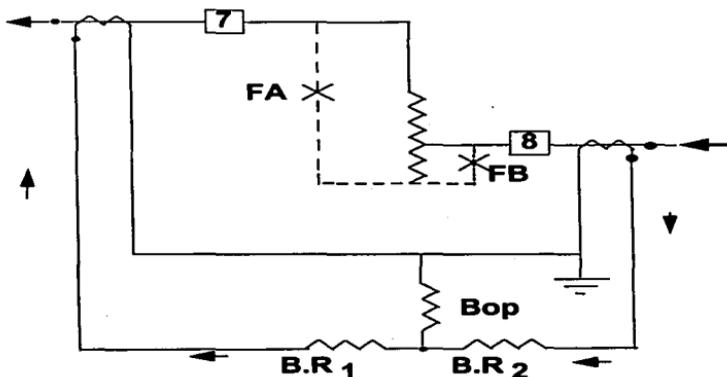


Figura 5.5 Protección Diferencial De Transformadores

En condiciones normales o durante una falla, la corriente del secundario de los transformadores de corriente circulará a través de las bobinas limitadoras N° 1 y 2 del relevador y dan como resultado un par que mantiene en posición abierta los contactos del relevador. En el caso de ocurrir una falla dentro de la zona protegida diferencialmente o en el transformador mismo, la corriente seguirá una trayectoria indicada en la figura 5.5 con las flechas punteadas.

Podemos apreciar que en este caso hay corriente circulando en el embobinado operador del relevador y que la corriente en la bobina limitadora N° 2 ha cambiado de dirección. El par resultante en el relevador será de tal forma que cerrará los contactos y disparará los interruptores que conectan el banco de transformadores al sistema.

Algunas clases de falla tales como espiras en corto circuito en el transformador pueden provocar la inversión de corriente en una de las bobinas limitadoras, pero sin embargo si circulará corriente en la bobina operadora del relevador, ya que las corrientes en las bobinas limitadoras serán iguales en dirección pero no en magnitud a causa de la corriente que circula en la bobina de operación, el relevador cerrará sus contactos y disparará los interruptores 7 y 8.

Considerando que la corriente desequilibrada que circula por el embobinado operador sea un 50 % ó mas que la pequeña corriente en una de las bobinas limitadoras, con falla B se puede ejemplificar una condición que simule espiras en corto circuito en el transformador.

Se podrá ver en condiciones normales las corrientes en las bobinas restrictoras son de la misma dirección y magnitud, o efectivamente igual si se han seleccionado debidamente los transformadores de corriente y los taps del relevador, por esto no habrá corriente alguna en la bobina operadora y los contactos del relevador permanecen abiertos.

Ahora si se produce alguna de las fallas indicadas las corrientes en las bobinas restrictoras serán diferentes y esa diferencia de corriente circulará por la bobina operadora y el relevador cerrará sus contactos produciendo el disparo que abre los interruptores 7 y 8.

La corriente requerida en la bobina operadora está en función de la corriente restrictora y está se puede ver en las curvas características del relevador, en las cuales se indican las

proporciones o relaciones entre corrientes de las bobinas restrictoras para las que no operara el relevador.

Con objeto de aclarar lo anterior haremos la siguiente observación, el relevador que nos ocupa es un relevador de 50 % de sensibilidad, por eso es que no operara en tanto no exista una diferencia aproximada del 50 % entre las corrientes efectivas en las bobinas restrictoras.

La relación del autotransformador es:

$$R = 120 / 240 = 0,5 \quad \text{Relación de voltajes.}$$

$$R = 2 / 4 = 0.5 \quad \text{Relación de corrientes}$$

por lo que la relación de taps para el relevador sera la conexión 5 - 10.

Con el arreglo descrito y ajustado el relevador, se procede a efectuar las pruebas simulando las fallas dentro del transformador por proteger. Verificando las corrientes que circulan por las bobinas de restricción y operación, obteniendo los siguientes resultados:

AL ocurrir la falla A, se tiene solo circulación de corriente en un sentido del primario a la falla I1, la cual es del orden de 15 amp. por lo tanto como es mas del 50 %, va a existir una corriente I3 en la bobina de operación, lo que va a provocar la operación del relevador, en la bobina restrictora I2 no hay circulación de corriente, el tiempo de operación del relevador fue de 20 / 100 de segundo, abriendo simultaneamente los interruptores 7 y 8, dejando fuera de servicio al transformador.

Para la falla B se tiene que la corriente va a circular a través del transformador del primario al secundario, teniendo las mismas corrientes de falla que la falla A por lo tanto el mismo tiempo de operación de 20 / 100 de segundo, abriendo los interruptores 7 y 8 simultaneamente, dejando fuera de operación al transformador.

Se puede concluir que en una protección diferencial solo va a ver operación del relevador cuando haya una diferencia de corrientes, en nuestro caso es de 50 %. Cuando la falla es dentro de la zona de la diferencial el relevador va a detectar cualquier anomalía por diferencia de corrientes si excede del 50 % va a mandar abrir los interruptores de entrada y salida del

transformador, si la falla es fuera de la zona de la diferencial no tiene que operar el relevador porque la relación de corrientes es la misma.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

En la medida que la energía eléctrica se hizo indispensable en todas las ramas de la industria y el comercio, también se incrementaron las exigencias sobre la confiabilidad con que esta forma de energía debía disponerse en el tiempo y la cantidad necesaria. Al producirse una falla sobre uno de los eslabones de la cadena, que va desde la generación hasta los consumidores, la parte afectada del sistema debe separarse rápidamente para que:

No fluya más energía hacia el lugar de la falla y evitar así mayores daños.

Estas condiciones de falla anormales para el resto de la red no originan daños en otros sectores del sistema.

La energía producida permanezca a disposición de los consumidores.

La tarea de desconectar la parte de la red fallada en forma rápida y selectiva es decir, sin separar innecesariamente sectores no involucrados, corresponde a los equipos de protección.

Entre las exigencias puestas sobre los equipos del sistema de transmisión y los establecidos sobre los equipos de protección, existe una diferencia fundamental, los equipos como generadores, transformadores, líneas, interruptores y barras colectoras están constantemente en servicio, y con ello se está obligado a mantenerse bajo continua supervisión.

Al producirse una falla, las protecciones deben detectar con la máxima precisión y rapidéz, la operación de desconexión apropiada a la condición particular de la misma.

Es requisito indispensable conocer a fondo los principios y características fundamentales del funcionamiento de los relevadores que forman parte del sistema eléctrico.

Dentro de la seguridad que nos proporciona los relevadores, es importante hacer una buena selección de los relevadores que deban usar para el caso indicado, pues la gran variedad de relevadores que existen, bien pueden hacernos caer en algún error en la selección. Además de poder encontrar el equipo que nos proporcione sensibilidad, selectividad y velocidad, que son términos comunmente utilizados para describir las características funcionales de cualquier equipo de protección por relevadores.

Cualquier equipo de protección debe ser suficientemente sensible para optimizar su funcionamiento de forma segura cuando sea necesario. Debe ser capaz de seleccionar entre las condiciones en que se requiera un funcionamiento rápido, y aquellas en las que no deba funcionar, o se requiere del funcionamiento de acción retardada y deba funcionar a la velocidad requerida.

El objetivo principal de la protección por relevadores, es el de desconectar un elemento defectuoso de un sistema lo más rápido posible, la sensibilidad y la selectividad son esenciales para asegurar que sean disparados los interruptores apropiados, para la velocidad es lo que cuenta.

Un requisito básico es que el equipo de protección por relevadores debe ser digno de confianza, cuando la protección por relevadores no funciona adecuadamente, las características de reducción implicadas son muy inefectivas o nulas; por lo tanto, es esencial que el equipo de protección por relevadores sea confiable y que su aplicación, instalación y mantenimiento aseguran que se aprovecharan al máximo.

En cuanto a la prueba de campo, se considera que es la mejor forma de comprobar el equipo de protección antes de ponerlo en servicio. Sería lamentable que un equipo saliera fuera de servicio, por estar mal calibrado algún relevador o porque exista algún error en la conexión de los equipos de protección.

En el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, se cuenta con un Tablero en el cual se puede verificar y comprobar todo lo expuesto anteriormente, por la facilidad y sencillez de su manejo. Logramos comprobar varias aplicaciones de las protecciones, como hay que realizar una coordinación para aislar la falla lo más rápido posible sin afectar el sistema, ya que una mala

coordinación nos puede sacar de servicio a todo el sistema eléctrico, lo cual, provocaría grandes pérdidas para la economía nacional.

El Tablero que mencionamos tiene fines didácticos, con la ventaja de que es aprueba de cortocircuitos, es adecuado para el manejo de los alumnos para que comprendan el principio de operación de los diversos tipos de relevadores con que cuenta el tablero; como es su coordinación para aislar una determinada falla dependiendo del arreglo con el cual se está trabajando.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

- Mason Russell C. El arte y la ciencia de la protección por relevadores. Ed. C.E.C.S.A. 13ª ed. México, 1980.
- Enriquez Harper Gilberto. Fundamentos de protección de sistemas eléctricos por relevadores. Ed. LIMUSA. 2ª ed. México, 1992.
- Rauli Martí Jose, Diseño de subestaciones. Ed. Mc-Graw Hill. 2ª ed. México, 1990.
- Ravindranath B. Protección de sistemas de potencia e interruptores. Ed. LIMUSA. 1ª ed. México. 1980.
- Zapian Lechuga Pablo. Tablero para demostración de sistemas de relevadores. México
- Applied protective relaying. Westinghouse Electric Corporation.