

# **SINTESES**

## **CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN.**

El presente capítulo realiza una descripción del problema que se puede presentar en las líneas de transmisión de longitud corta, media y larga que manejan la distribución de los flujos de potencia necesarios para el consumo de la comunidad por el cual se desarrolla esta tesis, en la cual sus objetivos se basarán en la comprensión de los fundamentos, características y consideraciones referentes a los sistemas de protección.

Se justifica el desarrollo de esta tesis tomando como base la complejidad de los textos referentes a estos sistemas de protección por relevadores, lo anterior limitándose debido a las condiciones anormales tanto internas como externas del sistema eléctrico (líneas de transmisión), siguiendo una metodología basada en la recopilación de información referente a cada tipo de protección necesaria para este propósito.

## **CAPITULO 2. FORMAS GENERALES DE LA PROTECCIÓN ELÉCTRICA.**

Este capítulo trata de los antecedentes de la protección por medio de relevadores, mencionando las fallas que se origina en un sistema eléctrico de potencia, así como las estadísticas de ocurrencia de las mismas, producto de la recopilación de años de experiencia. También se enuncian los elementos que intervienen en un sistema de protección.

### **CAPITULO 3. FUNDAMENTOS DE LA PROTECCIÓN POR RELEVADORES.**

En este capítulo se exponen los conceptos y fundamentos básicos que son objeto de estudio para introducirse al campo de la protección por medio de relevadores, desde diferentes tipos de relevadores, filosofía de la protección para las conexiones típicas en C.A. y circuitos de disparo en C.D.

### **CAPITULO 4. FUNCIONAMIENTO DE LOS RELEVADORES DE PROTECCIÓN.**

En este capítulo se estudian los principios, características y fundamentos de la operación de los relevadores que se clasifican de acuerdo a sus características constructivas, principio de funcionamiento y tipos operación para las diferentes estructuras actuantes.

Además se muestran las partes más importantes con las cuales se construyen, así como los diagramas vectoriales para un par máximo. Finalizando con el efecto de los transitorios y de la frecuencia en su funcionamiento.

### **CAPITULO 5. DESCRIPCIÓN DE LOS TIPOS DE RELEVADORES DE PROTECCIÓN.**

Es este capítulo se hace mención y descripción de los diversos tipos de relevadores que se pueden encontrar en un sistema de protección desde los más comunes hasta los de uso específico, explicándose de cada uno de ellos su funcionamiento, sus características y su principio de operación.

## **CAPITULO 6. RELEVADORES DE SOBRECORRIENTE.**

El presente capítulo se explica a detalle la descripción y aplicación general de las protecciones contra sobrecorrientes aplicados a las líneas de transmisión, en el cual se muestran los diagramas de conexiones y de principios de operación, así como se representan las partes principales que constituyen a estos tipos de relevadores.

Además se muestra las posibles circunstancias que se pudieran ocasionar debido a los efectos de transitorios, armónicas, resistencia de tierra, resistencia de arco, entre otros factores.

## **CAPITULO 7. RELEVADORES DE DISTANCIA.**

El presente capítulo se dedica a la descripción y aplicación general de las protecciones de distancia aplicados a las líneas de transmisión, en el cual se muestran los diagramas de conexiones y de principios de operación, así como se representan las partes principales que constituyen a estos tipos de relevadores.

Además se muestra una explicación a detalle de los diversos tipos de relevadores de distancia, conforme a los tipos de falla que se puedan presentar en las líneas de transmisión.

Sobre la base del tipo de falla ocurrida en el sistema de potencia, se muestra una pequeña deducción de las cantidades que recibe cada tipo de relevador de distancia, así como sus diagramas X- R y Z – t respectivamente.

## **CAPITULO 8. RELEVADORES TIPO PILOTO.**

El presente capítulo se dedica a la descripción y aplicación general de las protecciones de hilo piloto aplicados a las líneas de transmisión, en el cual se muestran los diagramas de conexiones y de principios de operación, así como se representan las partes principales que constituyen a estos tipos de relevadores.

Además se muestra una explicación a detalle de los diferentes tipos de canales piloto que se utilizan en para este tipo de protección, así como las ventajas y desventajas que presentan cada tipo de canal.

## **CAPITULO 9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

Este capítulo trata de que toda red de distribución eléctrica por nueva que sea, requiere de protección y toda protección requiere de análisis de operación secuencial (estudio de coordinación), apoyando por un programa de mantenimiento.

El costo de ejecución de estudio de coordinación y programas de mantenimiento siempre será menor al costo de reparación del equipo dañado y pérdida de producción que puede presentarse al ocurrir una falla el esquema de protecciones de potencia por las fallas en el sistema eléctrico.

# 1

## INTRODUCCIÓN

Es los sistemas de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, los sistemas de potencia han tenido un gran crecimiento en los últimos tiempos, debido primordialmente a la unión de sistemas pequeños, así como también a las grandes distancias que existe entre los puntos donde se localizan las grandes centrales y los grandes centros de consumo.

Los relevadores de protección, son dispositivos con los que todo ingeniero de sistemas eléctricos de potencia, tiene que tratar en el transcurso de su desempeño profesional.

La protección de los sistemas eléctricos de potencia por medio de relevadores es una de las ramas de especialización que ha experimentado un desarrollo en forma acelerada. En los últimos 20 años se ha visto el desarrollo y aplicación a gran escala de los relevadores estáticos, y mediante estos dispositivos los sistemas eléctricos de potencia han mejorado y son cada vez más confiables.

### **1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA A RESOLVER.**

Dependiendo de los requisitos que se deben llenar, las líneas de transmisión deben estar protegidas por equipo de protección. Esto debido a que es el elemento que más se presenta en un sistema eléctrico de potencia, ya que es el medio de conexión que existe entre las diferentes plantas generadoras de energía eléctrica.

El desarrollo del presente trabajo tiene la finalidad de brindar la información necesaria a las personas que están relacionadas con la rama de la ingeniería eléctrica, sobre el estudio de los principios y fundamentos básicos de la operación, funcionamiento y la aplicación de los relevadores de protección utilizados en los sistemas eléctricos de potencia, deseando que el presente sea la plataforma para iniciar el estudio de esta rama de la ingeniería, que resulta ser toda una especialidad, y que es imprescindible su aparición en todo sistema eléctrico de potencia, ya que con esta se garantizan la seguridad, estabilidad y calidad de su operación.

En el presente se tratara el estudio de los relevadores, desde los fundamentos de operación hasta la aplicación de estos en las protecciones de los elementos que constituyen un sistema eléctrico de potencia, mostrando esquemas básicos de conexiones, así como las partes más relevantes que constituyen a los relevadores y sus características de operación.

Además, es el elemento que puede presentar más fallas en la red, ya que está expuesta por su longitud a las condiciones climatológicas y ambientales.

El 95% de las fallas ocurren de una fase a tierra, o bien, por descargas atmosféricas, o por problemas de aislamiento, contaminación, animales, hilos de guarda caídos y por vandalismo.

Es por esto, que el presente trabajo se enfoca en resolver la forma de seleccionar el equipo de protección más adecuado para evitar al máximo que las líneas de transmisión queden fuera de servicio debido a algunas de las fallas antes mencionadas.

Usualmente, el costo de las pérdidas en producción es mayor que el costo de los daños físicos en el equipo involucrado en una falla eléctrica. Por lo tanto, es importante para la operación de las líneas de transmisión que el sistema eléctrico sea diseñada adecuadamente, para que el equipo de protección aplicado aisle rápidamente las fallas con un mínimo de interrupción al servicio.

La protección de un sistema eléctrico de potencia puede visualizarse como una forma de póliza de seguro, aunque no se observa la ventaja de ello mientras no ocurra una falla u otra emergencia similar. Pero cuando ocurre una falla puede comprobarse dicha ventaja por la reducción de la interrupción, tanto en extensión como en duración de la misma, así como el riesgo de lesiones del personal o daños a las propiedades.

## **1.2 OBJETIVO DE LA TESIS.**

La finalidad del presente trabajo, se basa principalmente en la comprensión de los fundamentos, características y consideraciones que se deben tomar para el estudio de la protección de las líneas de transmisión utilizando diversos tipos de relevadores de protección dando énfasis a los siguientes puntos:

- Importancia del relevador como medio de protección en un sistema eléctrico de potencia industrial.
- Funcionamiento y características de los diversos tipos de relevadores de protección.
- Aplicaciones.
- Coordinación.

## **1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA TESIS.**

Ya que en la actualidad, no existe información adecuada de forma práctica y sencilla dentro del área de los sistemas de protección empleando relevadores, este trabajo se realiza con el objetivo de proporcionar una guía para todas aquellas personas que se interesen en el estudio de la protección de las líneas de transmisión utilizando relevadores de protección, esto debido, a que en el campo de aplicación sólo existen libros de apoyo, pero con conceptos más complejos que los que se presentarán en este trabajo.

## **1.4 LÍMITES DEL ESTUDIO.**

Los Sistemas Eléctricos de Potencia durante su operación, pueden estar expuestos a diferentes condiciones anormales, originadas por aspectos relacionados en el propio sistema o por elementos externos al mismo. Algunos de estos factores que producen condiciones anormales, son los siguientes:

- Sobrecarga en los Elementos del Sistema.
- Corto Circuito.

- Falla de Aislamiento.
- Aislamiento Inadecuado.
- Sobretensiones por Descargas Atmosféricas.
- Operación de Interruptores.
- Arcos Eléctricos por Efecto de Contaminación.
- Elementos Extraños en la Instalación. (Pájaros, roedores, ramas de arboles, etc.)
- Resistencia Mecánica de Diseño.
- Vandalismo.
- Eventos Fortuitos.

## **1.5 METODOLOGÍA.**

Cada capítulo contiene información necesaria para llegar a comprender la operación, el funcionamiento, el mantenimiento basados en el Código Eléctrico Nacional (National Electric Code) y la aplicación de cualquier tipo de relevador que se requiere utilizar para la protección de las líneas de transmisión.

El procedimiento para realizar la elaboración de este trabajo, se basa en la recopilación de información acerca de los tipos de relevadores de protección que se pudieran utilizar para proteger las líneas de transmisión, tomando como consideración las posibles causas que originan las fallas. Para elaborar este trabajo se siguen los siguientes pasos:

1. Se brinda una introducción acerca de la importancia que tienen los relevadores para proteger los sistemas eléctricos de potencia.
2. Se definen los conceptos fundamentales de operación aplicados a los relevadores de protección en forma general, indicando lo siguiente:
  - 2.1 Antecedentes acerca de los sistemas de protección.
  - 2.2 Se realiza un muestreo estadístico donde se observan las causas de las fallas en los equipos eléctricos de potencia.
  - 2.3 Se definen los elementos que intervienen en un sistema de protección.

3. Se hace mención acerca de los principios de operación de varios tipos de relevadores, indicando su principio de funcionamiento, su estructura interna y las causas contra las cuales protege.
4. Una vez explicado cada uno de los diferentes tipos de relevadores de protección, se procede a seleccionar el tipo de relevador adecuado a la protección de las líneas de transmisión tomando en consideración que puede aplicarse más de un tipo de relevador para realizar la función indicada.
5. Se procede a explicar los principios de operación, las consideraciones que se deben tomar y las características de los tipos de relevadores seleccionados para proteger las líneas de transmisión.
6. Se llega a una serie de conclusiones después de la explicación de cada uno de los tipos de relevadores que fueron seleccionados para la solución al problema que se presenta en este trabajo que trata de la protección de las líneas de transmisión.

## **1.6 REVISIÓN BIBLIOGRAFICA.**

Los Sistemas Eléctricos de Potencia han tenido un notable desarrollo en las ultimas décadas, Esto debido al considerable crecimiento de nuestra población.

Tomando en cuenta este factor y sabiendo que el servicio en las redes de distribución debe ser más eficiente cada día, se requiere de mayor y mejores sistemas de protección de las mismas, no pasando por alto la integridad de las personas y/o las entidades que intervengan en su uso y manejo.

Se han desarrollado sistemas de protección, además de sus respectivas nomenclaturas de identificación para el manejo claro y preciso de cualquier persona que se relacione con esta área.

Para el desarrollo de este trabajo se hizo uso de literatura de autores e Instituciones reconocidas (listados en la Bibliografía de este trabajo) de los cuales se aprovecha su experiencia acerca de la energía eléctrica, su distribución y sus protecciones además de aportar algo de la experiencia propia.

### **1. Altuve Ferrer H. Protección de Sistemas Eléctricos de Potencia.**

Se extrae el contenido para el desarrollo del tema relevadores tipo piloto, tomando en cuenta que el desarrollo de este tema, otros autores sólo hacen mención de los conceptos más básicos que existen, mientras que en este texto se puede apreciar el gran avance tecnológico que ha tenido este tipo de protección.

### **2. Altuve Ferrer H. Memoria Curso Tutorial a los Relevadores y Sistemas Digitales de Protección.**

En este texto se recopila la información para el estudio de algunas de las características fundamentales de la operación de los relevadores tipo piloto y los tipos de canales utilizados en este tipo de protección, así como diagramas esquemáticos de la operación de cada tipo de protección piloto.

### **3. C.F.E. Auxiliar Técnico en Protecciones de Distribución.**

En este texto la información obtenida proporciona la clasificación de los tipos de relevadores que existen para la protección de los sistemas eléctricos de potencia, así como algunos diagramas esquemáticos donde se muestran el lugar donde se encuentran en el sistema de protección, así como también, el número que se le asigna a cada uno de los elementos que integran un diagrama eléctrico.

### **4. C.F.E. Esquemas de Protección Eléctrica.**

De este texto se recopila la información acerca de los relevadores de distancia (21), así como los diagramas de operación y del tipo Z-t y R-X y la deducción de las cantidades recibidas por el relevador de distancia para las posibles fallas que se pudieran presentar en las líneas de transmisión.

### **5. C.F.E. – U.A.N.L. Memoria Técnica II Symposium Iberoamericano sobre Protección de Sistemas Eléctricos de Potencia.**

El texto nos brinda una forma práctica en cuanto a la operación y características de la protección primaria y de respaldo, así como algunos ejemplos en donde se puede aplicar este tipo de protección.

**6. Enríquez Harper Gilberto. Fundamentos de Protección de Sistemas Eléctricos por Relevadores.**

La información obtenida sirvió para explicar la forma de funcionamiento de los relevadores de protección, tomando en cuenta los factores que se pudieran presentar al ocurrir una falla en la línea de transmisión.

**7. I.E.E.E. – U.A.N.L. Memoria Técnica. II Symposium Iberoamericano sobre Protección de Sistemas Eléctricos de Potencia.**

La información obtenida de este texto ayudo a la explicación de los sistemas de protección por hilo piloto, así como el desarrollo de algunas de las ecuaciones que se presentan en este trabajo.

**8. Ravindranath B., Chander M. Protección de Sistemas de Potencia e Interruptores.**

El texto anterior proporcionó información acerca de los sistemas de protección que existen en un sistema de potencia eléctrica, así como algunos de los fundamentos de operación de varios tipos de relevadores

**9. Russell Mason C. El arte y la Ciencia de la Protección por Relevadores.**

Este texto proporciona casi la mayoría de la información acerca de los principios de operación de los relevadores de protección, así como también, las características fundamentales de algunos de los diversos tipos de relevadores utilizados en la protección de las líneas de transmisión.

Haciendo énfasis en esto, se han incluido temas de muy importantes referentes al ajuste y límites de los relevadores, posibles fallas.

Cabe hacer notar que este trabajo no pretende poner en evidencia las fallas humanas, sino de hacer conciencia en una área de oportunidad y por consiguiente evitar el desarrollo de instalaciones de alto riesgo.

## 2

# FORMAS GENERALES DE LA PROTECCIÓN ELÉCTRICA

### 2.1 ANTECEDENTES.

Todo sistema eléctrico de potencia durante su operación, puede estar expuesto a diferentes condiciones anormales, originadas por aspectos relacionados en el propio sistema, o por elementos externos al mismo. Algunos de los factores que producen condiciones anormales de operación, pueden ser los siguientes:

1. Sobrecarga en los elementos del sistema.
2. Corto circuito.
3. Falla de Aislamiento.
4. Aislamiento inadecuado
5. Sobretensiones por descargas atmosféricas.
6. Operación por interruptores.
7. Arcos eléctricos por efecto de contaminación.
8. Elementos extraños en la instalación (roedores, pájaros, ramas de árbol)
9. Resistencia mecánica de diseño.
10. Vandalismo y errores humanos.

Para que un sistema fuera protegido en forma adecuada se tienen que emplear sistemas de protección, los cuales puedan corregir la causa de la falla de forma inmediata.

La protección de sistemas eléctricos se logra utilizando un conjunto de elementos con características indispensables para lograr resultados eficientes, como lo son:

1. La capacidad de desconexión de sus interruptores.
2. Elementos de desconexión rápida.
3. Precisión en sus aparatos de medición.
4. Corriente directa en fuente auxiliar de alimentación.

A continuación se mencionan algunas formas de protección eléctrica:

1. Apartarrayos.
2. Hilos de guarda
3. Aislamiento
4. Sistema de tierra
5. Fusibles.
6. Relevadores.

La función principal de la protección es provocar la desconexión automática del elemento del sistema que ha sido afectado por una falla o un régimen anormal de operación. La protección del equipo es una de las partes fundamentales en todo el sistema para prevenir fallas en un sistema eléctrico de potencia.

Una segunda función de la protección es dar información sobre el tipo de falla y localización de la misma o de un régimen anormal que ha ocurrido, con el objetivo de facilitar al personal de servicio técnico su rápida ubicación y eliminarla.

## **2.2 APARTARRAYOS.**

Los apartarrayos son aparatos que disminuyen los efectos de sobretensiones creadas en el sistema eléctrico por agentes exteriores e interiores como descargas atmosféricas y operación de interruptores.

El apartarrayos se encuentra conectado permanentemente en cada fase y opera cuando se presenta una sobretensión de determinada magnitud, descargando la corriente a tierra.

Se fabrican diferentes tipos de apartarrayos, siendo los más empleados los de tipo "autovalvular" y "de resistencia variable".

El apartarrayos tipo autovalvular consiste de varias chapas de explosores conectados en serie por medio de resistencias variables cuya función es dar una operación más sensible y precisa.

El apartarrayos de resistencia variable utiliza dos explosores conectados en serie a una resistencia variable y se utilizan generalmente en media tensión y sistemas de distribución.

La función del apartarrayos no es eliminar las ondas de sobretensión presentadas durante las descargas atmosféricas, sino limitar su magnitud a valores que no sean perjudiciales para los equipos del sistema.

Los apartarrayos protegen también a las instalaciones contra descargas directas, para la cual tienen un cierto radio de protección. Para protección y seguridad de las instalaciones contra descargas directas se instalan unas varillas conocidas como bayonetas e hilos de guarda semejantes a los que se colocan en las líneas de transmisión.

La tensión a la que operan los apartarrayos se conoce técnicamente como tensión de cebado del apartarrayos.

### **2.3 SISTEMA DE TIERRA.**

Es el arreglo de conductores y electrodos en forma de malla, para proporcionar el punto de referencia de potencial cero, además de descargar las sobretensiones evitando la acumulación de cargas electrostáticas y el consiguiente potencial en equipos y estructuras. Este arreglo permite que los equipos eléctricos no sufran daños debido a los incrementos de corriente que pudiesen presentarse en el equipo y evita las descargas ocasionados por la energización de alguna parte metálica del equipo con algún cable y de esta forma evitar un daño mayor al personal o al equipo.

### **2.4 FUSIBLES.**

Un fusible, es un elemento que interrumpe el circuito sobre la base de que opera por los incrementos de corriente que se pueden presentar en el sistema. El principio de operación consiste en que cuando se presenta un incremento en la corriente, el fusible

está diseñado de tal forma que un elemento metálico en forma de cintilla se funde al aumentar la temperatura debido al incremento de corriente, ocasionando que el circuito se abra e interrumpa el flujo de corriente.

Los fusibles interrumpen la sobrecorriente que por sobrecarga o falla pasa a través de transformadores o líneas aéreas de baja tensión evitando con esto que estos componentes de la red de distribución sufra daños mayores. Por ser el fusible un elemento que tiene tiempo de operación en función de la magnitud de la corriente se dice que es coordinable.

## 2.5 RELEVADORES.

Los relevadores, son dispositivos que responden a algunas o a varias características del sistema eléctrico como son voltaje, corriente, frecuencia, factor de potencia, etc., los cuales se alteran al ocurrir una falla en el sistema. Mientras no varían las características del sistema los relevadores se mantienen inactivos y al ocurrir una falla, el relevador detecta y selecciona la característica para lo cual debe actuar enviando una señal de apertura al interruptor correspondiente para aislar la parte en donde ocurrió la falla. Así, por ejemplo, un relevador de sobrecorriente actúa sobre un contacto del circuito de disparo de un interruptor de línea cuando las condiciones de corriente de esta línea pasa a ciertos límites.

En términos generales, un relevador eléctrico es un dispositivo que, colocado en un circuito eléctrico, produce cambios en otros circuitos o en el circuito propio. Un relevador del tipo sencillo consta de una bobina y un contacto conectados en la siguiente forma.

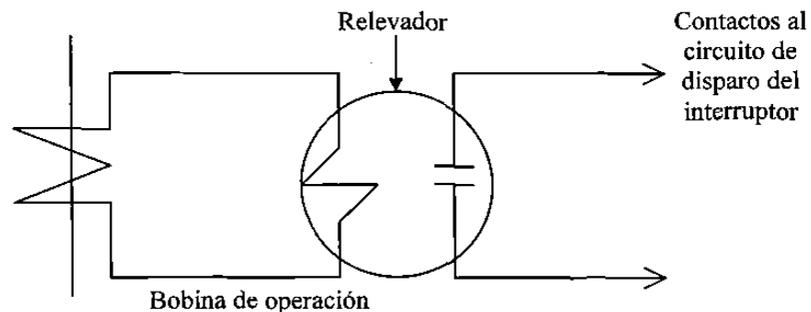


Figura 2.1 Elementos que integran un relevador

Como se observa en el circuito, para que el relevador pueda efectuar su función de protección, recibe señales de entrada, que puede ser de corriente, voltaje, frecuencia, entre otras, las cuales ocasionarán que un relevador cierre su contacto el cual pertenece a un circuito eléctrico ocasionando que éste por medio de un interruptor aislé el sistema.

## 2.6 ESTADÍSTICAS DE FALLAS.

Al abordar los problemas de diseño e instalación del equipo de protección, es importante tener una idea de la frecuencia de incidencia con la cual ocurren las fallas en los diferentes equipos que forman parte de un sistema eléctrico de potencia. Tal información es de gran importancia, ya que se puede obtener una recopilación de experiencias vividas en este campo de trabajo. A continuación, se presentan las dos tablas siguientes, en ellas podemos darnos cuenta del índice de fallas que se pueden presentar en los sistemas eléctricos de potencia y, de esta forma hacer un énfasis mayor.

**TABLA 1**

<b>EQUIPO</b>	<b>% DE FALLAS</b>
Líneas de energía	50
Interruptores	15
Transformadores	12
Cables	10
Equipo de control	3
Transformadores de instrumento	2
Otros	8

Tabla 1 Fallas en los diferentes elementos de un sistema de potencia

Nota: se puede observar que la mayor parte de las fallas ocurren en las líneas de energía aéreas, la siguiente tabla es una guía elemental de la frecuencia con que ocurren estas fallas.

TABLA 2

TIPO DE FALLA	% DE OCURRENCIA
Línea a tierra	85
Línea a línea	8
Dos líneas a tierra	5
Trifásica	2

Tabla 2. Tipos de falla y el porcentaje en que se presentan

## 2.7 CAUSAS QUE ORIGINAN FALLAS EN EL SISTEMA.

Como ya han sido mencionadas cuales podrían ser las posibles causas que originan que los equipos eléctricos de un sistema eléctrico pudieran fallar, ahora se realiza una pequeña explicación acerca del estudio del fenómeno que origina la falla, entre las fallas más comunes tenemos las siguientes:

1. Sobrecarga
2. Corto circuito
3. Caída de tensión
4. Elevación de tensión
5. Variación de frecuencias
6. Inversión del flujo de potencia.

### 2.7.1 SOBRECARGA.

Como es sabido, todos los equipos están diseñados para soportar una cierta sobrecarga de trabajo. Durante su operación, esta sobrecarga está relacionada con el enfriamiento y con la duración que tenga el equipo operando; tomando en cuenta lo anterior, la protección empleada debe ser diseñada de tal manera, que permita que el equipo opere con algunas sobrecargas dentro de los límites permisibles. Estos límites están dados principalmente por el tipo de aislamiento, ya que el efecto térmico de la

sobrecarga, afecta principalmente el tiempo de vida de los aislamientos, de hecho existen curvas que relacionan la sobrecarga, con los tiempos permisibles de estas.

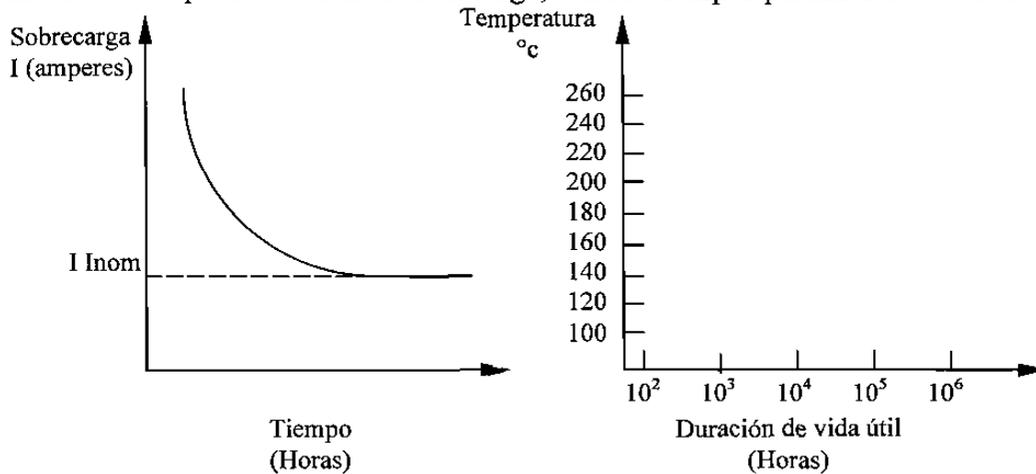


Figura 2.2 Limites de sobrecarga

### 2.7.2 CORTOCIRCUITO.

Es el tipo de falla más frecuente y peligrosa, esta falla origina grandes incrementos de corriente y reducciones de voltaje en los elementos del sistema, lo que puede dañar los equipos por sobrecalentamiento, y afectar por bajo voltaje la operación normal de los consumidores y el sincronismo de los generadores del sistema.

Considerando la gran diversidad de causas que pueden originar un corto circuito, y las estadísticas que muestran diversos tipos de éste fenómeno anormal; se han tenido que diseñar distintos tipos de relevadores de protección contra sobrecorrientes por corto circuito.

### 2.7.3 CAIDA DE TENSION.

El sistema debido a condiciones de sobrecarga, o bien, a fallas en algunos puntos distantes al considerarlo para la protección, puede presentar la condición de bajo voltaje, pero si se excede este bajo voltaje deberá ser eliminado, es decir, que deberá de existir una protección que considere la presencia de este fenómeno anormal en el sistema.

### **2.7.4 ELEVACIÓN DE TENSIÓN.**

La elevación de voltaje en los sistemas, cuando no es producida por un transitorio de maniobra de interruptores o descargas atmosféricas, se debe a varios factores, como pudieran ser algunos de los mencionados a continuación:

1. Condiciones de baja carga en la red.
2. Desconexión de líneas
3. Rechazo de carga
4. Efectos de excitación en generadores.

### **2.7.5 INVERSIÓN EN EL SENTIDO DE LA POTENCIA.**

En las salidas de las centrales eléctricas (alimentadores o líneas de transmisión), así como en los enlaces entre partes o áreas de un sistema eléctrico de potencia, se mantenga en un solo sentido, para esto es necesario instalar los elementos de protección que cumplan con estos requisitos.

### **2.7.6 VARIACIÓN DE FRECUENCIA.**

La variación de frecuencia en un sistema eléctrico de potencia, es permisible dentro de ciertos límites, pero los valores fuera de estos límites son indicativos de un desequilibrio entre la generación y la carga, y por lo tanto, condiciones anormales de operación. La protección contra variación de frecuencia, puede ser contra baja frecuencia (disparo automático de carga).

## **2.8 ELEMENTOS QUE INTERVIENEN EN UN SISTEMA DE PROTECCIÓN.**

Para proteger los sistemas eléctricos contra las posibles fallas que se pudieran presentar, se han diseñado sistemas de protección basados en esquemas generales, en los que intervienen elementos que en forma independiente de su construcción operan con el

mismo principio. Cumpliendo con la misma función, los elementos básicos de un sistema de protección contra fallas se muestra en la figura 2.3.

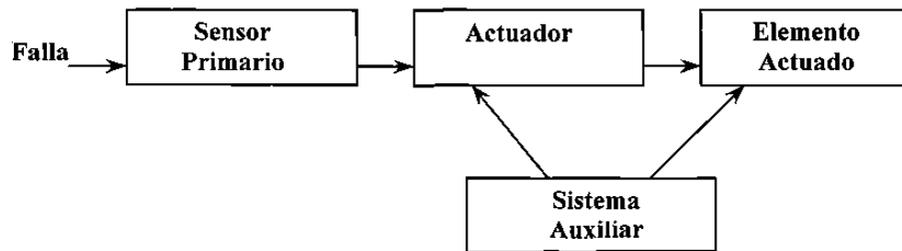


Figura 2.3 Diagrama de flujo del sistema de protección.

Con relación a las cantidades detectadas, estas pueden ser señales de voltaje, corriente y frecuencia.

Las señales de voltaje y corriente, se detectan a través de los sensores primarios, que son principalmente:

1. Transformadores de corriente.
2. Transformadores de potencial.

Estas señales permiten detectar distintos tipos de fallas, y activar los actuadores que esencialmente son relevadores, las señales que reciban pueden ser de los siguientes tipos:

1. De corriente.
2. De voltaje.
3. De potencia.
4. De impedancia.
5. De frecuencia.

De acuerdo con estas señales, los relevadores se clasifican generalmente como:

1. Relevador de sobrecorriente.
2. Relevador de voltaje (alto o bajo)
3. Relevador de potencia (direccionales)
4. Relevador de impedancia o Admitancia (de Distancia)
5. Relevador de frecuencia.

Estas funciones que actúan con la señal indicada son independientes del tipo de relevador, desde el punto de vista constructivo (Electromecánico o de Estado sólido).

En el diseño de un sistema de protección, se deben establecer los tipos de fallas contra las que se debe proteger el equipo, el grado de protección deseado (señal de alarma, señal de disparo instantáneo, señal de disparo retardo, etc.). Y la lógica que debe tener el esquema de protección se muestra a continuación en la figura 2.4.

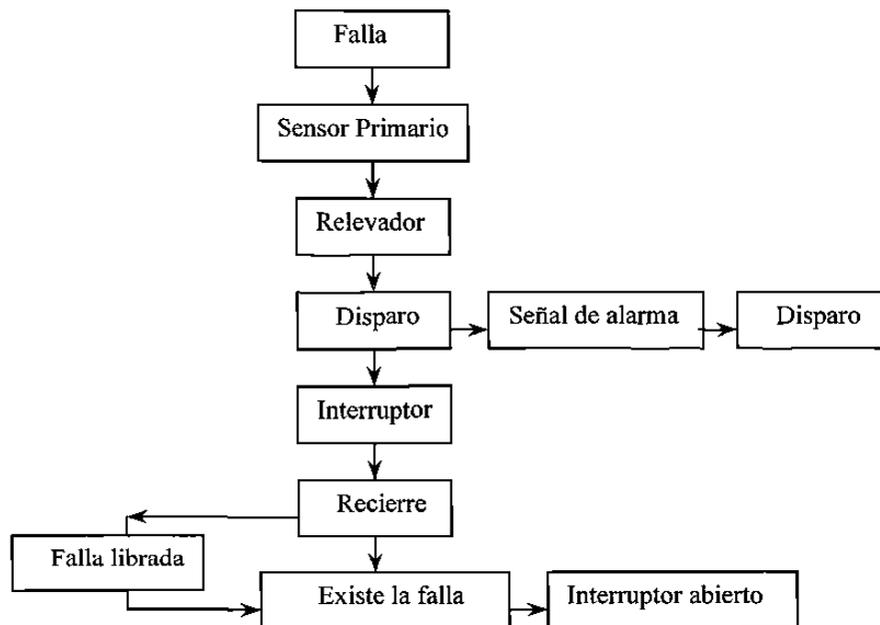


Figura 2.4 Secuencia lógica de la señal del relevador

Para estudiar a detalle los sistemas de protección, se deben analizar primero los principios de operación, características de sus componentes, etc., para esto se organizan en el orden que intervienen como lo son los sensores (transformadores de potencial y corriente), relevadores e interruptores.

### 2.8.1 TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTO.

Son dispositivos que alimentan a los instrumentos de medición, de protección o a ambos. Se clasifican conforme la variable que manejan, como pueden ser transformadores de corriente o transformadores de potencial, y desde el punto de vista del sistema de protección nos interesa de estos dispositivos principalmente lo siguiente:

1. Principios de operación.
2. Cargas.

3. Precisión.
4. Numero de devanados de conexión.

### 2.8.2 TRANSFORMADORES DE CORRIENTE.

Operan bajo el principio de inducción magnética, de esta manera existe un acoplamiento magnético entre los devanados, de los cuales uno se denomina primario, el cual esta conectado al circuito de alto voltaje o alta corriente, y el otro denominado secundario, el cual se encuentra conectado a la carga (instrumento) la cual será alimentada posteriormente.

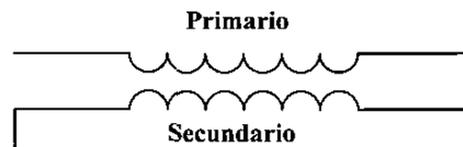


Figura 2.5 Esquema de un transformador de corriente

### 2.9 EVALUACION DE LA PROTECCIÓN POR RELEVADORES.

La mejor manera de evaluar la protección por relevadores, se finca en su aportación para mejorar el servicio eléctrico a los usuarios, dicha aportación consiste en auxiliar a los demás elementos del sistema eléctrico de potencia para poder brindar el mejor desempeño y eficacia ante las fallas.

Para lograr lo anterior, podemos mencionar que la protección por relevadores minimiza el daño al presentarse la falla y, además, reduce el tiempo que el equipo esta fuera de servicio, así como el monto de la reparación del daño. Analizando con solidez el beneficio que se obtiene al abordar el tema de ingreso y tirantez de las relaciones publicas al estar el equipo sin operar, tiene la gran ventaja de evitar que la falla pueda extenderse a otros sectores del sistema y los pueda afectar de manera considerable.

Es importante mencionar que para lograr esto, se sigue un criterio que consiste en zonificar los elementos del sistema eléctrico de potencia.

Partiendo de la realidad, no existe, y tampoco es posible diseñar un sistema eléctrico en el que no ocurran fallas, en el proyecto de cualquier instalación eléctrica se deben de considerar dos prevenciones:

1. Efectuar un diseño en el cual se minimice la posibilidad de ocurrencia de falla, con el consiguiente incremento en el costo de la instalación, sin llegar a eliminar este riesgo.
2. Incluir en el diseño elementos que detecten las fallas y disminuyan los efectos negativos de las mismas. estos elementos son los esquemas de protección y lo constituyen los fusibles, relevadores, transformadores de instrumento, interruptores, cableado etc.

Por lo anterior podemos resumir y destacar que los esquemas de protección se instalan en un sistema de potencia con la finalidad de retirar o desconectar en forma rápida el elemento o componente de la red que sufre un corto circuito o que funciona en forma anormal y que de no hacerlo afectara al resto del sistema.

## 3

# FUNDAMENTOS DE LA PROTECCIÓN POR RELEVADORES

### 3.1 INTRODUCCION.

En general, lo que se le pide al equipo de protección y en particular al relevador detector es que libere la falla en el menor tiempo posible y aisle del sistema solo a la parte afectada evitando así a la salida innecesaria de equipos vitales asociados al sistema, o sea, que cooperen al funcionamiento normal del sistema, prevenga una falla eléctrica y reduzcan los efectos de la misma.

El ASA define un relevador como “ un dispositivo que ocasiona un cambio brusco en uno o más circuitos de control eléctrico cuando la cantidad o cantidades medidas a las cuales responde, cambian de un valor prescrito “. Después en lista y define cuatro tipos de relevadores:

#### 1. Relevador Auxiliar.

Uno que opera en respuesta a la apertura o cierre de su circuito opera este para auxiliar a otro relé o dispositivo en el desempeño de una función.

#### 2. Relevador de Protección.

Uno cuya función es detectar mecanismos o líneas defectuosas u otras condiciones peligrosas o indeseables, e iniciar o permitir la interrupción debida o dar señales precautorias.

### **3. Relevador Regulador.**

Una que opera debido a la salida de una cantidad operante de límites predeterminados y que funciona a través de equipo suplementario para restaurar la cantidad dentro de esos límites.

### **4. Relevador Verificador.**

Uno cuya función es verificar las condiciones del sistema de potencia respecto a los límites prescritos e iniciar o permitir funciones automáticas además de abrir un interruptor durante condiciones de falla.

Aproximadamente 51 tipos de relevadores y 24 clases de protección se mencionan y definen en el estándar. Los tipos de relevadores que se incluyen son: De Alarma, Diferenciales, De Distancia, Direccionales De Potencia, De Tiempo, De Voltaje, De Corriente, etc. Mientras las clases son: Protección Diferencial, de Sobrecorriente, Protección a Tierra, Protección con Conductor Piloto, etc.

La ASA define alta velocidad como un término calificador aplicado a un relé que indica que el tiempo de su operación generalmente no exceda de  $1/20$  de segundo aproximadamente 3 ciclos sobre la base de 60, y baja velocidad, donde el tiempo de operación generalmente se excede de  $1/20$  de segundo. Por aceptación general, los relés que operan en este rango de 3 a 5 ciclos de frecuencia, se les considera relés de alta velocidad. La protección por medio de relés de alta velocidad ofrece ventajas de mayor continuidad de servicio ya que ocasiona menos daño por fallas y menos riesgo del personal. Por otro lado, tiene generalmente un costo inicial muy elevado, requiere más mantenimiento, y tienen una más alta probabilidad de operar en ocasiones incorrectas en transitorios. Consecuentemente, ambos tipos de relés de alta y baja velocidad se aplican para proteger el sistema de potencia y ambos tienen amplios antecedentes de operación con relés protectores, muestran consistentemente el 99.5 % y más funcionamiento de relés.

Las operaciones de relés son clasificadas como sigue:

1. Correctas y deseadas.
2. Correctas pero no deseadas.
3. Operaciones incorrectas de Interrupción.
4. Fallas en la apertura.

La apertura incorrecta de interruptores, no asociados con el área de falla o el área de respaldo, es con frecuencia más dañina al sistema de potencia que la falla en la apertura del interruptor correcto. Por lo tanto, se debe tener especial cuidado tanto en la aplicación como en la instalación, para asegurarse contra tales y posibles operaciones incorrectas. Mientras que la falla en la apertura es también seria, la protección de respaldo se emplea como una línea secundaria de defensa para eliminar la falla al fracasar la protección primaria o principal.

### 3.2 FUNCIÓN DE LA PROTECCIÓN POR RELEVADORES.

La filosofía general de aplicar relevadores a los sistemas eléctricos de potencia, consiste en dividir el sistema en zonas de protección, que puedan ser protegidas adecuadamente empleando una mínima parte de las conexiones en el sistema, las zonas de protección pueden ser:

1. Generadores
2. Transformadores
3. Barras
4. Líneas de transmisión y distribución.

El objetivo de la protección es retirar del servicio el elemento del sistema eléctrico de potencia que falle. En la figura 3.1 se muestra un sistema eléctrico típico y sus zonas de protección.

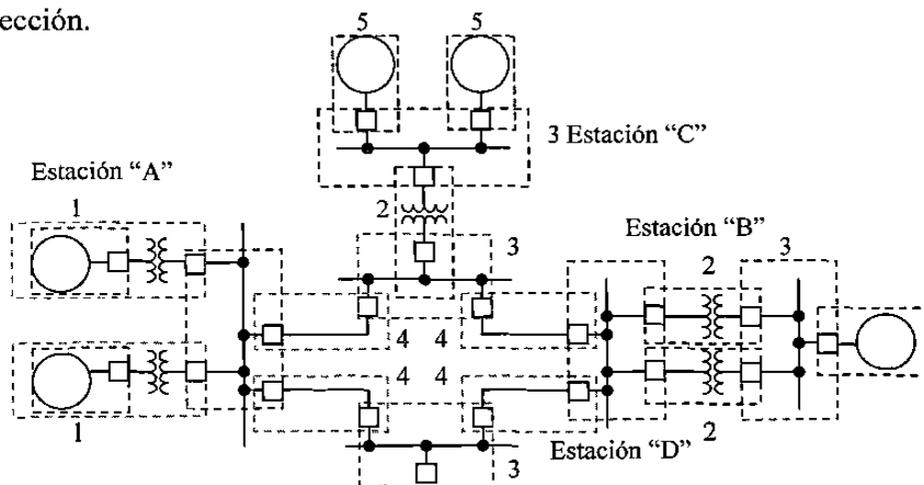


Figura 3.1 Zonas de protección en un sistema típico de potencia

La protección de cada zona está traslapada para evitar la posibilidad de áreas sin proteger.

En general, lo que se pide al equipo de protección, es que libre de la falla al sistema de ser posible en el tiempo mínimo posible y aisle del sistema la parte donde se presenta la falla, evitando así, que otros elementos salgan de operación.

El objetivo primordial es proveer la primera línea de protección recordando las ideas fundamentales previamente mencionadas. Admitiendo que pueden ocurrir descuidos o fracasos, se provee alguna forma de respaldo o protección de ultimo recurso para desconectar las zonas adyacentes que rodean la falla.

Los problemas de protección de cada una de estas zonas y de la protección de respaldo, en general, serán presentados en detalle posteriormente.

En cada zona la protección se redobla para evitar dejar algunas áreas de protección. Esto se lleva a cabo conectando los relés a los transformadores de corriente como se ve en la figura 3.2.

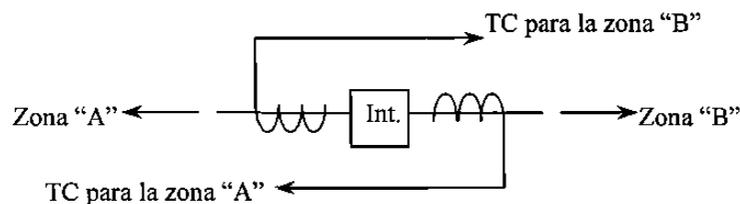


Figura 3.2 Principio de la protección doble de un interruptor

La información requerida para la aplicación de los relevadores de protección es, primero una relación exacta del problema de protección.

Las áreas de información asociadas o de apoyo requeridos son:

1. Configuración del sistema.
2. Sistema de protección existente y sus dificultades.
3. Grado de protección requerido.
4. Preferencias existentes, procedimientos operando practicas.
5. Posibles expansiones futuras.
6. Estudio de fallas.
7. Carga máxima y rangos de los transformadores de corriente.

8. Localización de los transformadores de potencial, sus conexiones y rangos.
9. Impedancia de la línea y transformadores.

La configuración del sistema, lo representaremos por un diagrama unifilar mostrando el área del sistema involucrada con el problema de protección. Este deberá mostrar con cierto detalle la localización de los interruptores, la disposición de los buces, las derivaciones de las líneas para sus alimentadores y su capacidad, la localización y tamaño de la generación, y la localización, tamaño y conexiones de los transformadores son particularmente importantes ya que son los que más frecuentemente se omiten. Es necesario conocer las fuentes de tierra para efecto de la relevación de tierra.

El equipo de protección existente junto con las razones por las que un cambio es deseado, si es que se desea, deberá ser esquematizado bajo un segundo registro. Las nuevas instalaciones deberán también especificadas. Las dificultades con la relevación presente son valiosas para guiar mejoramientos. En muchos casos, la nueva relevación requerirá operar con o utilizar partes de los relés ya existentes y los detalles sobre estos serán de gran importancia.

El grado de protección requerido deberá trazar la clase o clases generales de protección a consideración junto con las condiciones del sistema o procesos en juego y practicas que influirán en la preferencia final. Esto proveerá respuestas o preguntas como: “Es necesaria la relevación de alta, media o baja velocidad”. “Se desea el disparo simultaneo de todos los interruptores de una línea de Transmisión”. “Deberá ser previsto el restablecimiento instantáneo.

Un estudio adecuado de fallas es una necesidad en casi todas las aplicaciones de los relevadores. El estudio de falla debe de incluir fallas trifásicas, de línea a tierra y fallas sucesivas. Estas ultimas son de bastante importancia en casos donde un interruptor pueda operar primero que otro. La falla sucesiva es la trifásica o de línea a tierra en el lado de la línea de un interruptor con este interruptor abierto.

Esto da la redistribución de la corriente de falla por medio del interruptor remoto después de que el interruptor cercano ceda. Para la relevación de tierra, el estudio de fallas deberá dar voltajes de secuencia cero y voltajes y corrientes de secuencia negativa.

Esta se obtienen fácilmente mientras se hace un estudio y son con frecuencia las mas útiles para resolver un problema difícil de relevación.

Las cargas máximas, conexiones del transformador de potencial y de corriente, relaciones de transformación y localización son requeridas. Las cargas máximas deberán ser consistentes con los datos de la falla. Frecuentemente el dato de la falla esta basado en condiciones presentes o pasadas del sistema, mientras las cargas están basadas en las máximas existentes y futuras ampliaciones.

Obviamente, en algunas aplicaciones no todos los datos son necesarios. La información deberá recopilarse con suficiente detalle y así obtener las mejores aplicaciones.

Los relevadores de protección se conectan al sistema de potencia por medio de transformadores de corriente y potencial y accionan el interruptor al cual están referidos mediante las conexiones de su cableado de control. Un diagrama típico de las conexiones de los relevadores se muestra en la figura 3.3.

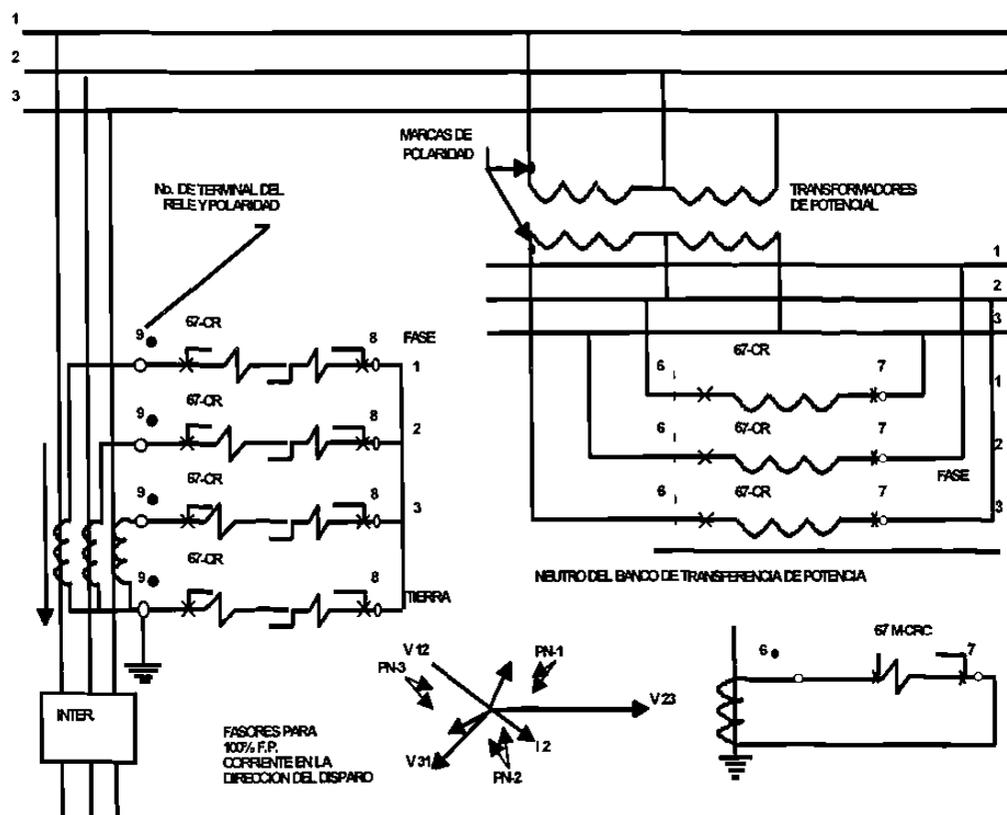


Figura 3.3 Conexiones típicas de C.A. relevadores de protección

Algunas consideraciones importantes relativas a los diagramas de corrientes y potenciales son:

1. Secuencia de fases.
2. Dirección de disparo.
3. Marcas de polaridad en transformadores de corriente y potencial.
4. Numeración y polaridad de los bornes del relevador.
5. Diagramas fasoriales.

Todos estos conceptos se utilizan en la aplicación de un relevador direccional, en otros tipos de relevadores no se requiere la aplicación de algunos de los conceptos mencionados.

En los diagramas de control se tienen que tomar en cuenta ciertas consideraciones importantes, como pueden ser:

1. Los contactos de los relevadores se indican en la posición correspondiente a la condición de relevador desenergizado.
2. Los contactos de control y auxiliares de los interruptores se indican en la posición correspondiente a la condición de interruptor desenergizado y abierto.

Para asegurar el suministro de energía al circuito de disparo del relevador se utiliza un banco de baterías generalmente de 125 voltios de corriente directa.

En estaciones pequeñas donde una batería no puede ser justificada, la energía disparadora se obtiene de un condensador disparador que consiste en un condensador cargado por el voltaje de la línea C.A. Cuando los contactos del relé cierran esta energía es suficiente para disparar el interruptor. El voltaje de la línea no puede utilizarse directamente ya que puede no estar disponible durante las condiciones de falla.

### **3.3 FORMAS DE DISPARO DE LOS INTERRUPTORES DEL RELEVADOR**

Los métodos de disparo son:

1. Disparos en derivación usando una batería CD o dispositivo condensador.
2. Disparos en serie. La mayoría de los relevadores de protección disparan interruptores que usan bancos de baterías de 125 o de 250 volts.

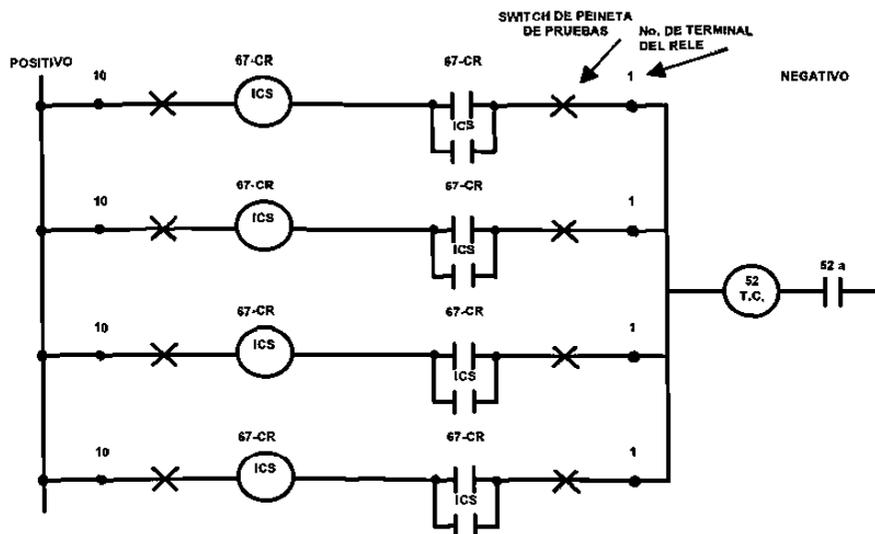


Figura 3.4 Diagrama de control del circuito de disparo.

En estaciones pequeñas donde una batería no puede ser justificada, la energía disparadora se obtiene de un condensador disparador que consiste en un condensador cargado por el voltaje de la línea C.A. Cuando los contactos del relé cierran esta energía es suficiente para disparar el interruptor. El voltaje de la línea no puede utilizarse directamente ya que puede no estar disponible durante las condiciones de falla.

El otro método de disparos en serie, es usando la corriente alterna, de falla como se muestra en la figura 3.5, estos relés son del tipo apertura de circuito.

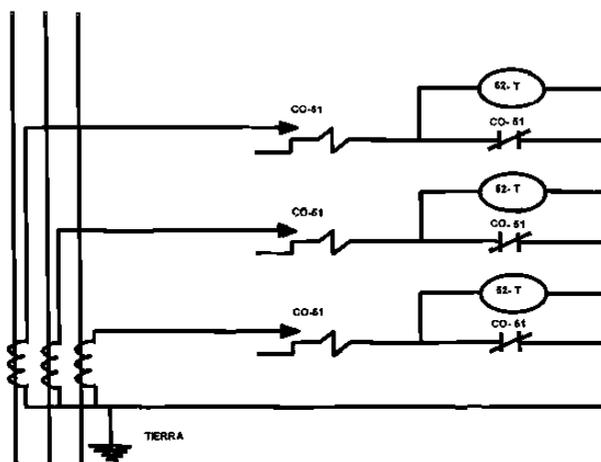
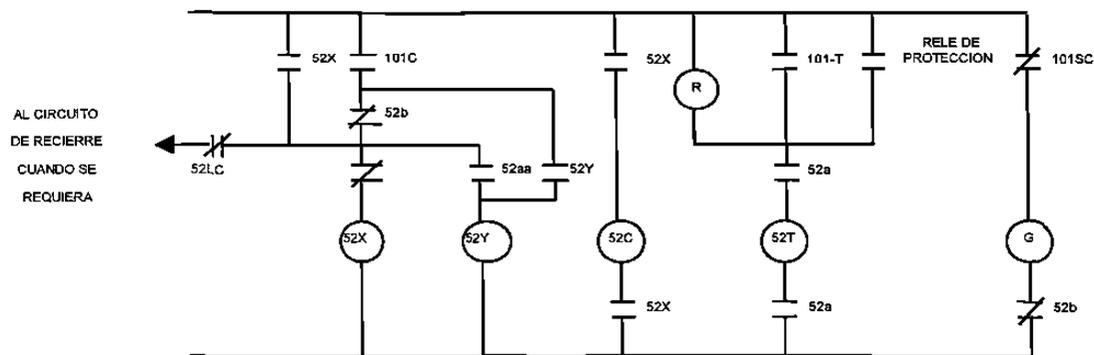


Figura 3.5 Relevadores de apertura de circuito.

Los circuitos completos de disparo y cierre de interruptores son más complejos y un diagrama de circuito típico se muestra en la figura 3.6. En este diagrama los circuitos de relevadores de protección, tal como los de la figura 3.5, están reducidos a un solo contacto marcado “relés protectores”, mientras los circuitos de disparo deben ser energizados de una fuente que esta disponible durante la falla, generalmente el banco de baterías, los circuitos de cierre pueden ser operados por C.A. Tales interruptores tienen circuitos de control similares al de la figura 3.6.



101 Swicht de control manual (T – Disparo, C – Cierre, SC – Contacto de paso)  
 52 Interruptor ( T – Disparo, C – Cierre, X – Auxiliar, Y – Auxiliar de antibombeo, LC- Verificador de posición del interruptor)  
 G – Luz indicadora verde  
 R – Luz indicadora roja

Figura 3.6 Esquema circuito de control para un interruptor

Excepto con los circuitos 52x, 52y y 52 cc que son para la operación de C.A. Varios dispositivos incluyendo los relés, han sido previstos de identificación de su operación con números y algunas veces con sufijos de letras apropiadas para uso de esquemas y diagramas de alambrado. Estos fueron introducidos por NEMA y ahora adaptados como norma estándar para sistemas de interrupción automática por la AIEE.

### 3.4 CLAVES Y NOMENCLATURAS DE LOS TERMINOS UTILIZADOS EN LOS DIAGRAMAS ELECTRICOS.

Esta norma se refiere a los números y claves que forman parte de los planos y diagramas de tableros eléctricos, y es el complemento de las normas ya establecidas para dichos aparatos. Varios dispositivos incluyendo los relevadores, han sido previstos de

identificación de su operación con números y algunas veces con sufijos de letras apropiadas para uso de esquemas y diagramas de alambrado.

Estos fueron introducidos por NEMA y ahora adaptados como norma estándar para sistemas de interrupción automática por la AIEE.

Los números de función de dispositivos según A.S.A., NEMA y AIEE, son los siguientes:

<b>Dispositivo</b>	<b>Definición y Función</b>
<b>1</b>	<p><b>Elemento Maestro.</b></p> <p>Dispositivo iniciador, tal como un conmutador de control, relevador de tensión flotador, etc., que actúa, ya sea directamente o por medio de dispositivos auxiliares como relevadores de protección o de tiempo, para operar un equipo.</p>
<b>2</b>	<p><b>Relevador de Retardo para Arranque.</b></p> <p>Dispositivo que funciona para dar el periodo de tiempo de retardo deseado antes o después de una etapa, una operación o una secuencia de maniobras de conexión y desconexión.</p>
<b>3</b>	<p><b>Relevador de Entrelace de Verificación.</b></p> <p>Relevador que actúa en función de la posición de otros dispositivos o de varias condiciones determinadas de un equipo para permitir que prosiga o pare una secuencia de operaciones, o para proveer una verificación de la posición de los dispositivos o de las condiciones ya mencionadas para cualquier fin que se desee.</p>
<b>4</b>	<p><b>Contacto Maestro.</b></p> <p>Es un aparato controlado por un elemento maestro, cuya función es poner un equipo en funcionamiento cuando se encuentre bajo condiciones diferentes o anormales.</p>

**5 Dispositivo de Parada.**

Dispositivo cuya función primordial consiste en retirar de funcionamiento un equipo y mantenerlo fuera de operación.

**6 Interruptor de Arranque.**

Dispositivo cuya función principal consiste en conectar una máquina su frente de tensión para el arranque.

**7 Interruptor de Ánodo.**

Interruptor utilizado en el circuito del ánodo de un rectificador con el fin de interrumpir el circuito del rectificador si se produce un arco inverso.

**8 Dispositivo de Desconexión del Circuito de Control.**

Dispositivo de desconexión tal como un equipo de desconexión de navajas, un interruptor automático o de fusibles desmontables en grupo, utilizados para conectar o desconectar el circuito de control de los aparatos o de las barras colectoras del equipo de control.

**9 Dispositivo de Inversión.**

Dispositivo utilizado con el fin de invertir el campo de una máquina o para efectuar cualquier otra función de inversión.

**10 Selector de Secuencia de Unidades.**

Conmutador utilizado para variar el orden en que pueden ser puestas o retiradas de servicio las diferentes unidades de un equipo de unidades múltiples.

**12 Relevador de Sobrevelocidad.**

Es generalmente un conmutador de velocidad conectado directamente y que funciona al sobrepasar de un valor determinado la velocidad de una maquina

**13 Velocidad Síncrona.**

Tal como un conmutador centrifugo de velocidad, un relé de voltaje, un relé de baja corriente o cualquier tipo de dispositivo, opera aproximadamente a la velocidad sincrónica de la maquina.

**14 Baja Velocidad.**

Funciona cuando la velocidad de una maquina cae por debajo de un valor predeterminado.

**15 Dispositivo que Empareja la Velocidad o Frecuencia.**

Iguala y mantiene la velocidad o la frecuencia de una maquina o de un sistema igual o aproximadamente igual al de la otra maquina, fuente o sistema.

**17 Dispositivo Derivador o de Descarga.**

Interruptor cuya función consiste en abrir o cerrar un circuito de derivación o cualquier sección de un aparato (siempre que no sea una resistencia).

**18 Dispositivo de Aceleración o Desaceleración.**

Dispositivo para cerrar o dar lugar al cierre de los circuitos utilizados para aumentar o reducir la velocidad de una máquina.

**19 Contactor de Transición de Arranque o Marcha Normal.**

Dispositivo que funciona para iniciar o dar lugar al cambio automático de la conexión de arranque a la conexión de marcha normal de una máquina.

**20 Válvula de Operación Eléctrica.**

Válvula accionada por un solenoide o por un motor utilizada en tubería de vacío, aire, gas, agua, etc.

**21 Relevador de Distancia.**

Funciona cuando la admitancia, impedancia o reactancia de un circuito, aumenta o disminuye mas allá de los limites predeterminados.

**22 Interruptor Igualador.**

Se utiliza para controlar o para abrir y cerrar el circuito igualador o desequilibrio de corriente del campo de una máquina o de un equipo de regulación de una instalación de varias unidades.

**23 Control de Temperatura.**

Funciona al elevar o bajar la temperatura de una maquina u otro aparato, cuando exceda o baja de un valor predeterminado.

**25 Dispositivo Verificador de Sincronismo.**

Opera cuando dos circuitos están dentro de los limites deseados de frecuencia, ángulo de fase o voltaje para permitir o hacer el emparalelamiento de esos dos circuitos.

**26 Dispositivo Térmico de Aparatos.**

Funciona cuando la temperatura del campo en derivación o del devanado amortiguador de una máquina, de una resistencia limitada o desviadora de corriente o si la temperatura del aparato protegido desciende de un valor determinado.

**27 Relevador de Baja Tensión.**

Funciona cuando la tensión desciende de un valor determinado.

**29 Contactor Separador.**

Utilizado para desconectar un circuito de otro para funcionamiento de emergencia, mantenimiento o ensayos.

**30 Relevador Anunciador.**

Dispositivo de disposición no automática que da una o más indicaciones visuales independientes al funcionar los dispositivos de protección, y que puede también ajustarse para efectuar una función de bloqueo.

**31 Dispositivo para Excitación Independiente.**

Conecta un circuito tal como el campo de derivación de un convertidor síncrono, a una fuente de excitación independiente durante la secuencia de arranque, o que alimenta los circuitos de excitación e ignición de un rectificador.

**32 Relevador Direccional de Potencia.**

Funciona en valor deseado de flujo de potencia en una dirección dada o porque se invierte la potencia como resultado de invertir el ánodo y cátodo de un rectificador de potencia.

**33 Interruptor de Posición.**

Interruptor que cierra o abre un contacto cuando el dispositivo principal o en un elemento de un aparato cualquiera que llega a una posición dada.

**34 Interruptor de Secuencia Accionada por Motor.**

Interruptor de contactos múltiples que determinan el orden de sucesión de las operaciones de los dispositivos principales durante el arranque o la parada, o durante otras operaciones de maniobra en que el funcionamiento debe seguir un orden determinado.

**35 Dispositivo para Accionar las Escobillas o poner en Cortocircuito los Anillos Colectores.**

Dispositivo para subir, bajar o desplazar las escobillas de una máquina o para poner en corto circuito los anillos colectores.

**36 Dispositivo de Polaridad.**

Dispositivo que hace funcionar o permite el funcionamiento de otro dispositivo solamente cuando existe una polaridad determinada.

**37 Relevador de Baja Corriente o de Baja Potencia.**

Dispositivo que funciona cuando la corriente o flujo de potencia disminuye a menos de un valor predeterminado.

**38 Dispositivo Protector de Chumaceras.**

Es aquel que funciona al subir excesivamente la temperatura de las chumaceras, o si aparecen otras condiciones mecánicas anormales.

**40 Relevador de Campo.**

Opera a un valor dado o bajo valor anormal o perdido de la corriente de campo de una maquina o a un excesivo valor del componente reactivo de la corriente de armadura en máquinas de C.A., que indican la excitación anormal baja del campo.

**41 Interruptor.**

Funciona para conectar o desconectar la excitación del campo de una máquina.

**42 Interruptor de Marcha Normal.**

Su función es conectar una máquina a su frente de alimentación normal, después de haber alcanzado la velocidad deseada con la conexión de arranque.

**43 Dispositivo Manual de Transferencia o Selector.**

Dispositivo accionada manualmente que permite la transferencia de un circuito de control a otro, con el objeto de modificar el plan de operación del equipo de maniobra o de algunos de sus dispositivos.

- 44 Relevador de Arranque de la Unidad de Secuencia.**  
Funciona para arrancar la siguiente unidad disponible, en un equipo de unidades múltiples, ante la falla o la indisponibilidad de las que normalmente le procede.
- 46 Relevador de Corriente, Inversión de Fase o Balance de Fases.**  
Funciona cuando las corrientes polifásicas son de secuencia inversa de fase, o cuando las corrientes son desbalanceadas o contienen componentes de secuencia de fase negativa, sobre una cantidad dada.
- 47 Relevador de Tensión de Secuencia de Fase.**  
Funciona a un valor determinado de la tensión de un sistema polifásico con una secuencia de fases deseadas.
- 48 Relevador de Secuencia Incompleta.**  
Este relevador vuelve al equipo a la posición normal, lo desconecta o la fija en dicha posición, si la secuencia de arranque, de funcionamiento o de parada no se complementa en la forma establecida dentro de un periodo de tiempo determinado.
- 49 Relevador Térmico de Máquina o Transformador.**  
Funciona cuando la temperatura de armadura de una maquina de C.A. u otra carga que tiene devanado o elemento de maquina de CD, convertidor o rectificador de potencia (incluyendo un transformador rectificador de potencia), excede a un valor predeterminado.
- 50 Relevador de Sobrecorriente Instantáneo.**  
Funciona instantáneamente a un excesivo valor de corriente o a una excesiva relación de aumento de corriente, de este modo indicando una falla en el aparato o circuito que protege.

**51 Relevador de Sobrecorriente de Tiempo para C.A.**

Es un dispositivo con una característica de tiempo definida o inversa que funciona cuando la corriente en un circuito excede de un valor predeterminado.

**52 Interruptor de Potencia para C.A.**

Dispositivo que se usa para cerrar e interrumpir un circuito de potencia bajo condiciones normales o para interrumpir este circuito bajo condiciones de falla o de emergencia.

**53 Relevador de Generador para C.D.**

Dispositivo que forza la excitación del campo de la maquina de CD reforzándola durante el encendido o que funciona cuando el voltaje de la maquina ha alcanzado un valor dado.

**54 Interruptor de C.D. de Alta Velocidad.**

Es un interruptor que funciona para reducir la corriente al inicio en el circuito principal en 0.01 segundo o menos, después de ocurrir la sobrecorriente de CD o relación excesiva de alza de corriente.

**55 Relevador de Factor de Potencia.**

Opera cuando el factor de potencia en un circuito de C.A. aumenta o disminuye mas de un valor predeterminado.

**56 Relevador de Aplicación de Campo.**

Es un dispositivo que controla automáticamente la aplicación de la excitación del campo a un motor de C.A. a un punto predeterminado en el lapso de ciclo.

**57 Dispositivo para Conectar un Cortocircuito a Tierra.**

Es accionado eléctricamente o por energía mecánica almacenada que en respuesta a la acción de dispositivos

automáticos funciona para poner en cortocircuito o conectar a tierra un circuito.

**58 Relevador de Falla de Encendido de un Rectificador.**

Funciona si se produce una falla en el encendido de uno o más de los ánodos de un equipo rectificador.

**59 Relevador de Sobretensión.**

Es un dispositivo que funciona a un cierto valor dado de sobrevoltaje.

**60 Relevador de Equilibrio de Tensiones.**

Dispositivo el cual opera a una diferencia dada en voltaje entre dos circuitos.

**61 Relevador de Equilibrio de Corriente.**

Dispositivo que opera a una diferencia dada de entrada o salida de corriente de dos circuitos.

**62 Relevador de Retardo de Tiempo.**

Es un dispositivo retardador de tiempo que sirve en conjunción con el aparato que inicia la operación del cierre, paro o apertura en una secuencia automática.

**63 Relevador de presión, Flujo o nivel de Gas o Líquido.**

Es un aparato que opera en un dado valor de presión de flujo o nivel de gas o líquido o a una relación dada de cambio de estos valores.

**64 Relevador de Tierra.**

Funciona en fallas de aislamiento de una máquina, transformador o de otro aparato que tenga conexión a tierra. NOTA: Esta función es asignada solamente a un relevador que detecta el flujo de corriente de la armazón de una máquina o cubierta, estructura o una pieza de un aparato a tierra en un circuito o devanado normalmente no conectado a tierra. No se aplica a un dispositivo conectado en el circuito secundario o neutro secundario de un

transformador de corriente o transformadores de corriente, conectados en el circuito de potencia de un sistema normalmente aterrizado.

65

**Gobernador.**

Equipo que regula la apertura de las compuertas o las válvulas de las máquinas motrices.

66

**Dispositivo de Escalonamiento o de Avance Paulatino.**

Dispositivo que funciona para permitir solo un número determinado de operaciones de un equipo o un número dado de operaciones sucesivas a intervalos fijos.

67

**Relevador Direccional de Sobrecorriente C.A.**

Funciona a un valor deseado de sobrecorriente fluyendo en una dirección predeterminada.

68

**Relevador de Bloqueo.**

Relevador que inicia una señal piloto para producir una acción de bloques o de disparo, al producirse fallas externas en una línea de transmisión.

69

**Dispositivo de Control Permisivo.**

Es un interruptor de dos posiciones y accionamiento manual, que en una de sus posiciones permite el cierre de un interruptor automático o la puesta en marcha de un equipo, y en la otra impide el funcionamiento del interruptor o del equipo.

70

**Reostato por Acción Eléctrica.**

Utilizado para variar la resistencia de un circuito de acuerdo con la señal recibida en dispositivo eléctrico de control.

72

**Interruptor de CD.**

Se usa para cerrar e interrumpir un circuito de potencia bajo condiciones normales o para interrumpir este circuito bajo condiciones de falla, emergencia o peligro.

**73 Conector para Resistencia de Carga.**

Contacto utilizado para conectar en derivación o introducir en un circuito un paso de resistencia limitadora, desviadora o indicadora de carga o para conectar o desconectar un calentador o un dispositivo luminoso a una resistencia de carga.

**74 Relevador de Alarma.**

Este dispositivo se usa para operar en conexión con una alarma visual o auditiva.

**75 Mecanismo de Cambio de Posición.**

Utilizado para desplazar un interruptor enchufable de una posición a otra.

**76 Relevador de Sobrecorriente C.D.**

Relevador que funciona cuando la corriente de un circuito de corriente directa excede un valor determinado.

**77 Transmisor de Pulsaciones.**

Dispositivo utilizado para generar pulsaciones y transmitir las por un circuito de hilo piloto, al dispositivo receptor o instrumento indicador instalado a distancia.

**78 Relevador Protector contra Variación del Ángulo de Fase.**

Funciona cuando el ángulo de fase entre dos tensiones, dos corrientes o entre una tensión y una corriente alcanza un valor determinado.

**79 Relevador de Recierre C.A.**

Controla automáticamente el recierre y el bloqueo en posición abierta de un interruptor de corriente alterna.

**81 Relevador de Frecuencia.**

Funciona a un valor determinado de la frecuencia, que puede ser mayor, menor o igual a la frecuencia nominal que varía a una velocidad determinada.

**82 Relevador de Recierre C.D.**

Controla el cierre o recierre automático del interruptor de un circuito de corriente directa, normalmente con respuesta a las condiciones de carga del circuito.

**83 Relevador Automático de Control Selectivo o de Transferencia.**

Funciona para elegir automáticamente entre ciertas fuentes de energía o condiciones de servicio de un equipo, o efectúa automáticamente el cambio de una operación a otra.

**84 Mecanismo Operador.**

Mecanismo eléctrico o servomecanismo incluyendo el motor de accionamiento, los solenoides, los interruptores de posición, etc., que se accionan por un cambio de variaciones.

**85 Relevador Receptor de un Sistema de Ondas Cortadoras o de Hilo.**

Es accionado o restringido por una señal del tipo utilizado en sistemas protectores por ondas portadores o del tipo de protección direccional por hilo piloto de corriente directa.

**86 Relevador de Bloqueo Sostenido.**

Se acciona eléctricamente y es de reposición eléctrica o manual, es un dispositivo que funciona para desconectar y mantener desconectado un equipo cualquiera después de producirse condiciones anormales.

**87 Relevador Diferencial.**

Funciona bajo una diferencia porcentual o ángulo de fase, o de otra diferencia cuantitativa de dos corrientes o de otras magnitudes eléctricas.

**88 Motor o Grupo Generador Auxiliar.**

Utilizado para accionar equipos auxiliares tales como bombas, ventiladores, excitadores, amplificadores magnéticos giratorios, etc.

**89 Cuchilla de Línea.**

Desconectador utilizado como seleccionador o separador de circuitos de potencia de corriente directa o alterna, siempre que sea accionado eléctricamente o tenga accesorios eléctricos tales como desconectador auxiliar, bloque magnético, etc.

**90 Aparato Regular.**

Dispositivo que funciona para regular una o varias magnitudes tales como tensión, corriente, potencia, velocidad, frecuencia, temperatura o carga y mantenerlos a un valor determinado o entre ciertos límites ya sean máquinas, líneas de enlace u otros aparatos.

**91 Relevador Direccional de Tensión.**

Funciona cuando la tensión a través de un interruptor o contactor abierto excede a un valor dado en una dirección determinada.

**92 Relevador Direccional de Potencia y Tensión.**

Permite o provoca la conexión de dos circuitos cuando la diferencia de tensión entre los excede de un valor dado en una dirección determinada y provoca la desconexión de dichos circuitos cuando la potencia que pase de uno a otro en la dirección opuesta excede de un valor determinado:

**93 Contactor Cambiador del Campo.**

Funciona para aumentar o disminuir en cierto valor fijo la excitación del campo de una máquina.

**94 Relevador de Disparo Libre.**

Funciona para disparar un interruptor, contactor y otro aparato para permitir que dichos elementos sean disparados en forma inmediata por otros dispositivos, o para impedir el recierre inmediato del interruptor en el caso que este se abra automáticamente, no obstante que su circuito de cierre se mantenga en posición de operado.

El significado de cada literal o combinación de literales utilizadas junto con los números de función de dispositivos, debe ser claramente especificado en los diagramas o publicaciones de aplicación al equipo.

Las siguientes literales, generalmente, forman parte de la indicación de función de algunos dispositivos y se anotan delante del número de función. Por ejemplo las claves 23X ó 52BT, pertenecen a dispositivos auxiliares.

Los contactos auxiliares se indican con literales en la siguiente forma:

- a) Switch auxiliar abierto, cuando el dispositivo principal está en posición de no operado o desenergizado.
- b) Conmutador auxiliar cerrado, cuando el dispositivo principal está en posición de no operado o desenergizado.
- aa) Conmutador auxiliar abierto, cuando el mecanismo de operación del dispositivo principal está en posición de no operado o desenergizado.
- bb) Conmutador auxiliar cerrado, cuando el mecanismo de operación del dispositivo principal está en posición de no operado o desenergizado.

**3.5 PROTECCIÓN PRIMARIA.**

Proporciona la primera línea de protección al sistema eléctrico, esta protección deberá de desconectar únicamente el elemento dañado.

La protección primaria debe desconectar únicamente el elemento dañado. Al ocurrir una falla dentro de la zona de protección primaria, se debe abrir únicamente los interruptores dentro de la zona.

Es evidente que para las fallas dentro de la región donde las zonas adyacentes se traslapan serán abiertos mas interruptores que el mínimo necesario para desconectar el elemento dañado.

En caso de que una falla no sea liberada por la protección primaria, actuara la protección llamada de “respaldo”, el cual generalmente desconecta una considerable porción del sistema.

Esto hace evidente que para fallas dentro de una región donde las zonas se traslapan se ocasionará la apertura de mas interruptores que el mínimo necesario para aislar el elemento dañado.

### **3.6 PROTECCIÓN DE RESPALDO.**

En caso de que una falla no sea librada por la protección primaria, actuará la protección de respaldo, la cual generalmente desconecta una mayor parte del sistema.

Esto debido, a que existen muchas zonas que se superponen y originan que se dispare más de un interruptor para desconectar el elemento defectuoso.

La protección primaria puede fallar debido a cualquiera de los siguientes puntos:

1. Falla en la alimentación de corriente o voltaje a los relevadores debido a, una falla en los transformadores de corriente o potencial y a los circuitos asociados a ellos.
2. Falla en el disparo de la alimentación de CD
3. Falla en el propio relevador.
4. Falla en el circuito de disparo del propio interruptor o en el mecanismo de apertura.

Debido a lo anterior, los esquemas de protección, interruptores, bancos de baterías, etc., se debe de proveer una protección de respaldo a todo el equipo de la estación o entre las estaciones. Lo más importante es que aquello que pueda ocasionar una falla en la protección primaria no lo ocasione en el respaldo.

La protección de respaldo puede ser de dos tipos:

1. Respaldo local.
2. Respaldo remoto.

En el respaldo local la falla se aísla en la misma estación o estaciones más cercanas en la cual se presentó el percance o en el equipo asociado a la protección, en la figura 3.7 se muestra este tipo de protección.

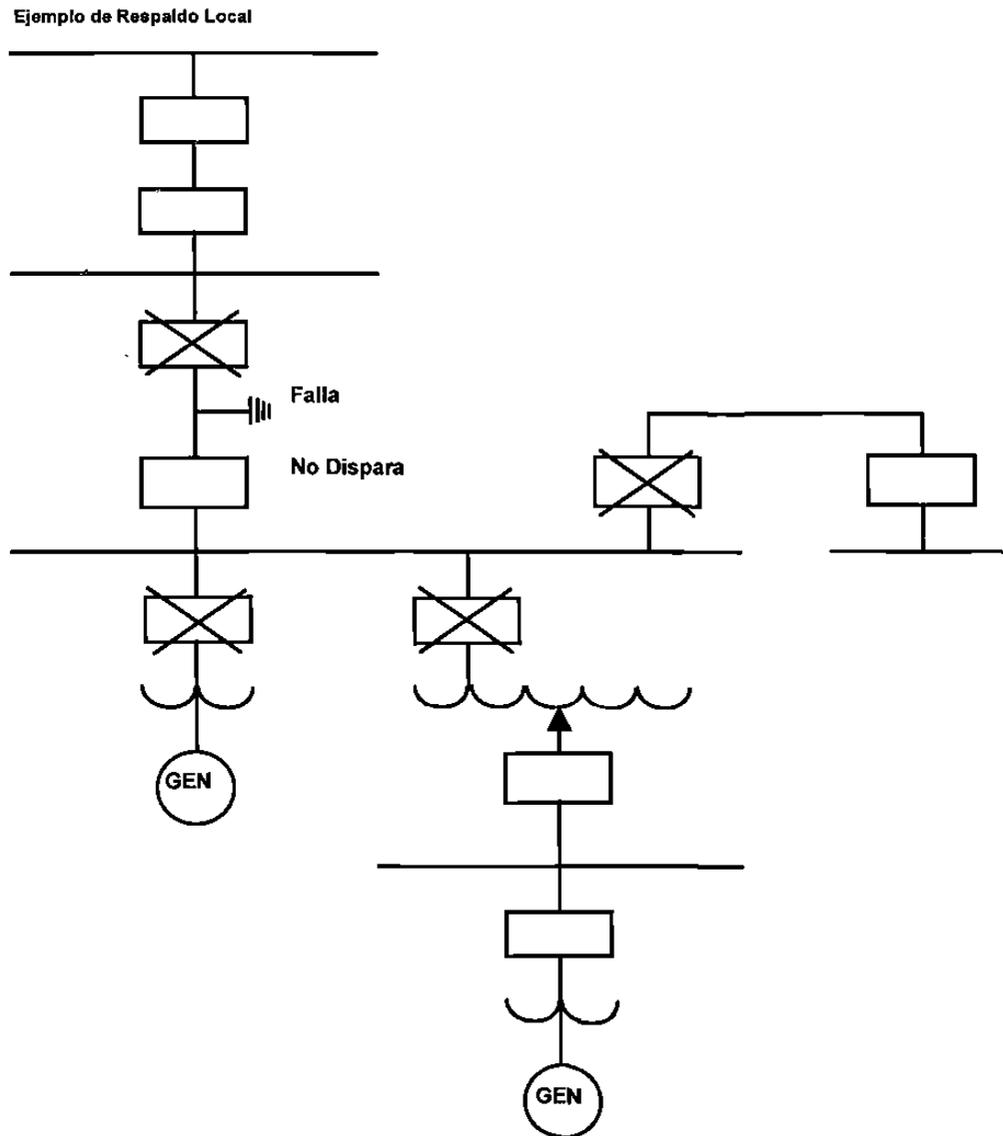


Figura 3.7 Diagrama unifilar de respaldo local

Mientras que en el respaldo remoto su característica es que presenta una gran cantidad de equipo desconectado y el tiempo de falla es muy grande, las características básicas de este disparo remoto, se muestran en la figura 3.8.

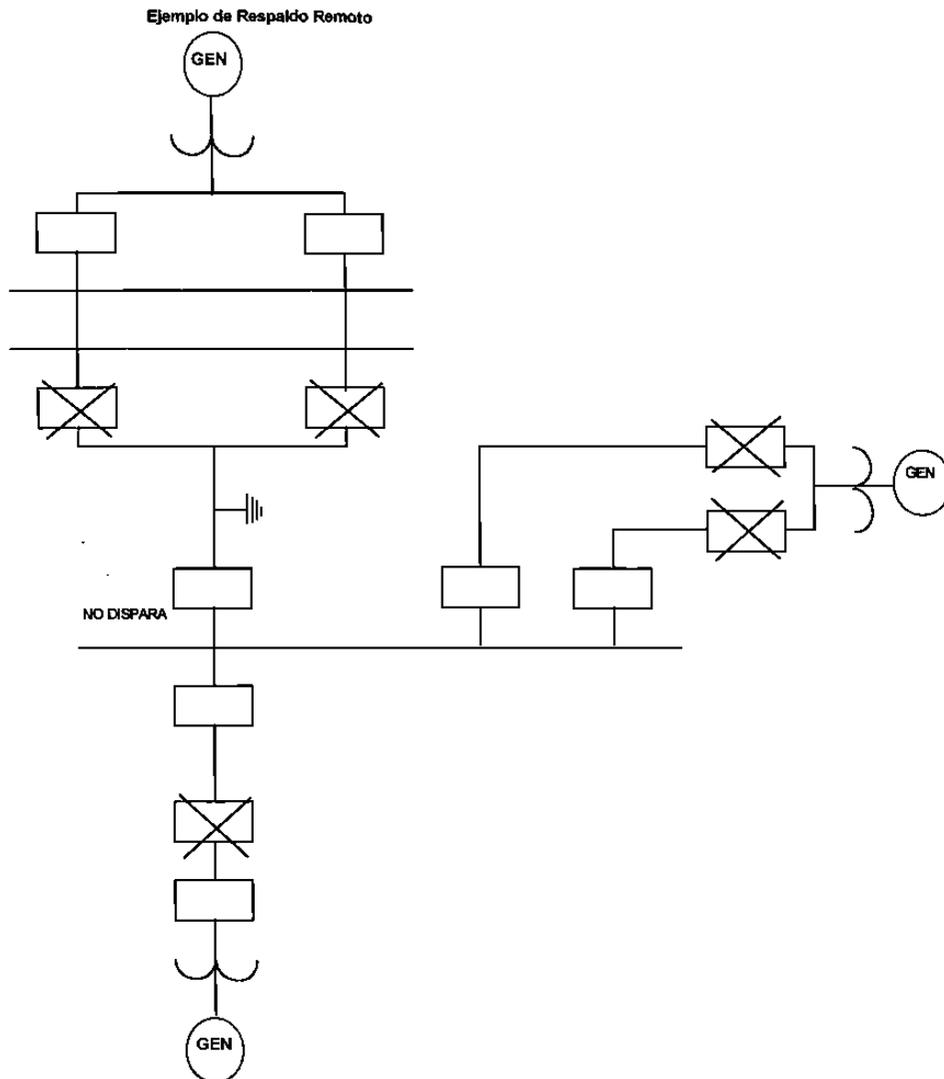


Figura 3.8 Diagrama unifilar de respaldo remoto

Esta protección proporciona las siguientes ventajas:

1. La velocidad de desconexión puede ser rápida.
2. La cantidad de equipo desconectado es menor.

Así también, presenta la siguiente desventaja:

1. Se requiere de equipo adicional, lo que obliga a realizar una inversión mayor.

Al ocurrir un cortocircuito, ambas protecciones, sacarán de operación la zona en la cual haya ocurrido una falla.

### 3.7 ZONAS DE DETECCION Y ZONAS DE LIBRAMIENTO.

En el esquema de la Central Térmica que se muestra en la figura 3.9 en la sección del Autotransformador de 20 KV a 115 KV se presentó una falla en el punto X.

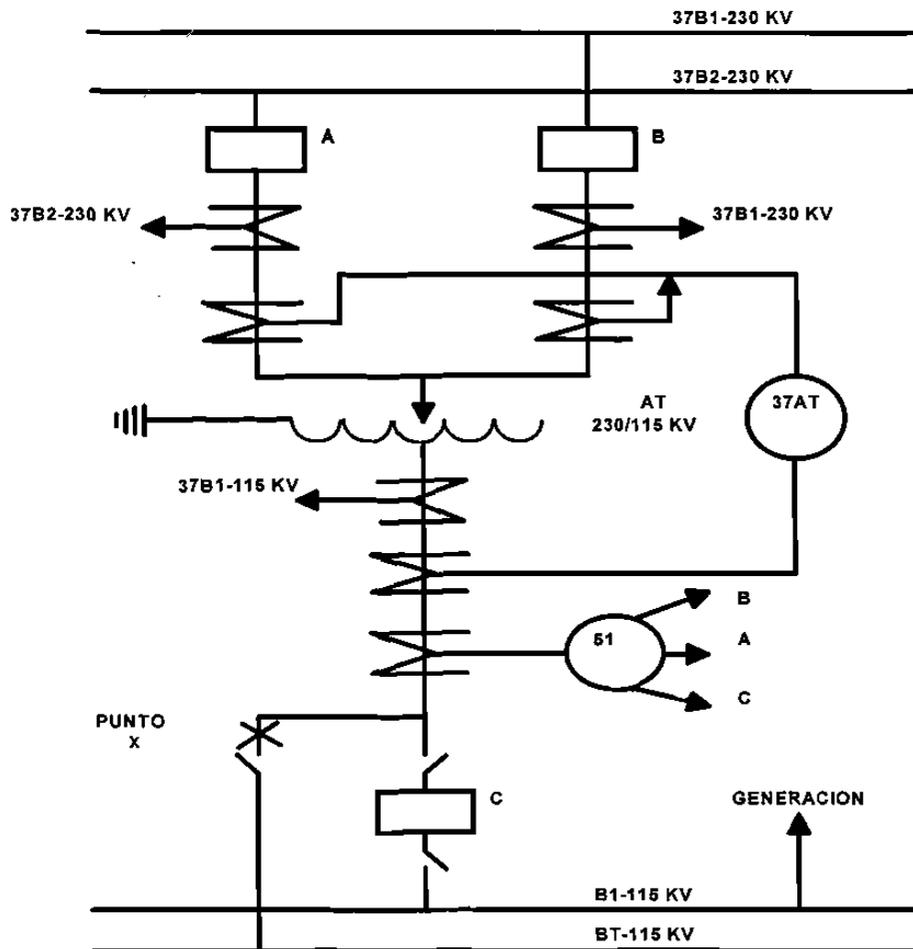


Figura 3.9 Diagrama unifilar zonas de detección

Una falla en el punto X no es detectada como falla por el 87AT, pero por el 87B de 115 KV, o sea abre el interruptor C el cual no libera la zona fallada, y es necesario que opere el 51 que es la protección de respaldo, con un tiempo de operación de 1 segundo o más. Por lo tanto el 51 abre los interruptores B, A y C.

En una subestación de distribución tipo Metal Clad de 115 KV a 13.8 KV. Sucede una falla en el punto R como se ilustra en la figura 3.10.

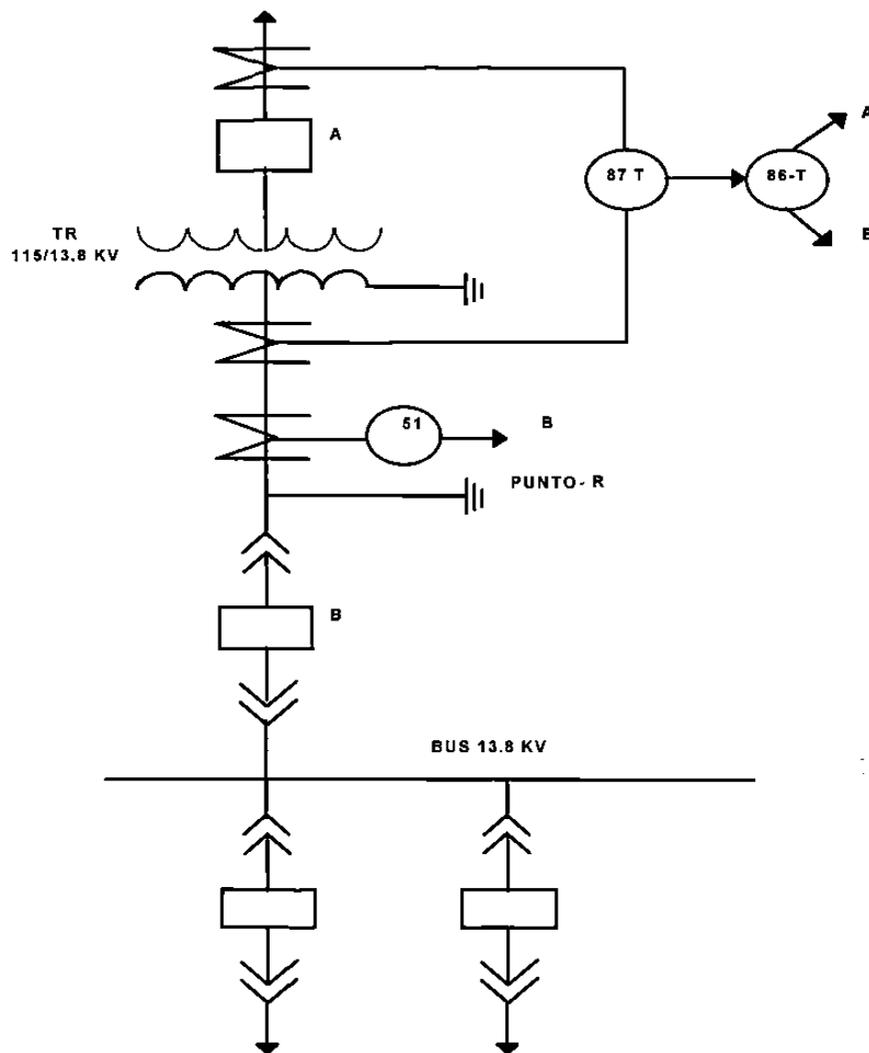


Figura 3.10 Diagrama Unifilar de Punto de falla tipo R.

La falla es detectada por el 51, el que opera sobre el interruptor B, pero la falla no se libera.

### 3.8 PROTECCION DE RESPALDO FALLA DE INTERRUPTOR.

El objetivo primario de un esquema de protección de respaldo es abrir todas las fuentes que impiden eliminar la zona fallada en un sistema y debe ser por lo tanto:

1. Poder reconocer cualquier falla que pueda ocurrir dentro de la zona de protección prescrita.

1020129197

2. Detectar la falla de cualquier elemento de la cadena de protección incluyendo el interruptor.
3. Iniciar el disparo del mínimo numero de interruptores necesarios para eliminar la falla.
4. Operar lo bastante rápido para mantener la estabilidad del sistema, prevenir excesivo daño en el equipo y mantener un grado ya previsto de continuidad en el servicio.

El disparo por falla de interruptor depende de la configuración del sistema y puede ser:

- ◆ Respaldo Local.
- ◆ Respaldo Remoto y Local.

En ambos casos el disparo es iniciado por los relevadores normales de protección y la supervisión de existencia de corriente a través del interruptor.

### 3.8.1 RESPALDO LOCAL.

Si ocurre una falla entre los buses B y C de la figura 3.11 deben abrir los interruptores 2 y 6.

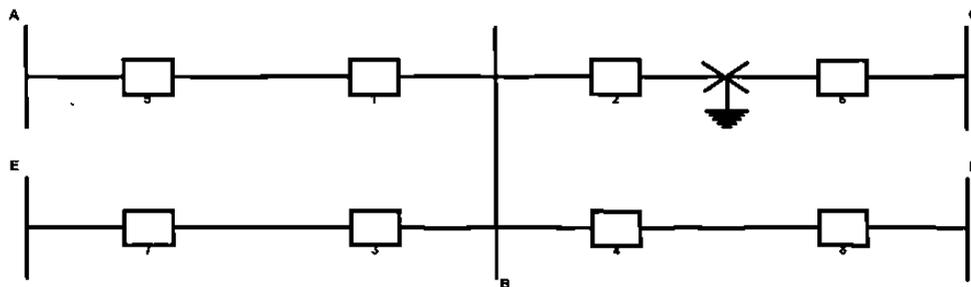


Figura 3.11 Falla de respaldo local

En caso de falla de disparo del interruptor 2 deberán abrir el 1,3 y 4 locales, con objeto de dejar fuera la falla de la línea.

### 3.8.2 RESPALDO REMOTO.

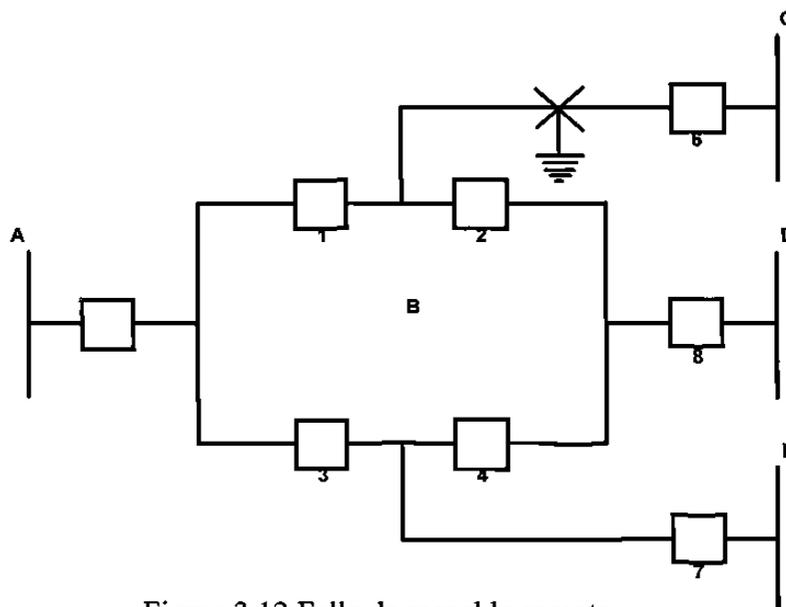


Figura 3.12 Falla de respaldo remoto

En caso de falla de alguno de los interruptores de la estación B, ya sea el 1 o el 2 requiere que exista un disparo local y otro remoto para dejar fuera la falla, ejemplo mostrado en la figura 3.12.

El disparo remoto es iniciado por las propias protecciones y por el disparo transferido iniciado por la protección local del interruptor fallado.

### 3.9 CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN.

Tiempo fijo (requiere retraso en el disparo) se puede considerar unos tiempos de operación, para el 50BF mínimos de:

Tiempo	Interruptor de Tiempo de Disparo de 5-8 Hz.	Interruptor de tiempo de disparo de 1-3 Hz.
Protección Primaria	2 Hz.	1 Hz.
Relevadores Auxiliares	2 Hz.	2 Hz.
Interruptores	7-14 Hz.	3-4 Hz.
Reposición de 50	1-2 Hz.	1-2 Hz.
Margen de Coordinación	3 Hz.	3 Hz.
Tiempo mínimo de operación del 50BF	15-23 Hz	11-13 Hz.

Tomando en cuenta:

- ❖ Tiempo crítico de switcheo para evitar pérdida de estabilidad por fallas sostenidas.
- ❖ Tiempo requerido para coordinar con las terminales adyacentes.

El ASA define alta velocidad como un termino calificador aplicado a un relevador que indica que el tiempo de su operación generalmente no exceda de 1/20 de segundo (aproximadamente 3 ciclos sobre la base de 60), y baja velocidad, donde el tiempo de operación generalmente se excede de 1/20 de segundo. Por aceptación general, los relevadores que operan en este rango de 3 a 5 ciclos de frecuencia, se les considera relevadores de alta velocidad.

La protección por medio de relevadores de alta velocidad ofrece ventajas de mayor continuidad de servicio ya que ocasiona menos daño por fallas y menos riesgo del personal.

Por otro lado, tiene generalmente un costo inicial muy elevado, requiere mas mantenimiento, y tienen una mas alta probabilidad de operar en ocasiones incorrectas en transitorios. Consecuentemente, ambos tipos de relés de alta y baja velocidad se aplican para proteger el sistema de potencia y ambos tienen amplios antecedentes de operación con relés protectores, muestran consistentemente el 99.5 % y más funcionamiento de relés.

## 4

# **FUNCIONAMIENTO DE LOS RELEVADORES DE PROTECCIÓN**

### **4.1 INTRODUCCIÓN.**

Las líneas eléctricas de transmisión sirven para la transferencia de energía en grandes cantidades de un lugar a otro ya sea cercano o distante, enlazando a los productores de dicha energía con los consumidores, por lo que cualquier interrupción en la línea de transmisión ocasionará grandes disturbios en la comunidad.

Al ocurrir una falla en cualquier punto del circuito de una red eléctrica, a este punto fluirá una gran cantidad de corriente, originando una elevación o caída de tensión. Para detectar las perturbaciones ocurridas en el sistema, se colocan transformadores de corriente en el interior del equipo que se quiere proteger y transformadores de potencial en algún lugar apropiado de la subestación.

Los transformadores de corriente son los que proporcionan una señal precisa de corriente secundaria. Lo mismo sucede con los transformadores de potencial, los cuales proporcionan una señal secundaria de tensión. Estas dos señales son importantes para el funcionamiento de los diferentes tipos de relevadores.

Todos los relevadores utilizados para protección, funcionan en virtud de la corriente y/o el voltaje proporcionados por los transformadores de corriente y tensión conectados en diversas combinaciones al elemento del sistema que se va a proteger.

Por cambios en estas dos magnitudes, las fallas de cortocircuito señalan su presencia, tipo y localización al relevador de protección.

## **4.2 CLASIFICACIÓN DE LOS RELEVADORES.**

Tomando en cuenta sus características constructivas los relevadores se pueden clasificar en los siguientes tipos:

1. Relevador electromagnético.

Se basan en la fuerza de atracción ejercida entre piezas de material magnético. Son accionados por una señal de corriente.

2. Relevador de inducción.

Su principio de funcionamiento es el mismo que el de los motores de inducción, los cuales utilizan el sistema de estructura electromagnética. Son accionados por una señal de corriente.

3. Relevador electrónico.

Funcionan por medio de diodos, tiristores, transistores, etc., su principal característica es que son de mayor velocidad de operación. Su funcionamiento es equivalente al de los relevadores electromagnéticos.

4. Relevadores térmicos.

Operan dejando fuera de servicio al equipo o máquina que protegen, y el cual ha sido sometido a sobrecargas o a una falla. Estos efectos producen calentamiento excesivo elevando la temperatura de los devanados. Estos relevadores son muy utilizados en transformadores de mediana y de gran potencia. Estos relevadores toman en cuenta la imagen térmica del equipo que protege, es decir, de un dispositivo cuya ley de calentamiento sea análoga a la ley del objeto protegido. Uno de los contactos sirve para el control de abanicos, otro para enviar una señal de alarma y el último para enviar una señal de disparo dejando fuera el equipo que protege.

## **4.3 PRINCIPIOS DE OPERACIÓN DE LOS RELEVADORES.**

Aún cuando ya existen relevadores estáticos y digitales, los más comúnmente utilizados, emplean dos principios de funcionamiento muy diferentes en cuanto a sus principios de operación, estos son:

1. Por atracción electromagnética.
2. Por inducción electromagnética.

Los relevadores por atracción electromagnética, operan por el movimiento de un émbolo dentro de un solenoide, o una armadura que es atraída por los polos de un electroimán, estos relevadores pueden ser accionados por magnitudes de corriente directa o de corriente alterna, la fuerza electromagnética ejercida en el elemento móvil es proporcional al cuadrado del flujo en el entrehierro. La fuerza de restricción es la fuerza del resorte, peso, fricción, etc., que detiene al contacto del relevador, de donde la operación depende de una cantidad de corriente o de voltaje.

En la figura 4.1 se muestran algunos tipos de relevadores del tipo de atracción electromagnética.

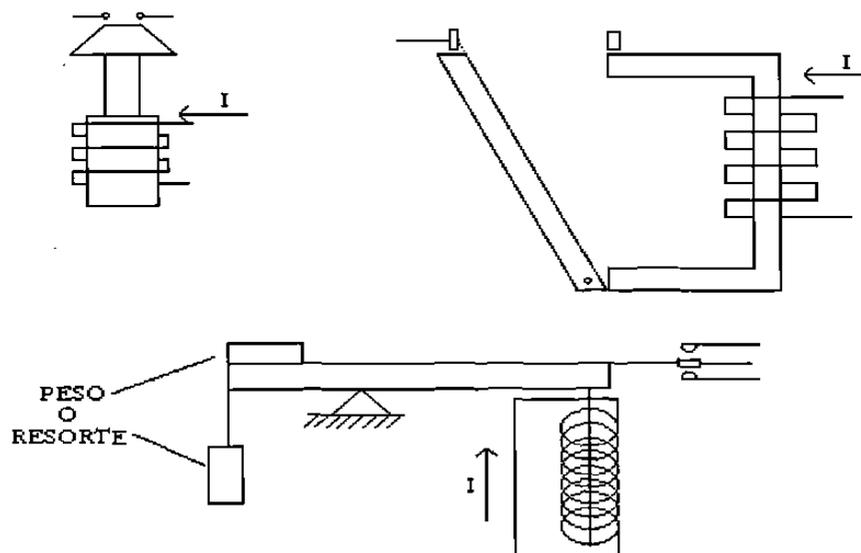


Figura 4.1 Estructuras de relevador de atracción electromagnética.

El segundo está en el principio del motor de inducción o de los discos de un Watthorímetro que se basa en último término en la acción de dos flujos magnéticos desfasados como se explica a continuación.

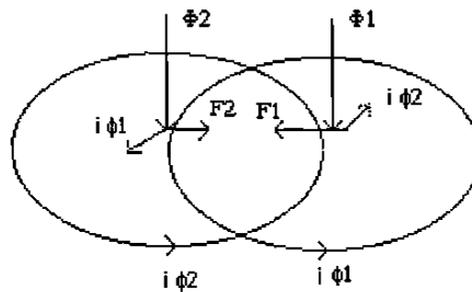


Figura 4.2 Una placa de material de aluminio con fuerzas de atracción

La figura 4.2 muestra una placa de material conductor por ejemplo de aluminio sobre la cual inciden dos campos magnéticos variables los cuales inducen a la placa fuerzas electromotrices alrededor de ellas que traducen en corrientes y que producen un flujo que reacciona con los primitivos, las corrientes producidas por un de los flujos al reaccionar con el otro producen fuerzas que tienen el sentido marcado en la figura y que en último término actual sobre el rotor en la figura siguiente y de acuerdo con las ecuaciones que se desarrollan a continuación:

El flujo  $\varphi_1 = \varphi_1 \text{Sen}(wt)$  donde  $\varphi_1$  es el flujo máximo.

Así mismo  $\varphi_2 = \varphi_2 \text{Sen}(wt + \theta)$

Siendo  $\theta$  el ángulo de fase entre los dos flujos  $\varphi_1 = \varphi_2$ . Para evitarnos el considerar por lo pronto la autoinducción de las corrientes creadas en la placa y también el ángulo de fases de estas con respecto a sus fuerzas electromotrices que por lo demás son despreciables, se puede establecer que las corrientes son proporcionales a las derivadas del flujo con respecto al tiempo, según las siguientes expresiones:

$$I\varphi_1 \alpha \left( \frac{d\varphi_1}{dt} \right) \alpha \varphi_1 \text{Cos}(wt).$$

$$I\varphi_2 \alpha \left( \frac{d\varphi_2}{dt} \right) \alpha \varphi_2 \text{Cos}(wt + \theta)$$

Como se ve en la figura las fuerzas  $F_1$  y  $F_2$  se encuentran en oposición y la resultante será la diferencia de ellas.

$$F = (F_2 - F_1)\alpha(\varphi_2 i \varphi_1 - \varphi_1 i \varphi_2)$$

Sustituyendo los valores de  $i \varphi_1$  e  $i \varphi_2$  de las ecuaciones anteriores tenemos:

$$F = (\varphi_2 \varphi_1 \text{Cos}(wt) - \varphi_1 \varphi_2 \text{Cos}(wt + \theta))$$

Pero a su vez sustituyendo los valores a su vez de  $\varphi_1$  y  $\varphi_2$  tenemos:

$$F \alpha \varphi_2 \text{Sen}(wt + \theta) \varphi_1 \text{Cos}(wt) - \varphi_1 \text{Sen}(wt) \varphi_2 \text{Cos}(wt + \theta)$$

Sacando  $\varphi_1$  y  $\varphi_2$  como factor común tenemos:

$$F \alpha \varphi_2 \varphi_1 [\text{Sen}(wt + \theta) \text{Cos}(wt) - \text{Sen}(wt) \text{Cos}(wt + \theta)]$$

La expresión dentro del paréntesis equivale a:

$$\text{Sen}(wt + \theta - w) = \text{Sen}\theta$$

La cual la reduce a:

$$F \alpha \varphi_1 \varphi_2 \text{Sen}\theta$$

La cual 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.

Los relevadores del tipo de inducción aprovechan este principio produciendo dos flujos sobre un disco que se mueve actuando por la fuerza que resulta que es máxima cuando los flujos tienen un ángulo de fase entre sí de  $90^\circ$ .

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

- ✓ Las que actúan debido a una sola fuente de señales.
- ✓ Los que los hacen debido a dos o más fuentes.

Los relevadores que operan por inducción electromagnética toman como base el principio del motor de inducción por medio del cual el par se desarrolla por inducción en un rotor, este principio sólo se aplica a los relevadores que funcionan por medio de la corriente alterna.

#### a) Relevador de disco.

En el relevador de disco, se logran dos flujos desfasados por medio de bobinas de sombra y es accionado por una sola corriente. Ambos flujos son proporcionales a la misma corriente y el desfaseamiento entre ellos esta

definido por la construcción de la bobina de sombra. En la figura 4.3 se muestra la estructura de un relevador de disco.

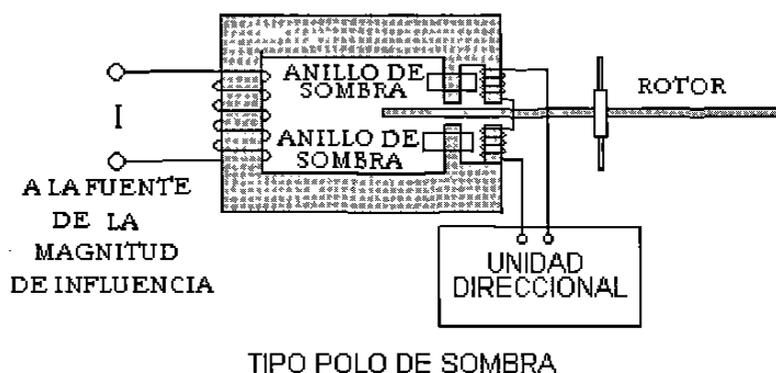


Figura 4.3 Esquema de disco de inducción con bobina magnética

Es un disco de inducción sobre el cual se cierra un circuito magnético con una bobina.

El núcleo está dividido en dos regiones:

- Una por la que pasa el flujo resultante de la corriente de la bobina.
- Otra donde se han devanado y puesto en cortocircuito un embobinado o una sola espira que desfasa una parte del flujo que atraviesa él entre hierro.

De esta manera una sola fuente de señales hace actuar al disco en determinadas condiciones.

Otro ejemplo es el de un relevador de sobrecorriente con características de tiempo inverso como el siguiente:

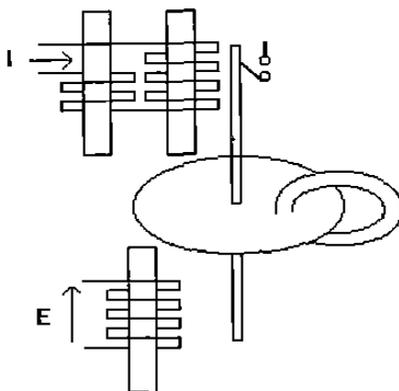


Figura 4.4 Esquema de un relevador de sobrecorriente

Lleva una bobina el núcleo interior que es la única fuente de señales y esta corriente crea otra por medio de un acoplamiento magnético sobre las bobinas del núcleo superior que produce una fuerza actuante en el disco debido al desasimetro final de los flujos, figura 4.4.

La segunda clase de los relevadores es la que pone en juego dos bobinas sobre un núcleo o sobre dos núcleos separados como por ejemplo el ya conocido como núcleo de un Watthorímetro, figura 4.5.

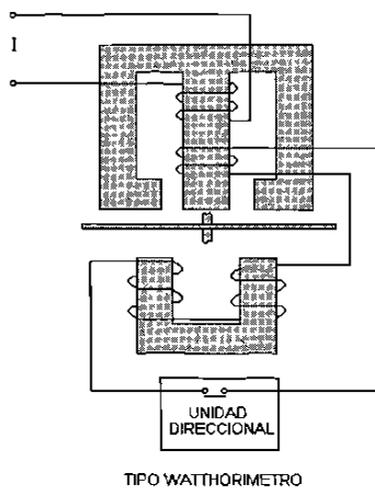


Figura 4.5 Esquema de un relevador con dos bobinas

Sobre una bobina se puede mandar las señales de corriente producidas por un TC y sobre la segunda las señales de corrientes tomadas por un TP

De esta manera también con dos corrientes de fuentes distintas se hacen operar el relevador.

#### b) Relevador de copa.

Es la más parecido a un motor de inducción, excepto que el rotor de hierro es estacionario y solamente una porción de él está libre de girar, y sobre ella está acoplado el contacto móvil.

Este tipo de relevador es de alta velocidad y por el hecho de requerir dos señales son direccionales. Responden al ángulo de fase entre dos entradas.

1. Entrada de operación (normalmente corriente).
2. Entrada de polarización (direccionabilidad) puede ser corriente o voltaje.

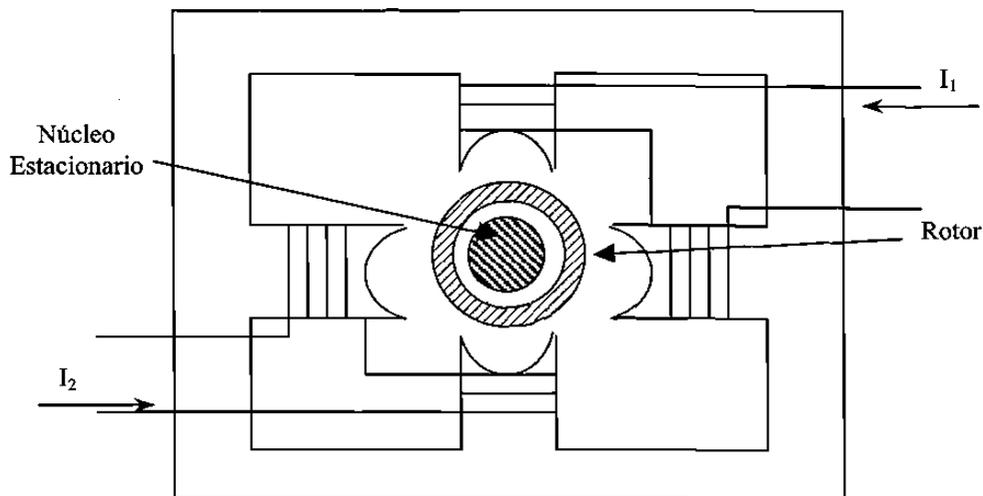


Figura 4.6 Relevador de copa

#### 4.4 CARACTERÍSTICAS.

La función de la protección por relevadores es originar el retiro rápido del sistema de cualquier elemento cuando este sufre un corto circuito, o cuando empieza a funcionar en cualquier forma anormal que pueda originar daño o interfiera de alguna manera con el funcionamiento eficaz del resto del sistema.

El equipo de protección es ayudado en esta tarea, por interruptores, que son capaces de desconectar el elemento defectuoso cuando el equipo de protección se los ordene. Los interruptores están localizados de tal manera que cada generador, transformador, barra colectora, línea de transmisión, etc., pueda desconectarse por completo del resto del sistema. Estos interruptores deben tener la capacidad suficiente para que puedan conducir momentáneamente la corriente máxima de corto circuito que pueda fluir a través de ellos, e interrumpir entonces esa corriente; deben soportar

también el cierre de un corto circuito semejante e interrumpirlo de acuerdo con ciertas normas.

Una función secundaria de la protección por relevadores es indicar el sitio y el tipo de la falla. Dichos datos no solo ayudan a la reparación oportuna sino que también, proporcionan medios para el análisis de la eficacia y de la prevención de la falla y el grado de disminución que influye la protección por relevadores.

Algunos términos que comúnmente se utilizan para describir las características funcionales de cualquier equipo de protección por relevadores son los siguientes: sensibilidad, selectividad, velocidad y confiabilidad. Los términos anteriores pueden ser descritos a continuación:

**a) Sensibilidad.**

Debe de tener la capacidad de operar en forma segura con un mínimo de condiciones de falla, aislando las fallas que ocurran dentro de su zona de operación sin provocar problemas en el resto del sistema. Debe de distinguir entre falla y sobrecarga ignorar cierto comportamiento del sistema como son los transitorios o las corrientes magnetizantes de los transformadores.

**b) Selectividad.**

Esta es una propiedad necesaria para aislar en caso de disturbio solo la componente fallada, dejando en servicio el resto del sistema. Esto es que opere de acuerdo a tiempos previstos en estudios de la coordinación si se trata de protecciones con retardo de tiempo intencional, o también que opere de acuerdo a su diseño o conexión si se trata de protecciones de operación instantánea.

**c) Velocidad.**

Se requieren que los esquemas respondan con la prontitud prevista en el diseño o estudio de coordinación. Logrando con esto, reducir los efectos del daño en los equipos, con el consiguiente ahorro en su reparación y plazo para su puesta en operación. Además, con una adecuada velocidad se reduce durante la falla, efectos negativos (sobrecorriente, bajo voltaje etc.), en los componentes vecinos a la falla.

#### **d) Confiabilidad.**

Los esquemas incluyendo todo su equipo asociado deberán de ser de muy baja probabilidad de falla, y esto se logra en la medida que se observen los siguientes factores: utilizar equipos de diseño ya probados en diversas condiciones, hacer un seguimiento del comportamiento del esquema, que los ajustes instalados sean de acuerdo a estudios de coordinación y aplicar un programa de mantenimiento preventivo y correctivo al total del esquema.

Cualquier equipo de protección por relevadores debe ser lo suficientemente sensible para que funcione en forma segura cuando sea necesario, con la condición real de que produzca una tendencia de funcionamiento mínimo. Deberá ser capaz de seleccionar entre aquellas condiciones en las que se requiera un funcionamiento rápido y aquellas en las que no debe funcionar o se requiere funcionamiento de acción retardada.

Debe funcionar a la velocidad requerida ya que el objeto principal de la protección por relevadores es 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, y la velocidad es la que permite la duración mínima de la falla.

### **4.5 REPOSICIÓN (Reset).**

Otra característica de los relevadores que se deriva de los contactos es la llamada "Reposición" que no es otra más que el restablecimiento de las condiciones normales del relevador después de que este actuando. Esta reposición puede hacerse en dos formas, la denominada "Reposición Eléctrica" y la "Reposición Manual". La reposición Eléctrica puede considerarse automática puesto que al dejar de existir las condiciones de operación los contactos del relevador vuelven a quedar en la posición que tenían antes de la operación.

La reposición Manual es tal, que es necesaria la intervención del hombre, ya sea pisando un botón o moviendo alguna palanca después de haber dejado de existir las

condiciones de operación ya que el relevador por sí solo no restablece las condiciones normales de sus contactos.

Es necesario que el operador de un sistema sé de cuenta cuando un relevador ha operado, y para esto la mayoría de los relevadores están equipados con banderas de señal que aparecen cuando el relevador ha actuado. Estas banderas son actuadas por bobinas o contactos auxiliares y cuando esto no es posible se aprovecha alguno de los contactos del relevador para cerrar un circuito independiente de un cuadro de señales aparte.

#### **4.6 FUNCIONAMIENTO.**

El movimiento del mecanismo de accionamiento del relevador ocasiona el cierre o apertura de los contactos de disparo. Cuando se dice que un relevador funciona, entendemos que cierra o abre sus contactos, la mayoría de los relevadores tiene una restricción ya sea "por resorte" o "por gravedad", y esta restricción, determina la condición de los contactos del relevador al encontrarse sin alimentación

#### **4.7 INDICADORES DE FUNCIONAMIENTO.**

En general, un relevador de protección, está provisto con un indicador conocido como bandera, que indica el funcionamiento y mando del disparo del relevador al interruptor correspondiente, dichos indicadores se accionan mecánicamente, y salen a la vista cuando funciona el relevador y su reposición se efectúa manualmente.

#### **4.8 BOBINAS DE SELLO.**

Para proteger los contactos del relevador contra el deterioro, y asegurar la señal de disparo, los relevadores de protección cuentan con una pequeña bobina, la cual se conoce con el nombre de bobina de sello o bobina de retención. Dicha bobina se energiza y sella a través de su propio contacto al momento que cierra el contacto de la unidad de inducción. Con lo anterior se impide la interrupción del flujo de corriente en la bobina de disparo del interruptor, hasta que éste abra.

## 4.9 ACCIÓN RETARDADA Y SUS DEFINICIONES.

Algunos relevadores tienen acción retardada ajustable, y otros son instantáneos o de alta velocidad. El término instantáneo significa que no tiene acción retardada intencional.

En el caso de un relevador de sobrecorriente instantáneo (51), es sensibilizado por corriente por corriente secundaria de un transformador de corriente y opera cuando la magnitud de esta corriente es igual o superior al valor ajustado y su tiempo de respuesta es aproximadamente de 0.05 segundos o menor.

En los relevadores electromecánicos con características de instantáneo (50) y acción retardada (51), las bobinas de corriente de ambas unidades están conectadas en serie.

El tipo de relevador instantáneo más comúnmente usado funciona mediante atracción electromagnética ejercida por un electroimán sobre un elemento móvil "retenido" por un resorte o por gravedad.

La terminología para expresar la forma de la curva de funcionamiento tiempo contra corriente del relevador (51) originalmente fue tiempo definido y tiempo inverso.

Una curva de tiempo inverso es aquella en la cual el tiempo de funcionamiento viene a ser menor a medida que el valor de la magnitud de influencia se incrementa, cuando más pronunciado es el efecto, más inversa se dice que es la curva. En realidad todas las curvas de tiempo son inversas en mayor o en menor grado, éstas son más inversas a medida que se aumenta la magnitud de influencia. Una curva de tiempo definido sería estrictamente aquella en la cual el tiempo de operación no fuese afectado por el valor de la magnitud de influencia, pero en realidad la terminología se aplica a una curva que viene a ser sustancialmente definida un poco arriba del valor de puesta en trabajo del relevador.

El relevador de sobrecorriente (51) mas utilizado funciona bajo el principio de inducción electromagnética.

Apoyándose en este principio, el relevador de sobrecorriente (51), utiliza un núcleo dividido en dos regiones, una por la que pasa el flujo resultante de la bobina de corriente y otra donde se ha puesto en corto circuito un embobinado o una sola espira

que desfasa una parte del flujo, el cual atraviesa el entrehierro y el disco de inducción, por lo que la fuerza actuante en este, es debida a la interacción de los flujos electromagnéticos con las corrientes parásitas (de Foucault), inducidas por estos flujos.