



ESTA INFORMACION ES SOLO CON FINES EDUCATIVOS



PROTECCIÓN DE SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA

A P U N T E S DE CLASES LMV N3 Y MARTES N4



ESTA INFORMACION ES SOLO CON FINES EDUCATIVOS



PROTECCIÓN DE SISTEMAS ELÉCTRICOS

- 1.- GENERALIDADES SOBRE SISTEMAS DE POTENCIA**
- 2.- PROTECCIÓN DE SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA**
- 3.- TRANSFORMADORES DE CORRIENTE Y DE POTENCIAL**
- 4.- CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE RELEVADORES UTILIZADOS EN PROTECCIÓN DE SISTEMAS DE POTENCIA**
- 5.- PRINCIPIO DE OPERACIÓN DE LOS RELEVADORES DE PROTECCIÓN**
- 6.- PRINCIPIO DE OPERACIÓN DE LA PROTECCIÓN DIFERENCIAL**
- 7.- PROTECCIÓN DE TRANSFORMADORES DE POTENCIA**
- 8.- PROTECCIÓN DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN.**
- 9.- PROTECCIÓN DE BARRAS COLECTORAS**
- 10.- PROTECCIÓN DE GENERADORES.**

I GENERALIDADES SOBRE SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA

En un diagrama básico se representan cada uno de los elementos que integran un sistema de potencia con el fin de definir la función de cada uno de ellos, sin embargo debe tenerse en cuenta que el sistema tiene conectados generadores en diferentes puntos del sistema con sus respectivos transformadores elevadores, también tiene muchas subestaciones reductoras que van instaladas cerca de los diferentes centros de consumo y además una serie de líneas de transmisión que interconectan todo el sistema.

SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA

Elementos que integran el sistema eléctrico de potencia:

- 1.- Generador
- 2.- Transformador Elevador
- 3.- Barras Colectoras
- 4.- Líneas de Transmisión
- 5.- Transformador Reductor
- 6.- Alimentadores

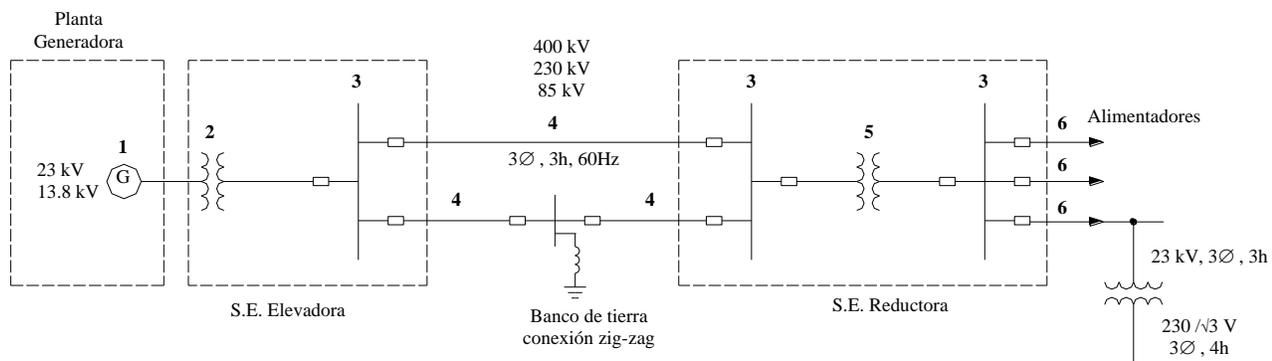


Diagrama elemental de un sistema eléctrico de potencia.



Sistema de Potencia: Sirve para generar, transformar, transmitir y distribuir la energía eléctrica.

Generador: Transforma la energía mecánica en energía eléctrica para alimentar al sistema.

Transformador Elevador: Su función es elevar la tensión de generación a una tensión de transmisión para obtener los beneficios en la línea de transmisión, las cuales son:

- a) Para una potencia dada, al elevarse la tensión se reduce la magnitud de la corriente (I) de la carga y debido a esto se reducen las pérdidas por efecto Joule en la Línea de Transmisión las cuales son proporcionales a $J = R I^2$ [W]
- b) Al reducirse la magnitud de la corriente (I), se reduce también el calibre de los conductores.
- c) Al reducirse las pérdidas por efecto Joule en la Línea de Transmisión (L.T.) se mejora la regulación la tensión de la línea.
- d) La capacidad de transmisión de potencia de la línea aumenta debido a que es directamente proporcional al cuadrado del tensión.

$$P. \text{ transmitida en L.T.} = \frac{V^2}{X} \text{sen } \delta$$

Si la potencia máxima se presenta cuando el ángulo es de 90° :

$$P. \text{ max.} = \frac{V^2}{X}$$



ESTA INFORMACION ES SOLO CON FINES EDUCATIVOS



Barras Colectoras: Su función es interconectar todos los elementos del sistema de potencia.

Línea de Transmisión: Tiene como función transportar la energía eléctrica de las plantas generadoras a los centros de consumo y sirven también para interconectar al sistema.

Subestación Reductora: Su función es reducir la tensión de transmisión a una tensión de utilización y se encuentra localizada cerca o dentro de los centros de consumo.

Alimentador: Su función es transportar la energía eléctrica de la Subestación Reductora al consumidor o cliente. Si el cliente es de tipo industrial o comercial se alimenta directamente a su subestación para reducir la tensión de acuerdo a sus necesidades. Si el cliente o consumidor es tipo residencial se utilizan transformadores de distribución para reducir la tensión a $220/\sqrt{3}$ V.

II PROTECCIÓN DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA

PROTECCIÓN CON RELEVADORES

Es una de las diversas características del diseño de un Sistema Eléctrico de Potencia (SEP), relacionado con la disminución al daño del equipo y las interrupciones al servicio cuando ocurren fallas eléctricas.

Fallas Eléctricas

Estas pueden ser, fundamentalmente:

✦ CORTOCIRCUITO

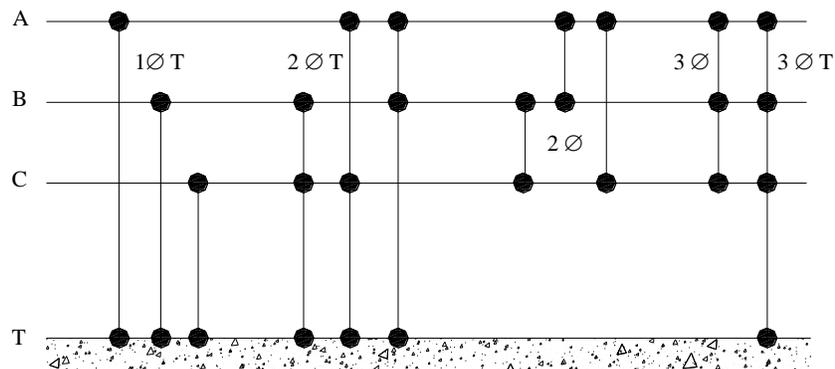
Monofásico: $\emptyset T$

Bifásico: $\emptyset\emptyset$ ó $2\emptyset T$

Trifásico: $3\emptyset$ ó $3\emptyset T$ → Cortocircuito balanceado

✦ SOBRETENSIÓN BAJO TENSIÓN

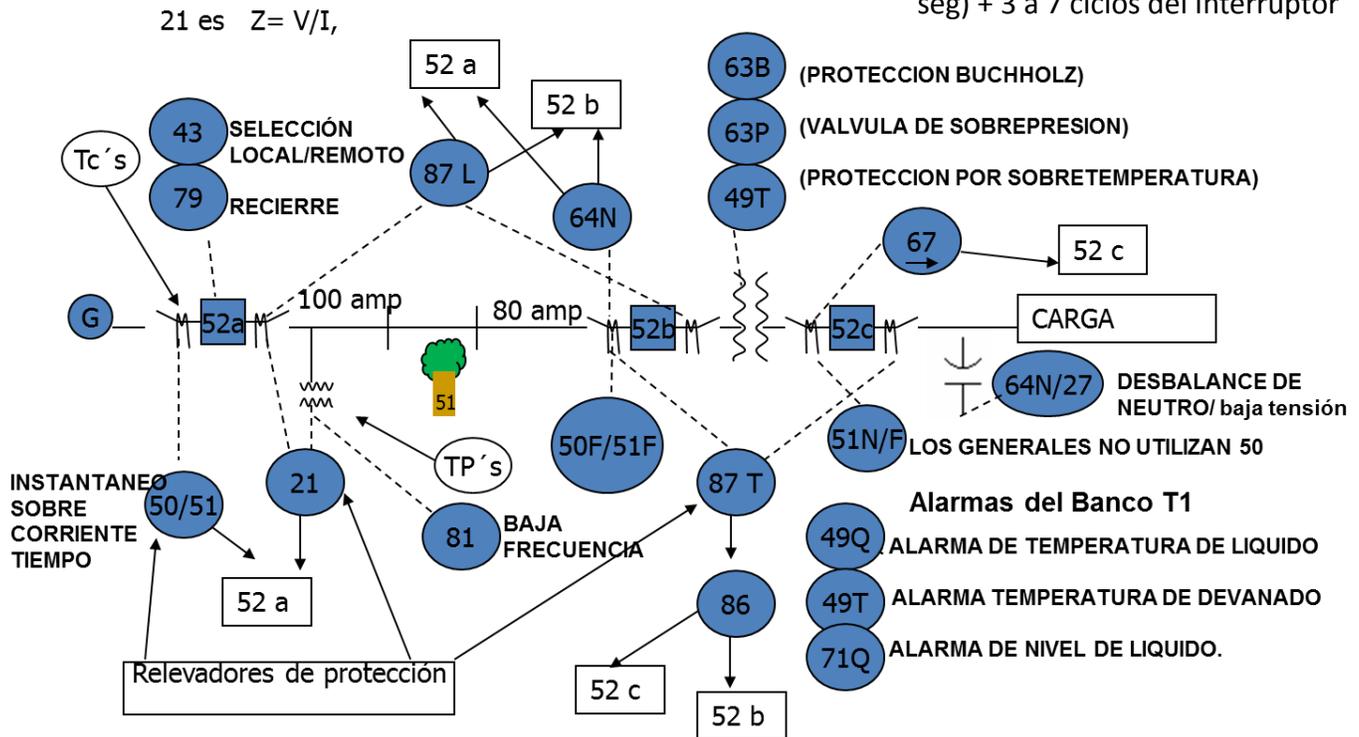
✦ SOBREFRECUENCIA BAJA FRECUENCIA PERDIDA DE SINCRONISMO EN GENERADORES



Fallas Eléctricas

NUM.	DESCRIPCION	NUM.	DESCRIPCION	NUM.	DESCRIPCION
2	Retardo de tiempo	47	Secuencia de volt	69	Permisivo
21	Distancia	49	Termico	74	Alarma
25	Verificador de sincronismo	50	Sobrecorriente instantanea	76	Sobrecorriente DC
27	Bajo volt	51	Sobrecorriente temporizado	78	Perdida de sincronismo
30	Relevador anunciador	59	Sobrevolt	79	Recierre
32	Direccional de potencia	60	Balance de volt	81	Frecuencia
37	Baja corriente o baja potencia	63	Presion	85	Hilo piloto
38	Cojinetes	64	Fallas a tierra	86	Lock-out
40	Campo	67	Direccional de sobrecorriente	87	Diferencial
46	Inversion de fase	68	Bloqueo	94	Disparo

18 ciclos (0.3seg) de coordinación
Instantáneo 30 a 50 milisegundos (0.005 seg) + 3 a 7 ciclos del Interruptor

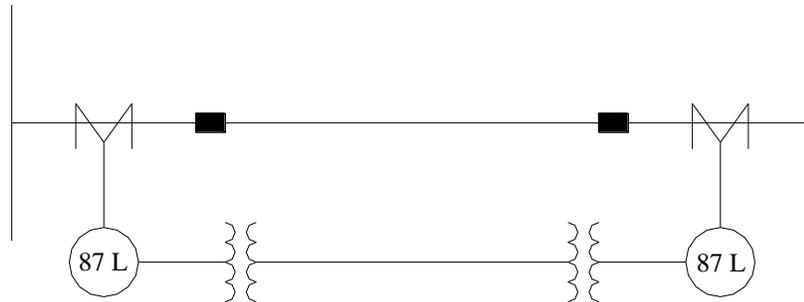




ESTA INFORMACION ES SOLO CON FINES EDUCATIVOS

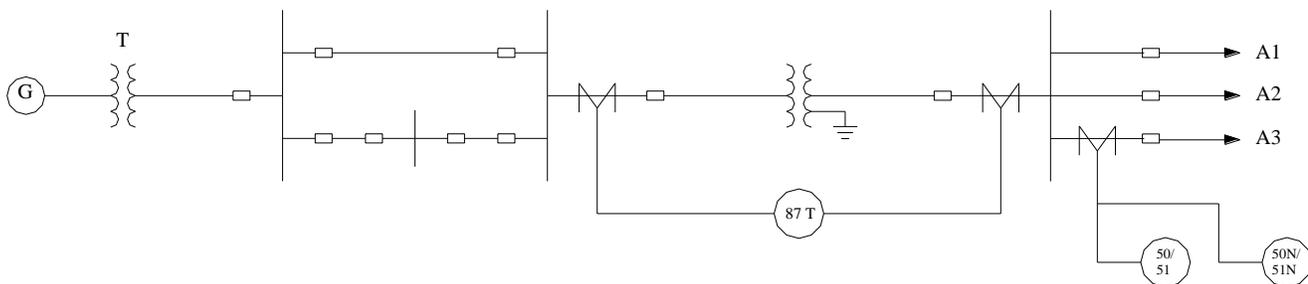
No.	Definición y Función
12	Sobre-velocidad. Es generalmente un switch de velocidad conectado directamente y que funciona al sobrepasar de un valor determinado la velocidad de una máquina.
13	Velocidad sincrónica. Tal como un switch centrífugo de velocidad, un relé de voltaje, un relé de baja corriente o cualquier tipo de dispositivo, opera aproximadamente a la velocidad sincrónica de la máquina.
14	Baja velocidad. Funciona cuando la velocidad de una máquina 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 máquina o de un sistema igual o aproximadamente igual al de la otra máquina, fuente o sistema.
21	Relé de Distancia. Funciona cuando la admitancia, impedancia o reactancia de un circuito, aumenta o disminuye más allá de los límites predeterminados.
23	Control de Temperatura. Funciona al elevar o bajar la temperatura de una máquina u otro aparato, cuando excede o baja un valor predeterminado.
25	Sincronismo. Opera cuando dos circuitos están dentro de límites deseados de frecuencia, ángulo de fase o voltaje para permitir o hacer el emparellamiento de esos dos circuitos.
27	Relé de Bajo Voltaje. Funciona a un cierto valor de bajo voltaje.
32	Relé Direccional de Potencia. Funciona en valor deseado de flujo de potencia en una dirección dada o por que se invierte la potencia como resultado de invertir el ánodo- cátodo de un rectificador de potencia.
37	Relé de Baja-corriente o Baja-potencia. Dispositivo que funciona cuando la corriente o flujo de potencia disminuye a menos de un valor predeterminado.
40	Relé de Campo. Opera a un dado o bajo valor anormal o pérdida de la corriente de campo de una máquina 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.
46	Relé de Corriente. inversión de fase, o balance de fase. Funciona cuando las corrientes polifásicas son de secuencia inversa de fase, o cuando las corrientes se desbalancean o contienen componentes de secuencia de fase negativa, sobre una cantidad dada.
49	Relé térmico de máquina o transformador. Funciona cuando la temperatura de armadura de una máquina de C.A u otra carga que tiene devanado o elemento de máquina de C.D., convertidor o rectificador de potencia (incluyendo un transformador rectificador de potencia) excede a un valor predeterminado.
50	Relé de sobrecorriente instantáneo. Funciona instantáneamente a un excesivo valor de corriente ó a una excesiva relación de aumento de corriente, de este modo indicando una falla en el aparato o circuito que protege.
51	Relé de sobrecorriente de tiempo 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	Interrupción C.A.- Dispositivo que se usa para cerrar e interrumpir un circuito de potencias bajo condiciones normales o para interrumpir este circuito bajo condiciones de falla o de emergencia.
53	Relé excitador ó generador C.D.- Dispositivo que fuerza la excitación del campo de la máquina de C.D. reforzándola durante el encendido o que funciona cuando el voltaje de la máquina ha alcanzado un valor dado.
54	Interrupción de Alta Velocidad. Es un interruptor que funciona para reducir la corriente al inicio en el circuito principal en 0.01 segundos o menos, después de ocurrir la sobrecorriente C.D. ó relación excesiva de alza de corriente.
55	Relé de Factor de Potencia. Opera cuando el factor de potencia en un circuito de C.A. aumenta ó disminuye más de un valor predeterminado.
56	Relé 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.
59	Relé de Sobrevoltaje. Es un dispositivo que funciona a un cierto valor dado de sobrevoltaje.
60	Relé de Balance de Voltaje. Dispositivo el cual opera a una diferencia dada en voltaje entre dos circuitos.
61	Relé de Balance de Corriente. Dispositivo que opera a una diferencia dada de entrada o salida de corriente de dos circuitos.
62	Relé de Retardo de tiempo de parar o abrir. 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	Relé de presión, flujo o nivel de gas ó líquido. Es un aparato que opera en un dado valor de presión flujo o nivel de gas ó líquido o a una relación dada de cambio de estos valores.
64	Relé Protector de Tierra. Funciona en fallas del aislamiento de una máquina, transformador o de otro aparato que tenga conexión a tierra. NOTA: esta función es asignada solamente a un relé 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.
67	Relé Direccional de sobrecorriente C.A. Funciona a un deseado valor de sobrecorriente fluyendo en una dirección predeterminada.
72	Interrupción C.D. 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.
74	Relé de Alarma. Este dispositivo es diferente al relé anunciador (con No. 30), y que se usa para operar en conexión con una alarma visual o auditiva.
76	Relé de sobrecorriente C.D. Aparato el cual funciona cuando la corriente excede a un valor dado.
78	Relé medidor de Ángulo de Fase o de Desbalance. Es un dispositivo que funciona a un valor predeterminado de ángulo entre dos voltajes, dos corrientes o entre voltaje y corriente.
79	Relevador de Re cierre. Este realiza el Cierre automática después de una falla y normalmente opera hasta 4 veces y re cierra hasta 3 veces
81	Relé de Frecuencia. Dispositivo que funciona a un predeterminado valor de frecuencia ya sea por arriba o por abajo o a la frecuencia normal del sistema o relación de cambio de frecuencia.
84	Mecanismo de Operación. Es el mecanismo eléctrico completo o servomecanismo, incluyendo el motor de operación, solenoides., posición de los switches. etc. para un cambio disponible. Regulador de inducción, o cualquier pieza de aparato que no tenga número de función de aparato.
85	Relé receptor de mensaje o de conductor-piloto. Aparato el cual es operado o controlado por una señal usada en conexión con la corriente mensajera o conductor piloto C.D. en una falla de relevamiento direccional.
86	Relé de cierre Forzado. Dispositivo operado eléctricamente que se reajusta manual o eléctricamente que funciona para suspender el funcionamiento de un equipo y mantenerlo así al presentarse condiciones anormales.
87	Relé de Protección diferencial. Dispositivo el cual funciona a un porcentaje, ángulo de fase u otra diferencia cuantitativa de dos corrientes o algunas otras cantidades eléctricas.
90	Dispositivo Regulador. Funciona para regular una cantidad, o cantidades, tales como: voltaje, corriente, potencia, velocidad, frecuencia, temperatura y carga a un cierto valor o valores entre ciertos límites para máquinas, líneas enlazadas u otros aparatos.
91	Relé Direccional de Voltaje. Dispositivo el cual opera cuando el voltaje a través de un interruptor abierto o contactor excede en un valor dado en una dirección dada.
92	Relé Direccional de Voltaje y Potencia. Aparato que permite o causa la conexión de dos circuitos cuando la diferencia de voltaje entre ellos excede a un valor dado en una dirección predeterminada y causa que estos dos circuitos se desconecten el uno del otro cuando el flujo de potencia entre ellos exceda a un valor dado en la dirección opuesta.

Dentro de límites económicos, un SEP debe diseñarse de tal manera que pueda estar adecuadamente protegido. La función de la protección es originar el retiro rápido del servicio (dejar fuera de servicio) de cualquier elemento de un SEP cuando éste sufre un cortocircuito o empieza a funcionar en forma anormal originando daño o interfiriendo con el funcionamiento eficaz del resto del sistema.



Los relevadores actúan sobre interruptores, los cuales son los que desconectan el elemento defectuoso cuando reciben la señal de disparo de dichos relevadores, los interruptores están localizados de tal manera que cada uno de los elementos del sistema pueden desconectarse por completo del resto del sistema (87= relevador diferencial)

Los interruptores deben tener la capacidad suficiente para que puedan conducir momentáneamente e interrumpir la máxima corriente de cortocircuito que pueda fluir a través de ellos.



Los elementos del sistema de potencia generalmente tienen dos equipos de protección:

1.- PROTECCIÓN PRIMARIA (P.P.)

La protección primaria es la que debe operar siempre que ocurra una falla en el circuito que está protegiendo.

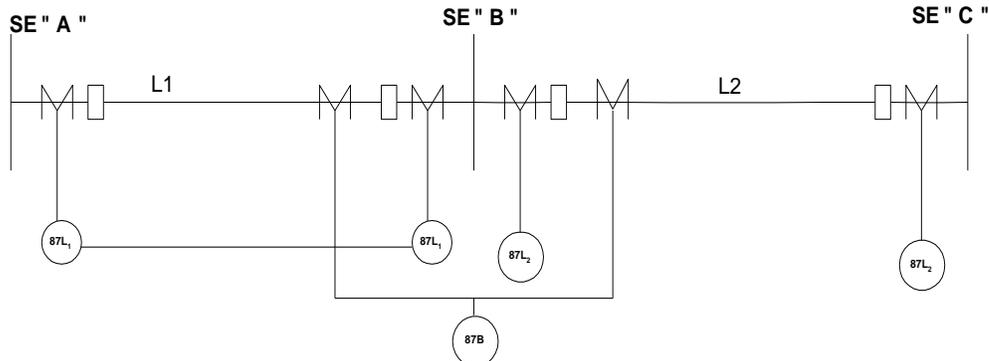
Tiempo de operación: se utilizan relevadores de alta velocidad (1/2 – 3 ciclos)
En el sistema de 60 hertz (60 ciclos por segundo), se tiene:

60 ciclos =	1000 ms(milisegundos)
6 ciclos =	100 ms
3 ciclos =	50 ms
1 ciclo =	16.6 ms

Los interruptores de 400kV abren en 2 ciclos

Traslape de Protecciones

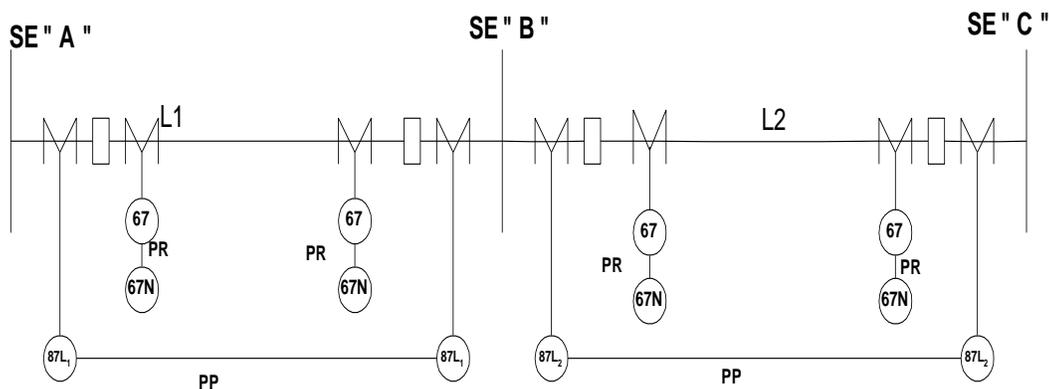
Las protecciones primarias deben conectarse de manera que queden traslapadas.



La protección primaria de Barras de la subestación " B " (87B), está traslapada con la protección primaria de la línea 1 (87L1) y también con la protección primaria de la línea 2 (87L2)

2.- PROTECCIÓN DE RESPALDO (P. R.)

Debe operar únicamente si la protección primaria falla o se encuentra fuera de servicio por mantenimiento. Se utilizan relevadores con retardo intencionado en la operación, con el fin de poder coordinar la operación de los interruptores relacionados con la falla.



PP - Protección Primaria , **PR** – Protección de respaldo

Si la protección primaria de la línea 2 no opera, deben operar las de protecciones de respaldo 67L2 en la subestación " B " y " C " y abrir los interruptores en dichas subestaciones .



ESTA INFORMACION ES SOLO CON FINES EDUCATIVOS



CRITERIOS DE DISEÑO PARA LA PROTECCIÓN CON RELEVADORES

Son cinco los criterios que se aplican en el diseño de la protección:

1.- CONFIABILIDAD

Habilidad de la protección o conjunto de protecciones para operar correctamente cuando se requiere evitando operaciones incorrectas o indebidas.

2.- VELOCIDAD

Debe librar la falla en el tiempo mínimo requerido procurando el menor daño al equipo.

3.- SELECTIVIDAD

Lograr máxima continuidad con la mínima desconexión de circuitos.

4.- SIMPLICIDAD

Utilizar el mínimo equipo y el mínimo alambrado procurando tener un esquema no complicado.

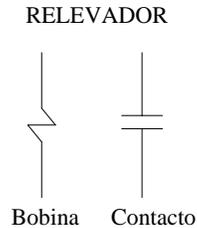
5.- ECONOMÍA

Procurar la máxima protección al mínimo costo manteniendo la confiabilidad del equipo.

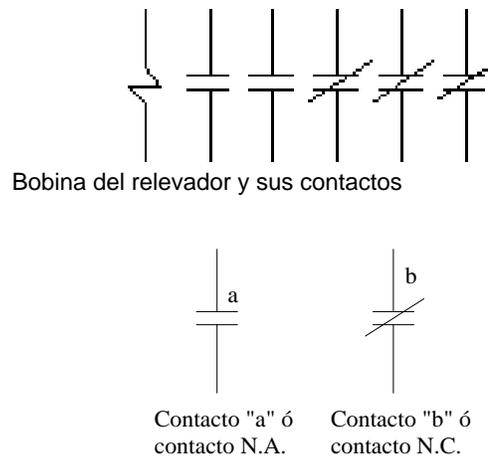
RELEVADORES

Componentes de un relevador

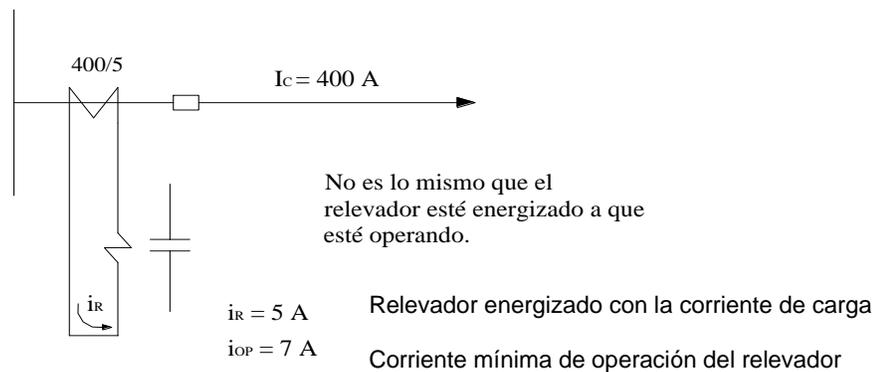
En su forma más sencilla un relevador se puede representar por una bobina y un contacto; la bobina recibe la señal de corriente o de potencial del sistema de potencia y el contacto en caso de falla, enviara la señal de disparo al interruptor correspondiente.



Un relevador puede tener uno o varios contactos "a" y uno o varios contactos "b".



Se dice que un relevador opera cuando cierra sus contactos "a" y/ o abre sus contactos "b".

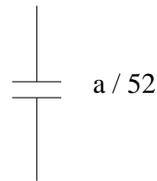




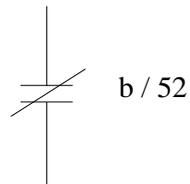
Contactos auxiliares “a” y “b” de un interruptor de potencia.

Son contactos acoplados al mecanismo de cierre y apertura del interruptor de potencia y se utilizan en los circuitos de control y señalización.

Contactos auxiliares “a”.- Se encuentran en la misma posición que los contactos principales del interruptor, es decir, si el interruptor está cerrado los contactos auxiliares “a” se encuentran cerrados, y si el interruptor está abierto los contactos auxiliares “a” están abiertos.



Contactos auxiliares “b”.- Se encuentran en la posición contraria, es decir, si el interruptor está cerrado los contactos auxiliares “b” están abiertos, si el interruptor está abierto los contactos auxiliares “b” están cerrados.



EQUIPO BASICO PARA PROTEGER CUALQUIER ELEMENTO DEL SIST. DE POT.

Un equipo de protección está integrado por tres elementos principales que son:

1.- TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTO.

1.a) Transformador de corriente (T.C.)

Tiene como función aislar de la alta tensión y reducir la magnitud de la corriente en función de su relación de transformación (5 A ó 1A).

1.b) Transformador de potencial (T.P.)

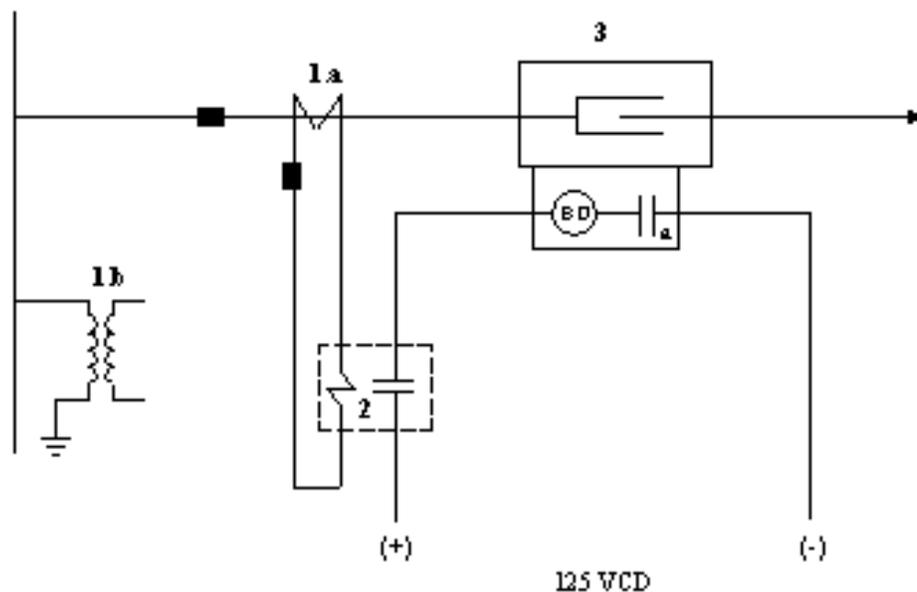
Tiene como función reducir la magnitud del tensión de alta tensión en función de su relación de transformación a un tensión generalmente de $120 / \sqrt{3}$ V.

2.- RELEVADOR

Es el elemento sensor. Es el que detecta la falla y envía señal de disparo al interruptor. Se alimenta a través de los T. C. y/o T. P.

3.- INTERRUPTOR DE POTENCIA.

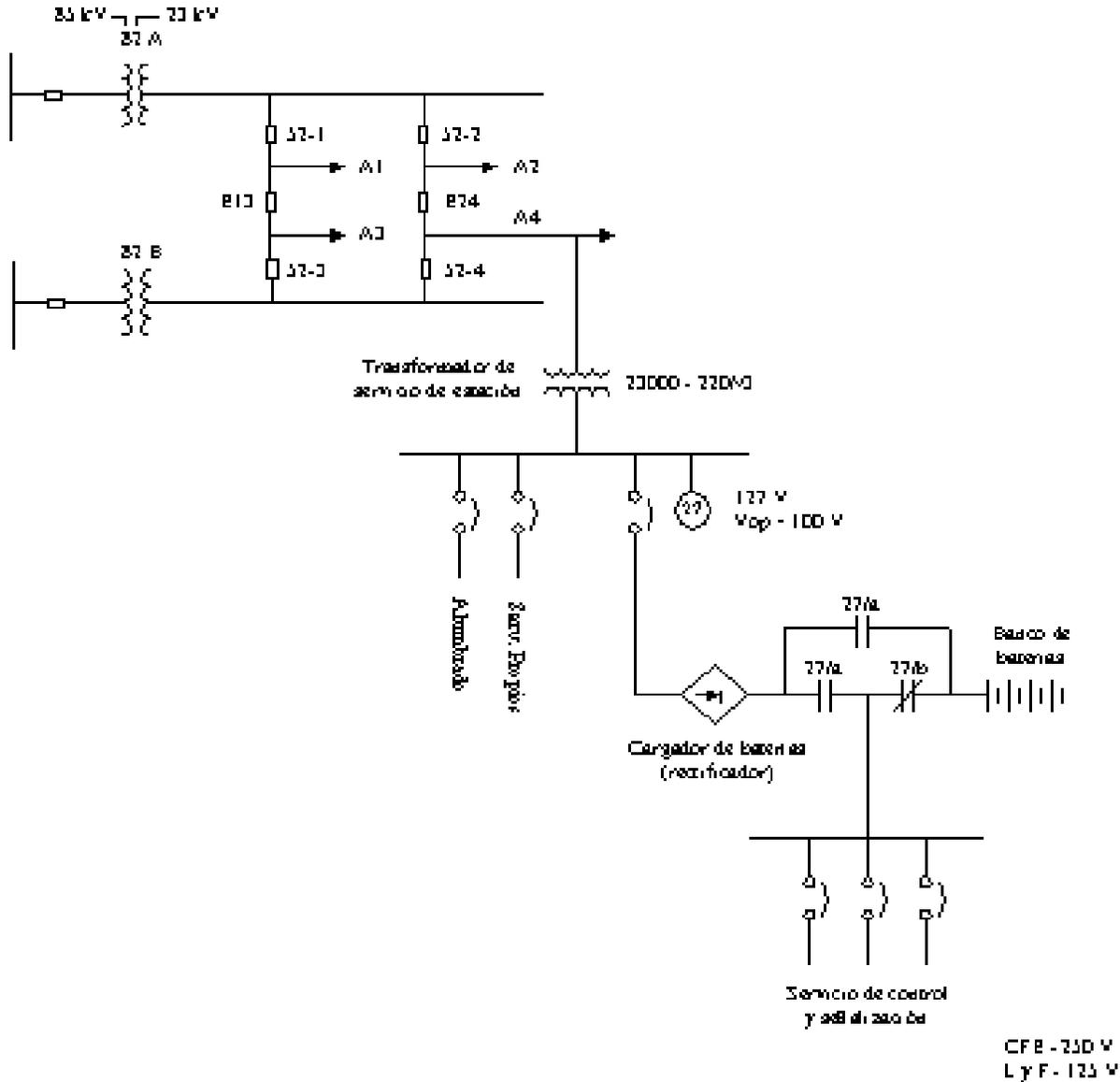
Tiene como función librar la falla abriendo sus contactos principales cuando recibe la señal de disparo del relevador.



Este diagrama muestra los elementos que integran el equipo de protección.

DIAGRAMA QUE MUESTRA COMO SE ALIMENTA EL CARGADOR DE BATERIAS Y EL BANCO DE BATERIAS DE UNA SUBESTACIÓN

CONFIGURACIÓN EN ANILLO DE ALIMENTADORES DE 23 kV



A1, A2, A3 Y A4 son alimentadores de 23 kV

En esta configuración se muestran dos transformadores de potencia con sus alimentadores conectados en anillo. Los interruptores de enlace sirven para transferir la carga de un transformador a otro cuando uno de ellos queda fuera de servicio. En uno de los alimentadores se conecta un transformador de servicio de estación mediante el cual se alimentan las cargas de alumbrado, servicios propios y el servicio de control y señalización.

El funcionamiento es el siguiente: a la salida del transformador de estación se conecta la bobina del relevador 27 (relevador de baja tensión), el cual se alimenta con una tensión nominal de 127 V y tiene una tensión de operación de 100 V. Es decir, el relevador estará normalmente operado, los contactos "a" estarán cerrados y el contacto "b" abierto.



ESTA INFORMACION ES SOLO CON FINES EDUCATIVOS

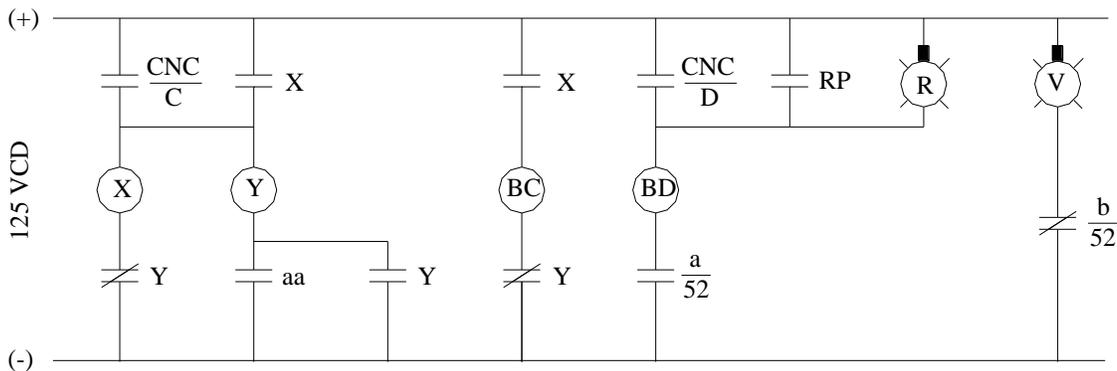


En la operación normal del sistema, en donde se dispone de energía del sistema de alimentación, el cargador de batería (rectificador), alimenta tanto al banco de baterías como a los servicios de control y señalización ya que su operación es con CD.

En condiciones de emergencia, en caso de baja tensión o falta de potencial de la fuente, lo detecta el relevador 27 y cierra su contacto 27/b y abre los contactos 27/a. Con esta operación ahora el banco de baterías alimenta los servicios de control y señalización los cuales para CFE se alimentan con 250V y para LyF se alimentan con 125V. C. D. cuando se restablece la alimentación del cargador de batería, el equipo regresa a sus condiciones normales de operación.

Este arreglo de transferencia de C. D. es un arreglo básico con fines de enseñanza únicamente.

DIAGRAMA DE CONTROL DE UN INTERRUPTOR DE POTENCIA



Donde:

CNC Conmutador de control C = Cierre D = Disparo

(X) (Y) Relevadores auxiliares

(BC) Bobina de cierre

(BD) Bobina de disparo

(R) Lámpara roja (indica que el interruptor esta cerrado)

(V) Lámpara verde (indica que el interruptor está abierto)

aa Contacto auxiliar del interruptor de fin de carrera

Funcionamiento del circuito de control:

Para cerrar el interruptor: en las subestaciones de un sistema de potencia se tienen tableros de control, estos tableros disponen de un conmutador de control, si se acciona este conmutador a la posición de cierre, se cerrará el contacto CNC/C (cierre) energizándose el relevador auxiliar de cierre X y cerrando sus dos contactos respectivos en las siguientes dos ramas del circuito (los contactos X), quedando enclavado por el relevador de la segunda rama (de izq. a der.). El segundo contacto auxiliar X energiza la bobina de cierre BC, al terminar el ciclo de cierre (se cerraron los contactos "a" del interruptor de potencia, quedó cerrado el interruptor). El contacto auxiliar de fin de carrera del interruptor(aa) cierra solo por un instante y vuelve a abrir, este instante es suficiente para energizar la bobina del relevador auxiliar Y quedando enclavado cuando cierra su contacto Y normalmente abierto.



ESTA INFORMACION ES SOLO CON FINES EDUCATIVOS



A continuación en la primer rama se abre el contacto auxiliar Y, desenergizando la bobina del relevador X, entonces se abren los contactos X, desenergizando tanto al relevador Y como a la bobina de cierre BC. De esta manera queda desenergizado todo el circuito de cierre. En el instante en que cerró el interruptor, también cerró el contacto a/52 con el cual se enciende la lámpara roja "R" que indica que el interruptor está cerrado y simultáneamente abre el contacto b/52 que apaga la lámpara verde. La corriente que circula por la lámpara roja (de 12 volts) no es suficiente para energizar la bobina de disparo BD, para esto se le coloca en serie una resistencia en serie, como se indica en el diagrama.

Para abrir el interruptor: en el tablero de control se acciona el conmutador de control hacia la posición de disparo, en ese momento se cierra el contacto CNC/D con el cual se energiza la bobina de disparo BD ya que el contacto auxiliar a/52 se encontraba cerrado. Para lograr la apertura del interruptor también se hace por medio del contacto del relevador de protección RP el cual cerrará en el momento en que se produzca una falla, ya que al cerrar su contacto también se energiza la bobina de disparo BD. Cuando se abre el interruptor de potencia se cierra el contacto auxiliar b/52 con lo cual se enciende la lámpara verde que indica que el interruptor está abierto, simultáneamente se abre el contacto auxiliar a/52 con lo que se desenergiza la bobina de disparo y se apaga la lámpara roja.

III TRANSFORMADORES DE CORRIENTE Y DE POTENCIAL

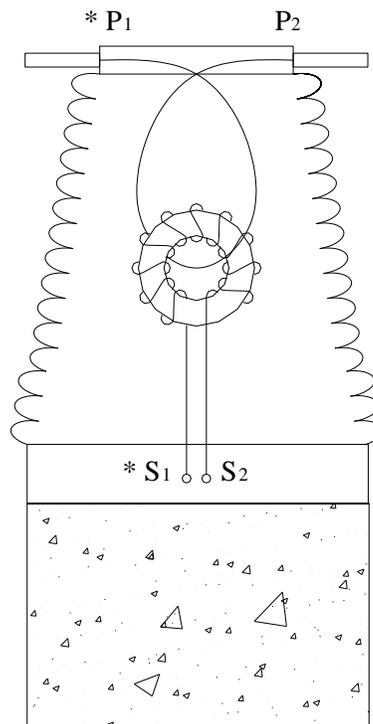
Los transformadores de corriente y los transformadores de potencial son los encargados de alimentar a los relevadores, por lo que es importante analizar su funcionamiento.

TRANSFORMADOR DE CORRIENTE (TC)

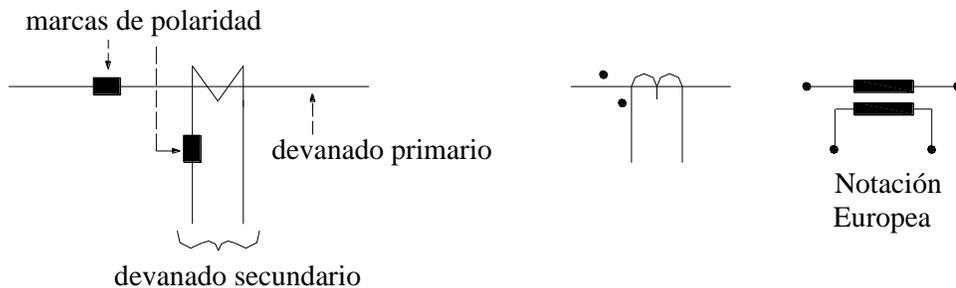
Función: Reducir la magnitud de la corriente en función de su relación de transformación sin alterar la frecuencia, la forma de onda ni el ángulo de fase. Y aislar de la alta tensión para poder alimentar a los relevadores en baja tensión y con baja corriente.

El aislamiento del TC depende de la tensión a la que se conecta.

Los bornes de los TC se representan como P_1 P_2 para el devanado primario, y como S_1 S_2 para el devanado secundario.



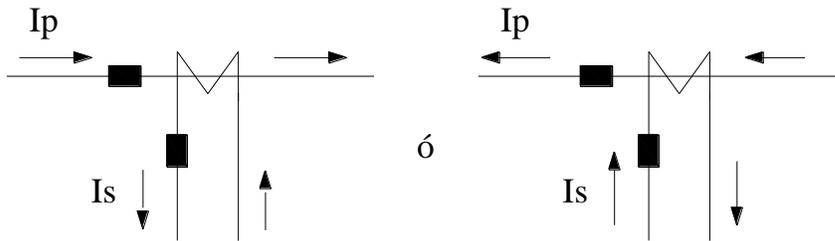
Símbolo del T. C.:



El devanado primario se representa por medio de una línea recta, el devanado secundario se representa de forma parecida a una "M".

Marcas de polaridad: indican los sentidos relativos de las corrientes primaria y secundaria durante un medio ciclo.

Interpretación de las marcas de polaridad:



“Si la corriente primaria entra al TC por marca de polaridad, la corriente inducida en el secundario sale por marca de polaridad. Si la corriente primaria sale del TC por marca de polaridad, la corriente inducida en el secundario entra por marca de polaridad.”

Relación de transformación (K_{TC}): se da en función de la corriente nominal primaria y la corriente nominal secundaria. La corriente nominal secundaria está normalizada a 5 A (**1 A en la norma Europea** derivado a que los relevadores digitales no requieren mas).

$$k_{TC} = \frac{I_{NP}}{i_{NS}}$$

donde: k_{TC} = Relación de transformación

I_{NP} = Corriente nominal del devanado primario.

i_{NS} = Corriente nominal del devanado secundario.

Ejemplo de relación de transformación: 600: 5, 400 : 5

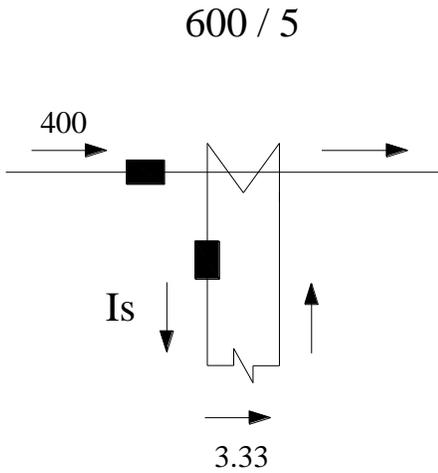
Se tiene un transformador de corriente con relación de 600:5 y la corriente en el devanado primario es de 300 Amperes.

si circulan en el primario $I_p = 300$ A y la relación es $K_{tc}=600/5 = 120$, la corriente secundaria es:

$$i_s = I_p / K_{tc} = 300 / 120 = 2.5 \text{ amp}$$

Este es el valor de la corriente que está circulando por el devanado secundario.

Ejemplos de cálculo de corrientes secundarias y determinación del sentido de las mismas:

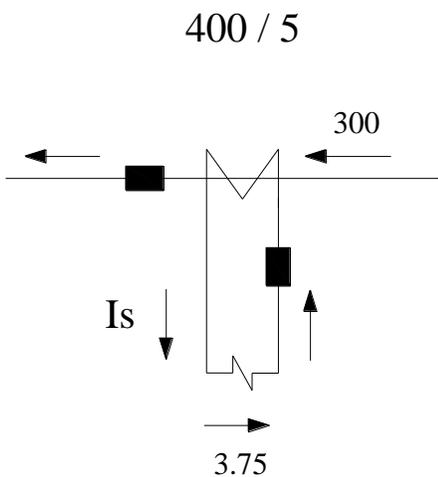


$$K_{TC} = \frac{I_{NP}}{i_{NS}} = \frac{600}{5} = 120$$

$$k_{TC} = \frac{I_P}{i_s}$$

$$i_s = \frac{I_P}{k_{TC}} = \frac{400}{120} = 3.33 \text{ A}$$

Si la corriente primaria está entrando al devanado primario del T.C. por marca de polaridad, la corriente inducida en el secundario debe estar saliendo del devanado por marca de polaridad.

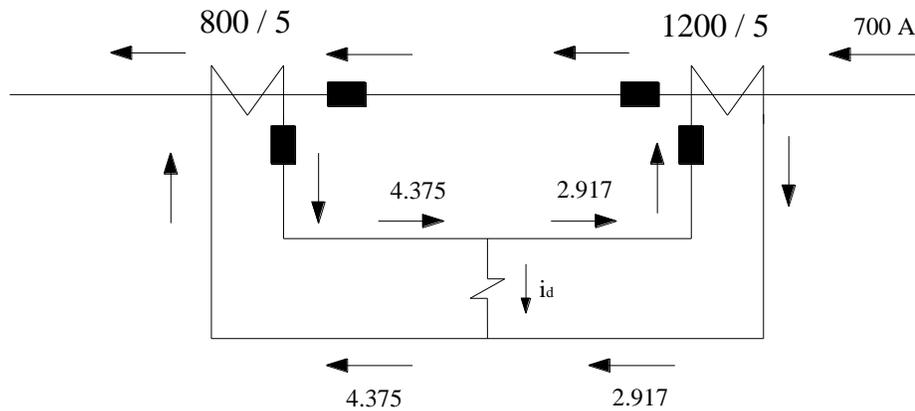


$$K_{TC} = \frac{I_{NP}}{i_{NS}} = \frac{400}{5} = 80$$

$$k_{TC} = \frac{I_P}{i_s}$$

$$i_s = \frac{I_P}{k_{TC}} = \frac{300}{80} = 3.75 \text{ A}$$

Dadas las relaciones de los T:C: y la magnitud y el sentido de la corriente primaria , determinar las magnitudes y sentidos de las corrientes secundarias y la corriente en el relevador diferencial .



$$k_{TC} = \frac{I_{NP}}{i_{NS}} = \frac{800}{5} = 160$$

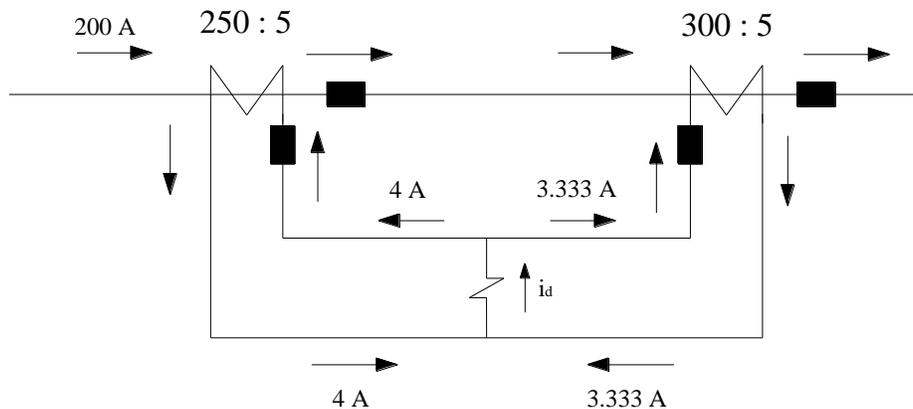
$$k_{TC} = \frac{I_{NP}}{i_{NS}} = \frac{1200}{5} = 240$$

$$k_{TC} = \frac{I_P}{i_s} \therefore i_{s1} = \frac{I_P}{k_{TC}} = \frac{700}{160} = 4.375 \text{ A}$$

$$k_{TC} = \frac{I_P}{i_s} \therefore i_{s2} = \frac{I_P}{k_{TC}} = \frac{700}{240} = 2.917 \text{ A}$$

$$i_d = i_{s1} - i_{s2}$$

$$i_d = 4.375 - 2.917 = 1.458 \text{ A}$$



$$k_{TC} = \frac{I_{NP}}{i_{NS}} = \frac{250}{5} = 50$$

$$k_{TC} = \frac{I_{NP}}{i_{NS}} = \frac{300}{5} = 60$$

$$k_{TC} = \frac{I_P}{i_s} \therefore i_{s1} = \frac{I_P}{k_{TC}} = \frac{200}{50} = 4 \text{ A}$$

$$k_{TC} = \frac{I_P}{i_s} \therefore i_{s2} = \frac{I_P}{k_{TC}} = \frac{200}{60} = 3.333 \text{ A}$$

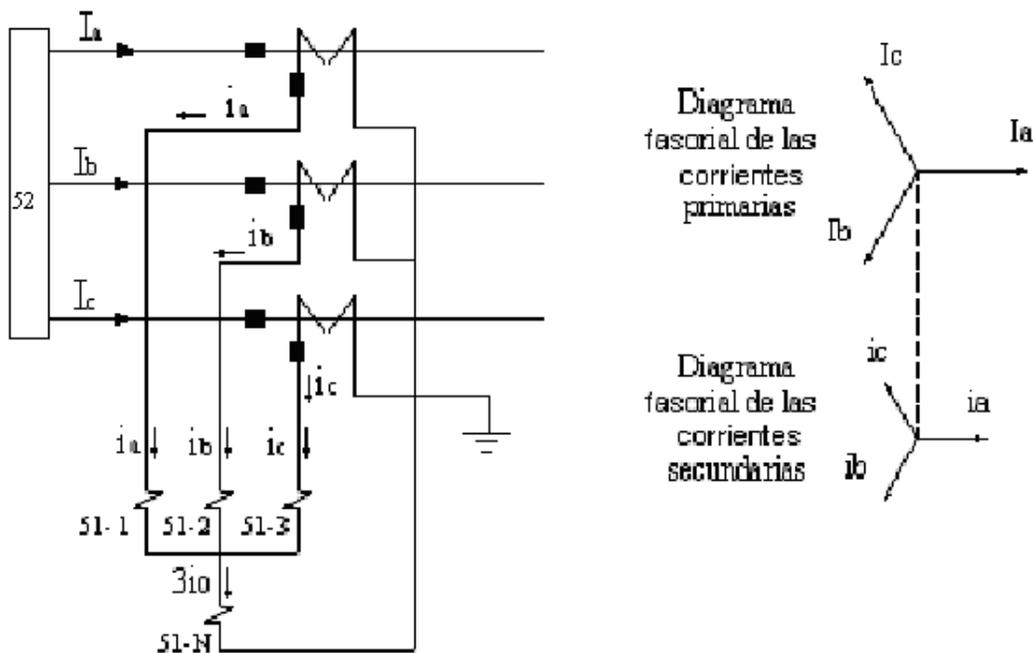
RELACIONES DE TRANSFORMACIÓN NORMALIZADAS PARA T. C.

RELACIONES DE TRANSFORMACIÓN		
5:5	150: 5	1500: 5
10: 5	200: 5	1600: 5
15: 5	250: 5	2000: 5
20: 5	300: 5	3000: 5
25: 5	400: 5	4000: 5
30: 5	500: 5	5000: 5
40: 5	600: 5	6000: 5
50: 5	800: 5	8000: 5
75: 5	1000: 5	12000: 5
100: 5	1200: 5	

CONEXIONES DE TRANSFORMADORES DE CORRIENTE

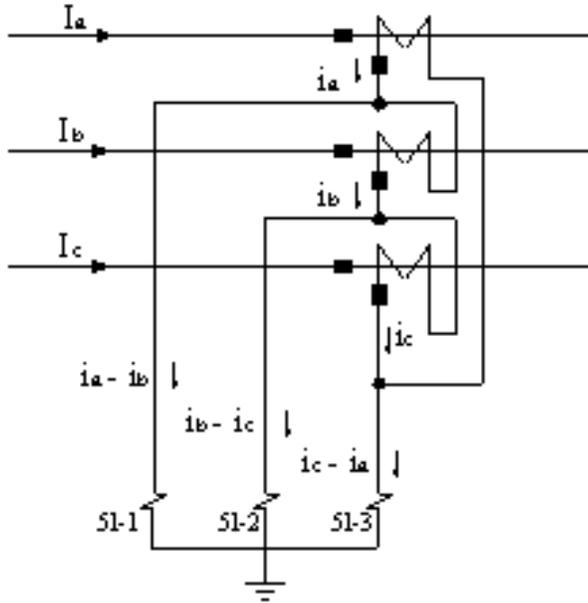
En los sistemas de potencia trifásicos se conectan los primarios de los TC en serie con el circuito de AT y los devanados secundarios se conectan generalmente en estrella (Y) para poder suministrar a los relevadores las corrientes de fase i_a , i_b , i_c y $3i_0$. En algunos casos es necesario conectarles en delta (Δ) como en el caso de protecciones diferenciales de transformador, si el devanado del transformador de potencia esta en Δ los TC se conectan en Y y si el devanado del transformador está conectado en Y los TC se conectan en Δ con el fin de compensar el desfase angular.

Conexión de TC en Estrella



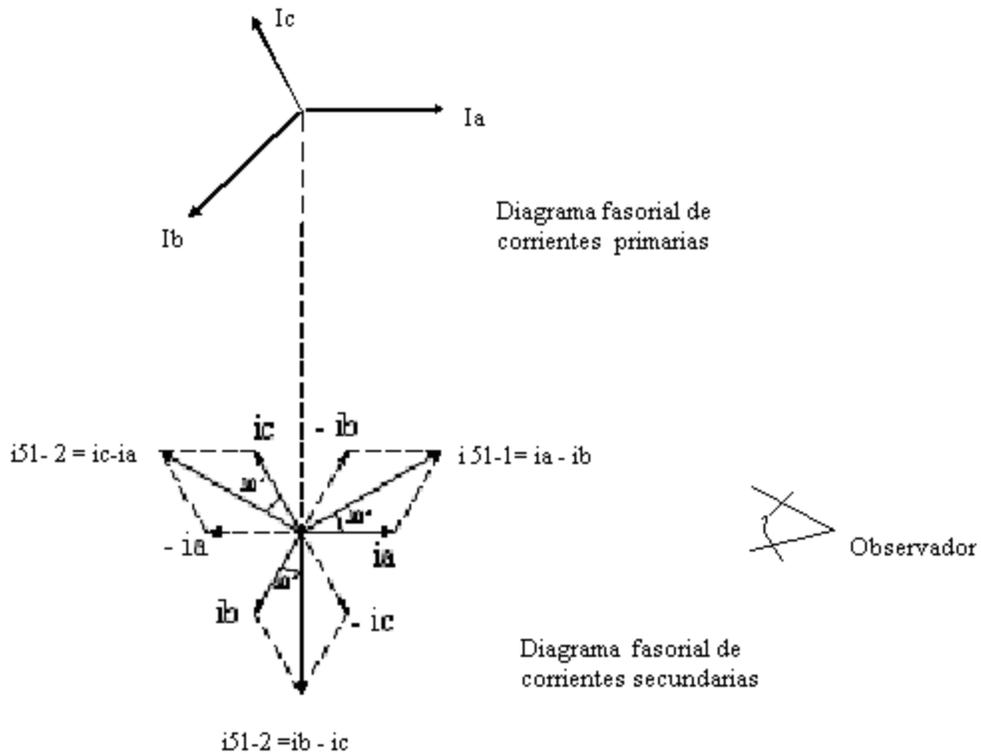
Conexión de TC en estrella

Conexión de TC en Delta 30° Adelantado



En una falla monofásica la i_0 es una sola en el secundario y circula dentro de la delta. Por regularidad se aterriza la conexión de los relevadores para estar al mismo potencial.

Conexión de TC en Delta 30° Adelantado



**Determinación de las corrientes que circulan por los relevadores 51-1, 51-2 y 51-3**

Los fasores de las corrientes secundarias, considerando una magnitud k y un sistema trifásico balanceado son:

$$i_a = k \angle 0^\circ = k [1 + j0]$$

$$i_b = k \angle 240^\circ = k \angle -120^\circ = k \left[-\frac{1}{2} - j \frac{\sqrt{3}}{2} \right]$$

$$i_c = k \angle 120^\circ = k \left[-\frac{1}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2} \right]$$

La magnitud de la corriente que entra o circula por el relevador 51-1 es:

$$i_{51-1} = i_a - i_b = k \left[(1 + j0) - \left(-\frac{1}{2} - j \frac{\sqrt{3}}{2} \right) \right] = k \left(\frac{3}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2} \right)$$

$$i_a - i_b = k \sqrt{\left(\frac{3}{2} \right)^2 + \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \right)^2} = k \sqrt{\frac{9}{4} + \frac{3}{4}} = k \sqrt{\frac{12}{4}} = k \sqrt{3}$$

$$\theta = \operatorname{tg}^{-1} \frac{\frac{\sqrt{3}}{2}}{\frac{3}{2}} = \operatorname{tg}^{-1} \frac{\sqrt{3}}{3} = \operatorname{tg}^{-1} \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{3} \sqrt{3}} = \operatorname{tg}^{-1} \frac{1}{\sqrt{3}}$$

$$\theta = 30^\circ$$

$$i_a - i_b = \sqrt{3} k \angle 30^\circ$$

La magnitud de la corriente que entra o circula por el relevador 51-2 es:

$$i_{51-2} = i_b - i_c$$

$$i_b - i_c = k \left[\left(-\frac{1}{2} - j \frac{\sqrt{3}}{2} \right) - \left(-\frac{1}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2} \right) \right]$$

$$i_b - i_c = k (-j\sqrt{3})$$

$$i_b - i_c = k \sqrt{(0)^2 - (\sqrt{3})^2} = k \sqrt{3}$$

$$\theta = \operatorname{tg}^{-1} \frac{-\sqrt{3}}{0} = \operatorname{tg}^{-1} -\infty = -90^\circ$$

$$i_b - i_c = \sqrt{3} k \angle -90^\circ$$

La magnitud de la corriente que entra o circula por el relevador 51-3 es:

$$i_{51-3} = i_c - i_a$$

$$i_c - i_a = k \left[\left(-\frac{1}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2} \right) - (1 + j0) \right]$$

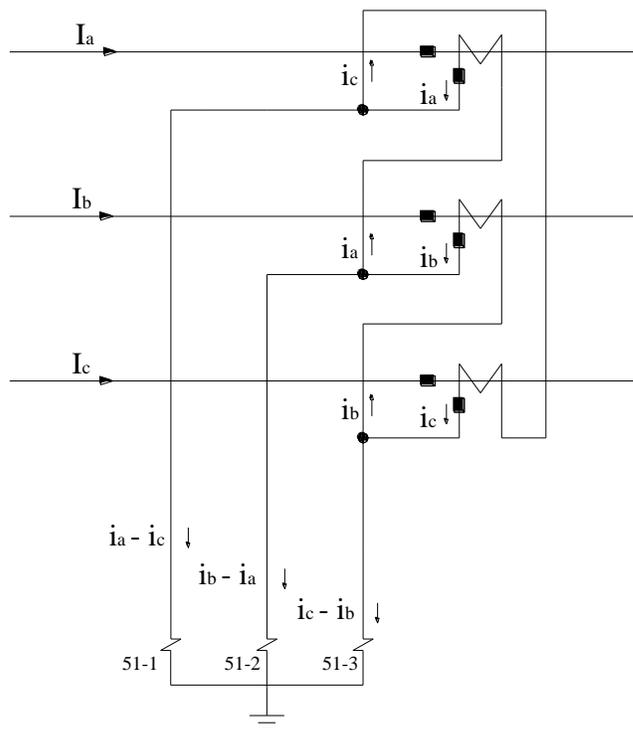
$$i_c - i_a = k \left(-\frac{3}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2} \right)$$

$$i_c - i_a = k \sqrt{\left(-\frac{3}{2} \right)^2 + \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \right)^2} = k \sqrt{\frac{9}{4} + \frac{3}{4}} = \sqrt{\frac{12}{4}} = \sqrt{3} k$$

$$\theta = \operatorname{tg}^{-1} \frac{\frac{\sqrt{3}}{2}}{-\frac{3}{2}} = \operatorname{tg}^{-1} -\frac{\sqrt{3}}{3} = \operatorname{tg}^{-1} -\frac{\sqrt{3}}{\sqrt{3} \sqrt{3}} = \operatorname{tg}^{-1} -\frac{1}{\sqrt{3}}$$

$$i_c - i_a = \sqrt{3} k \angle -30^\circ \text{ (3ercuadrante)} = \sqrt{3} k \angle 150^\circ$$

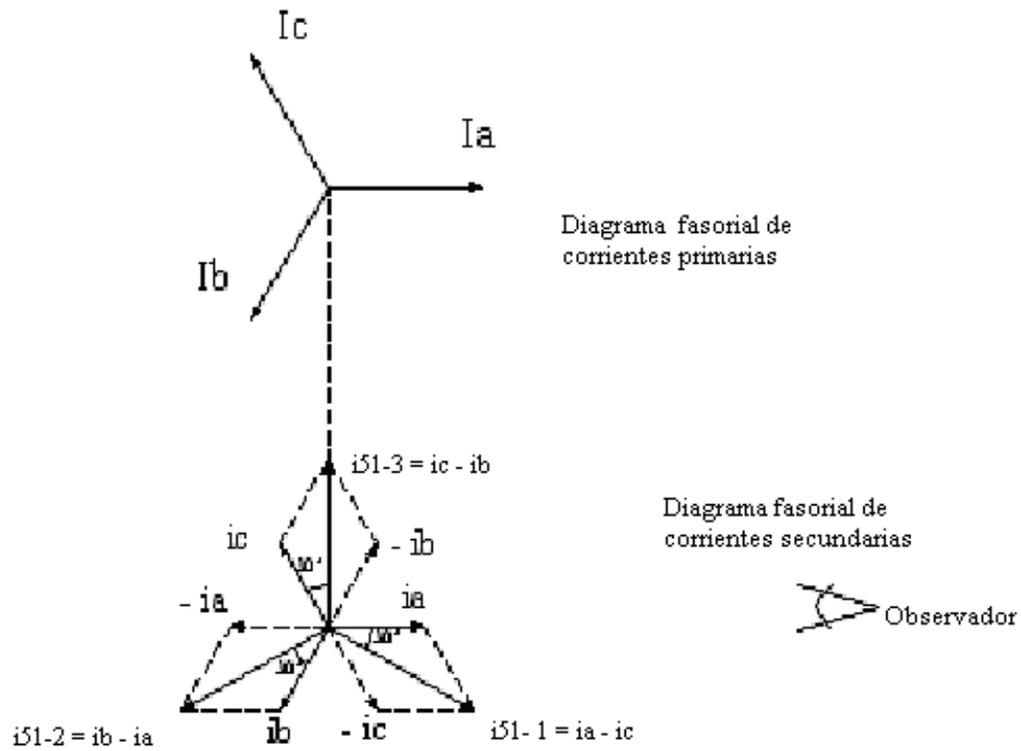
Conexión de TC en Delta 30° Atrasado



$$I_{51-1} = \sqrt{3} k \angle -30^\circ$$

$$I_{51-2} = \sqrt{3} k \angle -150^\circ$$

$$I_{51-3} = \sqrt{3} k \angle 90^\circ$$



CLASIFICACION DE LOS TC

- **Los TC por su utilización.**

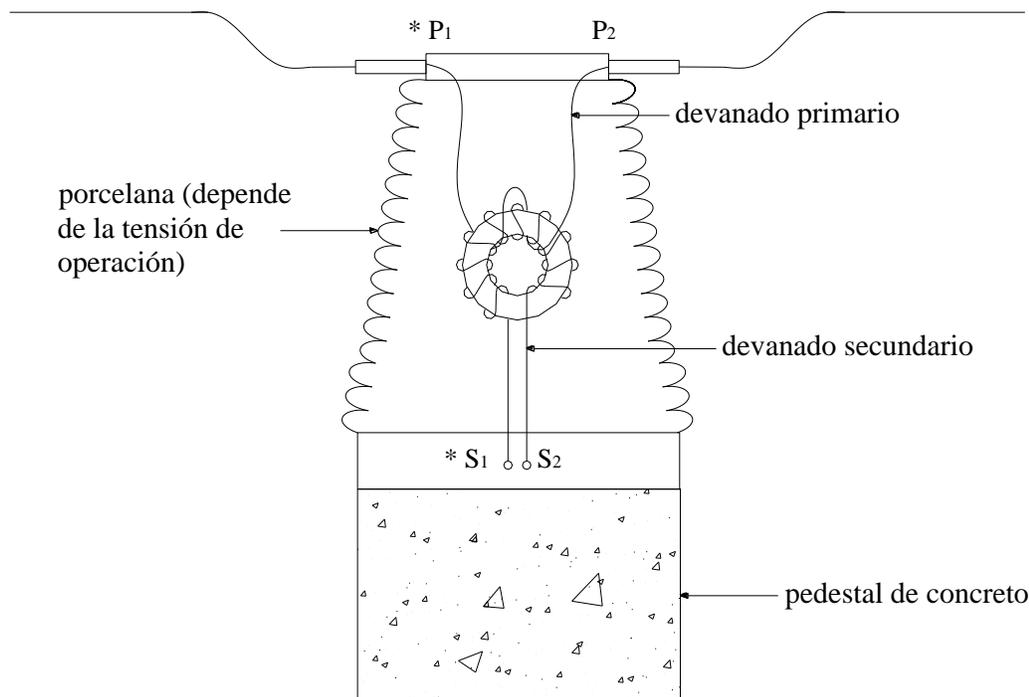
1.-T. C. PARA MEDICIÓN: Se saturan con 2 veces su corriente nominal.

2.-T. C. PARA PROTECCIÓN: Se saturan con 20 veces su corriente nominal.

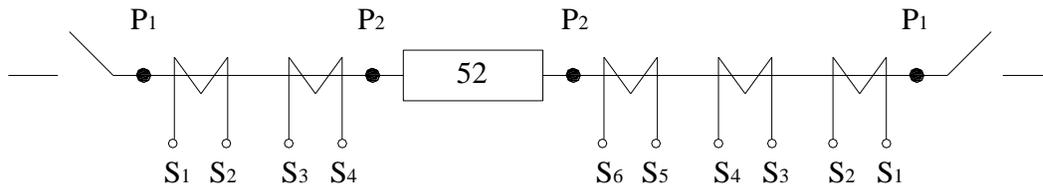
Cuando hay fallas la I_N se incrementa a varias veces por eso los TC de protección se saturan con 20 veces la I_N y pueda actuar la protección. Los TC de medición se deben saturar con baja corriente para que en caso de falla la corriente de cortocircuito no llegue a los instrumentos de medición. **La característica de saturación depende del material del núcleo.**

- **Los TC por su construcción.**

1.- **TIPO DEVANADO**: Es una unidad independiente. **Su error es de 5%** ó menor

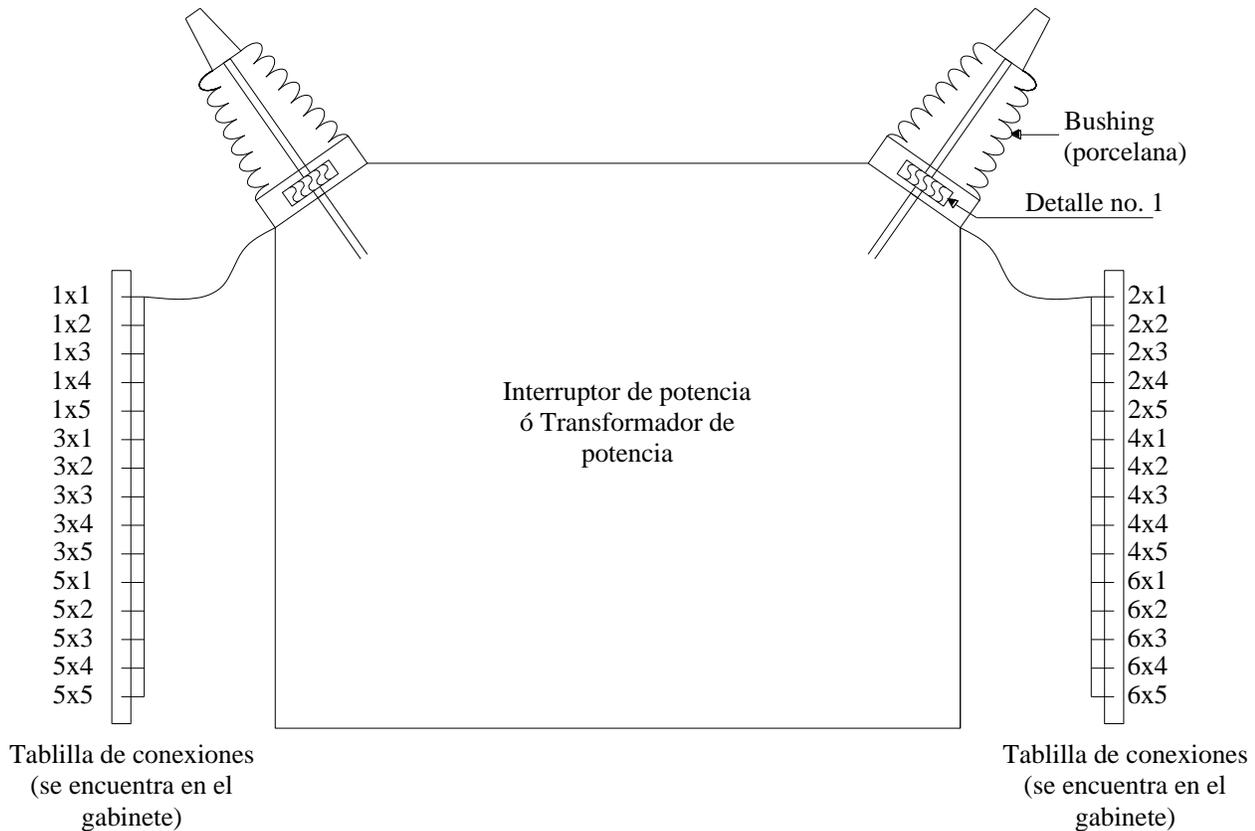


En un diagrama eléctrico se representa de la siguiente forma::



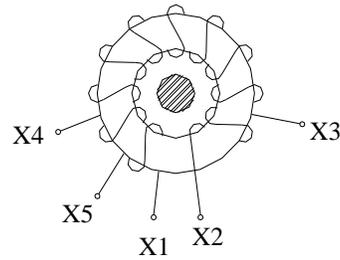
la polaridad va alejada del interruptor

2.- TIPO BOQUILLA (BUSHING): En este caso los devanados primarios de estos T. C son las mismas terminales del transformador de potencia o del interruptor de potencia. Se acepta un error de hasta 10% en este tipo de T. C.



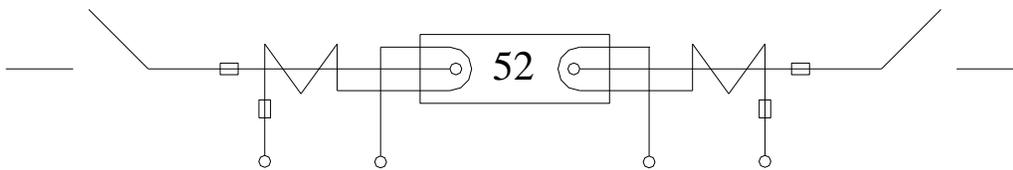
el primario es la terminal de AT que equivale a una vuelta que atraviesa el núcleo

Se está considerando un TC con relación múltiple (5 relaciones).



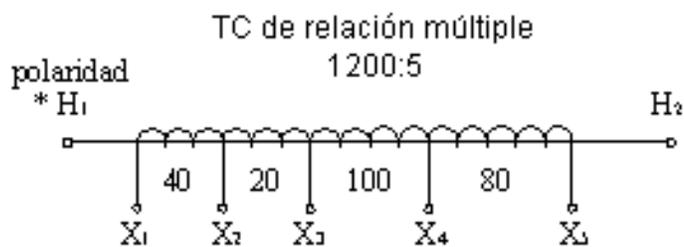
Núcleo del TC.
Detalle no. 1

En un diagrama eléctrico se representa de la siguiente forma:



la polaridad va alejada del interruptor

Ejemplo de análisis de un TC de relación múltiple:



No. de vueltas en el primario = 1 vuelta
No. de vueltas en el secundario = 240 vueltas

En el devanado de Baja Tensión, la terminal de índice menor será el de polaridad.

$$\text{Relación de vueltas: } \frac{N_p}{N_s} = \frac{1}{240}$$



Se sabe que:

Para un TP:

$$\frac{V_p}{N_p} = \frac{V_s}{N_s}$$

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

Para un TC:

$$N_p I_p = N_s i_s$$

$$\frac{I_p}{i_s} = \frac{N_s}{N_p}$$

Por lo tanto, para el T. C. de relación múltiple mostrado en la figura anterior y considerando el devanado secundario completo (terminales X1 y X5):

$$K_{TC} = \frac{I_p}{i_s} = \frac{N_s}{N_p} = \frac{240}{1} = 1200 : 5 \text{ A}$$

Ahora, si se toman las terminales X₄ y X₅ se tiene:

$$I_p = i_s k_{TC} = (5) (80) = 400 \text{ A}$$

$$\therefore k_{TC} (X_4 X_5) = 400:5 \text{ A}$$

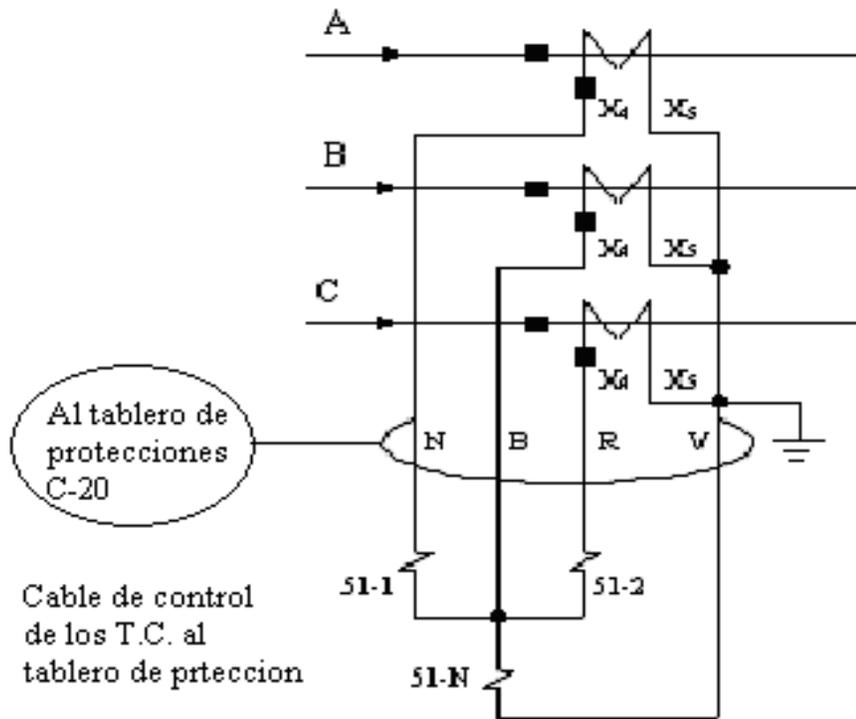
Ahora, si se toman las terminales X₃ y X₄ se tiene:

$$I_p = i_s k_{TC} = (5) (100) = 500 \text{ A}$$

$$\therefore k_{TC} (X_3 X_4) = 500:5 \text{ A}$$

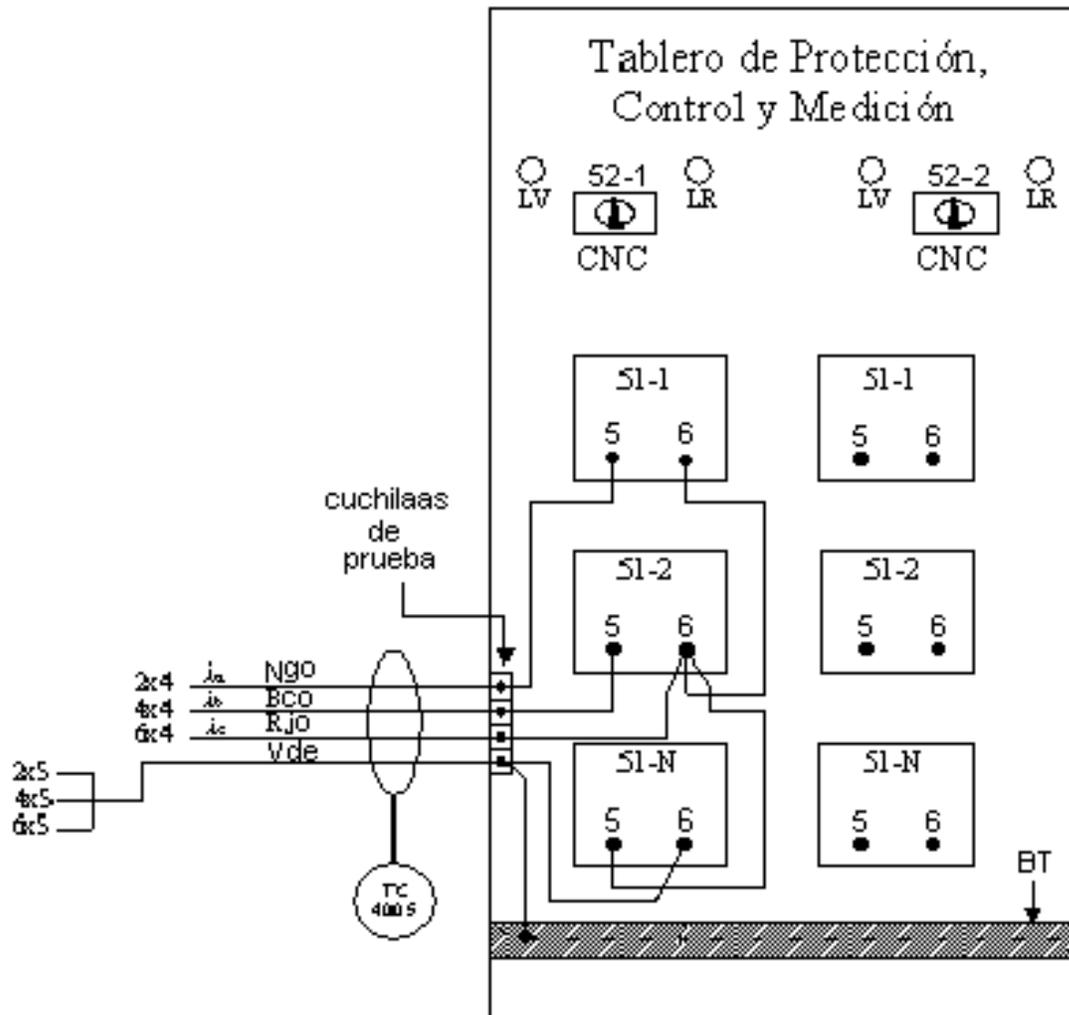
Ejemplo de conexión en estrella para TC TIPO BUSHING usando la relación 400:5

El diagrama sería:



Se toma X₄ y X₅ porque es donde tenemos la relación de 400:5

Conexiones en el tablero:



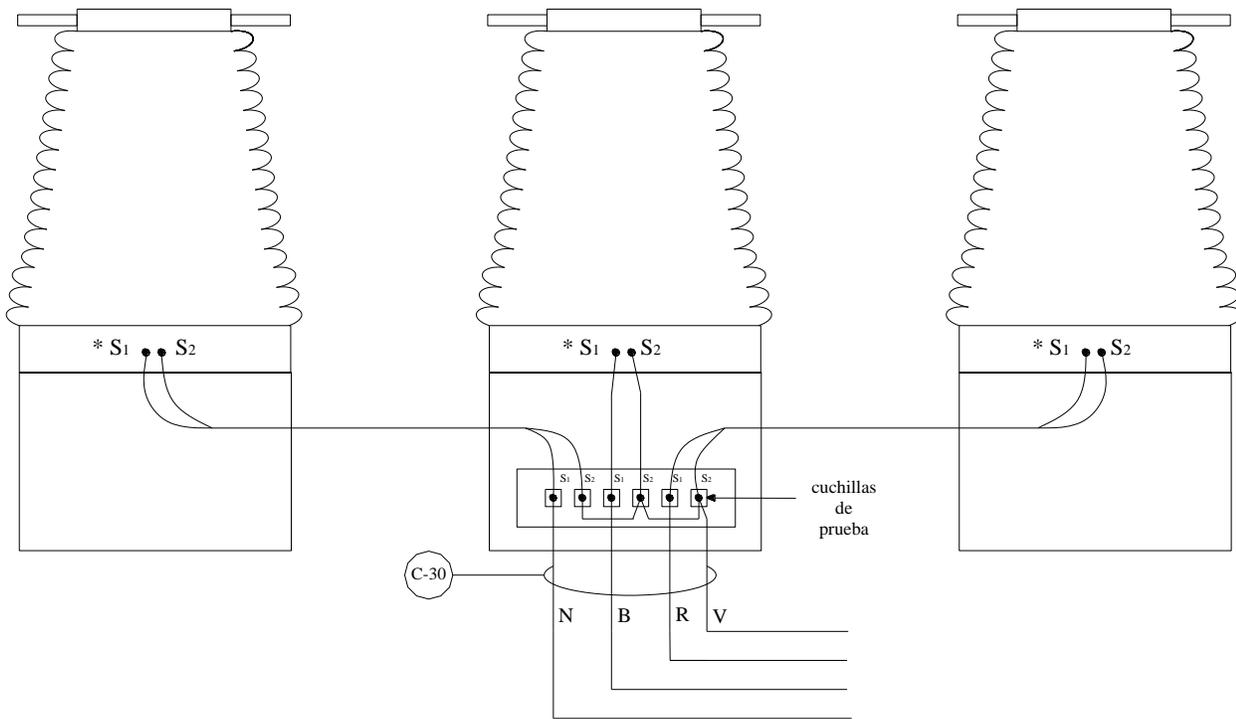
BT = Barra de conexión a tierra (solera de cobre)

Conexión de los secundarios de TC tipo devanado en estrella:

FASE A

FASE B

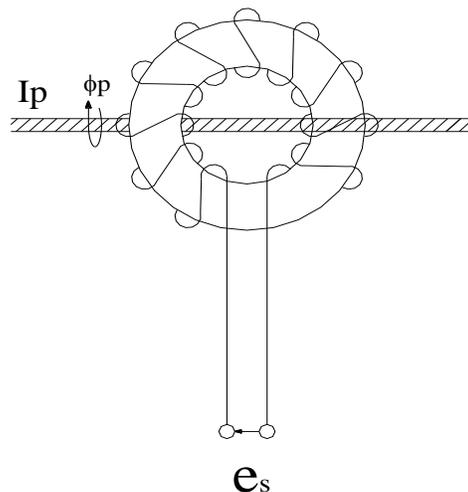
FASE C



N

OTA:

Los devanados secundarios de los TC nunca deben permanecer abiertos, los secundarios que no se utilicen deben dejarse en cortocircuito.



Si se deja abierto el secundario, solo actúa el flujo primario(ϕ_p), no hay un flujo secundario que se oponga o contrarreste al flujo primario y por lo tanto la tensión inducido en el devanado secundario será alto y peligroso.

CLASIFICACION DE TC PARA PROTECCIÓN



ESTA INFORMACION ES SOLO CON FINES EDUCATIVOS



Los TC para protección se clasifican mediante dos símbolos: una letra y la tensión de clase, los cuales definen las características del TC. Las letras de designación pueden ser “C” ó “T” :

La letra “C” indica que la relación de transformación puede ser calculada.

La letra “T” indica que la relación debe ser determinada mediante pruebas.

La clasificación “C” cubre los TC tipo dona o boquilla con el devanado secundario uniformemente distribuido o cualquier otro transformador en el cual el flujo de dispersión en el núcleo tiene un efecto despreciable sobre el error de relación, dentro de los límites de corriente y carga establecidos por la Norma.

Los clasificados “T” cubren la mayoría de los “TC” tipo devanado y cualquier otro transformador en los cuales el flujo de dispersión afecta la relación de transformación en forma apreciable.

Tensión de clase

La tensión en las terminales del secundario o la tensión de clase es la tensión que el transformador entregara a una carga normalizada con 20 veces la corriente nominal secundaria sin exceder el 10% de error de relación.

CLASIFICACIÓN DE TC DE PROTECCIÓN		
Clasificación de la precisión	Tensión secundario (V)	Carga normalizada (Ω)
C10 T10	10	B 0.1
C20 T20	20	B 0.2
C50 T50	50	B 0.5
C100 T100	100	B 1.0
C200 T200	200	B 2.0
C400 T400	400	B 4.0
C800 T800	800	B 8.0

La carga normalizada es la carga máxima que soporta el TC sin rebasar el % de error admisible. Entonces el problema de comprar un TC multi-relacion por ejemplo uno de C800 con relación de 2000:5, si seleccionamos una de las relaciones de 500:5 la tensión secundaria de que soportaría antes de saturarse sería de 200V por lo que la clasificación en realidad bajaría a ser C200

Características del Burden (carga)

Designación	Carga Nominal VA	Características de cargas nominales			
		FP	R (Ω)	L (Ω)	Z (Ω)
B 0.1	2.5	0.9	0.09	0.116	0.1
B 0.2	5	0.9	0.18	0.232	0.2
B 0.5	12.5	0.9	0.45	0.580	0.5
B 1.0	25	0.5	0.5	2.3	1.0
B 2.0	50	0.5	1.0	4.6	2.0
B 4.0	100	0.5	2.0	9.2	4.0
B8.0	200	0.5	4.2	18.4	8.0

$$Z = R + jX_L \quad X_L = 2 \pi f L$$

Ejemplo:

Teniendo un TC C200

Si la tensión secundaria del TC es: $V_{sec. del TC} = Z i$

Si $Z = 2.0 \Omega$

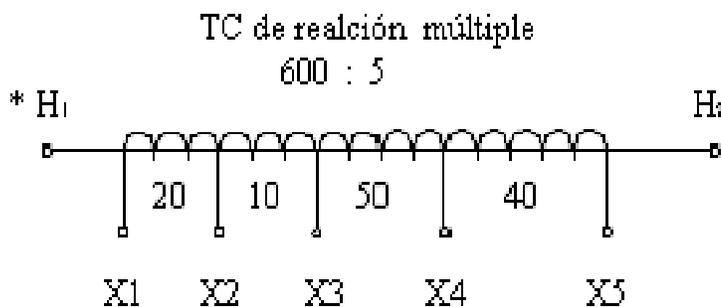
$i = 20 i_s = 20 \times 5$ (20 veces la corriente nominal de 5 amp.)

$$V_{SEC} = Z i = 2.0 \times 20 \times 5 = 200 V$$

NOTA: El TC tipo boquilla es multirrelaciones.

El TC tipo devanado tiene generalmente una sola relación.

Ejercicio: Se tiene un TC multirrelacion 600:5, determinar la relación que se está utilizando cuando se conectan las terminales secundarias X1 X3 y en otro caso X4 X5.



$$K_{TC_{X1-X3}} = \frac{30}{1} = 150 : 5$$

$$K_{TC_{X4-X5}} = \frac{40}{1} = 200 : 5$$

TRANSFORMADORES DE POTENCIAL (TP)

Así como es necesario el uso de TC, también es necesario emplear TP para ciertos relevadores que operan con magnitudes de tensión. El devanado primario del TP se conecta a las terminales del circuito donde el tensión va a ser medido y el devanado secundario suministra una tensión proporcional a la tensión primario en función de su relación de transformación con un ángulo de fase entre ellos cercano a cero.

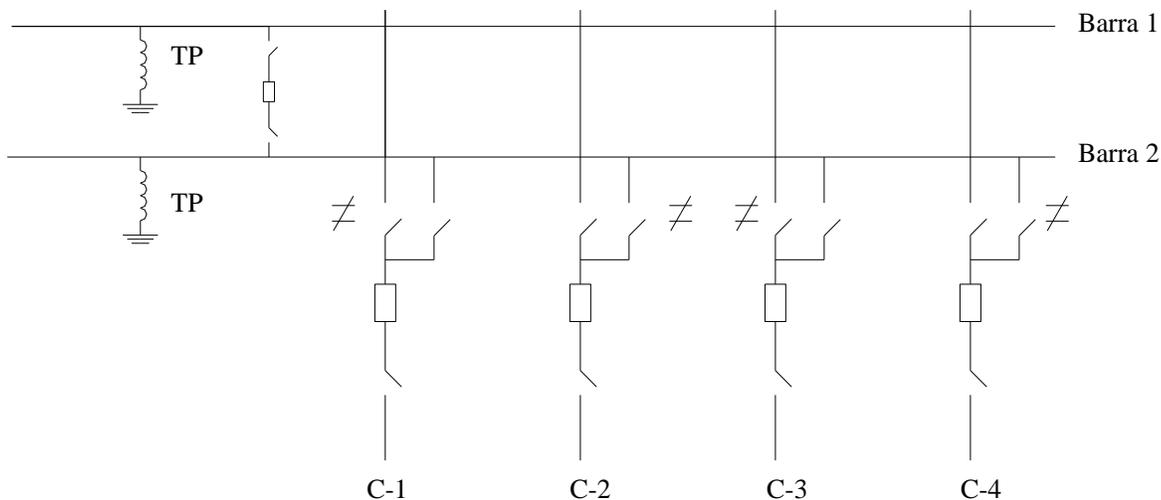
La Norma Nacional define al TP como el transformador diseñado para suministrar la tensión adecuada a los instrumentos de medición y/o aparatos de protección, en el cual la tensión secundaria en las condiciones normales de uso es proporcional a la tensión primaria desfasada respecto a ella un ángulo cercano a cero.

Relación de transformación: Está en función del tensión nominal primario y el tensión nominal secundario, este último es normalmente de $120/\sqrt{3}$ V para protección y $200/\sqrt{3}$ V para medición.

Relación de transformación:

$$K_{TP} = \frac{V_{NP}}{V_{NS}} \quad \text{ó} \quad a = \frac{V_{NP}}{V_{NS}}$$

En el arreglo de doble barra con amarre utilizado para 230 kV, 115KV, 85 kV, 34.5KV, 13.8KV, etc., normalmente se utiliza un juego de TP por barra.



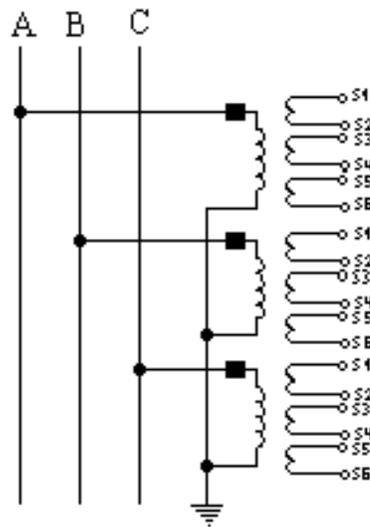
Aquí se muestra este tipo de arreglo, donde el circuito no. 1 está conectado a la barra 1, el circuito no. 2 está a la barra 2, el circuito no. 3 está a la barra 1 y el circuito no. 4 está a la barra 2, esto en condiciones normales de operación.

Lo recomendable es usa un juego de TP por circuito.

Conexión en Estrella de T. P.

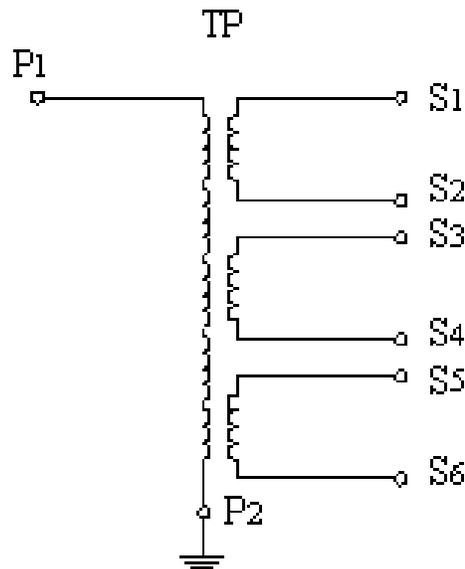
El devanado primario se conecta en estrella para poder tener tensión de fase a neutro y de esta manera en el secundario se puedan reflejar la tensión de secuencia cero.

Conexión de TP en un sistema trifásico

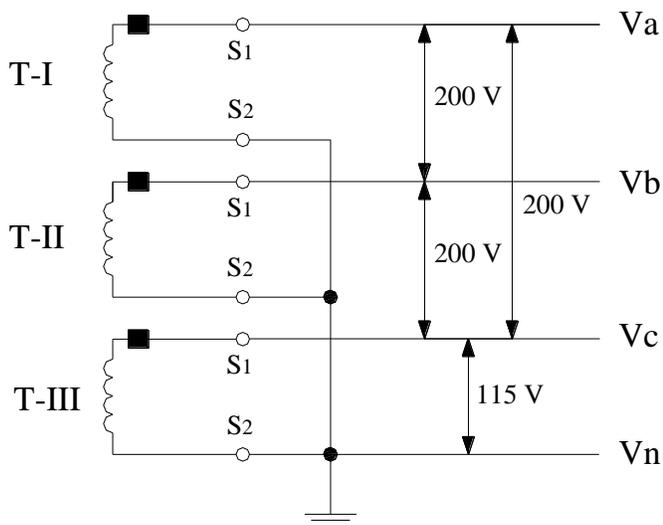


Cada TP tiene 3 devanados secundarios:

- 1°.- Para protección
- 2°.- Para medición
- 3°.- Para protección de fallas a tierra con 3Vo.



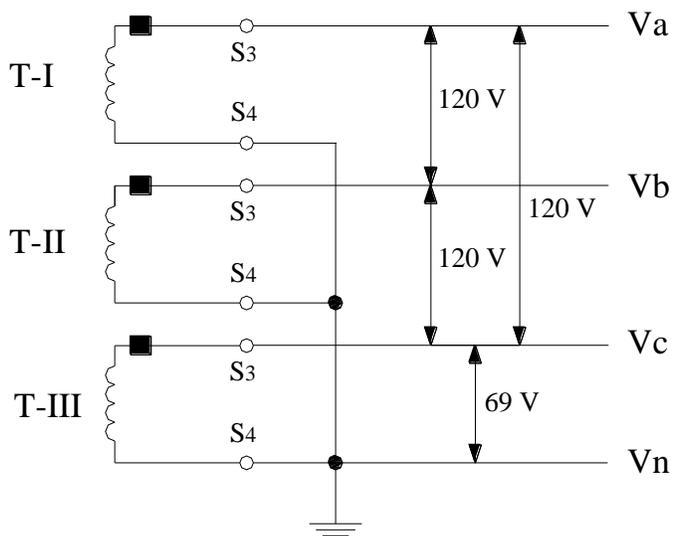
Conexión de los devanados secundarios:



Primer secundario:

Secundario en estrella para polarizar las bobinas de potencial de los instrumentos de medición.

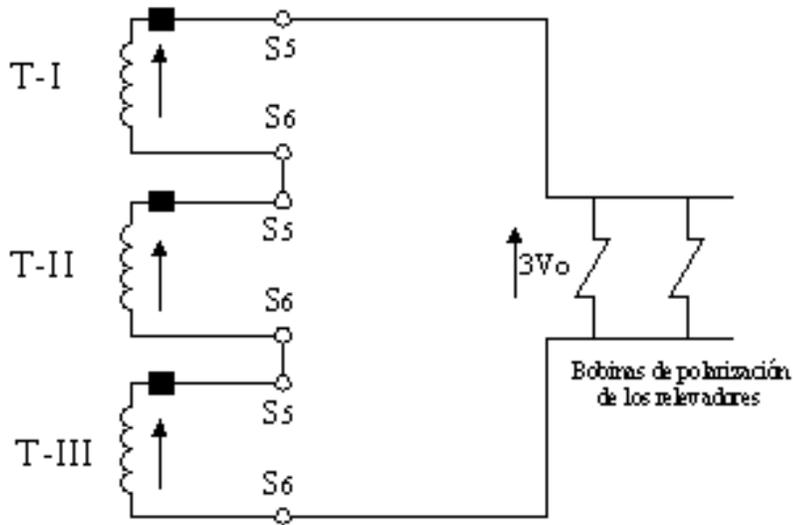
$$V_s = 200 / \sqrt{3} \text{ Volts}$$



Segundo secundario:

Secundario en estrella para polarizar las bobinas de potencial de los relevadores de protección.

$$V_s = 120 / \sqrt{3} \text{ Volts}$$



Tercer secundario:

Conexión en Delta quebrada o Delta rota.

Secundario en delta quebrada para polarizar las bobinas de potencial de los relevadores que detectan fallas a tierra con 3Vo.

Clases de Precisión

Las clases de precisión normalizadas para TP son: 0.3, 0.6 y 1.2 La designación corresponde al máximo error admisible expresado en % que el transformador puede introducir en la medición de potencial operando con su tensión nominal primaria y a su frecuencia nominal.

La clase de precisión especificada debe asociarse con una o varias cargas nominales de precisión.

Cargas nominales de precisión para TP

Carga nominal de precisión VA	Designación equivalente	FP	Características de la carga					
			Secundario 115 V			Secundario 69 V		
			R (Ω)	X (Ω)	I (A)	R (Ω)	X (Ω)	I (A)
12.5	W	0.1	115.2	1146.20	0.104	38.4	38.2	0.18
2.5	X	0.7	403.2	411.26	0.208	134.4	137.08	0.36
75	Y	0.85	163.2	100.99	0.425	54.4	13.66	1.082
200	Z	0.85	61.2	37.87	1.67	20.4	12.62	2.856
400	ZZ	0.85	30.6	18.94	3.33	10.2	6.31	5.362

NOTA: En un TP el dato de placa puede decir: Precisión: 0.6Y, 1.2Z

Ejemplo:

Si se tiene por ejemplo un TP con una precisión 0.6Y, 1.2Z significa que para una carga "Y" tendrá un error de relación y ángulo no mayor de 0.6 %, y si la carga es "Z" su error será de 1.2 %.



ESTA INFORMACION ES SOLO CON FINES EDUCATIVOS



IV CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE RELEVADORES UTILIZADOS EN PROTECCIONES DE SISTEMAS DE POTENCIA

A continuación se muestra un lista de números normalizados que corresponden a relevadores y equipo relacionados con los esquemas de protección, se hará mención de algunos de ellos, en forma breve, con el fin de ir conociendo sus funciones y la forma en que se conectan. En capítulos posteriores se hablará mas específicamente sobre los mas importantes.

NUMEROS NORMALIZADOS USADOS EN DIAGRAMAS ELÉCTRICOS

2	Relevador de retardo de arranque o de cierre
21	Relevador de distancia
25	Verificador de sincronismo
27	Relevador de baja tensión
32	Relevador direccional de potencia
40	Relevador de campo
43	Dispositivo manual de transferencia
47	Relevador de tensión de secuencia de fases
49	Relevador térmico de máquina
50	Relevador instantáneo de sobrecorriente
51	Relevador de sobrecorriente con retardo en la operación
52	Interruptor de potencia
59	Relevador de sobre tensión
62	Relevador de retardo de paro o apertura
63	Relevador que opera con presión de líquido o de gas
67	Relevador direccional de sobrecorriente
68	Relevador de bloqueo
74	Relevador de alarma
79	Relevador de recierre
81	Relevador de frecuencia
86	Relevador de bloqueo sostenido (operado en forma permanente)
87	Relevador de protección diferencial
89	Cuchilla desconectadora accionada eléctricamente

2 Relevador de retardo de arranque o de cierre

62 Relevador de retardo de paro o de apertura

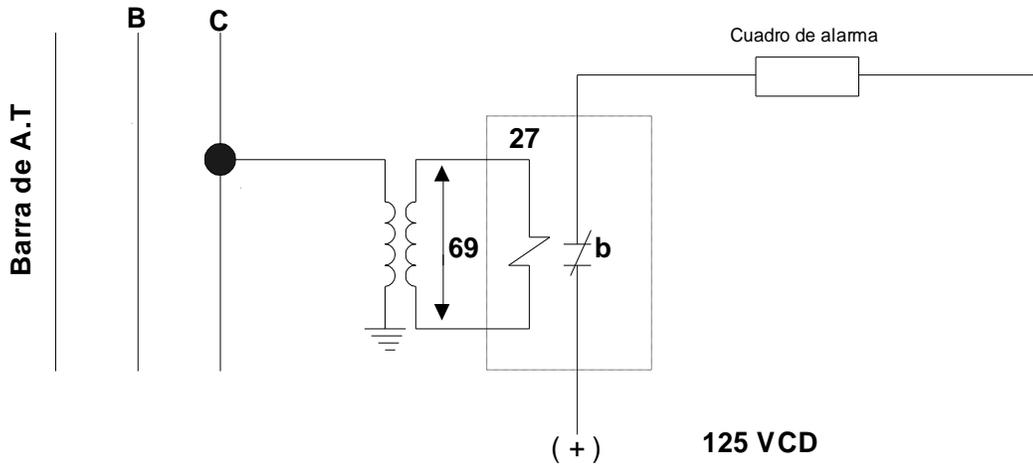
El 2 y el 62 son temporizadores, antiguamente se utilizaban mecanismos de relojería para dar un cierto retardo en la operación de algunos relevadores. Actualmente se utilizan unidades en estado sólido.

27 Relevador de bajo tensión

59 Relevador de sobre tensión

El 27 es un relevador de baja la tensión y el 59 es un relevador de sobre tensión. El 27 se usa para enviar señales de alarma de baja tensión.

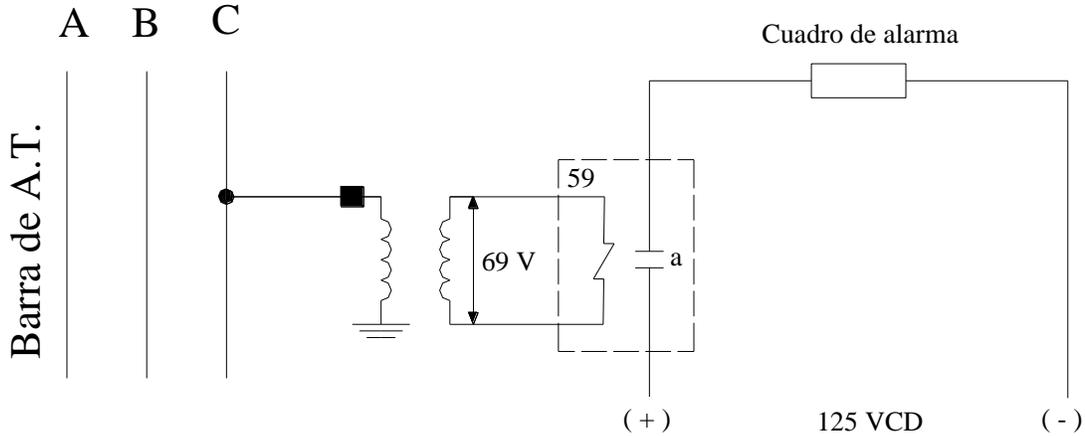
Conexión del relevador de baja tensión (27)



$V_{\text{nominal}} = 69 \text{ V}$
 $V_{\text{operación}} = 90\% V_n = 62.1 \text{ V}$ ← debe enviar la alarma cuando la tensión sea menor de este valor.

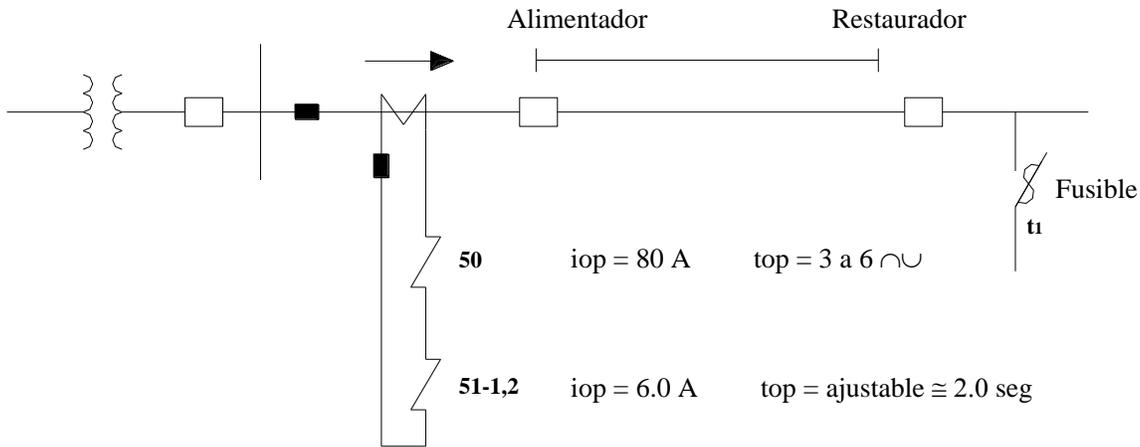
Conexión del relevador de sobre tensión (59)

El 59 se usa para enviar señales de alarma de sobre tensión.

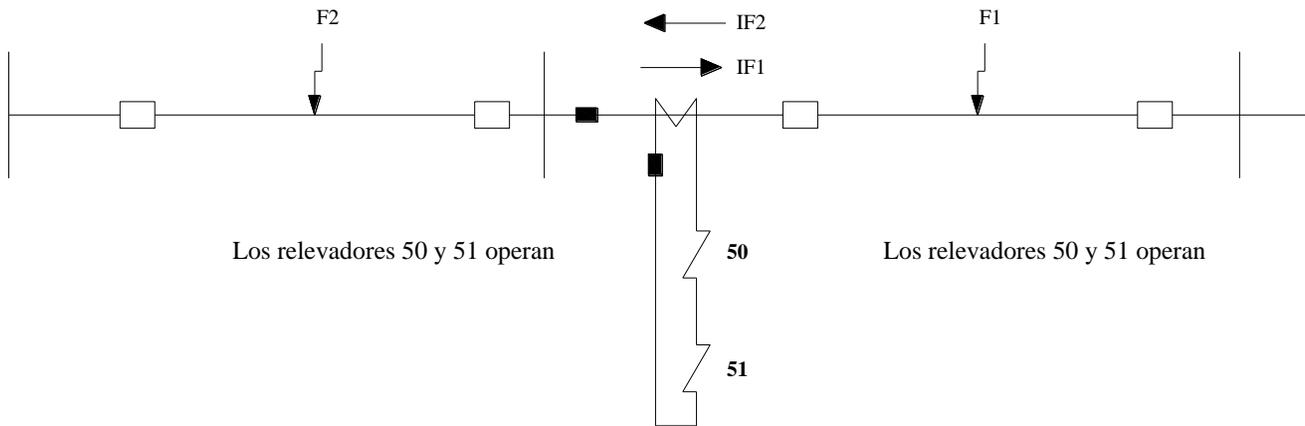


$V_{\text{nominal}} = 69 \text{ V}$
 $V_{\text{operación}} = 110\% V_n = 75.9 \text{ V}$ ← debe operar y enviar señal de alarma cuando la tensión sea mayor de este valor.

- 50** Relevador de sobrecorriente instantáneo
- 51** Relevador de sobrecorriente con retardo en la operación



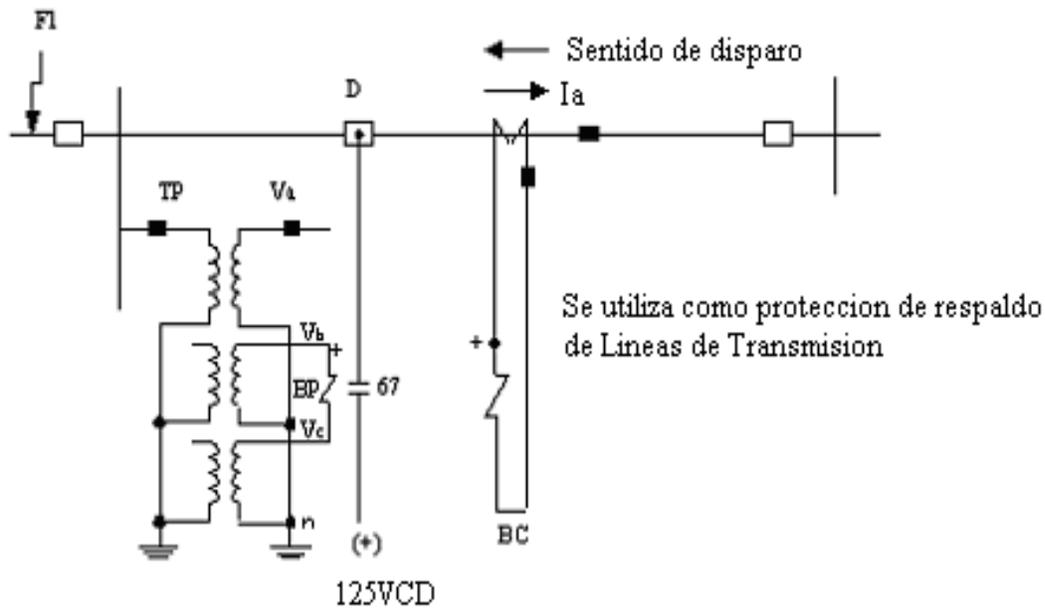
Detectan únicamente la magnitud de la corriente.
Se utilizan en circuitos radiales, la potencia se transmite en un solo sentido, no hay regreso.



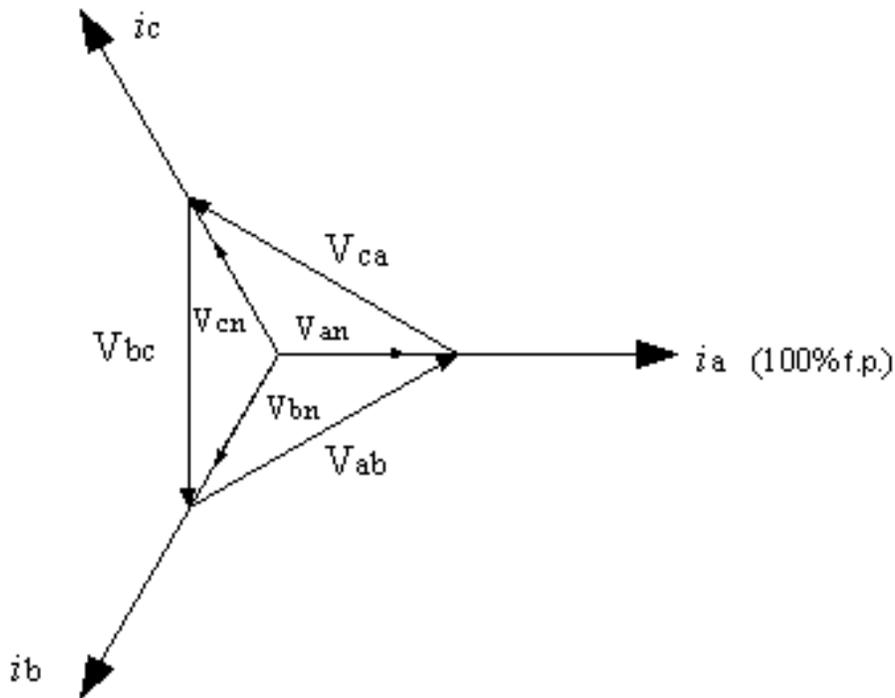
No detectan el sentido en que fluye la potencia

Estos relevadores operan con falla adelante o atrás de los puntos en que están instalados porque únicamente son sensibles a la magnitud; por lo que es conveniente utilizarlos únicamente en circuitos radiales.

67 Relevador direccional de sobrecorriente



Para protección de sobrecorriente direccional de líneas se utiliza la conexión de 90°



Si el relevador 67 está recibiendo la corriente i_a , se le debe suministrar a su bobina de potencial la tensión que se encuentra a 90° de dicha corriente, es decir, V_{bc}

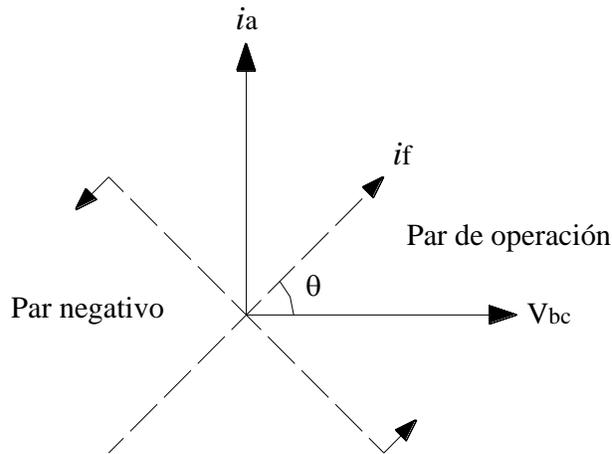
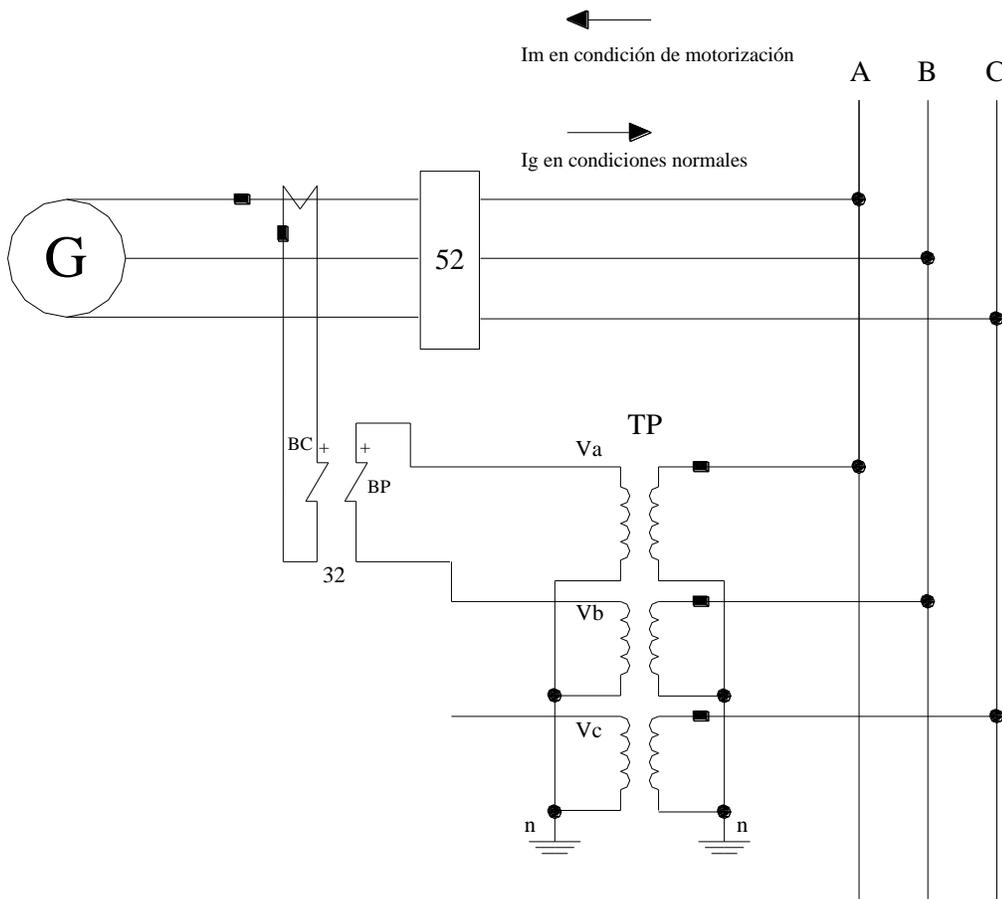


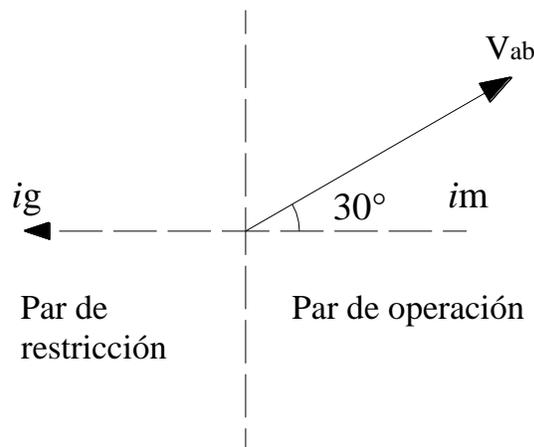
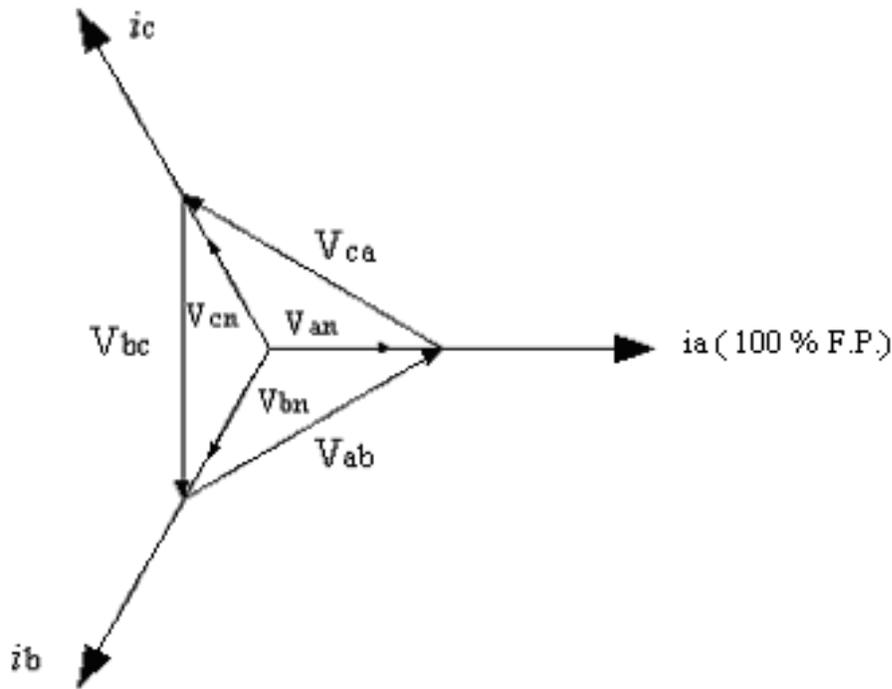
Diagrama fasorial que indica la tensión y la corriente que alimentan al relevador 67

32 Relevador direccional de potencia



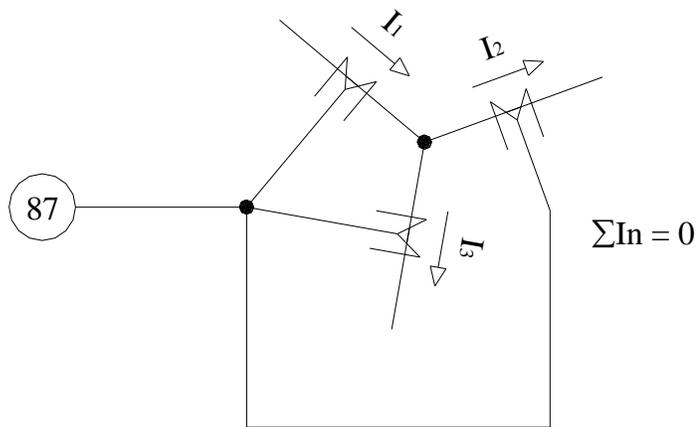
Este relevador utiliza la conexión 30° y se usa para proteger al generador contra la motorización.

BC Bobina de corriente
BP Bobina de potencial



Si el relevador está recibiendo la corriente de la fase A(i_a) , la bobina de potencial debe conectarse al tensión V_{ab} que se encuentra a 30° de dicha corriente y este ángulo es el que debe ver el relevador en el momento de la motorización del generador, para que opere correctamente

87 Relevador de protección diferencial



Para que el relevador no opere se debe de cumplir la condición de que la corriente en el punto neutro sea cero, esto es en condiciones normales. En condiciones de falla esta condición no se cumple y el relevador detecta diferencia de corrientes y operara.

Protección diferencial de barras

A continuación se muestra el diagrama de conexiones para la protección diferencial de barras, este diagrama muestra las condiciones normales de operación (no hay falla). En donde a los circuitos no. 1 y no. 2 se les alimenta con una corriente de 600 A respectivamente, el circuito no. 3 alimenta una carga con 400 A y el circuito no. 4 con 800 A.

Las relaciones de transformación de los TC deben de ser iguales en todos los circuitos, aquí se usan TC relación 1200:5

En base a esta relación de transformación se calculan las corrientes secundarias en los TC.

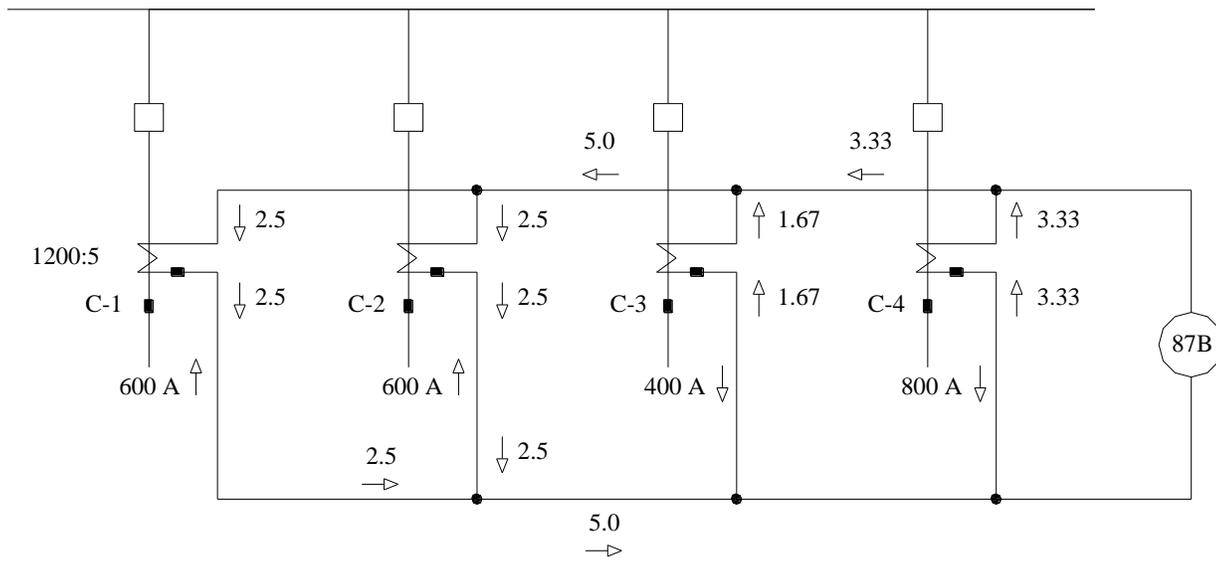
$$kTC_1 = kTC_2 = kTC_3 = kTC_4 = 1200:5 = 240:1$$

$$i_1 = i_2 = \frac{600}{240} = 2.5 \text{ A}$$

$$i_3 = \frac{400}{240} = 1.67 \text{ A}$$

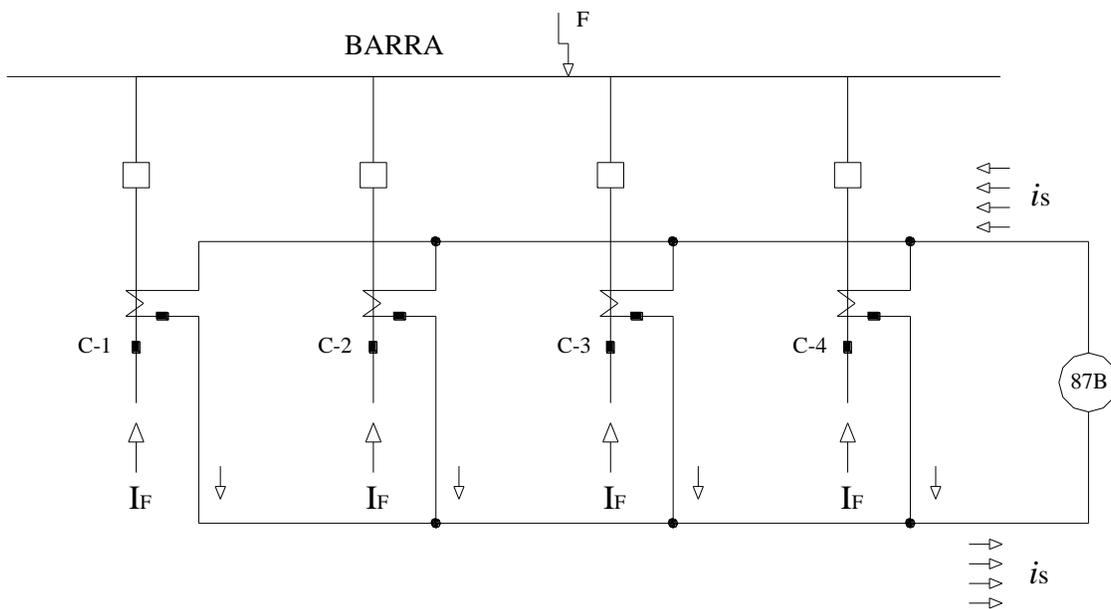
$$i_4 = \frac{800}{240} = 3.33 \text{ A}$$

BARRA



Condiciones normales de operación

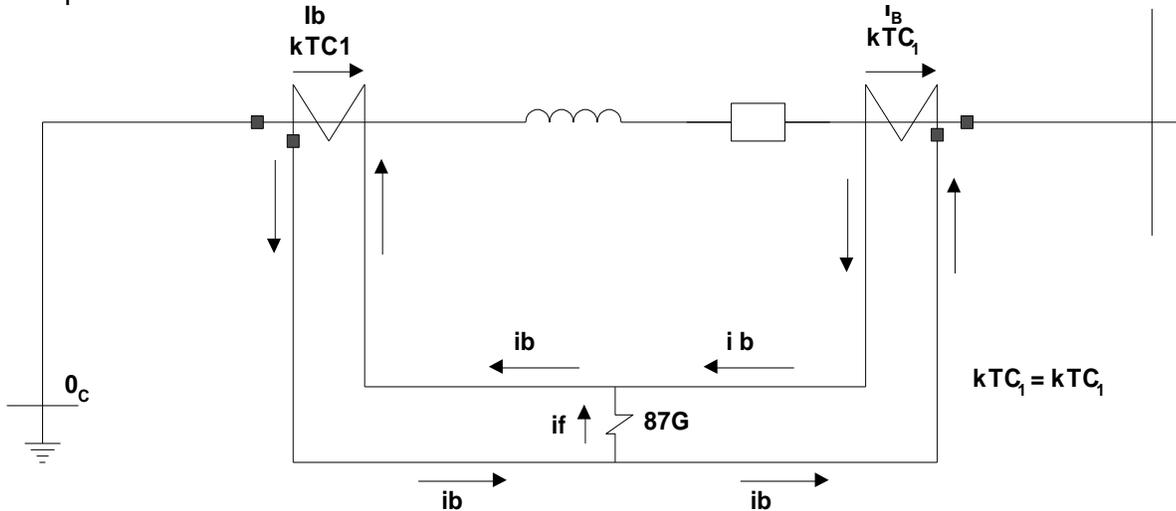
Ahora se muestra el diagrama en condiciones de falla en la barra, en donde todas las corrientes de los circuitos adquieren el mismo sentido ya que alimentaran a la falla en la barra, por lo tanto las corrientes secundarias de los TC también adquieren un mismo sentido y hacen que al sumarse el relevador opere pues esta corriente es mayor a la establecida en condiciones normales.



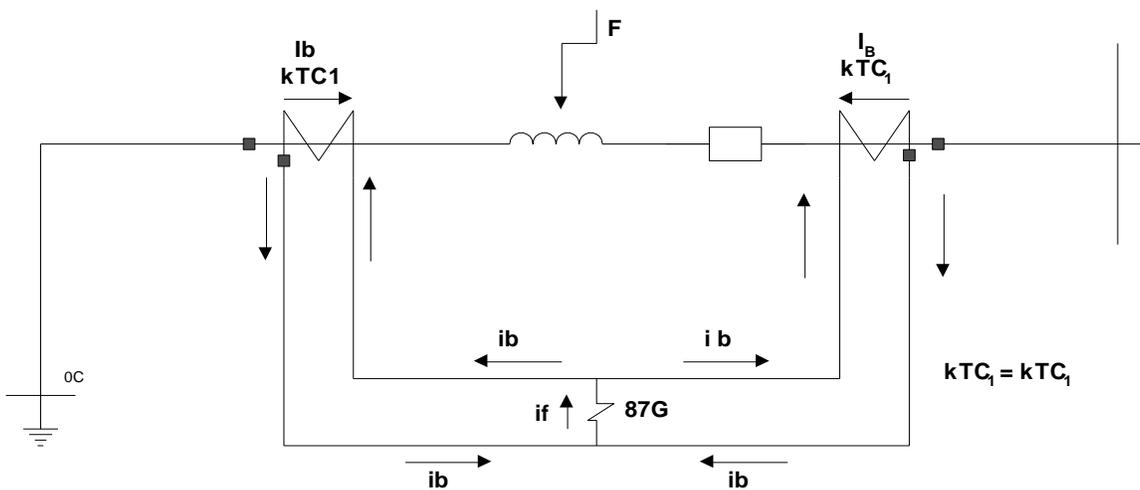
Condiciones de falla

Protección Diferencial del generador

En el diagrama el circuito que se protege es una fase del inducido de un generador. En condiciones normales las corrientes de los secundarios de los dos TC circulan en el mismo sentido. No circula corriente por la bobina de operación 87G y el relevador no opera. Se utilizan las mismas relaciones de transformación para los dos TC para que las corrientes secundarias se comparen adecuadamente.



Ahora en condiciones de una falla, las corrientes tienen sentidos opuestos y el relevador opera. Se observa que aparece una corriente diferencial i_f que pasa por el relevador, esta es la suma de las corrientes que se inducen en los secundarios.

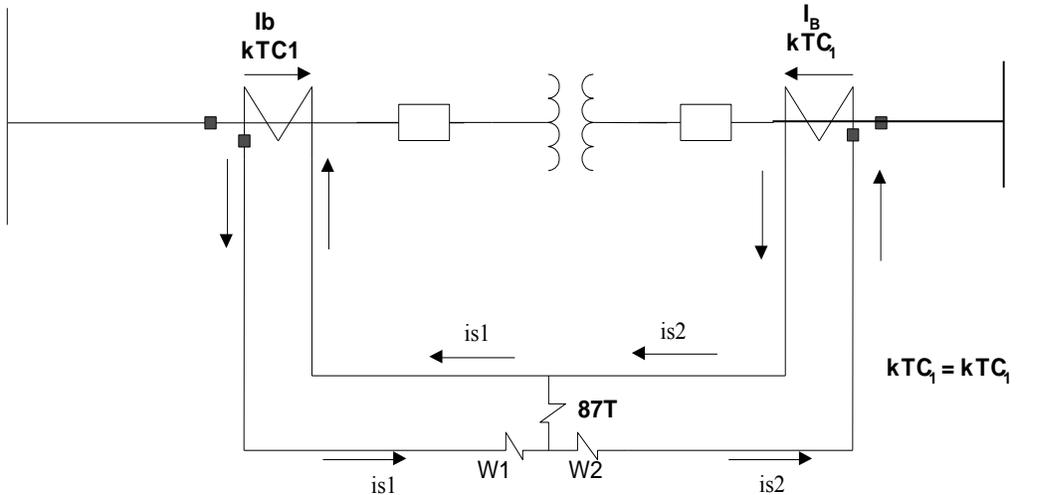


En la práctica, el relevador diferencial lleva además de la bobina de operación, bobinas de restricción, de esta manera la magnitud de operación no tiene que ajustarse a un valor fijo, sino que es un porcentaje de la corriente total que circula por las bobinas de restricción; para que no opere con fallas severas externas y si opere con fallas internas de baja magnitud. A este relevador se le llama relevador diferencial de porcentaje.

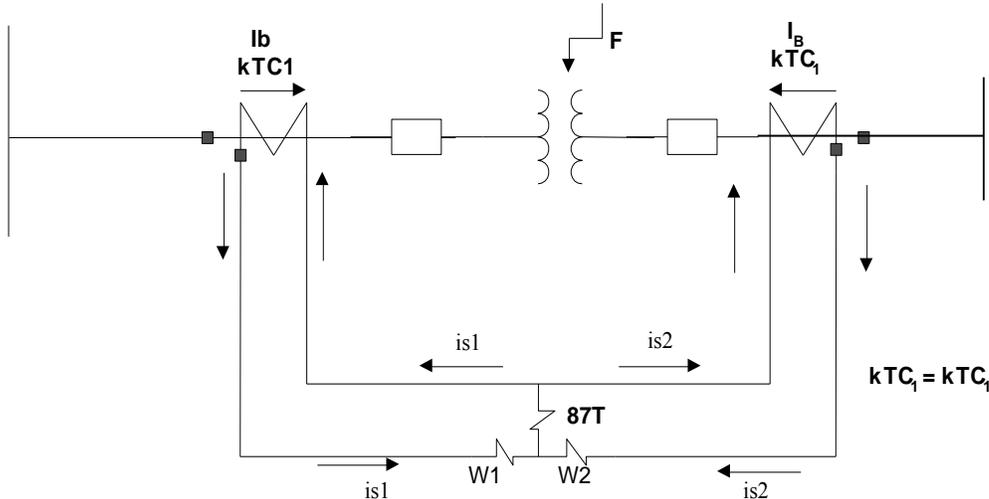
Protección diferencial del transformador

El principio de operación de esta protección es el mismo que la protección 87 del generador, pero las bobinas de restricción se conectan a través de T. C. auxiliares que tienen taps de ajuste los cuales

serven para compensar la diferencia de corrientes inducidas en los secundarios de los TC, ya que en esta protección se utilizan diferentes relaciones de transformación porque se tiene diferente corriente del lado primario con respecto al lado secundario en el transformador de potencia. Lleva además un filtro de segunda armónica que sirve para evitar una operación incorrecta cuando se excita el transformador, lo cual se verá mas a fondo en protección de transformadores.

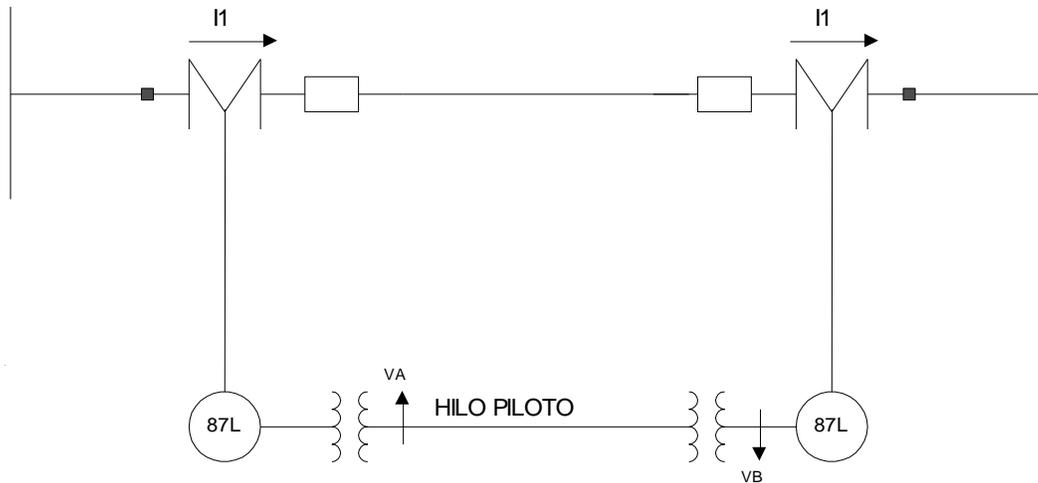


A continuación se presenta el diagrama en condiciones de falla, donde las corrientes inducidas en los TC cambian de dirección (TC_2) ya que en el lado primario se tiene un cambio en el sentido de la corriente por alimentar a la falla.

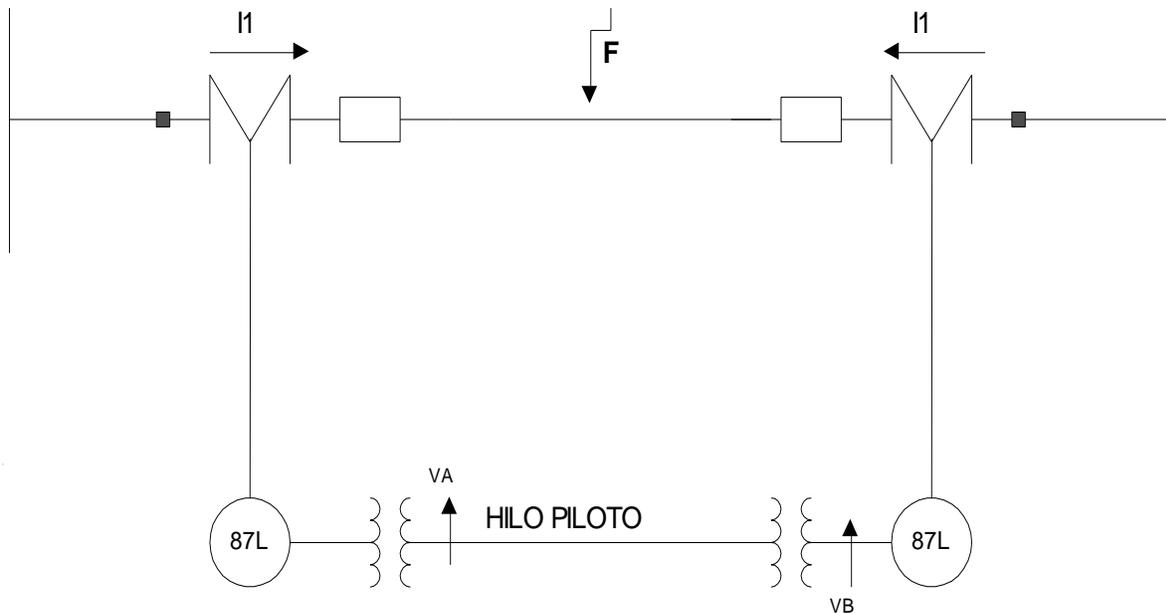


Protección diferencial de línea de transmisión.

En condiciones normales de operación se tiene la misma corriente a través de la línea y tiene el mismo sentido, para esta protección se necesitan dos relevadores 87L conectados entre si por un hilo piloto que sirve como medio de comunicación, también podría ser fibra óptica.

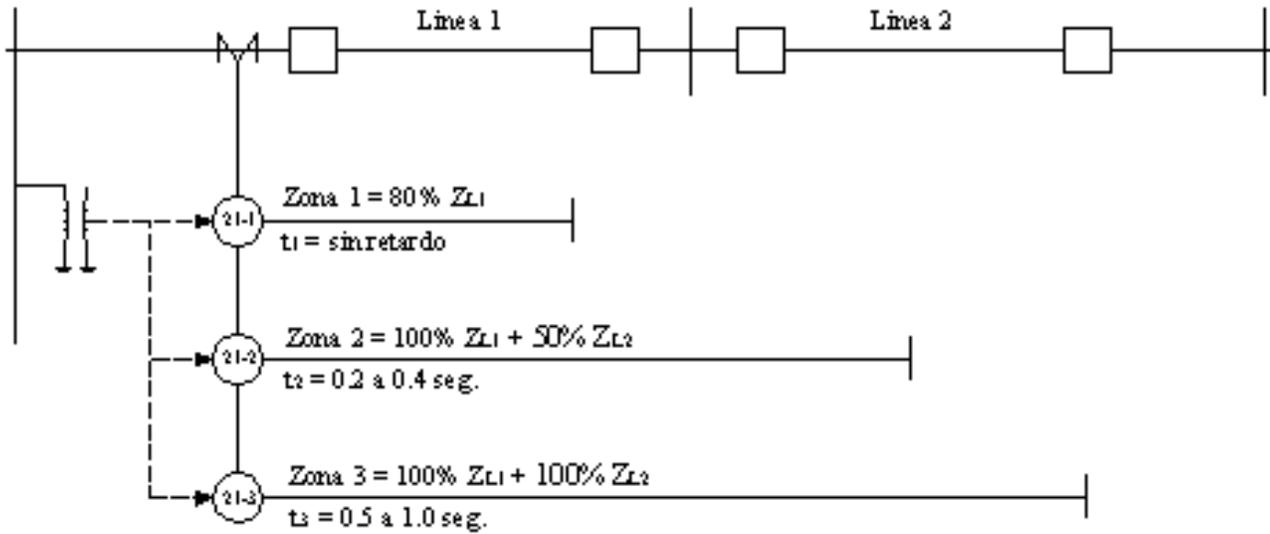


En condiciones de falla, las dos terminales de la línea alimentan el punto de falla, el sentido de la corriente de una de las terminales se invierte. Los relevadores detectan la falla y mandan señal de disparo a los interruptores.



21 Relevador de distancia

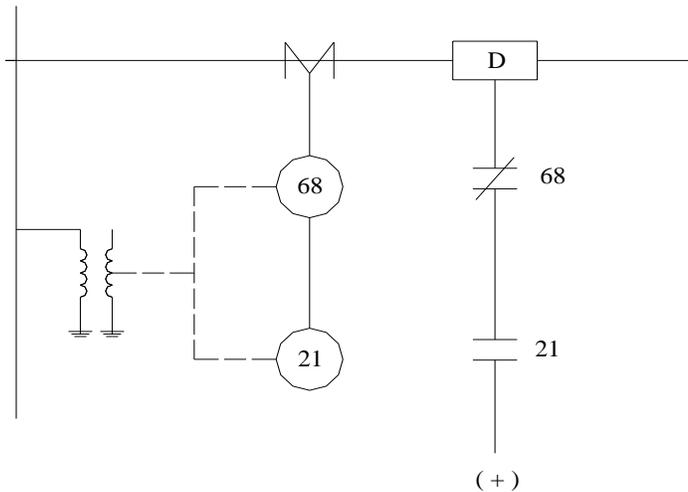
Generalmente se utiliza como protección primaria y de respaldo de líneas de transmisión. Se calibra en función de la impedancia de la línea (en base a esta es su ajuste). Esta protección recibe señal de corriente y de potencial, como se ve en la figura.



siendo $Z = \frac{V_s}{i_s}$

68 Relevador de bloqueo

Este es un relevador de bloqueo de disparo y se conecta en serie con el relevador 21 (Rel. de distancia). En caso de falla cierra el 68, y en caso de que no sea falla el 68 abre para bloquear la acción del 21.



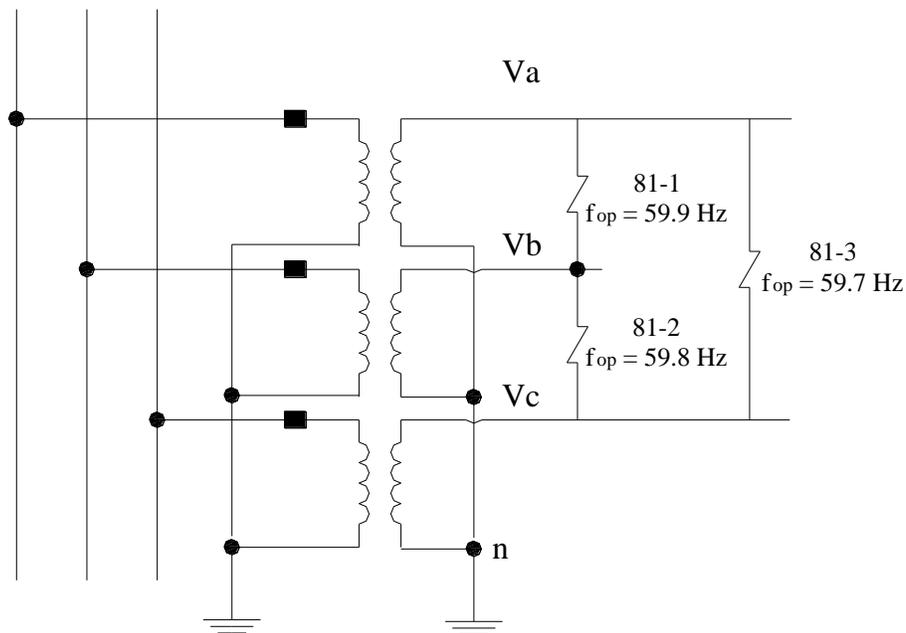
81 Relevador de frecuencia

Se utiliza en el esquema de tiro de carga por baja frecuencia.

El relevador se alimenta con tensión, pero es sensible a la frecuencia. Para operación normal debe haber relación (equilibrio) entre generación y carga (en kVA).

$$kVA_G = kVA_{CARGA} + \text{Pérdidas}$$

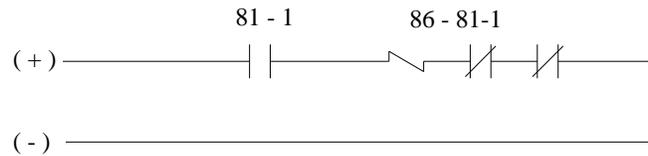
Si aumenta la carga y no se compensa con una mayor generación, la frecuencia baja y se puede llegar a la pérdida de sincronismo de los generadores provocando el colapso de todo el sistema. Las bobinas de los relevadores se conectan a los secundarios de los T. P. Cuando operan, envían señales a un relevador auxiliar 86 (Relev, de bloqueo sostenido) y éste es el que envía señal de disparo a los alimentadores.



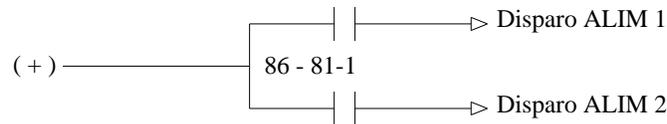
Se muestra que cada relevador está ajustado para frecuencias distintas, así, el primer relevador que operará será el 81-1 porque cuando la frecuencia baje 0.1 Hz (59.9 Hz) en ese momento este relevador actuará, le sigue así el relevador 81-2 si es que la frecuencia sigue bajando y llega a 59.8, y si la frecuencia continua bajando hasta 59.7 Hz entonces operará el 81-3.

Analizando los contactos de cada uno de los relevadores se observa que por cada relevador que actúa se deja fuera de operación a dos Alimentadores, esto es, se está desconectando carga con la finalidad de recuperar la frecuencia del sistema.

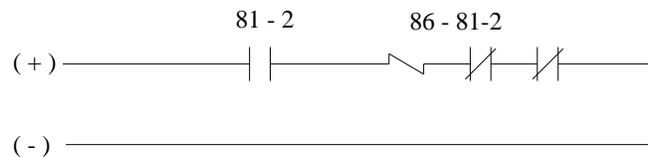
Contacto del 81 - 1



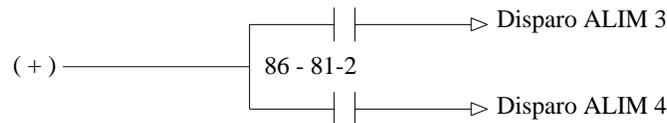
a través de su auxiliar "a"



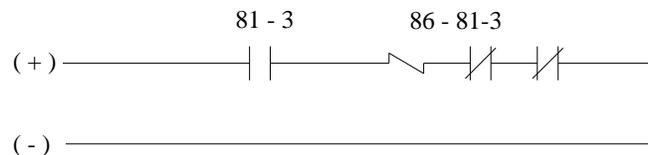
Contacto del 81 - 2



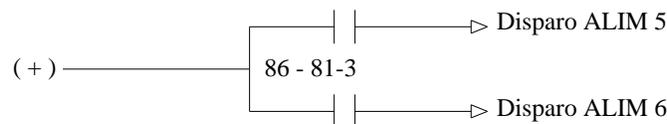
a través de su auxiliar "a"



Contacto del 81 - 3



a través de su auxiliar "a"



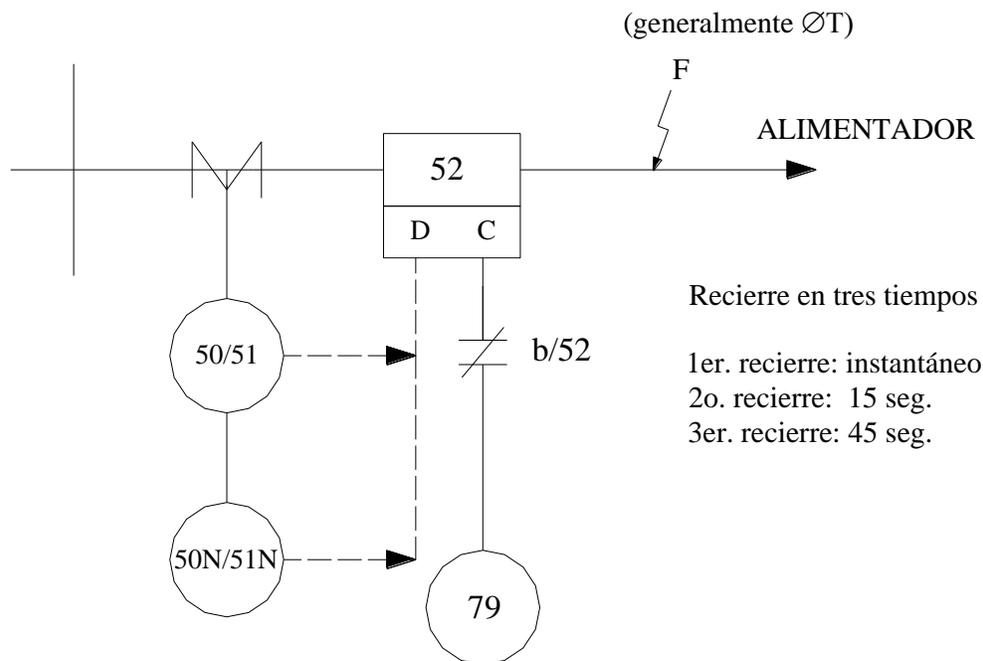
79 Relevador de recierre

Se utiliza generalmente en alimentadores aéreos.

En alimentadores subterráneos no hay recierre porque si falla es que falla el aislamiento, estas son fallas permanentes y se tiene que revisar el alimentador y reparar la falla.

Los alimentadores aéreos si tiene recierre, generalmente tienen tres.

Cuando hay falla actúa el 51, abre el interruptor y su contacto auxiliar "b" cierra, entonces actúa el 79 para su recierre que envía señal al interruptor.



V PRINCIPIO DE OPERACIÓN DE LOS RELEVADORES DE PROTECCIÓN

Los relevadores de protección para Sistemas Eléctricos de Potencia están formados por una o más unidades de decisión o detectores de falla, además de los circuitos lógicos y unidades auxiliares que necesitan. Debido a que varios de estos detectores de fallas se usan en diferentes relevadores, reciben el nombre de unidades básicas, los cuales se clasifican en tres categorías:

1. Unidades electromecánicas
2. Redes de secuencia
3. Unidades de estado sólido.

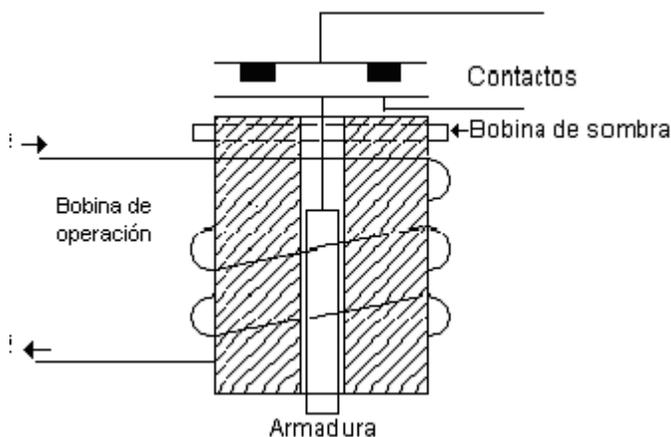
1.- UNIDADES ELECTROMECAÑICAS

Se dividen en dos grupos:

a).-Unidades de atracción electromagnética.

1.- Unidad tipo solenoide

Esta unidad se forma de un material magnético en forma cilíndrica y en el centro tiene una abertura donde está el núcleo, es un vástago que lo detiene un resorte por abajo y en la parte de arriba están los contactos. Este vástago se puede ajustar para seleccionar la corriente de operación.

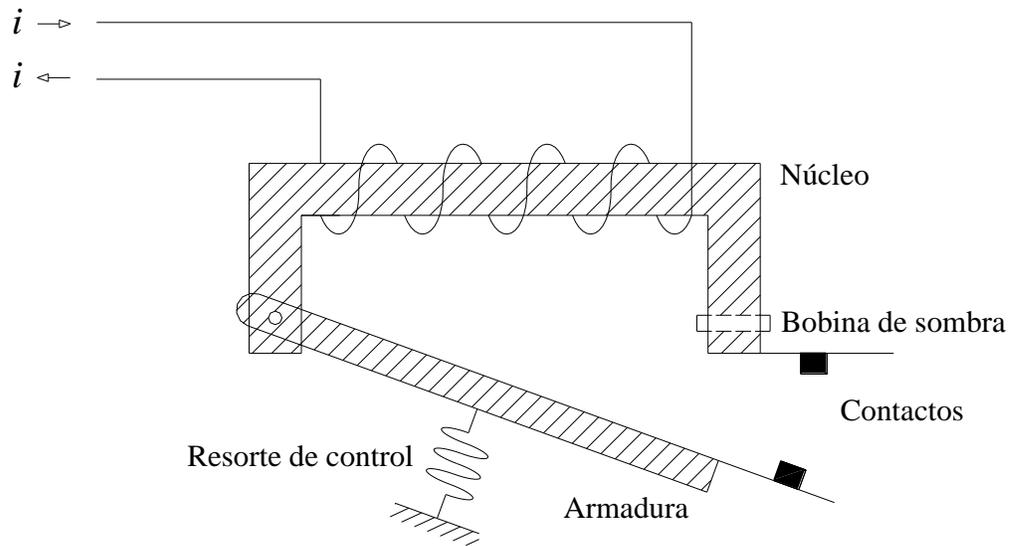


Cuando se rebase la corriente mínima de operación, la fuerza de atracción será suficiente para que la armadura suba y cierre los contactos.

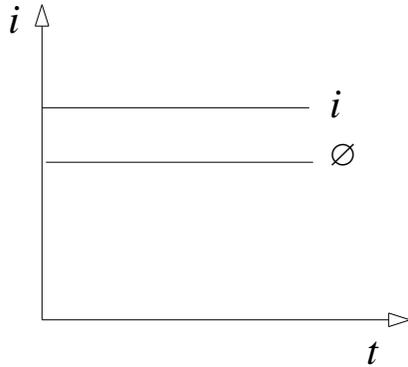
Tiempo de operación: instantáneo (de 3 a 6 ciclos).

2.- Unidad tipo atracción de armadura

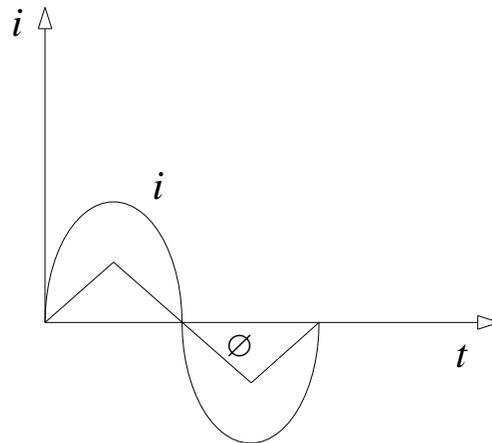
Funciona de la siguiente manera, si la i produce un flujo tal que se produzca un polo norte (N) y un polo (S) se atraerán los contactos venciendo al resorte.



Estos se alimentan con corriente directa (CD) porque el flujo y por lo tanto la fuerza de atracción son constantes. En corriente alterna (CA) hay vibración cuando el flujo pasa por cero, para evitar esto se usan los anillos de sombra (se usan solo cuando se alimentan con CA)



Funcionamiento en CD



Funcionamiento en CA

La bobina de sombra (que está en cortocircuito) produce también un flujo el cual está defasado con respecto al principal. Esta bobina hace que cuando el \emptyset principal pase por cero el flujo "auxiliar" evita la vibración.

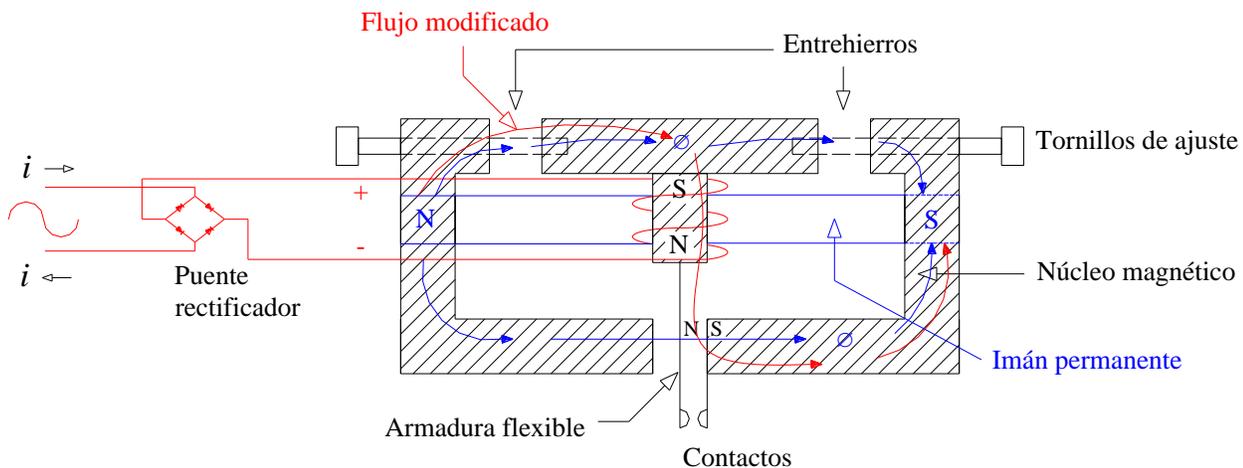
- Si se quiere que opere con potencial la bobina será con cable fino y muchas vueltas para que se puede generar el flujo.

- Si se quiere que opere con corriente (a través de TC) la bobina será con cable grueso y pocas vueltas.

3.- Unidad Polar

Esta unidad opera con CD aplicada a una bobina devanada alrededor de una armadura que se encuentra en el centro de una estructura magnética. Un imán permanente que atraviesa la estructura polariza los polos de la armadura. Dos entrehierros localizados en la parte posterior de la estructura magnética se puentean con 2 tornillos magnéticos ajustables para modificar el flujo magnético y calibrar el extremo flexible de la armadura.

Estas unidades son muy sensibles, de alta velocidad y bajo consumo de energía.



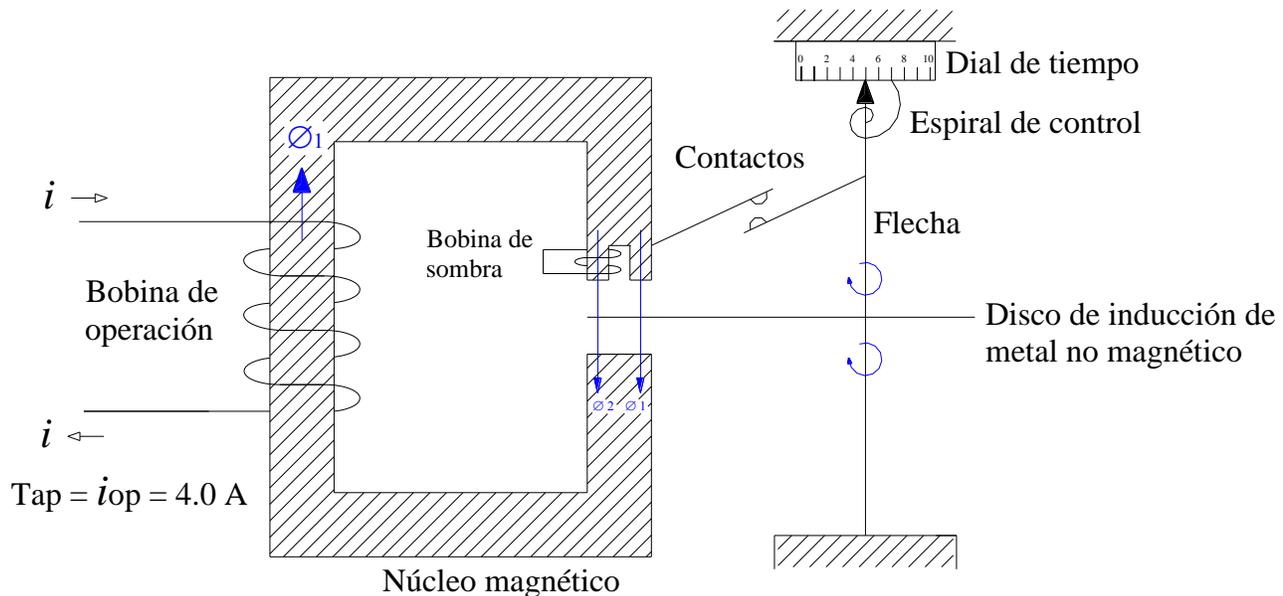
En condiciones normales la armadura está equilibrada, en condiciones de falla en la armadura se crea un polo norte (N) y polo sur (S) debido a la corriente de la bobina. La armadura flexible actúa como polo norte y es atraída por el polo sur cerrando los contactos, de esta forma actúa el relevador.

b).- Unidades de Inducción Electromagnética

Operan en base al principio de un motor de inducción.

1.- Unidad de disco de inducción.

Tiene retardo intencionado en la operación.



Si el dial = 0 está cerrado, y si el dial = 10 es la máxima abertura para el tiempo.

La bobina de sombra es una pequeña bobina en cortocircuito. En esta se induce una tensión pero como está en cortocircuito produce una corriente que genera un flujo ϕ_2 .

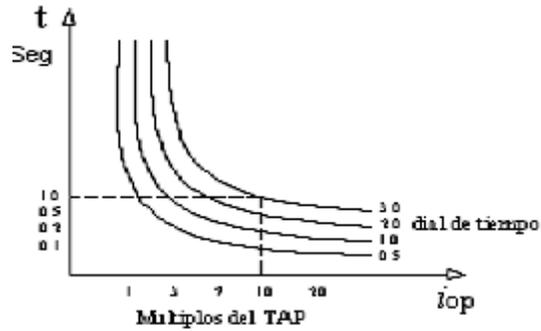
Para que exista el par motor se necesitan dos flujos variables

$$\text{Par motor} = T \propto \phi_{1\text{max}} \phi_{2\text{max}} \sin \theta$$

Por la acción de estos dos flujos se produce un par resultante que hace que gire el disco y cierre los contactos, siempre y cuando se rebase la corriente mínima de operación i_{op} .

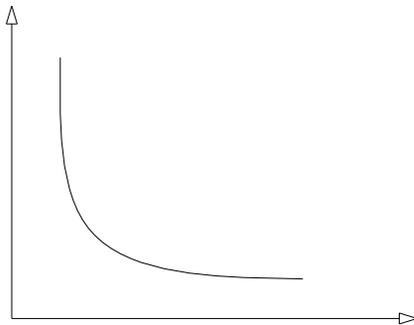
Habiendo operado el relevador, la espiral de control sirve para regresar al disco a su posición original una vez que ya no hay corriente de operación.

Característica de operación.

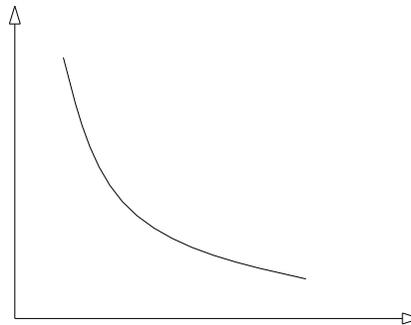


Característica de tiempo inverso

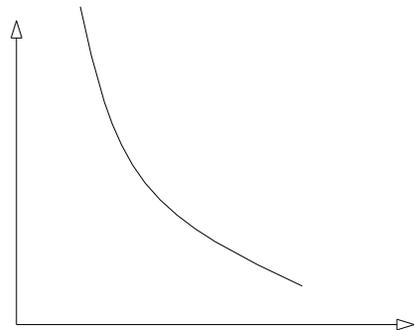
Mientras la i_{op} sea mas grande, el flujo será mayor y los contactos cerraran mas rápido.



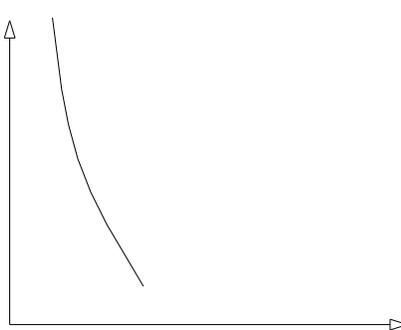
Tiempo definido, si la i_{op} aumenta el t es constante



Tiempo inverso, el t varia con respecto a la i_{op}



Tiempo muy inverso



Tiempo extremadamente inverso

Par de operación = T

$$T = k_1 I^2 - k_2$$

donde: k_1 = Constante de conversión

I = Corriente de operación

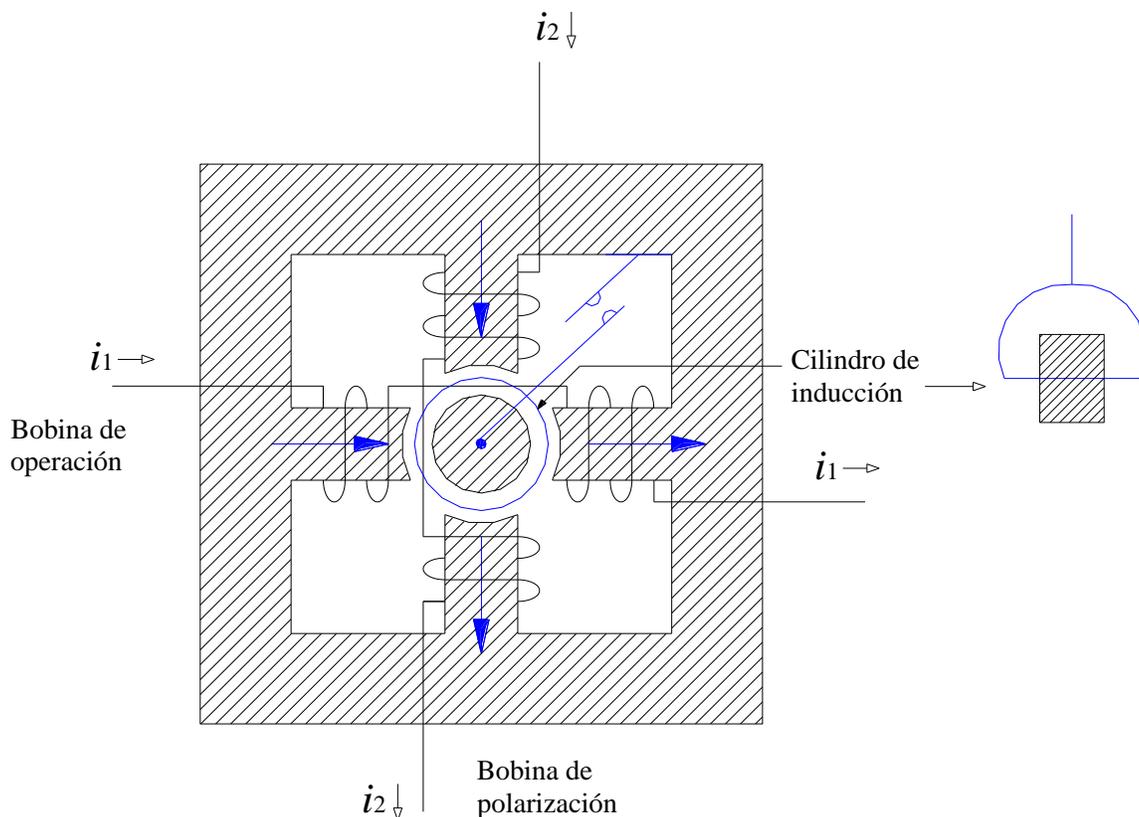
K_2 = Par de restricción debido a la espiral de control.

Bajo este principio de funcionamiento opera generalmente la protección 51, se alimenta con una magnitud de corriente únicamente.

2.- Unidad de cilindro de inducción

Estas unidades son de operación instantánea y no ven magnitud de sobrecorriente, trabajan con dirección de corriente.

Tienen un núcleo magnético cilíndrico y sobre éste va montado el cilindro de inducción.



Sobre el cilindro se generan los pares al interactuar los flujos. Al operar, el cilindro gira y cierra los contactos.

Esta unidad se utiliza en la protección 67 direccional. Donde este relevador de sobrecorriente direccional esta formado por dos unidades: 67 + 51 y para el disparo deben cerrar los dos contactos.

El par está dado por:

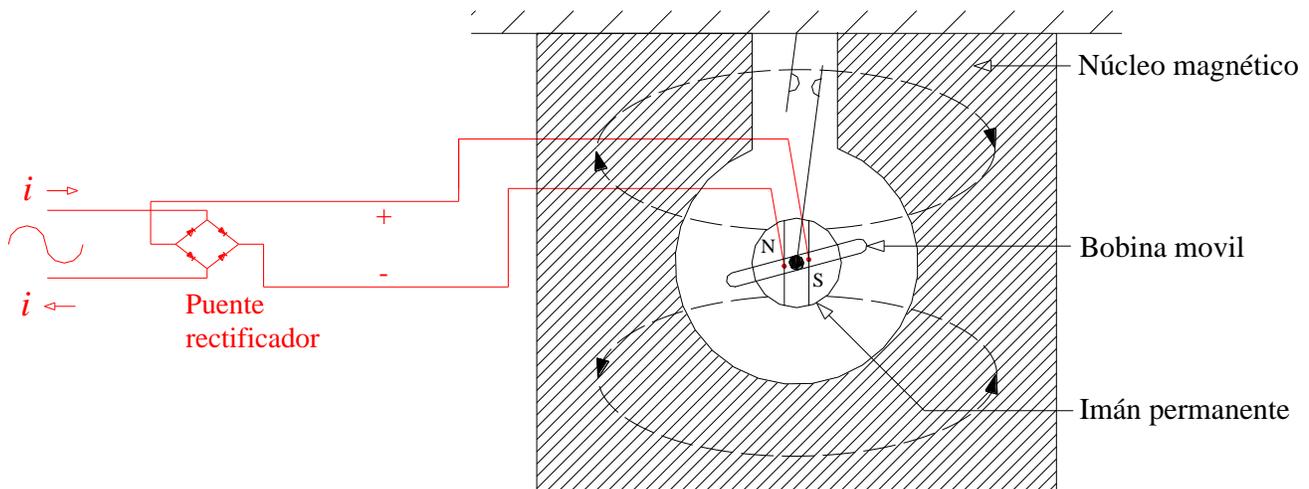
- Si se alimenta con una magnitud de tensión y una de corriente.

$$T = k_1 V i \text{ sen } \varnothing - k_2$$

- Si son dos magnitudes de corriente.

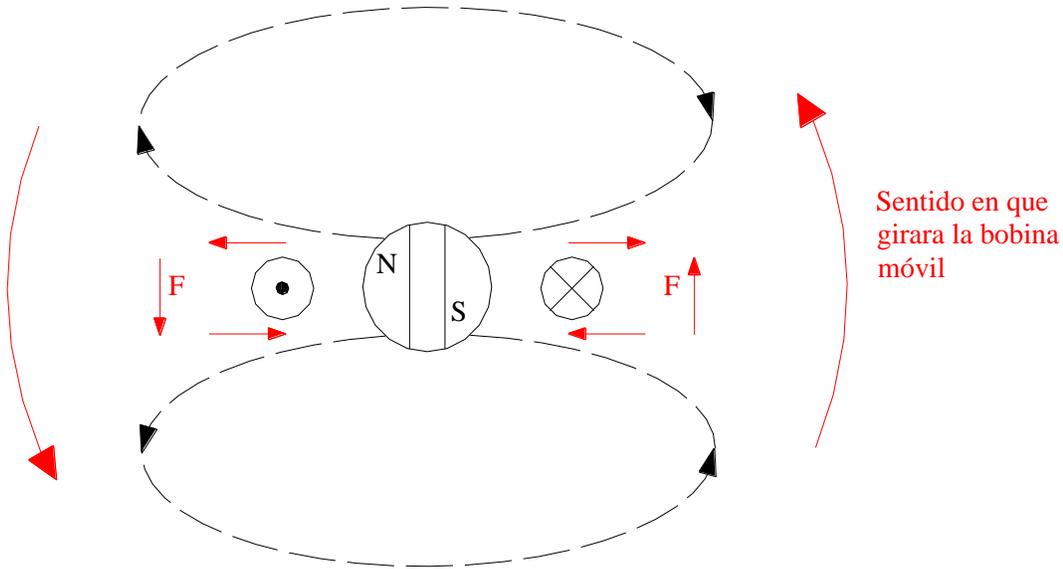
$$T = k_1 i_1 i_2 \text{ sen } \varnothing - k_2$$

3.- Unidad D'Arsonval



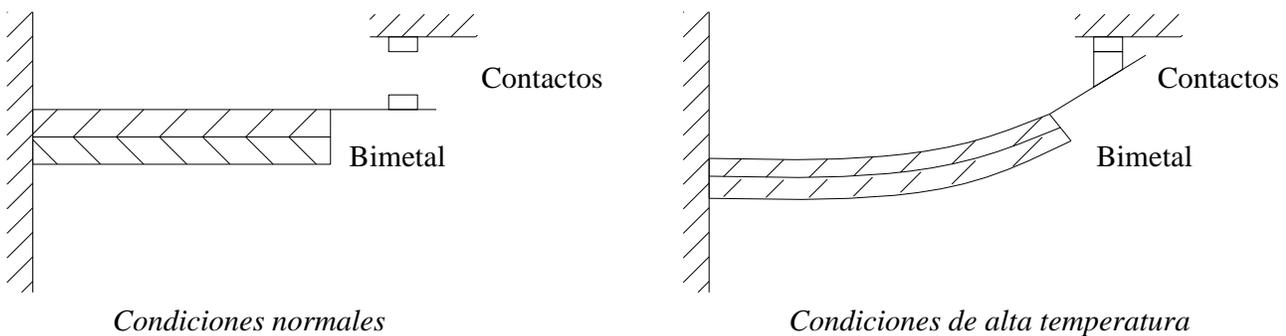
Cuenta con un imán permanente con un polo norte (N) y un polo sur (S) y tiene una bobina móvil montada sobre ella. En esta bobina móvil esta uno de los contactos y el otro contacto esta a la estructura.

Aplicando la regla de la mano derecha para el sentido del flujo y así determinar la fuerza que actúa y hace girar a la bobina móvil se obtiene la siguiente figura:



Unidades Térmicas

La unidad térmica consta de una tira bimetálica que tiene un extremo fijo y el otro libre. A medida que la temperatura aumenta, la diferencia de coeficientes de expansión térmica de los dos metales provoca el movimiento del extremo libre cerrando el contacto asociado.



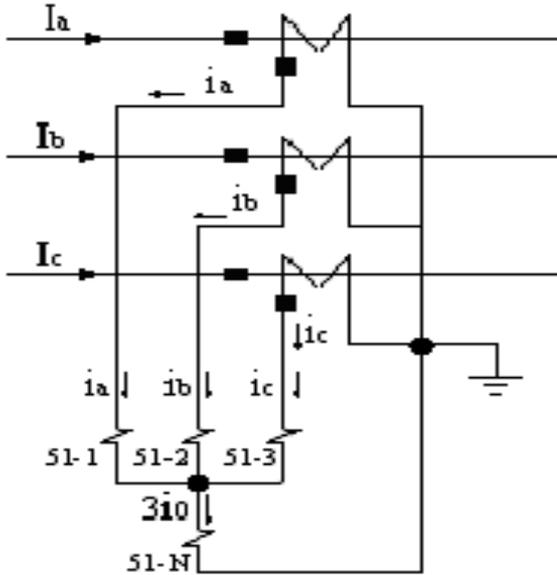
2.- REDES DE SECUENCIA

Las redes que se alimentan con corriente o tensión trifásica pueden dar una salida monofásica proporcional a las componentes de secuencia positiva, negativa y cero.

Estas redes llamadas también filtros de secuencia se usan ampliamente como detectores de falla.

2.- Filtro de corriente de secuencia cero

Se utilizan los secundarios de los TC



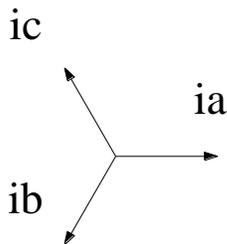
Esta es la conexión en estrella de TC en donde por el relevador 52-N circulara la corriente $3i_0$, la cual es igual a $i_a + i_b + i_c$.

Se tiene una corriente residual igual a $3i_0$ cuando ocurre una falla de una fase o dos fases a tierra.

Si no se usan relevadores por fase se puentean las salidas de marca de polaridad y al final se coloca el relevador $3i_0$, cerrándose la estrella.

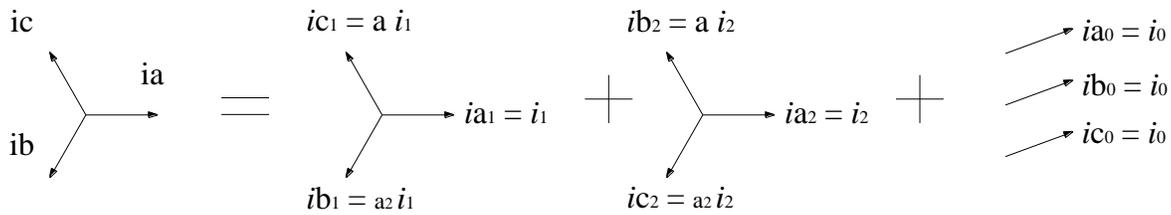
Conexión de TC en estrella

En condiciones normales se tiene un sistema balanceado:

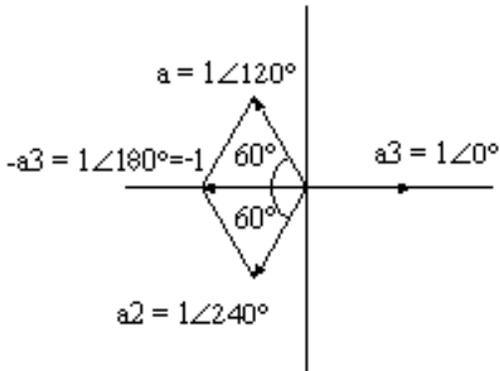


$$i_a + i_b + i_c = 0$$

En condiciones de falla se tiene un sistema desbalanceado, el cual se puede sustituir por tres sistemas balanceados (secuencia positiva, negativa y cero).



Analizando el vector unitario a :



$$a = 1 \angle 120^\circ$$

$$a^2 = a \cdot a = (1 \angle 120^\circ) (1 \angle 120^\circ) = 1 \angle 120 + 120$$

$$a^2 = 1 \angle 240^\circ$$

$$a^3 = a \cdot a \cdot a = (1 \angle 120^\circ)(1 \angle 120^\circ)(1 \angle 120^\circ)$$

$$a^3 = 1 \angle 360^\circ = 1 \angle 0^\circ$$

$$-a^3 = -1$$

Ahora, las corrientes en función de sus componentes simétricas son:

$$I_a = I_1 + I_2 + I_0$$

$$I_b = a^2 I_1 + a I_2 + I_0$$

$$I_c = a I_1 + a^2 I_2 + I_0$$

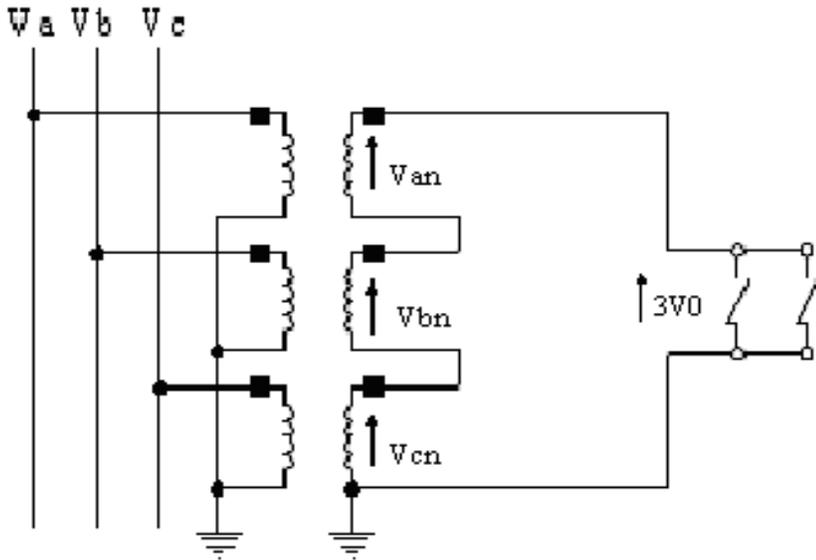
$$I_a + I_b + I_c = \underbrace{(1 + a^2 + a)}_{= 0} I_1 + \underbrace{(1 + a + a^2)}_{= 0} I_2 + 3 I_0$$

$$\therefore I_a + I_b + I_c = 3 I_0$$

2.2 Filtro de tensión de secuencia cero

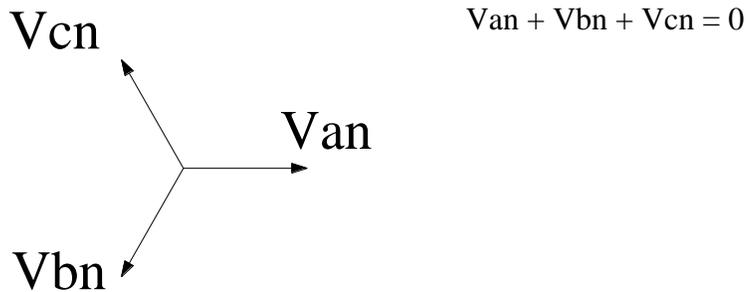
Se utilizan los secundarios de los TP.

Los primarios se conectan en estrella para poder tener las tensiones al neutro.

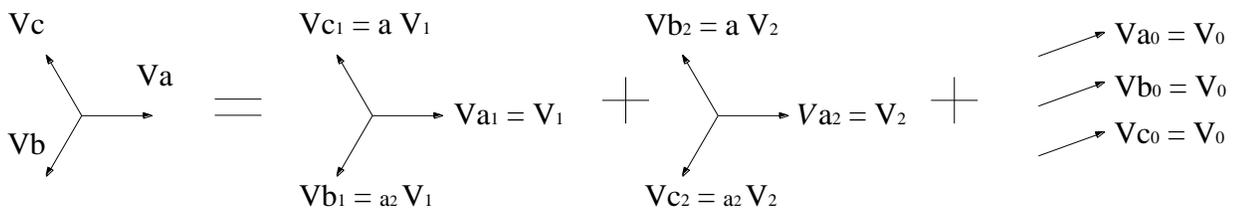


Se tendrá una tensión residual igual a $3V_0$ cuando se tenga una falla de fase a tierra o dos fases a tierra.

En condiciones normales el sistema está balanceado:



En una falla de \emptyset -T el sistema se desbalancea:



Las tensiones en función de sus componentes simétricas:

$$V_a = V_1 + V_2 + V_0$$

$$V_b = a^2 V_1 + a V_2 + V_0$$

$$V_c = a V_1 + a^2 V_2 + V_0$$

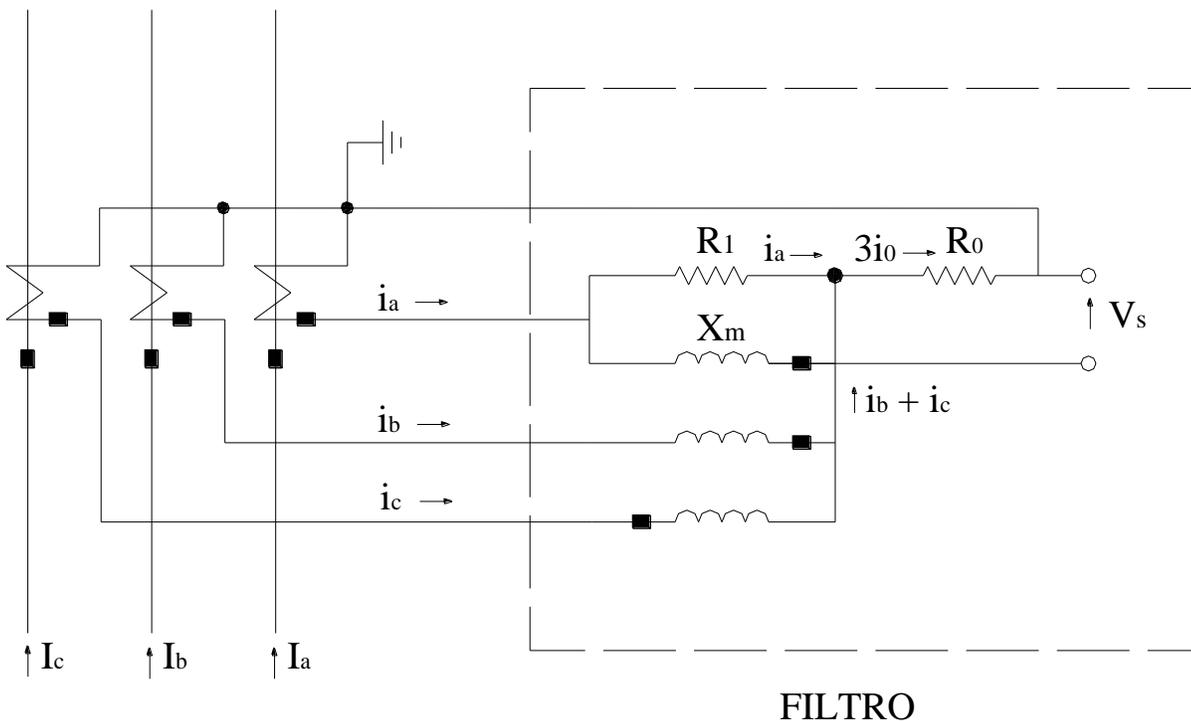
$$V_a + V_b + V_c = \underbrace{(1 + a^2 + a)}_{=0} V_1 + \underbrace{(1 + a + a^2)}_{=0} V_2 + 3 V_0$$

$$\therefore V_a + V_b + V_c = 3 V_0$$

Estos filtros se utilizan para alimentar a las bobinas de los relevadores que detectan fallas a tierra con $3V_0$.

2.3 Filtro de corriente de secuencia combinada

Para este filtro se conectan los secundarios de los TC en estrella.



Para este filtro: en la entrada se tiene i_a, i_b, i_c
 en la salida se tiene $V_s = k_1 i_1 + k_2 i_2 + k_3 i_0$

Funcionamiento del filtro: La i_b entra a la bobina por no polaridad y la i_c entra por polaridad, de esta manera las corrientes se oponen y la resultante induce una tensión en X_m (reactancia mutua), la suma de esta tensión mas la caída en R_1 y la caída en R_0 nos dará V_s .

Matemáticamente:



$$V_s = V_{Xm} + V_{R1} + V_{R0}$$

En general: $V = Zi$, por lo tanto:

$$V_{Xm} = jXm (i_c - i_b)$$

$$V_{R1} = R_1 i_a$$

$$V_{R0} = R_0 (3i_0)$$

$$V_s = jXm (i_c - i_b) + R_1 i_a + R_0 (3i_0)$$

Pero en función de sus componentes simétricas:

$$i_a = i_1 + i_2 + i_0$$

$$i_b = a^2 i_1 + a i_2 + i_0$$

$$i_c = a i_1 + a^2 i_2 + i_0$$

$$\therefore (i_c - i_b) = (a - a^2) i_1 + (a^2 - a) i_2 + 0$$

$$i_c - i_b = j\sqrt{3} i_1 - j\sqrt{3} i_2$$

$$V_s = jXm (j\sqrt{3} i_1 - j\sqrt{3} i_2) + R_1 (i_1 + i_2 + i_0) + R_0 (3 i_0)$$

$$V_s = -\sqrt{3} Xm i_1 + \sqrt{3} Xm i_2 + R_1 i_1 + R_1 i_2 + R_1 i_0 + 3 R_0 i_0$$

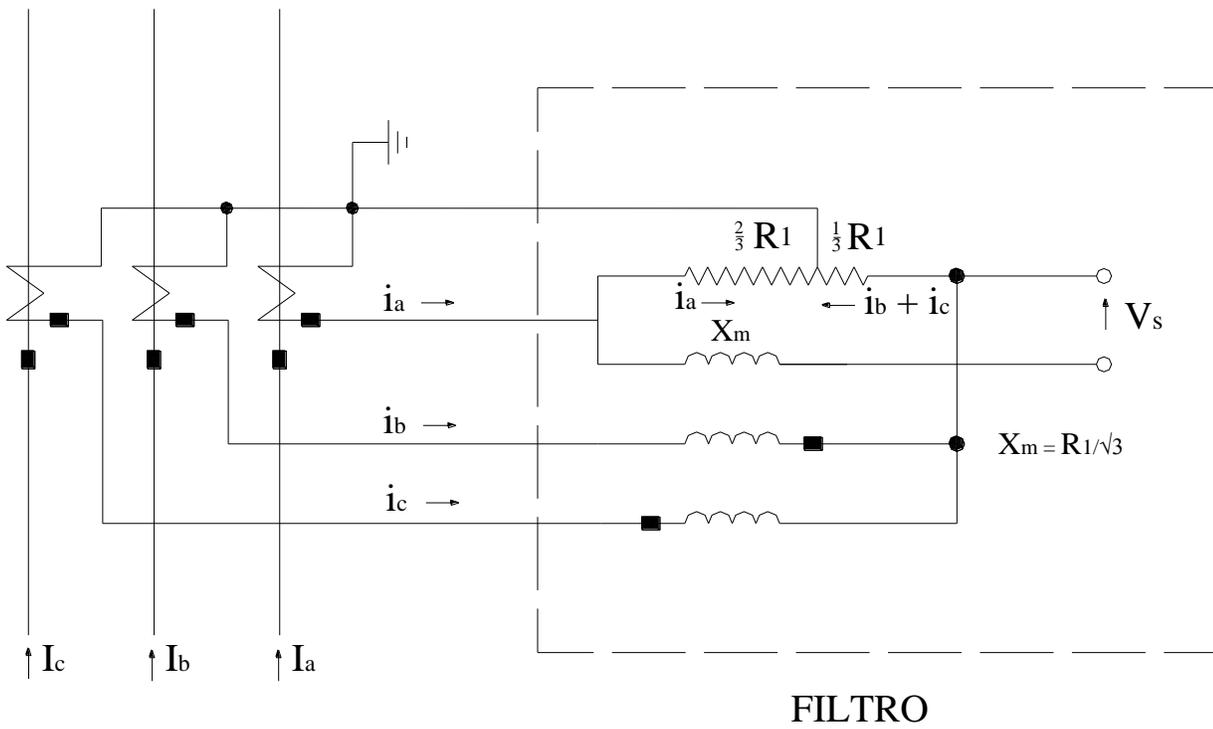
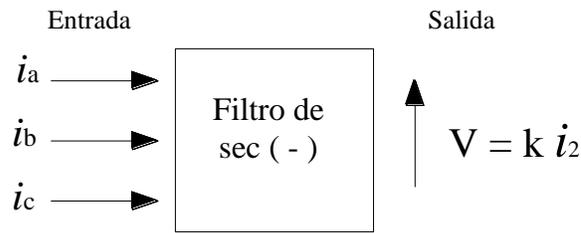
$$V_s = \underbrace{(R_1 - \sqrt{3} Xm)}_{k_1} i_1 + \underbrace{(R_1 + \sqrt{3} Xm)}_{k_2} i_2 + \underbrace{(R_1 + 3 R_0)}_{k_3} i_0$$

$$V_s = k_1 i_1 + k_2 i_2 + k_3 i_0$$

Este filtro es utilizado en el relevador diferencial de hilo piloto 87-L

2.4 Filtro de corriente de secuencia negativa

Como en el filtro de secuencia combinada, éste recibe tres corrientes a la entrada pero a la salida tendrá una tensión inducido igual a $V = k i_2$ de secuencia negativa.



Matemáticamente:

$$V_s = V_{X_m} + V\left(\frac{2}{3}R_1\right) + V\left(\frac{1}{3}R_1\right)$$

$$\text{si } V = Z i$$

$$V_{X_m} = jX_m (i_c - i_b)$$

$$V\left(\frac{2}{3}R_1\right) = \frac{2}{3}R_1 (i_a)$$

$$V\left(\frac{1}{3}R_1\right) = \frac{1}{3}R_1 (i_b + i_c)$$

$$\therefore V_s = jX_m (i_c - i_b) + \frac{2}{3}R_1 (i_a) - \frac{1}{3}R_1 (i_b + i_c)$$



En función de sus componentes simétricas:

$$\begin{aligned}i_a &= i_1 + i_2 + i_0 \\i_b &= a^2 i_1 + a i_2 + i_0 \\i_c &= a i_1 + a^2 i_2 + i_0\end{aligned}$$

$$i_c - i_b = j\sqrt{3} i_1 - j\sqrt{3} i_2$$

$$i_b + i_c = (a^2 + a) i_1 + (a + a^2) i_2 + 2 i_0$$

$$i_b + i_c = -i_1 - i_2 + 2i_0$$

$$\therefore V_s = jX_m (j\sqrt{3} i_1 - j\sqrt{3} i_2) + \frac{2}{3} R_1 (i_1 + i_2 + i_0) - \frac{1}{3} R_1 (-i_1 - i_2 + 2i_0)$$

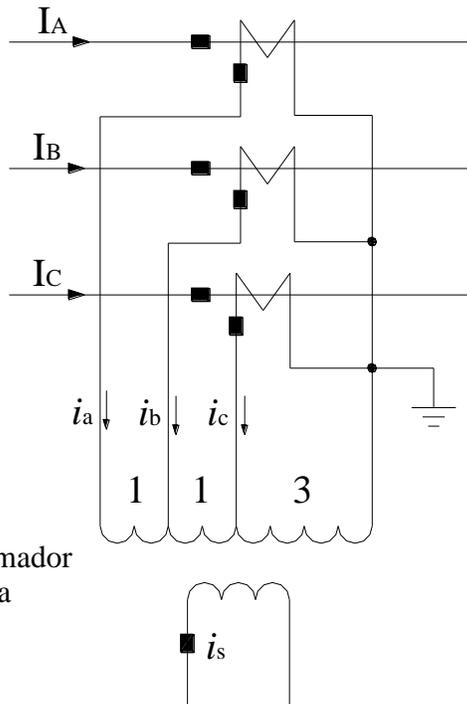
$$V_s = -R_1 i_1 + R_1 i_2 + \frac{2}{3} R_1 i_1 + \frac{2}{3} R_1 i_2 + \frac{2}{3} R_1 i_0 + \frac{1}{3} R_1 i_0 + \frac{1}{3} R_1 i_2 - \frac{2}{3} R_1 i_0$$

$$V_s = \underbrace{2R_1}_{k} i_2$$

k (constante de diseño de relevadores)

$$\therefore V_s = k i_2$$

2.5 Filtro de corriente de secuencia combinada tipo europeo o “transformador suma”



Transformador suma: en el primario se conectan las salidas de los TC y en el secundario se obtiene una corriente inducida en mA que después se rectifica por medio de puentes, esta salida es 1Ø.

Por ejemplo: Si en el primario entran $5 A_{3\phi}$ en el secundario se inducirán $100 mA_{1\phi}$

Así que $i_s = 5 i_a + 4 i_b + 3 i_c$

Y en función de sus componentes simétricas:

$$i_s = 5 (i_1 + i_2 + i_0) + 4 (a^2 i_1 + a i_2 + i_0) + 3 (a i_1 + a^2 i_2 + i_0)$$

$$i_s = 5i_1 + 4a^2 i_1 + 3a i_1 + 5 i_2 + 4a i_2 + 3a^2 i_2 + 12i_0$$

$$i_s = 2i_1 + a^2 i_1 + 3 (1+a+a^2) i_1 + 2i_2 + a i_2 + 3 (1+a+a^2) i_2 + 12 i_0$$

$$i_s \underbrace{(2+a^2)}_{k_1} i_1 + \underbrace{(2+a)}_{k_2} i_2 + \underbrace{12}_{k_3} i_0$$

$$i_s = k_1 i_1 + k_2 i_2 + k_3 i_0$$

La corriente de salida es proporcional a las corrientes de secuencia (+), (-) y (0). Este filtro se usa en los relevadores diferenciales de barras que se tienen en servicio en subestaciones de 85kV y 230kV.

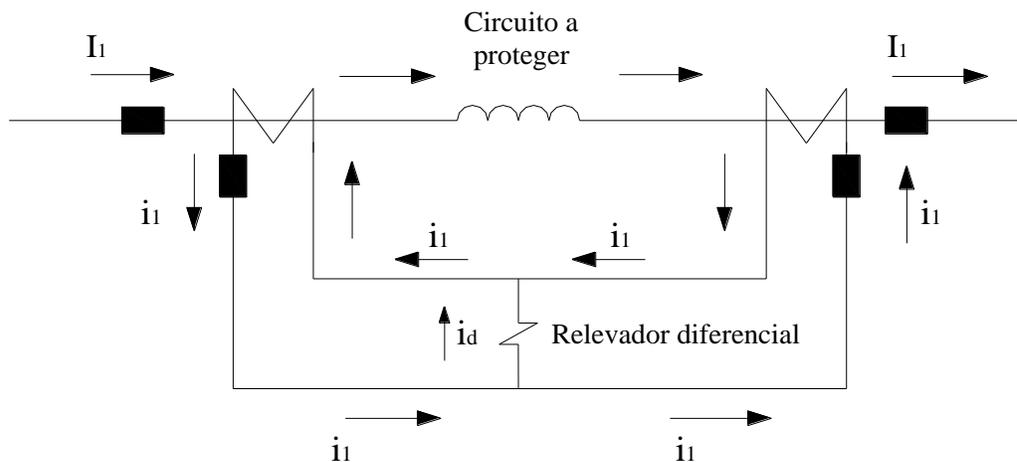
VI PRINCIPIO DE OPERACIÓN DE LA PROTECCIÓN DIFERENCIAL

Existen varios tipos de relevadores diferenciales cuya característica particular depende o está en función del equipo que van a proteger, en general un relevador diferencial opera cuando la diferencia vectorial de dos o mas cantidades eléctricas similares exceden un valor predeterminado.

Principio básico de operación de la protección diferencial

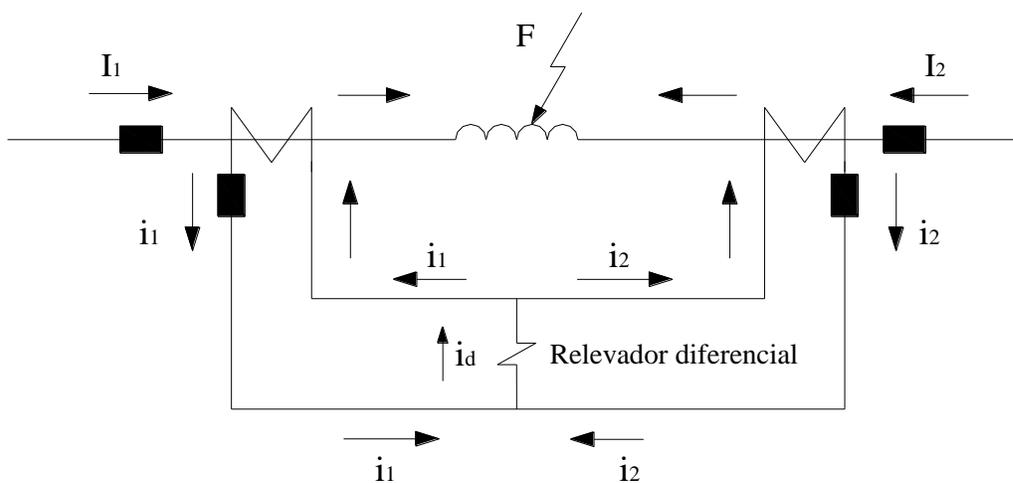
En condiciones normales, como se muestra en la primera figura, la corriente diferencial es igual a cero:
 $i_d = 0$

El relevador no opera, lo cual es correcto puesto que no hay falla en el circuito que está protegiendo.



En condiciones de falla $i_d \neq 0 = i_1 + i_2$

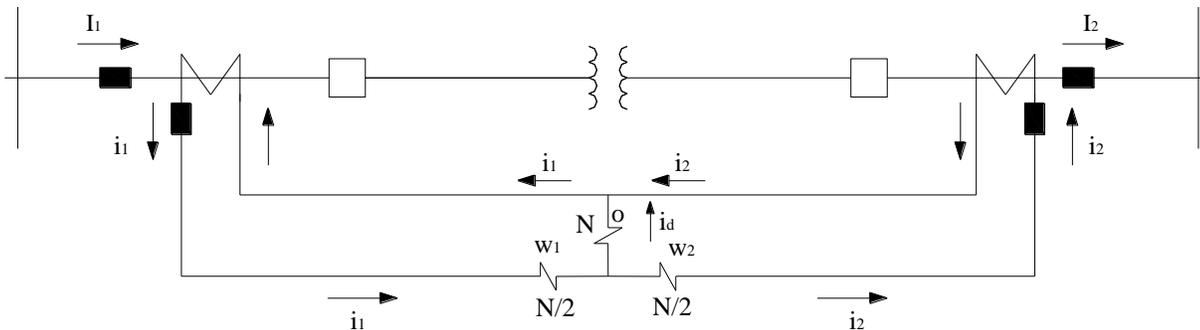
El relevador opera debido a que detecta la falla en el circuito que está protegiendo.



Esto es solo ilustrativo para ver el principio de funcionamiento de esta protección.

Relevador diferencial de porcentaje

En la práctica el relevador diferencial no se usa con la sola bobina de operación porque no se puede ajustar adecuadamente. Si se ajusta a un valor bajo de corriente para que sea sensible a fallas de baja corriente de cortocircuito, puede operar indebidamente con fallas severas externas y si se ajusta a un valor de corriente alto, no opera con fallas internas pequeñas, por lo que se usa el relevador diferencial con bobinas de restricción, llamado relevador diferencial de porcentaje, ya que la corriente de operación (i_{dif}) no es un valor fijo pero sí un porcentaje fijo de la corriente total que pasa por las bobinas de restricción, asegurando de esta forma su correcta operación en todo tipo de falla. Este relevador se usa para la protección de generadores y transformadores.



Para que el relevador opere, el par de operación debe rebasar un determinado porcentaje del par de restricción.

En el diagrama:

O = Bobina de operación

w_1 y w_2 = Bobinas de restricción

$$I_d = i_1 - i_2$$

De la figura se deduce que:

El par de operación es proporcional a $(i_1 - i_2) N$

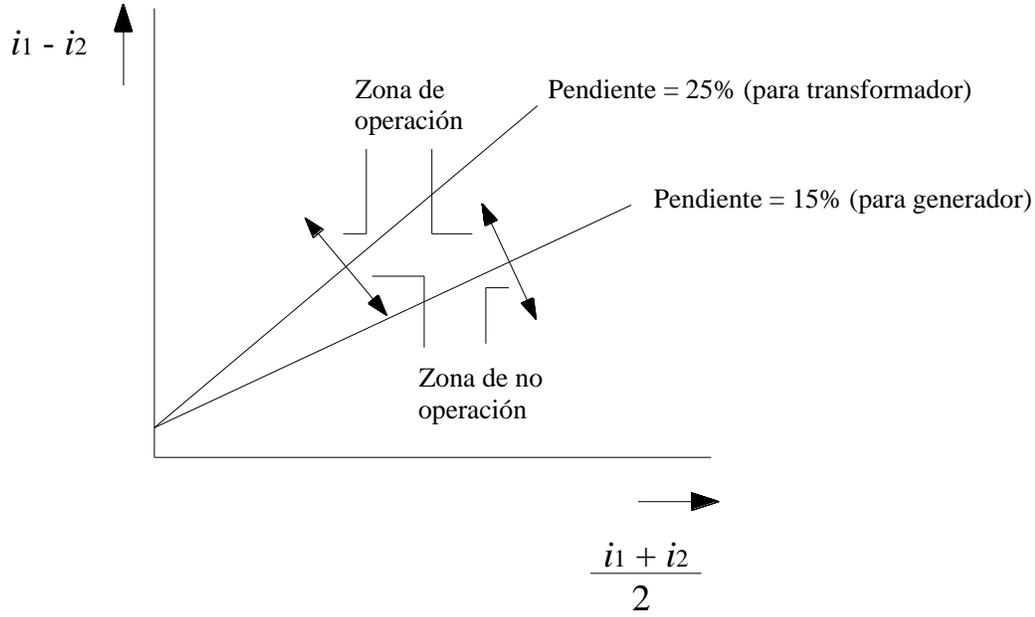
El par de restricción es proporcional a $i_1 (N/2) + i_2 (N/2) \Rightarrow \frac{i_1 + i_2}{2} N$

Donde N es el número de espiras de la bobina.

Característica de operación del relevador diferencial de porcentaje

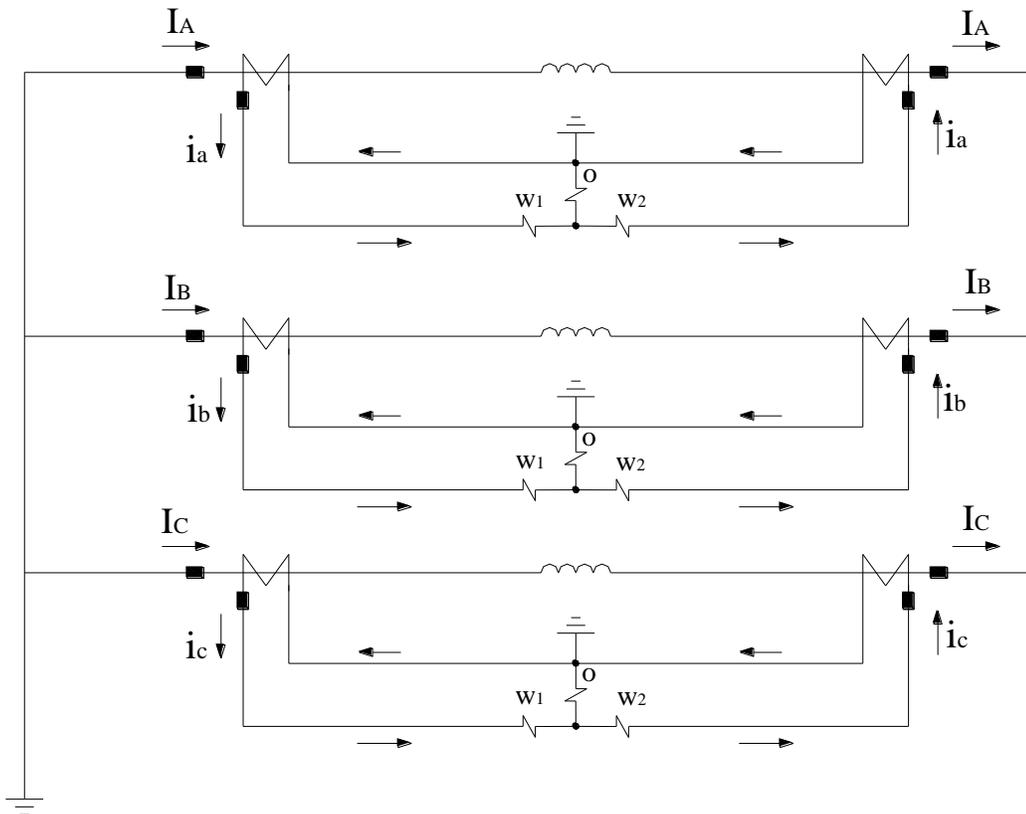
La siguiente figura muestra dos diferentes curvas las cuales muestran la característica de operación de un relevador para protección a un transformador y a un generador. Esto es: si la corriente de operación rebasa el 25% de la corriente de restricción entonces el relevador operará. Al rebasar el 25% de corriente mencionada, se pasa de la zona de no operación a la zona de operación.

Se le llama "umbral" a la recta que muestra las características de operación de un relevador. Esta recta no empieza en el origen porque se necesita un valor mínimo para operar.

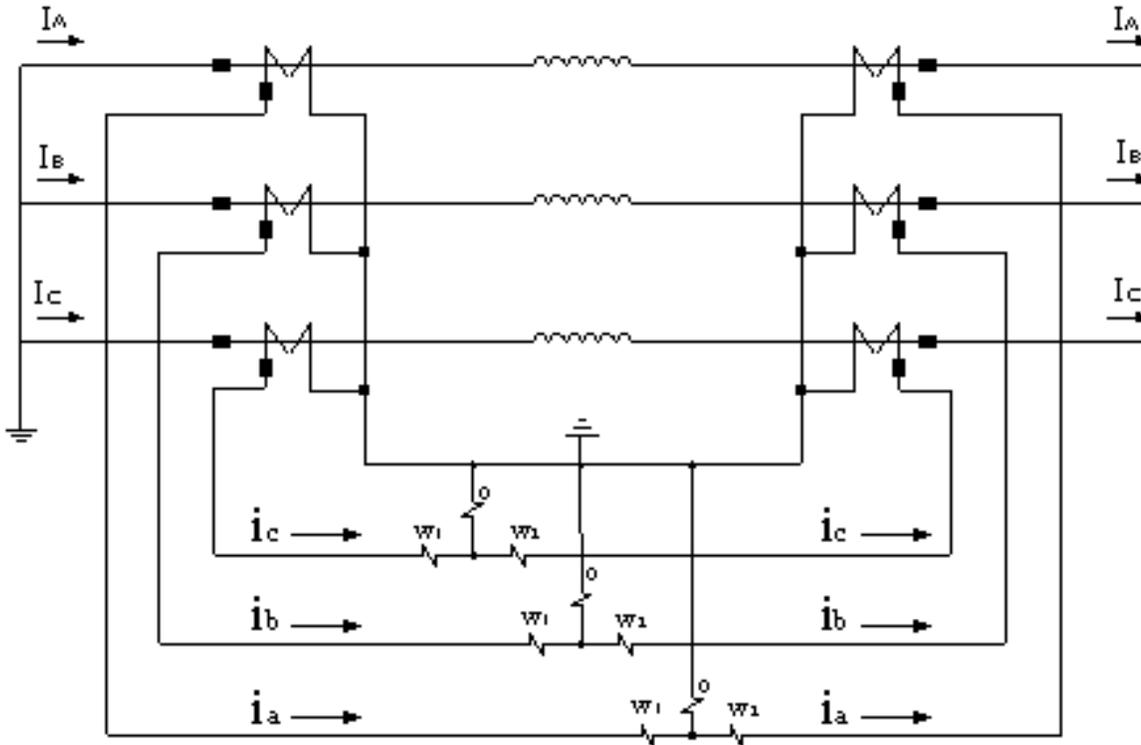


Protección de un generador con relevadores diferenciales de porcentaje

Inicialmente se puede considerar la conexión de la protección diferencial del generador en forma monofásica como se muestra en la figura siguiente.



Sin embargo, con el fin de reducir el número de conductores y el consumo de energía en los secundarios de los TC de la protección diferencial del generador, se utiliza la conexión estrella para conectar los relevadores.



En condiciones normales la corriente en el cierre de la estrella es cero, es decir, no circula corriente por el hilo de retorno. Con este arreglo se ahorran dos conductores de retorno de los TC.

VII PROTECCIÓN DE TRANSFORMADORES DE POTENCIA

Para aplicar la protección diferencial de porcentaje a un transformador de potencia, se intercala un filtro de restricción de armónicas para evitar que el relevador opere cuando se excita el transformador, ya que la mayor parte de la corriente de excitación es de 2ª armónica.

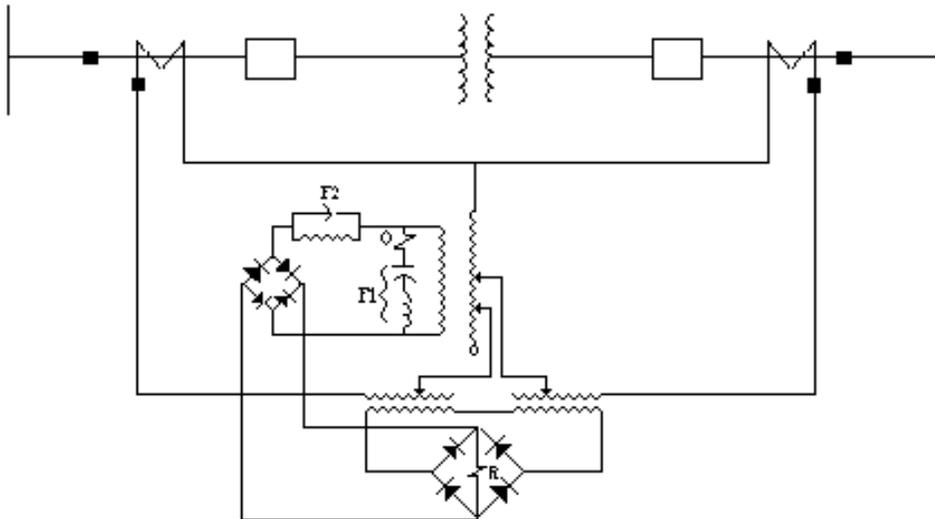


Diagrama elemental del relevador diferencial de porcentaje para transformador

- O - Bobina de operación
- R - Bobina de restricción
- F1 Filtro Resonante a 60 Hz.
- F2 - Filtro Resonante a la 2ª armónica (120Hz)

También se conectan TC auxiliares asociados a las bobinas de restricción, con el fin de compensar la corriente secundaria del T C de A. T. con la corriente secundaria del T. C. de B. T. y hacerlas aproximadamente iguales en su efecto sobre el relevador.

Se tiene diferente corriente en el lado de alta tensión con respecto al lado de baja tensión, es por esto que las relaciones de los TC deben ser diferentes en el caso de protección a bancos de transformadores; A menos que el transformador sea de relación 1:1.

1.- *Filtro de restricción de armónicas*: este filtro consta de dos circuitos resonantes, el primero es resonante a 60 Hz y se conecta en serie con la bobina de operación para bloquear el paso de las armónicas. El segundo filtro llamado “filtro de paso de 2ª armónica” se conecta en paralelo al primero y es resonante a 120 Hz para presentar baja impedancia y permitir el paso de la 2ª armónica. Este filtro sirve para evitar la operación incorrecta del relevador en el momento de excitar al Transformador de Potencia, ya que en estas condiciones se tienen corrientes solamente en un juego de TC y el porcentaje mayor de corriente corresponde a la 2ª armónica.



ESTA INFORMACION ES SOLO CON FINES EDUCATIVOS



2.- *Transformadores de corriente auxiliares*: debido a que solo en raras ocasiones se pueden igualar las corrientes secundarias i_1 e i_2 al seleccionar las relaciones de los TC, los relevadores diferenciales para protección de bancos están provistos con transformadores de corriente auxiliares (TC aux.) asociados a las bobinas de restricción con taps de ajuste de relación, por medio de los cuales las corrientes de paso de la bobina de restricción pueden ser compensadas.

Estos diferentes taps de los TC aux. se muestran en la siguiente tabla:

w_1	w_2
2.9	2.9
3.2	3.2
3.5	3.5
3.8	3.8
4.2	4.2
4.6	4.6
5.0	5.0
8.7	8.7

Reglas generales para la conexión de la protección diferencial del Transformador

1.- La relación de los TC debe seleccionarse de manera que la corriente que llega a la bobina de restricción del relevador sea aproximadamente de 5 A.

2.- Por regla general los secundarios de los TC del lado Δ de un banco deben conectarse en Y, y los secundarios de los TC del lado Y del banco deben conectarse en Δ ; con el fin de compensar el defasamiento angular de 30° introducido por la conexión del banco y bloquear la corriente $3i_0$ en la protección diferencial en caso de fallas a tierra externas al banco.

3.- Los secundarios de los TC deben conectarse de manera que las corrientes secundarias de los TC de AT pasen por las bobinas de restricción y entren a los secundarios de los TC de BT para condiciones de carga balanceada.

4.- La relación de taps de los TC auxiliares deben estar lo mas cercano posible a la relación de corrientes que pasan por las bobinas de restricción.

De esta manera:

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{w_1}{w_2}$$

ó

$$\frac{i_2}{i_1} = \frac{w_2}{w_1}$$

5.- El % de error de ajuste del relevador no debe ser mayor de $\pm 5\%$ aplicando la siguiente fórmula:

$$\%E = \frac{\frac{w_1}{i_1} - \frac{w_2}{i_2}}{D} \times 100 \leq \pm 5\%$$

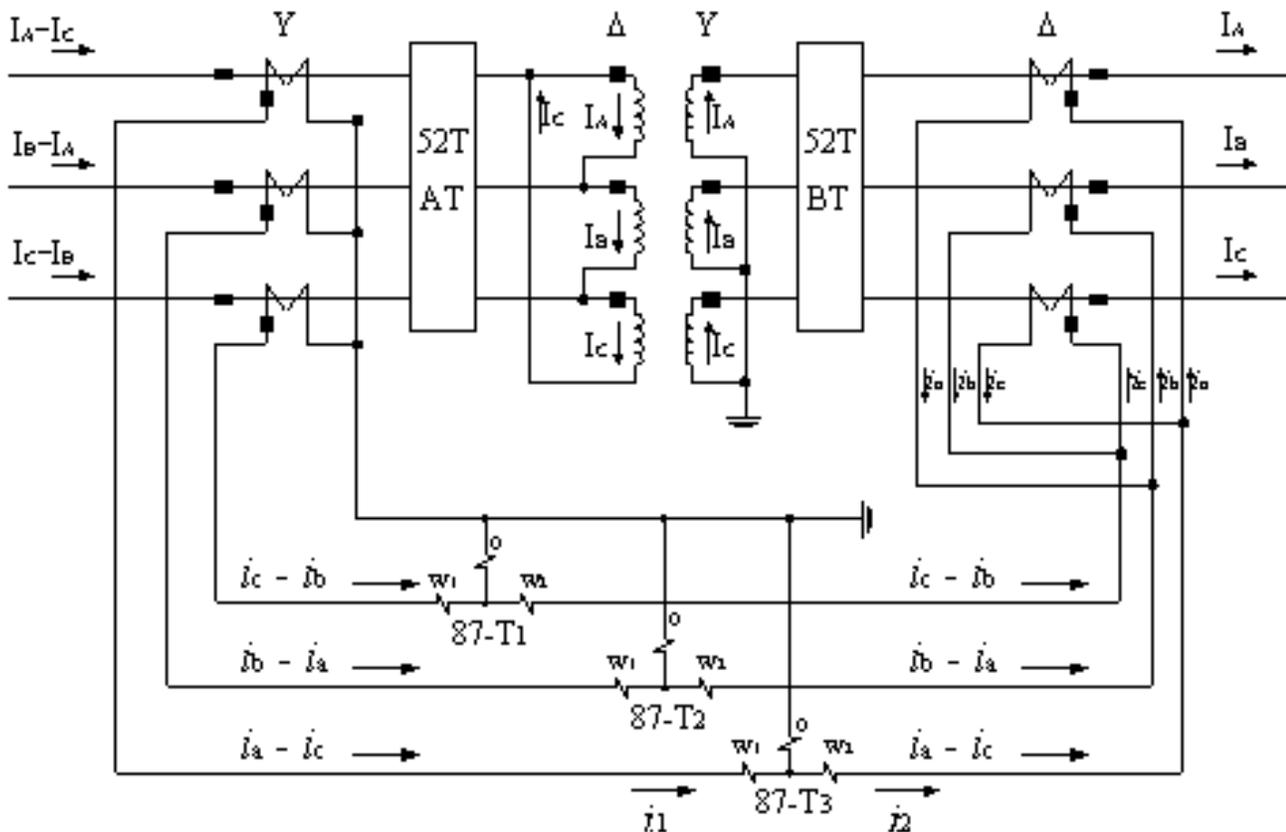
donde D es el menor de los dos cocientes.

6.- Para verificar la conexión correcta de la protección diferencial se hace un faseo de corrientes asignando primeramente los nombres a las corrientes en los devanados de AT y en función de ellas se determinan las corrientes que entran al banco por las tres fases de AT y las que salen del banco por las tres fases de BT.

7.- Se debe verificar que en condiciones normales de carga las corrientes que salen de los secundarios de los TC de AT pasen por las bobinas de restricción w_1 , w_2 y entren a los secundarios de los TC de BT.

EJEMPLOS DE APLICACIÓN

Conexión de la protección diferencial para un banco de 30 MVA de 85 kV / 23 kV conexión Δ/Y



Como el devanado de AT del transformador de potencia esta conectado en Δ , el secundario del TC se conecta en Y.

Tenemos el devanado de BT del transformador de potencia en Y, entonces los secundarios de los TC se conectan en Δ .



Esto con el fin de obtener el mismo ángulo ya que deben de estar en fase, si hay defasamiento habrá una corriente resultante que va a circular por la bobina de operación del relevador y puede llegar a operar condiciones no deseables.

Ajuste de los relevadores

Para llevar a cabo el ajuste de los relevadores se realiza la siguiente tabla de datos:

kV	I_p	k_{TC}	i_s	Conexión	$i_{relev.}$	tap	Error %
85	203.771	50	$i_{s1} = 4.075$	Y	$i_1 = 4.075$	$w_1 = 3.2$	2.415
23	753.066	160	$i_{s2} = 3.765$	Δ	$i_2 = 6.521$	$w_2 = 5.0$	

$$I_p = \frac{30 \times 10^6}{\sqrt{3} (85 \times 10^3)} = 203.771 \text{ A} \quad \text{se selecciona un TC de } 250 : 5 \text{ con } k_{TC} \text{ de } 50$$

$$I_p = \frac{30 \times 10^6}{\sqrt{3} (23 \times 10^3)} = 753.066 \text{ A} \quad \text{se selecciona un TC de } 800 : 5 \text{ con } k_{TC} \text{ de } 160$$

$$i_{s1} = \frac{203.771}{50} = 4.075 \text{ A}$$

$$i_{s2} = \frac{753.066}{160} = 4.707 \text{ A}$$

$$i_1 = i_{s1} = 4.075$$

$$i_2 = i_a - i_c = 4.707 \angle 0^\circ - 4.707 \angle 120^\circ$$

$$i_2 = 8.153 \angle -30^\circ$$

$$i_2 = \sqrt{3} i_{s2} \quad \text{por ser una } \Delta$$

Debido a que i_2 es muy alta se selecciona un TC con mayor relación

Seleccionando un TC 1000:5 ; $k_{TC} = 200$

$$i_{s2} = \frac{753.066}{200} = 3.765 \text{ A}$$

$$i_2 = \sqrt{3} i_{s2} = \sqrt{3} (3.765) = 6.521 \text{ A}$$

Ahora:



ESTA INFORMACION ES SOLO CON FINES EDUCATIVOS



w2/w1 = i2/i1 se selecciona w2 = 5.0 y se calcula w1

∴ w1 = (w2 * i1) / i2 = (5.0 * 4.075) / 6.521 = 3.125

entonces se selecciona un tap de 3.2 (de la tabla de taps) ya que es el valor de los que se dispone mas cercano al calculado.

Ahora verificando el % de error:

%E = (w1/i1 - w2/i2) / D * 100 = (0.64 - 0.625) / 0.625 * 100 = 2.415 %

Existe otra manera de seleccionar los taps de ajuste y es mediante la determinación del cociente de las corrientes calculadas y con este valor entrar a la tabla de taps que se muestra a continuación:

Table with 9 columns and 9 rows showing ratios of current values. Columns: 2.9, 3.2, 3.5, 3.8, 4.2, 4.6, 5.0, 8.7. Rows: 2.9, 3.2, 3.5, 3.8, 4.2, 4.6, 5.0, 8.7.

de esta manera se calcula el cociente de corrientes considerando ahora que el valor mayor estará en la parte de arriba en la relación:

i2/i1 = 6.521/4.075 = 1.600

entonces con este valor se entra a la tabla ya mostrada y se selecciona el valor mas cercano a 1.600 que es, 1.586 y que corresponde a 4.6/2.9. Así se obtienen w1 y w2.

Se deduce entonces que:

w2 = 4.6
w1 = 2.9

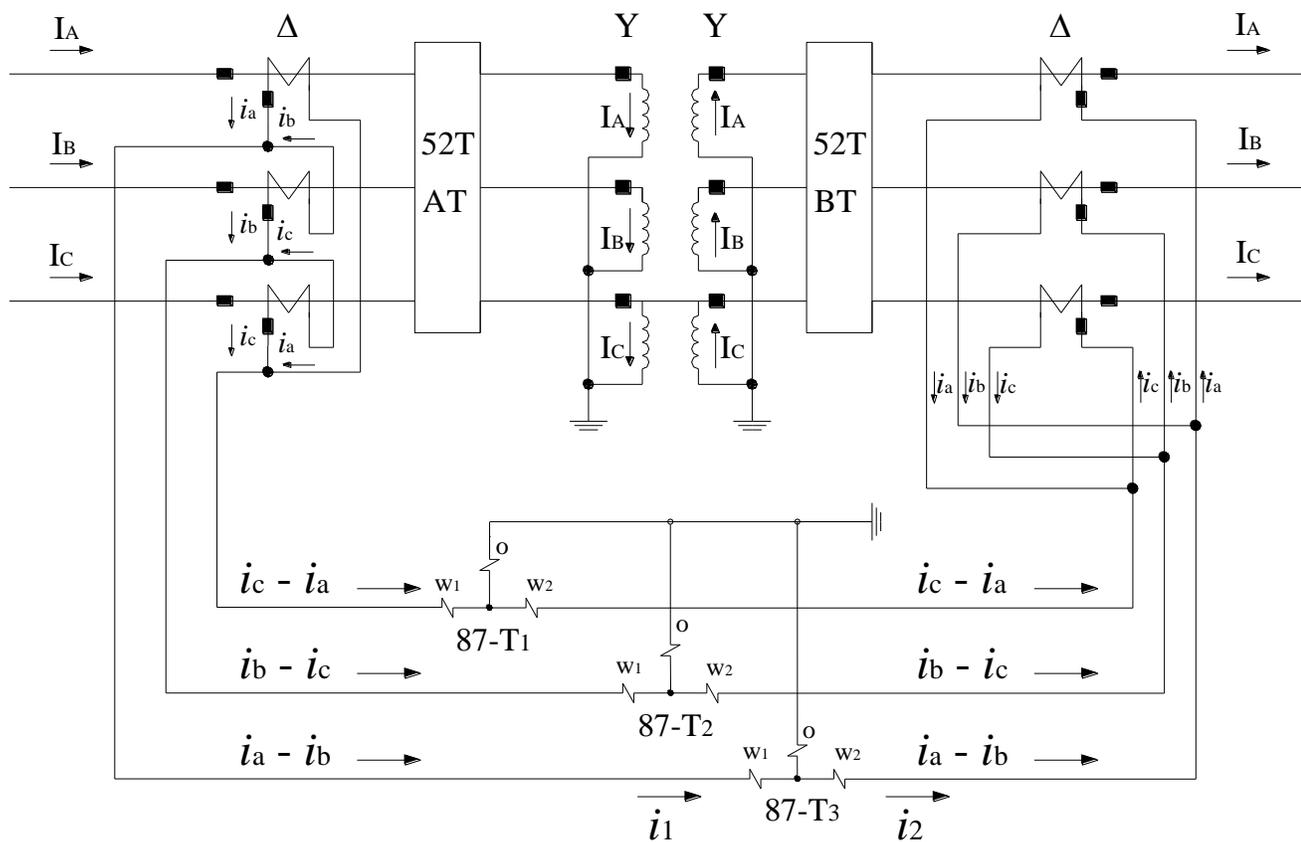
considerando el mismo criterio establecido para la relación de corrientes, en donde ahora w2 será el mayor.

Con estos nuevos valores de ajuste se calcula ahora el % de error:

$$\%E = \frac{\frac{w_1}{w_2} \frac{i_1}{i_2}}{D} \times 100 = \frac{2.9}{4.6} \frac{4.075}{6.521} \times 100 = 0.885 \%$$

obteniéndose así un % de error mas pequeño por este método (usando la tabla de relación de taps)

Conexión de la protección diferencial para un banco de 30 MVA de 230 kV / 23 kV conexión Y/Y



Como el devanado de AT del transformador de potencia está conectado en Y, el secundario del TC se conecta en Δ.

Tenemos el devanado de BT del transformador de potencia en Y, entonces los secundarios de los TC se conectan en Δ.

Esto con el fin de obtener el mismo ángulo ya que deben de estar en fase, si hay defasamiento, habrá una corriente diferencial que hará que el relevador opere indebidamente.

Ajuste de los relevadores

Para llevar a cavo el ajuste de los relevadores se realiza la siguiente tabla de datos:



kV	I_p	k_{TC}	i_s	Conexión	$i_{relev.}$	tap	Error %
230	75.307	20	$i_{s1} = 3.765$	Δ	$i_1 = 6.522$	$w_1 = 5.0$	0.0
23	753.066	200	$i_{s2} = 3.765$	Δ	$i_2 = 6.522$	$w_2 = 5.0$	

$$I_p = \frac{30 \times 10^6}{\sqrt{3} (230 \times 10^3)} = 75.307 \text{ A} \quad \text{se selecciona un TC de } 100 : 5 \text{ con } k_{TC} \text{ de } 20$$

$$I_p = \frac{30 \times 10^6}{\sqrt{3} (23 \times 10^3)} = 753.066 \text{ A} \quad \text{se selecciona un TC de } 800 : 5 \text{ con } k_{TC} \text{ de } 160$$

$$i_{s1} = \frac{75.307}{20} = 3.765 \text{ A}$$

$$i_{s2} = \frac{753.066}{160} = 4.707 \text{ A}$$

$$i_{1REL} = i_1 = i_s \angle 0^\circ - i_s \angle 120^\circ = \sqrt{3} i_s = \sqrt{3} (3.765) = 6.522 \text{ A} \quad \text{por ser una } \Delta$$

$$i_{2REL} = i_2 = i_s \angle 0^\circ - i_s \angle 120^\circ = \sqrt{3} i_s = \sqrt{3} (4.707) = 8.152 \text{ A} \quad \text{por ser una } \Delta$$

Como esta corriente (i_2) es muy grande para el relevador ($>5A$), se selecciona un TC con mayor relación

Seleccionando un TC 1000:5 con $k_{TC} = 200$

$$i_{s2} = \frac{753.066}{200} = 3.765 \text{ A}$$

$$i_{2REL} = i_2 = i_s \angle 0^\circ - i_s \angle 120^\circ = \sqrt{3} i_s = \sqrt{3} (3.765) = 6.522 \text{ A} \quad \text{por ser una } \Delta$$

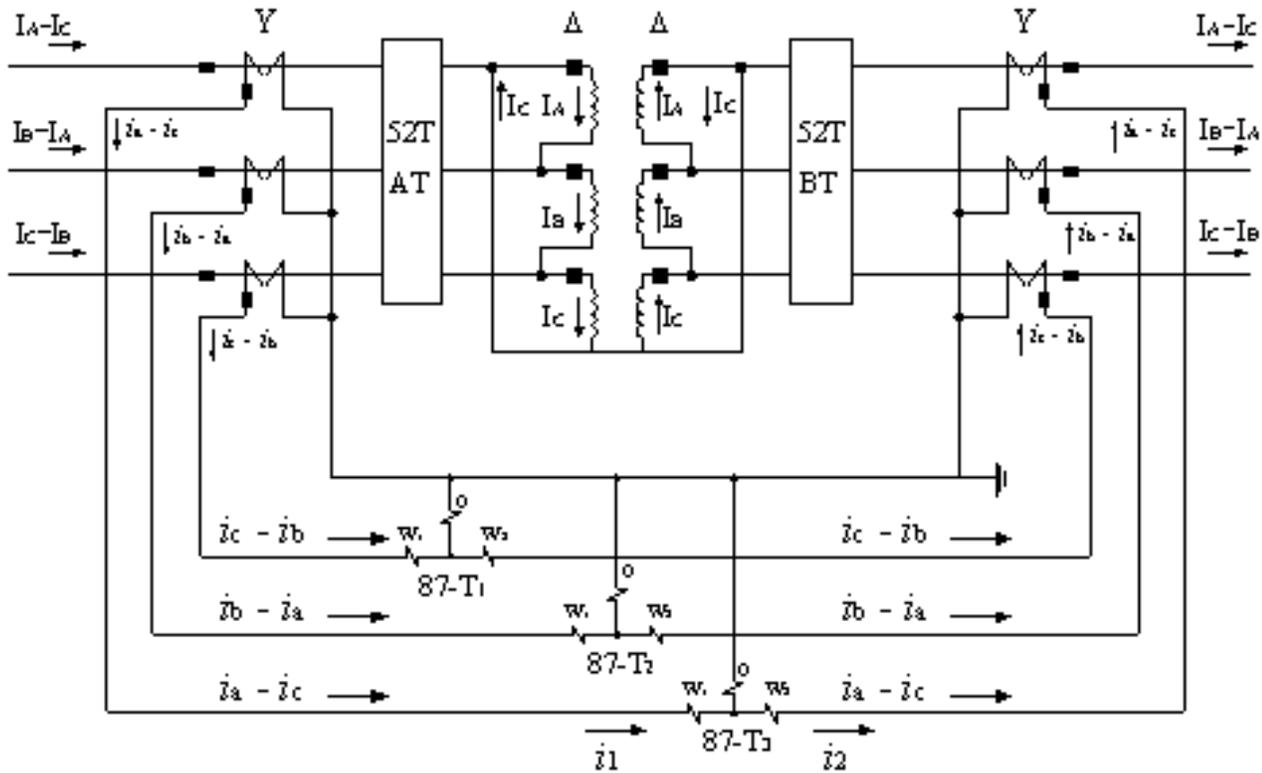
Ahora:

$$\frac{w_2}{w_1} = \frac{i_2}{i_1} \quad \text{se selecciona } w_1 = 5.0 \text{ y se calcula } w_2$$

$$\therefore w_2 = \frac{w_1 i_2}{i_1} = \frac{(6.522) (5.0)}{6.522} = 5.0$$

de esto se deduce que como las corrientes son iguales los taps también lo son, y al ser iguales ambos cocientes el porcentaje de error es cero.

Conexión de la protección diferencial para un banco de 10 MVA de 85 kV / 6.3 kV conexión Δ/Δ



Como el devanado de AT del transformador de potencia esta conectado en Δ , el secundario del TC se conecta en Y.

Tenemos el devanado de BT del transformador de potencia en Δ , entonces los secundarios de los TC se conectan en Y.

Esto con el fin de obtener el mismo ángulo ya que deben de estar en fase, si hay defasamiento esa corriente la verá la bobina de operación del relevador y puede llegar a operar, estando en condiciones no deseables de operación.

Ajuste de los relevadores

Para llevar a cabo el ajuste de los relevadores se realiza la siguiente tabla de datos:

KV	I_p	k_{TC}	i_s	Conexión	$i_{relev.}$	tap	Error %
85	67.924	20	$i_{S1} = 3.396$	Y	$i_1 = 3.396$	$w_1 = 3.8$	0.0
6.3	916.429	200	$i_{S2} = 4.582$	Y	$i_2 = 4.582$	$w_2 = 5.0$	



ESTA INFORMACION ES SOLO CON FINES EDUCATIVOS



$$I_p = \frac{10 \times 10^6}{\sqrt{3} (85 \times 10^3)} = 67.924 \text{ A} \quad \text{se selecciona un TC de } 75 : 5 \quad \text{con } k_{TC} \text{ de } 15$$

$$I_p = \frac{10 \times 10^6}{\sqrt{3} (6.3 \times 10^3)} = 916.429 \text{ A} \quad \text{se selecciona un TC de } 1000 : 5 \quad \text{con } k_{TC} \text{ de } 200$$

$$i_{s1} = \frac{67.924}{15} = 4.528 \text{ A}$$

$$i_{s2} = \frac{916.429}{200} = 4.582 \text{ A}$$

$$i_{1REL} = i_1 = i_{s1} = 4.528 \text{ A} \quad \text{por ser una estrella}$$

$$i_{2REL} = i_2 = i_{s2} = 4.582 \text{ A} \quad \text{por ser una estrella}$$

Ahora:

$$\frac{w_2}{w_1} = \frac{i_2}{i_1} \quad \text{se selecciona } w_1 = 5.0 \text{ y se calcula } w_2$$

$$\therefore w_2 = \frac{w_1 i_2}{i_1} = \frac{(4.582) (5.0)}{4.528} = 5.059$$

no hay tap de este valor, el mas cercano es 5.0, por lo tanto también se elige de 5.0

Con estos valores de ajuste se calcula ahora el % de error:

$$\%E = \frac{\frac{w_1 i_1}{D} - \frac{w_2 i_2}{D}}{\frac{w_1 i_1}{D}} \times 100 = \frac{5.0 - 4.582}{5.0} \times 100 = -1.193 \%$$

No importa que el error sea un valor negativo, se consideran valores absolutos.

El error calculado es aceptable y los ajustes son los adecuados, pero para ejemplificar mejor el problema, se usara ahora un TC con relación de 100:5 del lado de alta tensión.

Con un TC relación 100:5 se tiene $k_{TC} = 20$

$$i_{s1} = \frac{67.924}{20} = 3.396 \text{ A}$$

Ahora, el ajuste:



$$\frac{w_2}{w_1} = \frac{i_2}{i_1} \quad \text{se selecciona } w_2 = 5.0 \text{ y se calcula } w_1$$

$$\therefore w_1 = \frac{w_2 i_1}{i_2} = \frac{(5.0) (3.396)}{4.582} = 3.706$$

Se selecciona entonces un tap de 3.8 de acuerdo a los taps normalizados ya mencionados en la tabla. Para este calculo ahora se propuso a w_2 como valor establecido, esto porque la corriente i_2 es la mayor y se debe seguir la relación.

Con estos valores de corriente y taps se calcula ahora el error:

$$\%E = \frac{\frac{w_2}{w_1} - \frac{i_2}{i_1}}{D} \times 100 = \frac{\frac{5.0}{3.8} - \frac{4.582}{3.396}}{\frac{5.0}{3.8}} \times 100 = - 2.542 \%$$

El resultado también ha sido aceptable.

VIII PROTECCIÓN DE LINEAS DE TRANSMISIÓN

✓ Protección primaria

1. Protección diferencial de hilo piloto.
2. Protección por comparación de fase con equipo de comunicación.
3. Protección por comparación direccional con relevadores de distancia y equipo de BLU (Banda Lateral Única) como equipo de comunicación.
4. Protección de distancia(1ª y 2ª zona)

La protección diferencial de hilo piloto se usa en líneas cortas (hasta 50km). Para ajustar la bobina de operación interviene la Z del par de hilo piloto, si se rebasan ciertos valores de R y Xc, se afectan los ajustes de operación. Su desventaja es que su uso está restringido a líneas cortas, a pesar de ser muy efectiva y de alta velocidad.



ESTA INFORMACION ES SOLO CON FINES EDUCATIVOS



Otro método es el de comparación de fase, utiliza un CARRIER, (comparación de señales local y remota por radiofrecuencia), opera (manda señal de disparo) cuando se invierte una corriente entre las subestaciones, ya que ve el sentido de éstas.

El sistema de BLU se utiliza para medición y protección, se utiliza una señal de frecuencia de tonos local y remota para comparar señales.

✓ **Protección de respaldo**

- 1. Protección de distancia (3ª zona).**
- 2. Protección de sobrecorriente direccional de fase y tierra.**

La primera zona de la protección de distancia se ajusta al 80 % de la Z de la línea para evitar ver fallas externas, por error en el cálculo de la Z. Actúa como protección primaria, sin retardo intencionado en la operación.

La 2ª zona actúa como complemento de la primera zona, para que cubra el 20% restante de la línea que no cubre la primera zona. Lleva un retardo en el tiempo de operación con el fin de coordinarla con la operación de la primera zona de las líneas adyacentes en el extremo remoto, ya que se ajusta al 100% de Z de la línea 1+ el 30% de Z de la línea mas corta adyacente en el extremo remoto.

La 3ª zona funciona como protección de respaldo tanto de la línea 1 como de las líneas adyacentes en el extremo remoto.

PROTECCION DIFERENCIAL DE HILO PILOTO PARA UNA LINEA DE TRANSMISIÓN.

Debido a que se trata de una protección primaria, los TC se instalan de manera que quede protegida la línea y los interruptores. Para que se puedan comparar los dos extremos de la línea, adecuadamente, las relaciones de transformación de los TC deben de ser iguales. Los TC se conectan en estrella para que de esta manera a los filtros les lleguen las corrientes de fase. El cierre de la estrella es del lado de la línea en ambos extremos para mandar correctamente la señal.

En la diferencial de transformadores se comparan las tres corrientes localmente, dentro de la subestación, porque las distancias son cortas y tenemos el equipo cercano al transformador de potencia siendo la carga para los TC relativamente pequeña. En la diferencial de hilo piloto se usa el filtro de corriente de secuencia combinada porque las distancias entre cada juego de T. C. son grandes, de unos cuantos kilómetros hasta alrededor de 50 km. y la carga para los TC seria grandísima; por lo tanto la comparación entre ambas subestaciones se hace con una tensión monofásico subestaciones a través de un par de hilo piloto



ESTA INFORMACION ES SOLO CON FINES EDUCATIVOS



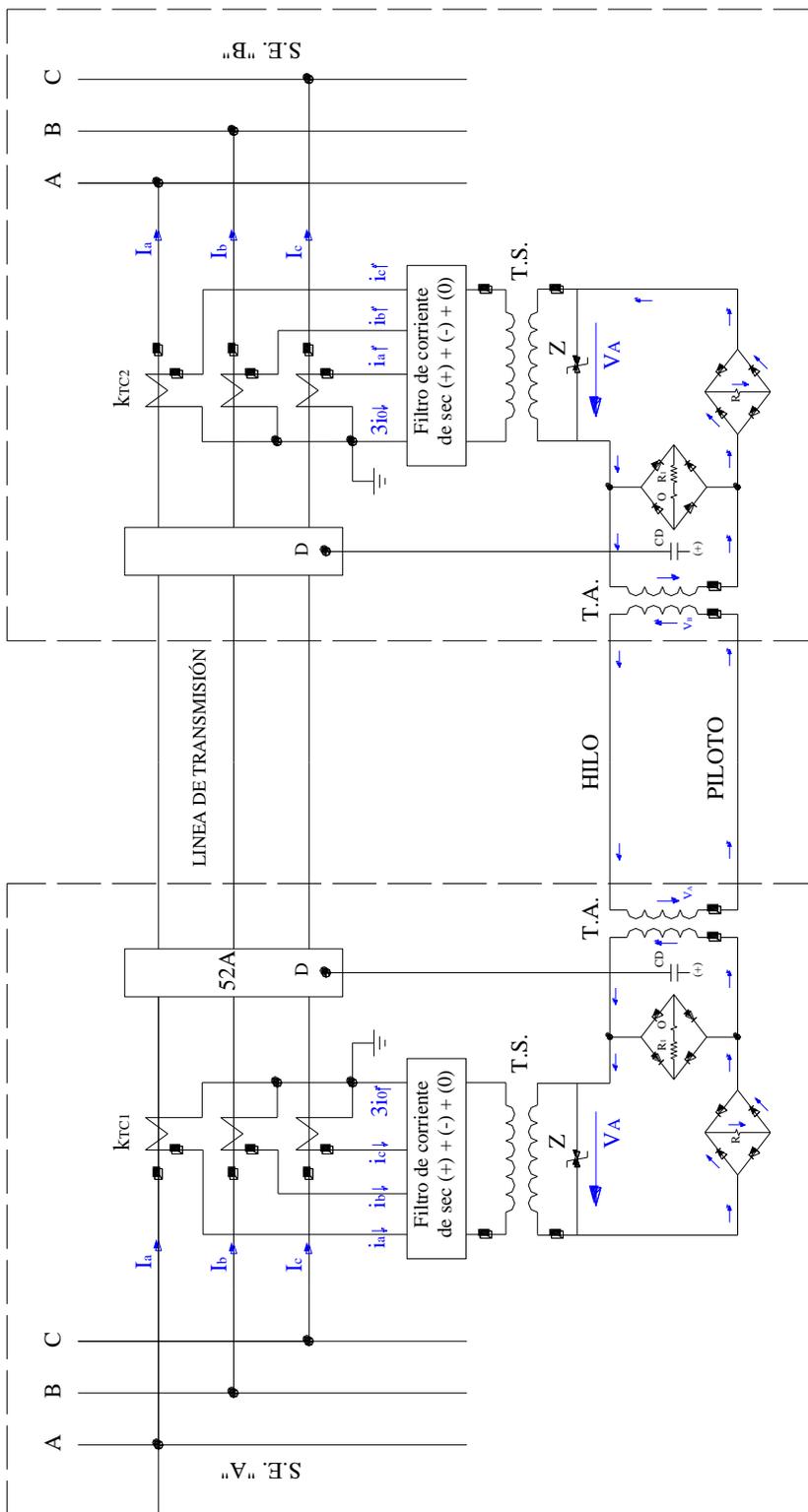
En los siguientes diagramas se muestra el principio de operación de la protección diferencial de hilo piloto.

En el primero se muestra esta protección en condiciones normales, en donde la corriente entra por la Subestación Eléctrica "A", se induce a través de los TC una corriente secundaria i_a , i_b e i_c y entra al filtro de corriente de sec. (+), (-) y (0). Los TC están conectados en estrella de tal manera que en el cierre de la estrella se tenga $3i_0$, la cual retorna del filtro de corriente. A través de este filtro se acopla un transformador de salida (T.S.) el cual debido a las corrientes induce una tensión a través de su secundario en el sentido de la polaridad del transformador. Esta corriente se ve reflejada en el primario del transformador de aislamiento (T.A.) e inducida en el secundario del mismo.

Lo mismo ocurre en la Subestación Eléctrica "B", con la diferencia de que las corrientes inducidas secundarias de los TC están saliendo del filtro. A través de los secundarios del transformador de aislamiento (T.A.) y por medio del hilo piloto, que sirve como medio de comunicación, se produce la circulación del flujo de corriente ya que estas corrientes presentan el mismo sentido. Como está circulando una corriente en la malla formada por el par de hilo piloto y los secundarios de los dos transformadores de aislamiento, estos transformadores de aislamiento presentan una muy baja impedancia y es por esto que la corriente sigue su camino a través del T.A. y no a través del puente rectificador donde se encuentran la bobina de operación. En estas condiciones no operan los relevadores porque no se tiene falla.

En el diagrama se muestra el sentido de la corriente en color azul, esta corriente es la corriente que circula en condiciones normales de funcionamiento.

CONDICIONES NORMALES DE OPERACIÓN



kTC1 = kTC2

T.S. = Transformador de salida

Z = Doble Zener, protección contra sobrevoltaje.

T.A. = Transformador de aislamiento.

O = Bobina de Operación

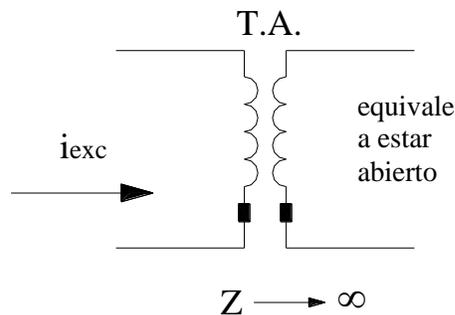
R = Bobina de Restricción

R1 = Resistencia estabilizadora

El segundo diagrama que se muestra es la operación en condiciones de falla. Al presentarse una falla en la línea de transmisión, la corriente de la Subestación “A” permanece en el mismo sentido, pero la corriente de la Subestación “B” cambia en 180° de dirección porque ambas corrientes tienen que alimentar a la falla.

De esta manera, las corrientes y tensiones a través del circuito de protección de la Subestación “A” no cambian de dirección, pero las tres corrientes inducidas en los secundarios de los TC de la Subestación “B” cambian de dirección y ahora se muestran entrando al filtro. Por lo tanto la tensión inducida en el T.S de la subestación “B” cambia de dirección y ahora se muestra en el sentido de la polaridad del transformador. Entonces la tensión que se ve reflejada en el Transformador de Aislamiento (T.A.) también cambia de dirección, y como gracias a esta tensión se produce una corriente, esta corriente ahora se opone a la corriente producida por el circuito de la Subestación “A” y presentan sentidos opuestos, lo cual hace que la corriente resultante tienda a cero y en los T.A. se presente una alta impedancia.

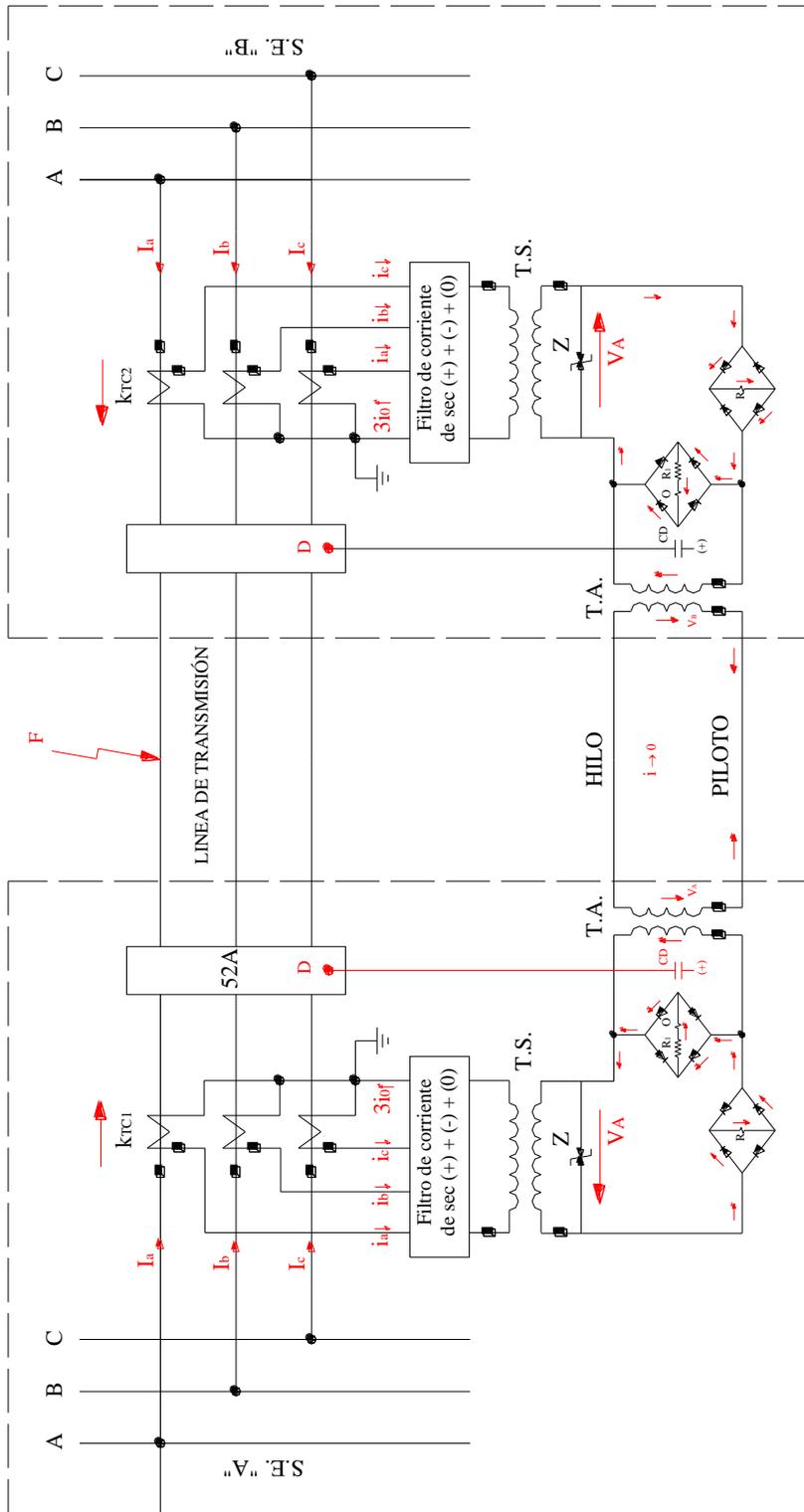
Este efecto en los T.A. es debido a que los transformadores se están alimentando solo con la corriente de excitación en el primario, y en el secundario equivale a estar abierto y por esta razón la impedancia tiende a infinito. Como se muestra en la siguiente figura:



Como consecuencia de este efecto en el T.A. ahora el circuito en paralelo, donde se encuentra la bobina de operación presenta menos impedancia y este es el camino que toma la corriente para circular, en estas condiciones la protección opera y se cierra el contacto alimentado con CD, el cual mandará señal de disparo al interruptor librándose así la falla.

La circulación de las corrientes de falla se presentan ahora en color rojo para una mejor comprensión del funcionamiento del circuito.

CONDICIONES DE FALLA



krc1 = krc2

T.S. = Transformador de salida

Z = Doble Zener, protección contra sobrevoltaje.

T.A. = Transformador de aislamiento.

O = Bobina de Operación

R = Bobina de Restricción

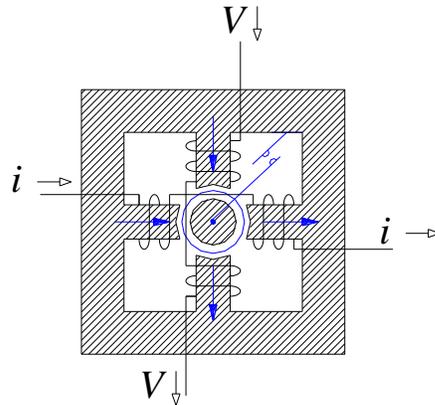
R1 = Resistencia estabilizadora

PROTECCIÓN DE RESPALDO DE LINEAS DE TRANSMISIÓN CON RELEVADORES DE SOBRECORRIENTE DIRECCIONAL.

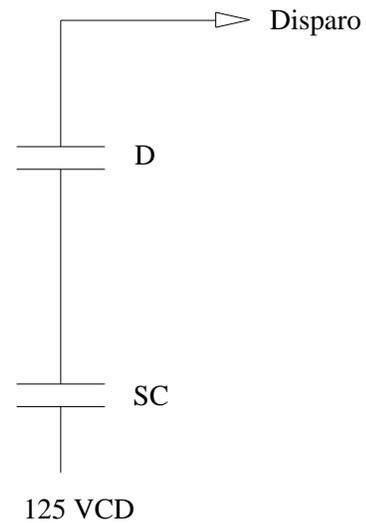
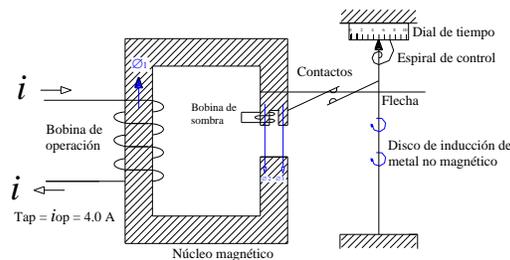
Esta protección utiliza tres relevadores para la protección de sobrecorriente entre fases y un relevador para la protección de fase a tierra.

Protección de sobrecorriente direccional

Unidad direccional (D), detecta el sentido de la falla.

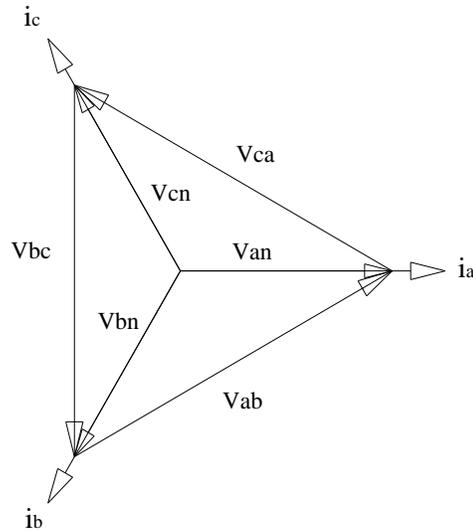


Unidad de sobrecorriente (SC), ve el tiempo de operación.



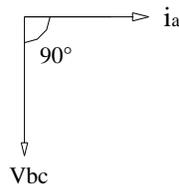
Para la protección de falla entre fases se utilizan tres relevadores y en su análisis se considera un sistema trifásico balanceado con un factor de potencia unitario.

La alimentación de los relevadores será entonces con una tensión a 90° de la corriente con factor de potencia unitario.

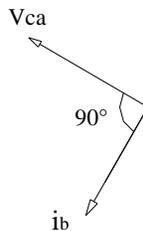


Entonces los tres relevadores que protegen para fallas entre fases se alimentan así:

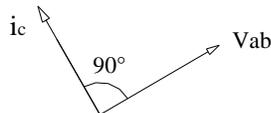
67-1 : i_a, V_{bc}



67-2 : i_b, V_{ca}



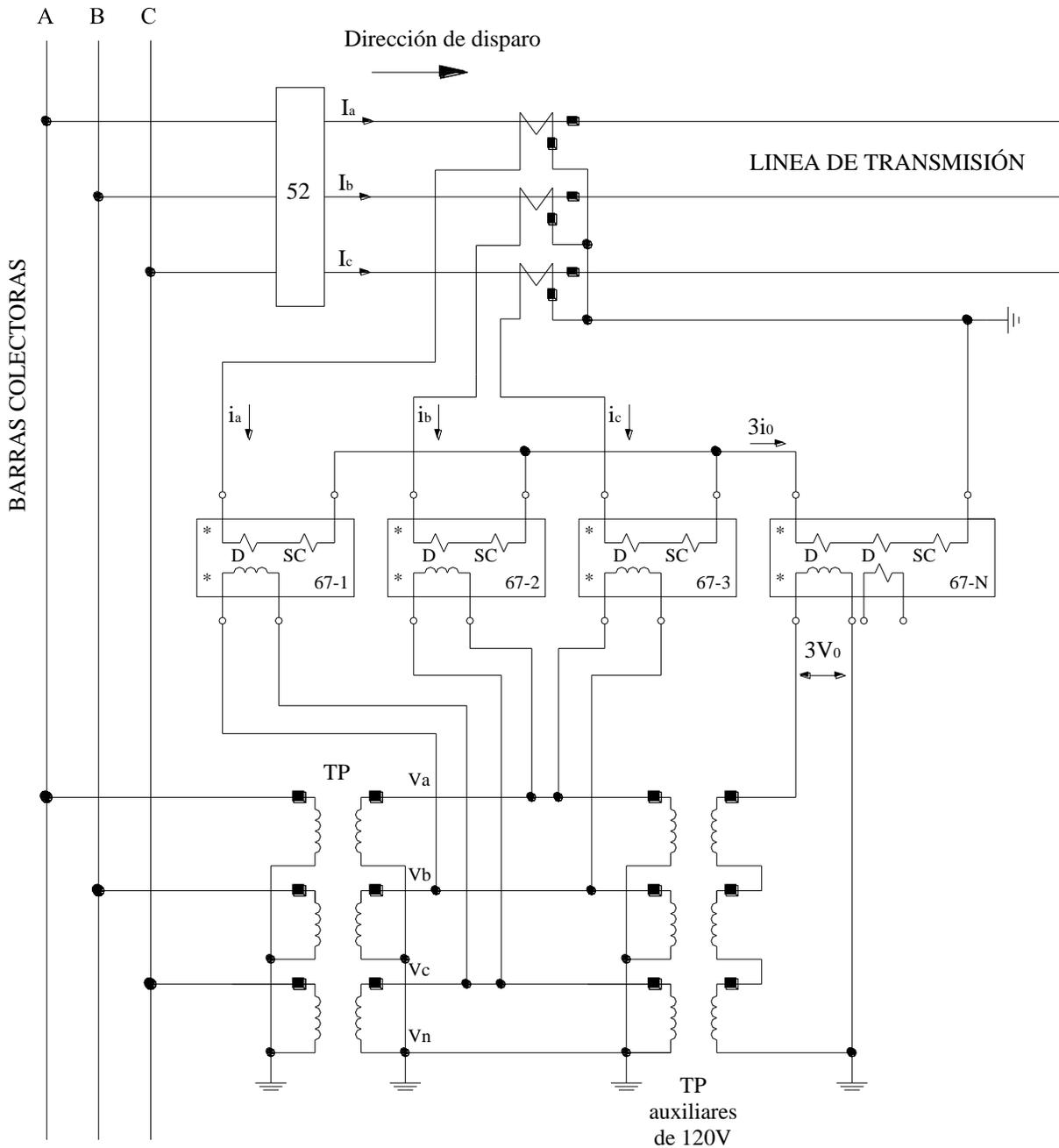
67-3 : i_c, V_{ab}



Para la protección de falla a tierra (67-N) solo se necesita un relevador. La unidad direccional se puede conectar de dos formas:

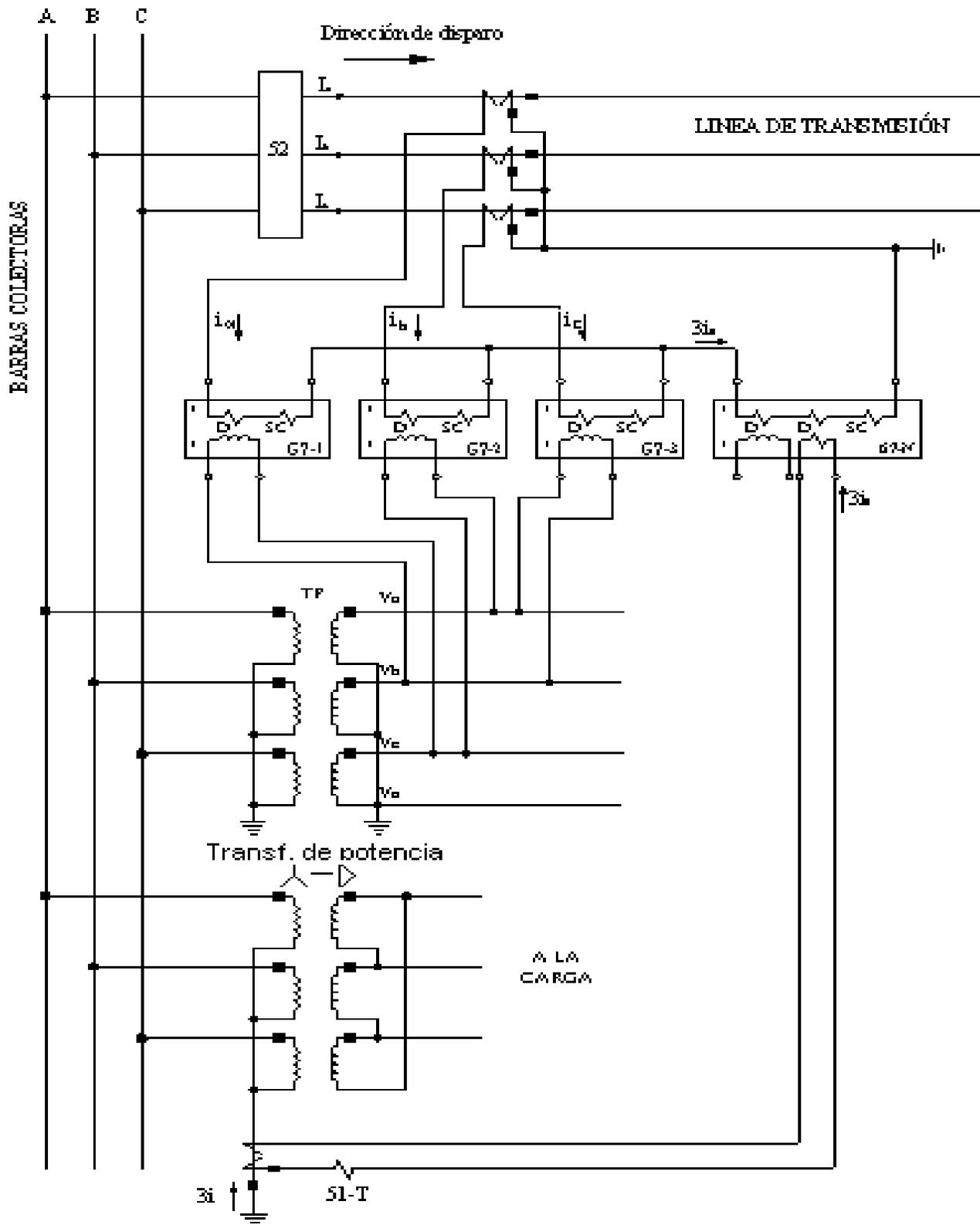
1. Utiliza $3i_0$ de los TC de la línea + $3V_0$ de los secundarios de TP auxiliares en delta quebrada.
2. Una de las bobinas de los TC de la línea suministra $3i_0$ + la otra $3i_0$ es obtenida del TC del neutro de un banco de potencia Y/ Δ conectado a las mismas barras de la línea.

Diagrama de conexiones, polarización del 67-N con $3V_0$:



Se tienen tres relevadores para protección contra sobrecorriente entre fases (67-1, 67-2, 67-3), cada uno con una unidad direccional (D) y una de sobrecorriente (SC). También se tiene un relevador para protección de fallas a tierra (67-N), con dos unidades direccionales y una de sobrecorriente. En este relevador (67-N) se pueden polarizar las unidades con tensión o con corriente, este diagrama muestra la polarización con tensión ya que utiliza el $3V_0$ proveniente del secundario de los TP auxiliares en delta quebrada.

Ahora, el siguiente diagrama muestra la polarización del 67-N con corriente, utilizando la $3i_0$ proveniente del secundario del TC conectado en el neutro o cierre de estrella del banco de potencia del que se debe disponer.



En este T. C. del neutro se tiene un relevador de respaldo para fallas a tierra y de allí se toma la polarización. Es necesario verificar que la conexión del banco debe ser Y/\$\Delta\$ para poder disponer de esta polarización para el relevado 67N.



IX PROTECCION DE BARRAS COLECTORAS

PROTECCIÓN DIFERENCIAL DE BARRAS CON TRANSFORMADORES SUMA

Esta es la protección de Barras Colectoras mediante Transformadores Suma, los cuales reciben una señal trifásica y la convierten en una señal monofásica del orden de mA.

Los TC se conectan de tal manera que se protejan a las barras y a los interruptores de potencia, estos TC se conectan en estrella, con el cierre de la estrella del lado de los interruptores, los secundarios de los TC son las señales que recibirán los Transformadores Suma (TS), y a la salida monofásica de estos TS se conectará el circuito de protección.

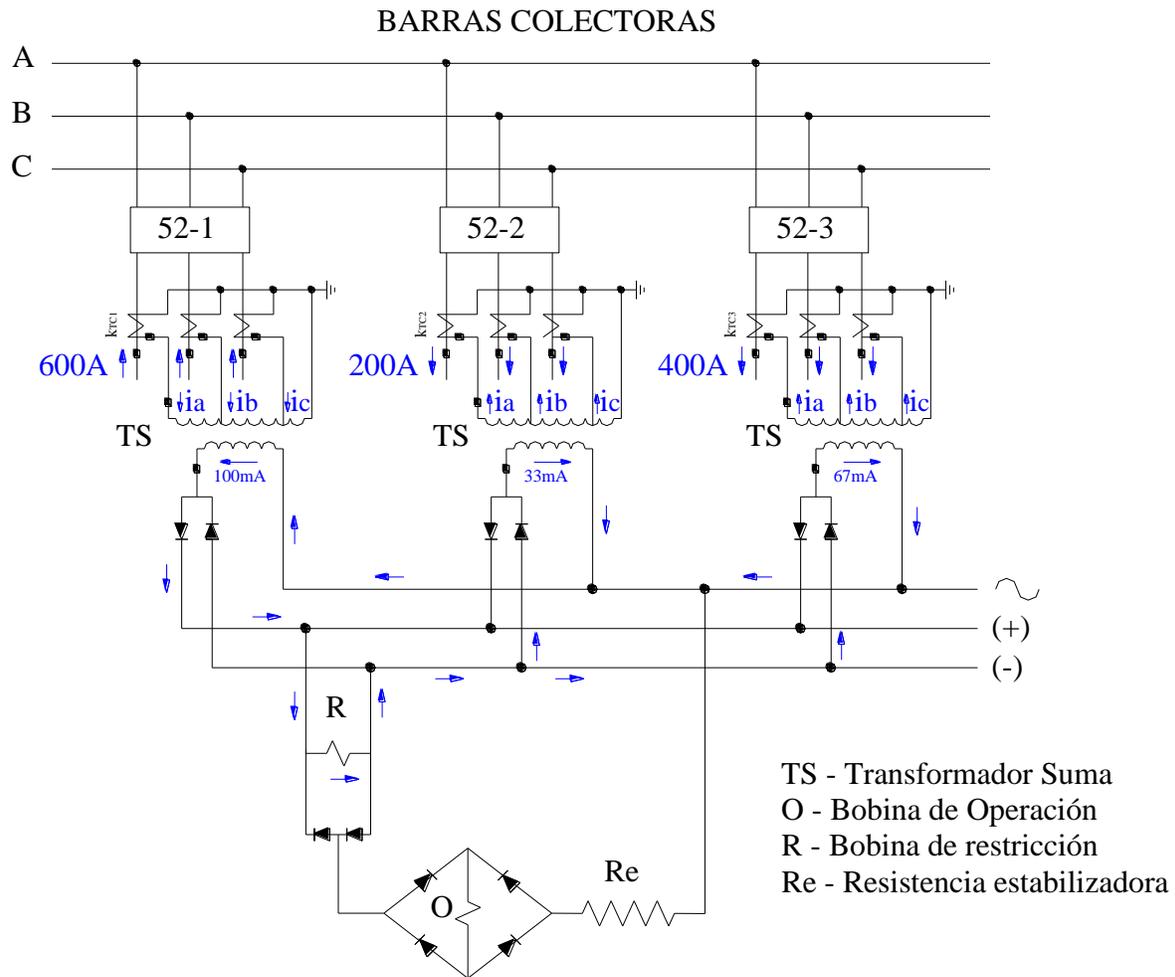
En esta primer figura se muestra el diagrama en condiciones normales de funcionamiento, suponiendo que no hay falla en las barras. El sentido de las corrientes se muestra en color azul.

Se tienen tres interruptores de potencia y a cada uno se le conectan tres TC en estrella, en el 51-1 se alimenta una corriente de 600A, los TC son 600:5 y esos 5A se inducen en el secundario del TS como 100mA los cuales tienen el sentido en dirección a la marca de polaridad, esta corriente sigue su camino y pasa por a bobina de restricción.

Los TC del 52-2 proporcionan 200A e inducen en el secundario del TS 33mA en el sentido contrario a la marca de polaridad teniendo la dirección mostrada en el diagrama. El 52-3 también proporciona corriente y son 400A los cuales se ven reflejados en el secundario del TS como 67mA que sumada a los 33mA son los 100mA del 52-1, ya que las corrientes de estos dos últimos muestran direcciones opuestas a la corriente del primero.

Como se ve en el diagrama en condiciones normales no circula corriente por la bobina de operación y por lo tanto no opera la protección porque no se tiene falla.

CONDICIONES NORMALES

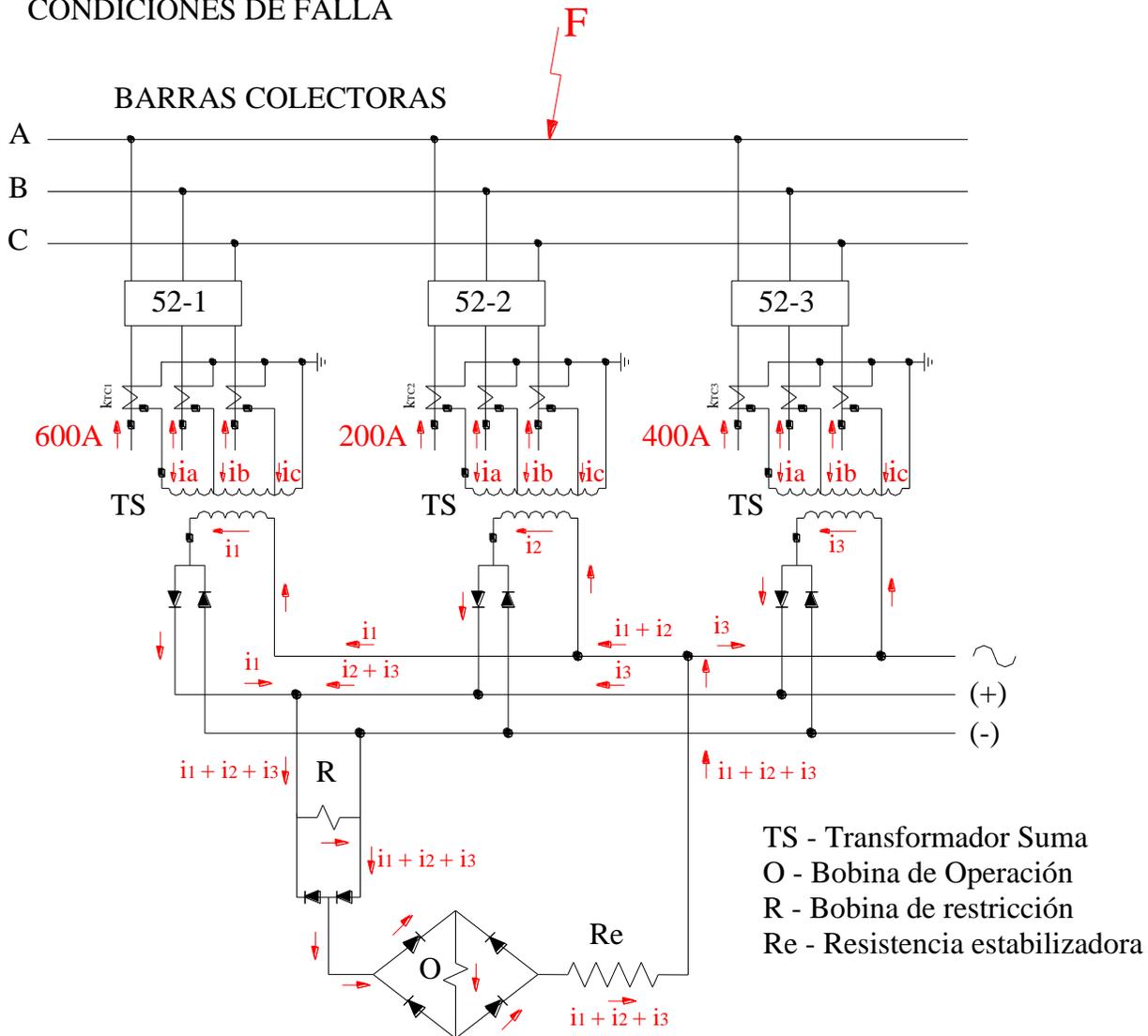


Para el correcto funcionamiento de esta protección, las relaciones de los TC deben ser iguales.

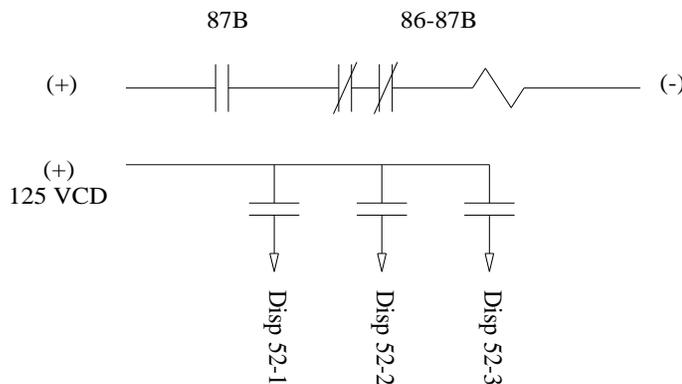
La siguiente figura muestra el diagrama de funcionamiento de la protección diferencial de barras en condiciones de falla, en esta condición la corriente si pasará a través de la bobina de operación, debido a que todas las corrientes están en el mismo sentido y no se compensan entre sí.

En el diagrama se muestra como las corrientes que entran al interruptor 52-2 y 52-3 cambian de dirección, debido a que al presentarse la falla, ésta se alimenta por todo el sistema. En el diagrama se muestran las direcciones que toman las corrientes y se representan en color rojo para un mejor análisis.

CONDICIONES DE FALLA



Al pasar la corriente por la bobina de operación se acciona la protección cerrándose los contactos de los relevadores y mandando señal de disparo a los interruptores de potencia.

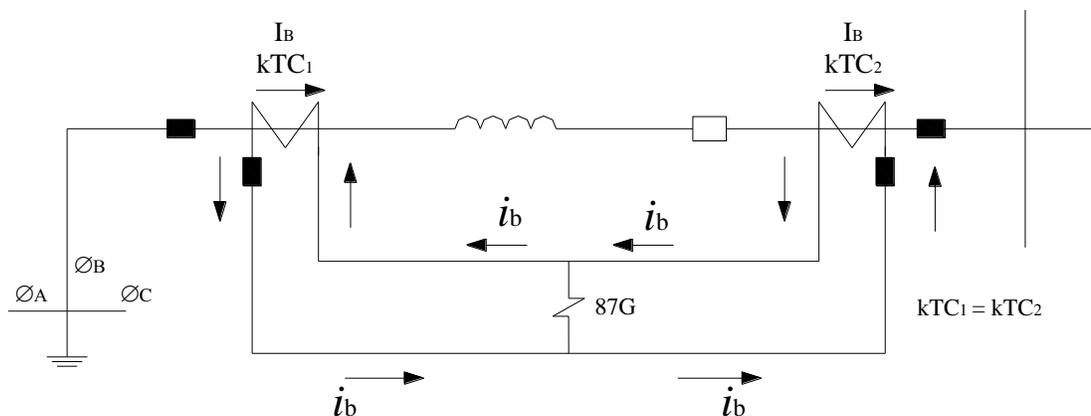


X PROTECCION DE GENERADORES

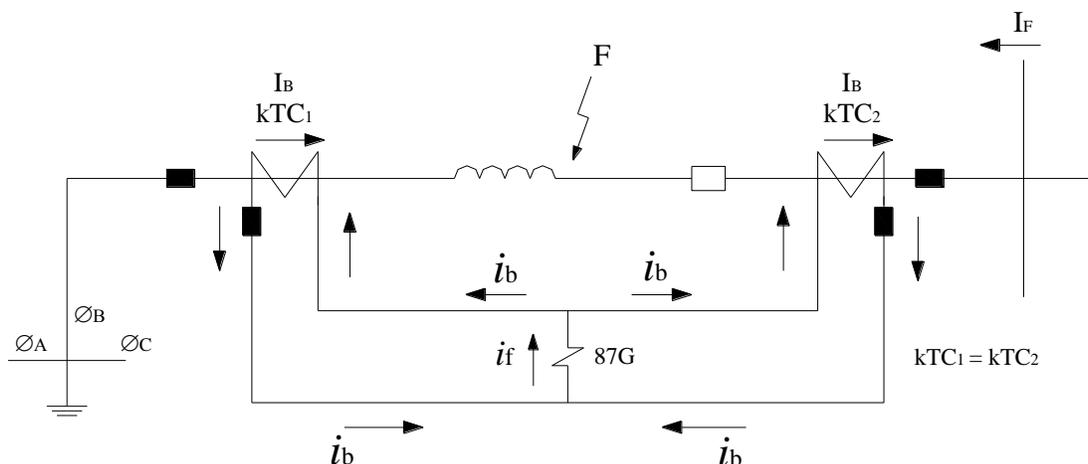
Protección diferencial del generador

El siguiente diagrama es la aplicación del principio de funcionamiento de la protección diferencial a un generador. En condiciones normales se tienen los siguientes sentidos de corriente en los secundarios de los TC y el relevador no opera.

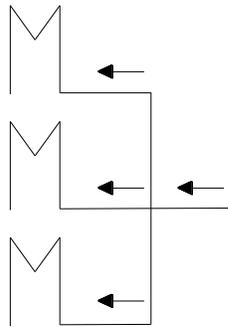
Se utilizan las mismas relaciones de transformación para los TC en la protección del generador, el diagrama muestra la protección a una fase.



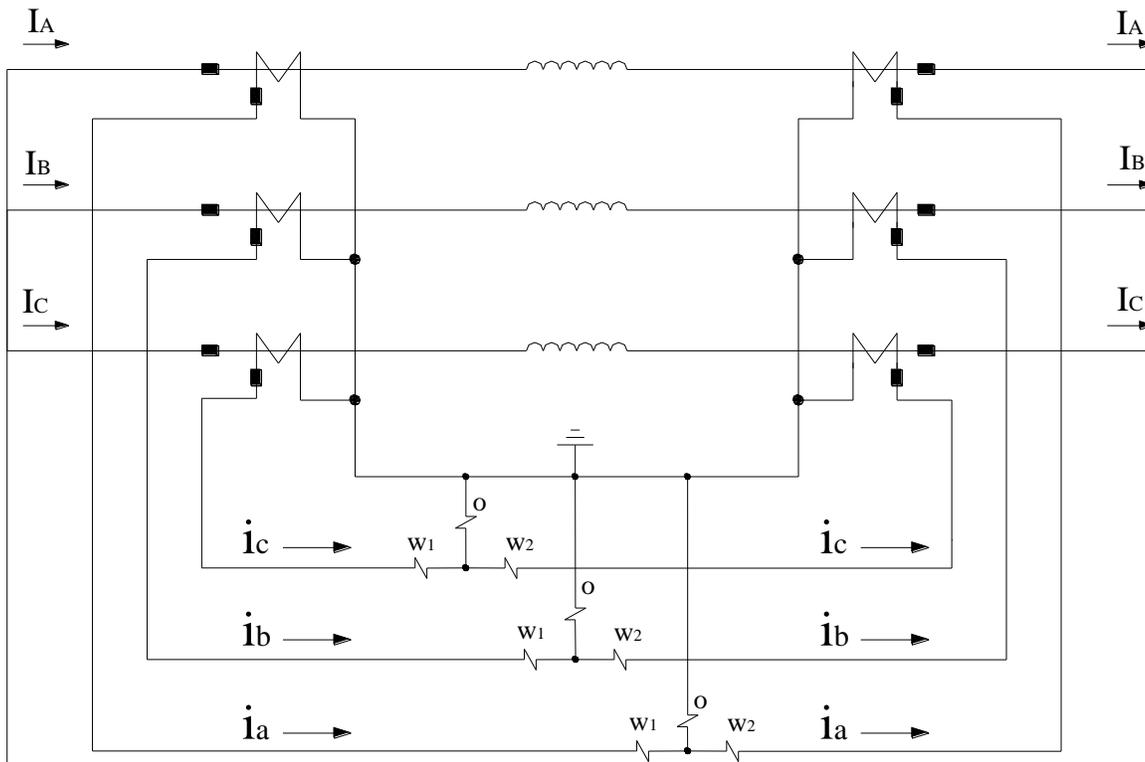
Ahora en condiciones de una falla, las corrientes adquieren los siguientes sentidos y el relevador opera. Se observa que aparece una corriente de falla i_f que pasa por el relevador, esta es la suma de las corrientes que se inducen en los secundarios, que son las que alimentan a la falla.



Con el fin de reducir el número de conductores y el consumo de energía en los secundarios de los TC de la protección diferencial del generador, se utiliza la conexión estrella en sus secundarios.

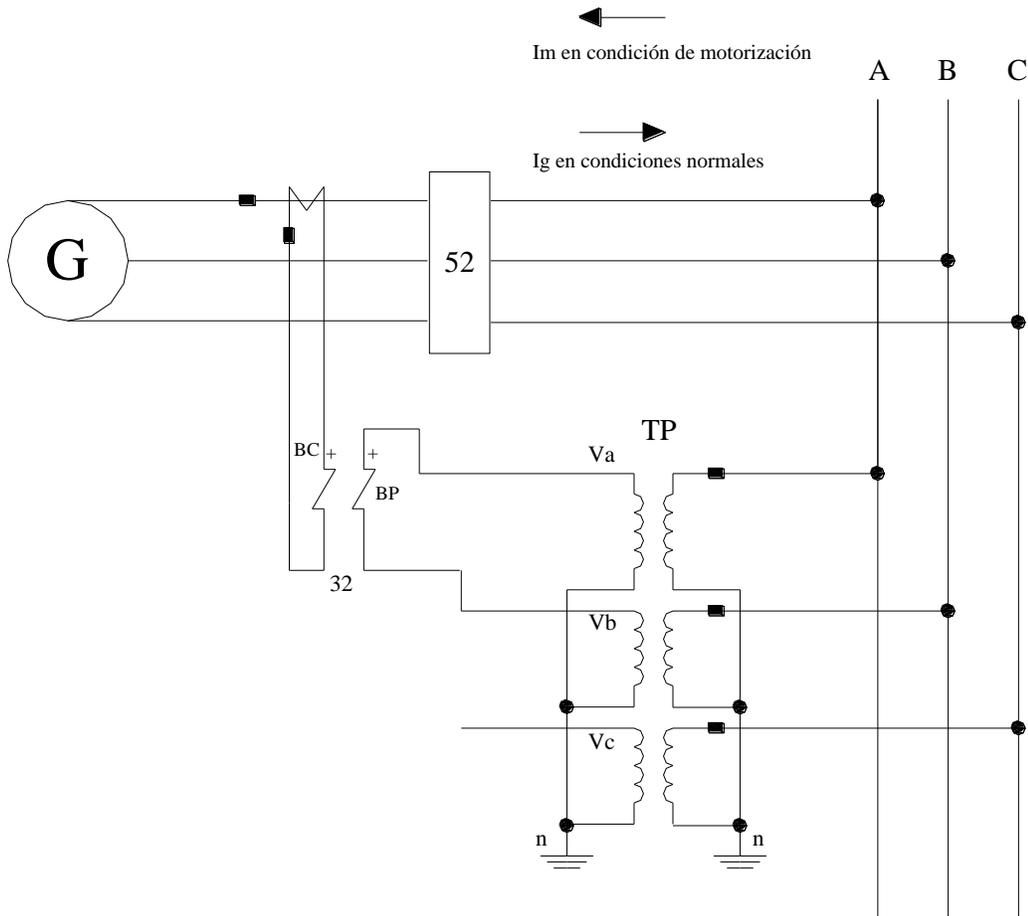


En condiciones normales la corriente en el cierre de la estrella es cero. Con este arreglo se ahorran dos conductores de retorno de los TC.



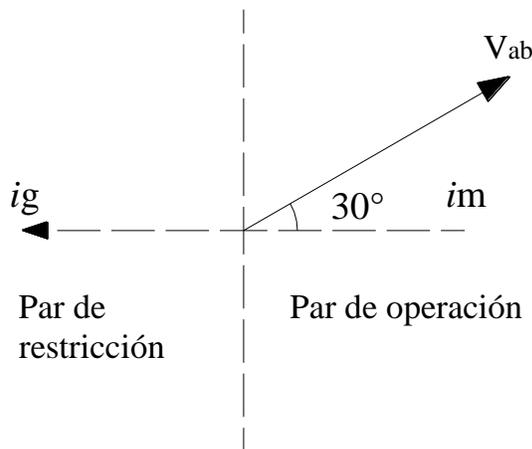
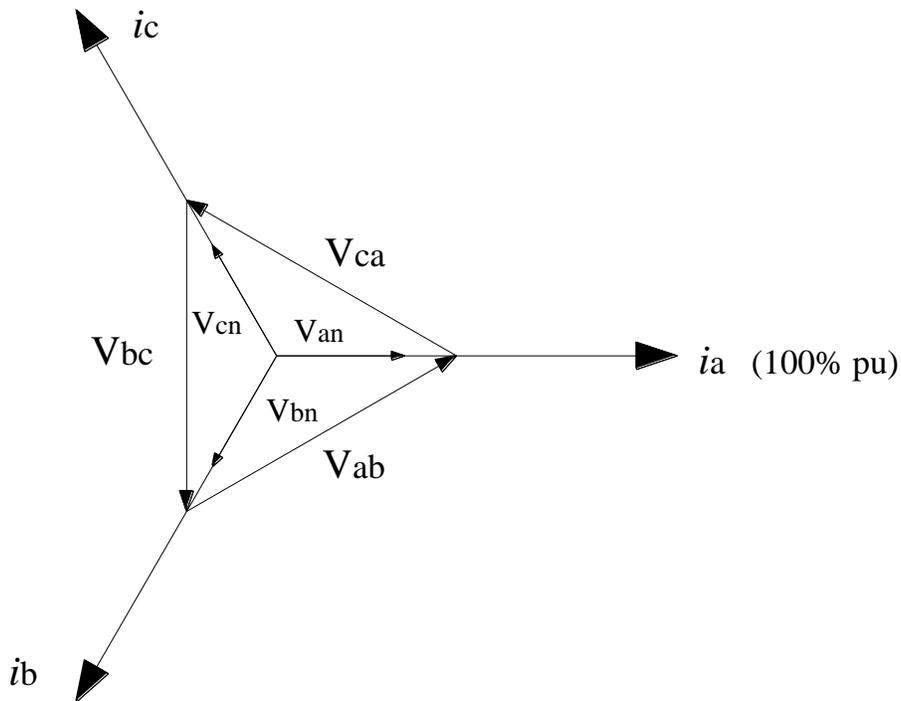
Protección Contra la motorización del generador

Se utiliza el relevador direccional de potencia. La condición normal es que el generador esté entregando potencia al sistema, sin embargo, si el generador pierde la potencia mecánica suministrada por el primo motor, ya no genera energía eléctrica y la toma del sistema, comportándose como motor, debiendo desconectarse del sistema



Este relevador utiliza la conexión 30° y se usa para proteger al generador contra la motorización.

BC Bobina de corriente
BP Bobina de potencial



Si el relevador está recibiendo la corriente de la fase A(i_a), la bobina de potencial debe conectarse a la tensión V_{ab} que se encuentra a 30° de dicha corriente y este ángulo es el que debe ver el relevador en el momento de la motorización del generador, para que opere correctamente

Protección Contra Sobrecalentamiento del Estator.

El sobrecalentamiento del estator es producido por sobrecarga o por falla en el sistema de enfriamiento. La forma de detectarlo es colocando resistencias o termopares en el estator, los cuales se conectan con un juego de resistencias y un relevador direccional formando un puente de wheatstone. El relevador tiene par de operación que tiende a abrir los contactos cuando la resistencia es baja, indicando baja temperatura de la máquina. Cuando la temperatura de la máquina excede 120°C (para máquinas con aislamiento clase B), el puente se desbalancea y los contactos de relevador se cierran enviando una señal de alarma.

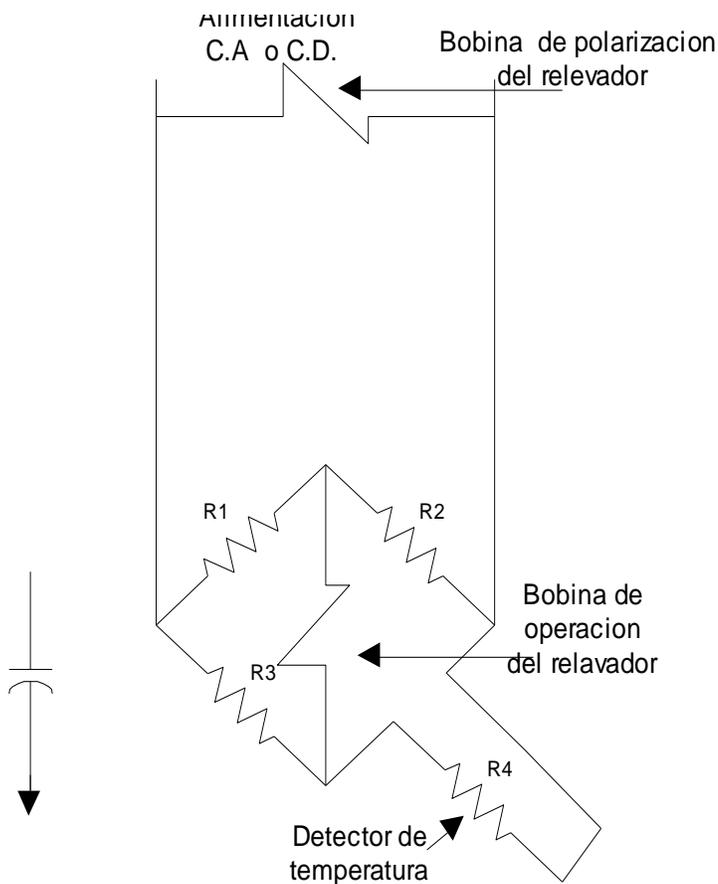


Diagrama de conexiones del detector de sobrecalentamiento del estator.

APÉNDICE



NUMEROS ESTANDARIZADOS USADOS EN DIAGRAMAS ELÉCTRICOS

NÚMERO	FUNCIÓN
2	Relevador de retardo de arranque o de cierre.
20	Válvula de operación eléctrica.
21	Relevador de distancia.
25	Dispositivo sincronizador o verificador de sincronismo.
27	Relevador de baja tensión.
32	Relevador direccional de potencia.
37	Relevador de baja corriente o baja potencia.
40	Relevador de campo.
41	Interruptor de campo.
43	Dispositivo manual de transferencia o selección.
47	Relevador de tensión de secuencia de fases.
48	Relevador de secuencia incompleta.
49	Relevador térmico de máquina o transformador.
50	Relevador instantáneo de sobrecorriente.
51	Relevador de sobrecorriente con retardo intencionado en la operación.
52	Interruptor de potencia.
57	Dispositivo para poner en cortocircuito o a tierra.
59	Relevador de sobre tensión.
62	Relevador de retardo de paro o apertura.
63	Relevador de presión (de líquido o de gas) o de vacío.
64	Relevador para protección de fallas a tierra que no se conecta a través de transformadores de corriente.
65	Regulador de velocidad.
67	Relevador direccional de sobrecorriente (C. A.)
68	Relevador de bloqueo.
72	Interruptor de C.D.
74	Relevador de alarma.
79	Relevador de cierre de C.A.
81	Relevador de frecuencia.
85	Relevador receptor de un sistema de onda portadora o de hilo piloto.
86	Relevador de bloqueo sostenido.
87	Relevador de protección diferencial.
89	Cuchilla desconectadora de línea, accionada eléctricamente.

Análisis de fasores

Relación de tensión entre fases y tensión al neutro en el sistema trifásico

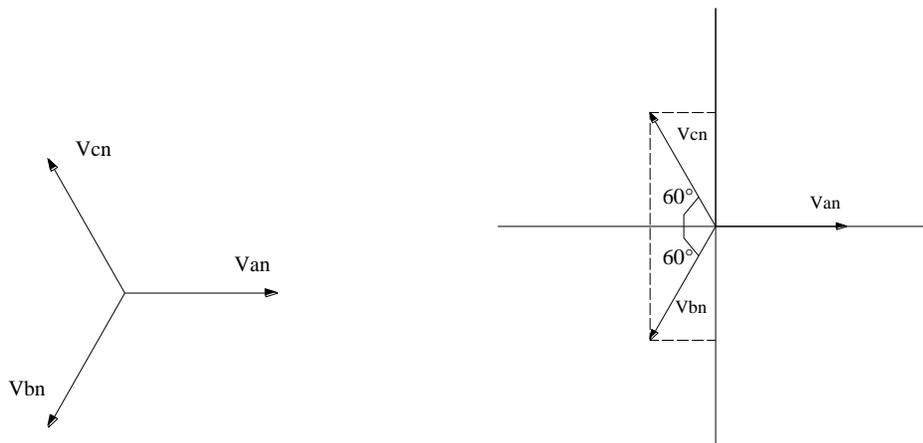
Para poder sumar o restar fasores se pasan de la forma polar a la forma rectangular.

tensiones de fase a neutro de un sistema trifásico balanceado

$$V_{an} = k \angle 0^\circ = k [1 + j0]$$

$$V_{bn} = k \angle 240^\circ = k \angle -120^\circ = k \left[-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \right]$$

$$V_{cn} = k \angle 120^\circ = k \left[-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \right]$$



obtención de los valores de las funciones trigonométricas para los ángulos de 30° y 60° a partir de un triángulo equilátero que tiene por lado 2 unidades.

Se aplica el teorema de Pitágoras en el siguiente triángulo:

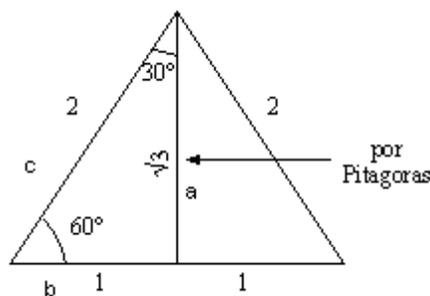
$$c^2 = a^2 + b^2$$

$$a = \sqrt{c^2 - b^2}$$

$$a = \sqrt{2^2 - 1^2}$$

$$a = \sqrt{4 - 1}$$

$$a = \sqrt{3}$$



$$\cos 60^\circ = 1/2 \quad \cos 30^\circ = \sqrt{3}/2 \quad \tan 30^\circ = 1/\sqrt{3}$$

Determinación de Vab

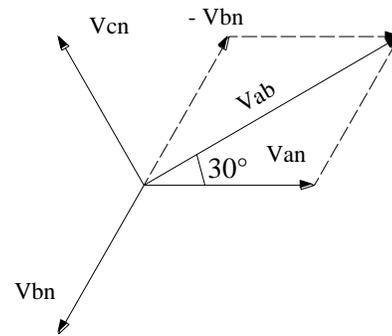
$$V_{ab} = V_{an} - V_{bn} = k \left[(1 + j0) - \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) \right] = k \left(\frac{3}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \right)$$

$$|V_{ab}| = k \sqrt{\left(\frac{3}{2}\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2} = k \sqrt{\frac{9}{4} + \frac{3}{4}} = k \sqrt{\frac{12}{4}} = k \sqrt{3}$$

$$\theta = \operatorname{tg}^{-1} \frac{\frac{\sqrt{3}}{2}}{\frac{3}{2}} = \operatorname{tg}^{-1} \frac{\sqrt{3}}{3} = \operatorname{tg}^{-1} \frac{\sqrt{3}\sqrt{3}}{3\sqrt{3}} = \operatorname{tg}^{-1} \frac{3}{3\sqrt{3}} = \operatorname{tg}^{-1} \frac{1}{\sqrt{3}}$$

$$\theta = 30^\circ$$

$$V_{ab} = \sqrt{3} k \angle 30^\circ$$



Determinación de Vbc

$$V_{bc} = V_{bn} - V_{cn}$$

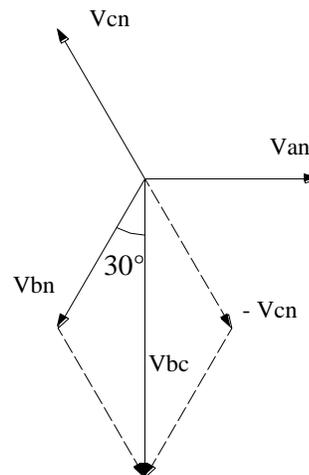
$$V_{bc} = k \left[\left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) - \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) \right]$$

$$V_{bc} = k (-j\sqrt{3})$$

$$|V_{bc}| = k \sqrt{(0)^2 - (\sqrt{3})^2} = k \sqrt{3}$$

$$\theta = \operatorname{tg}^{-1} \frac{\sqrt{3}}{0} = \operatorname{tg}^{-1} \infty = -90^\circ$$

$$V_{bc} = \sqrt{3} k \angle -90^\circ$$



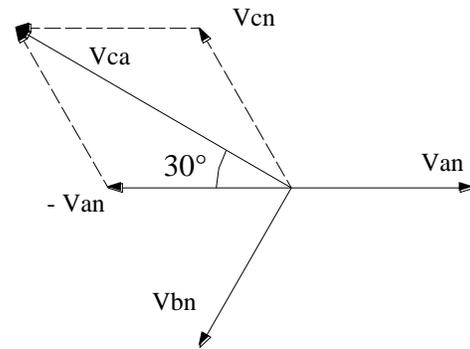
Determinación de Vca

$$V_{ca} = V_{cn} - V_{an}$$

$$V_{ca} = k \left[\left(-\frac{1}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2} \right) - (1 + j0) \right]$$

$$V_{ca} = k \left(-\frac{3}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2} \right)$$

$$|V_{ca}| = k \sqrt{\left(-\frac{3}{2} \right)^2 + \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \right)^2} = k \sqrt{\frac{9}{4} + \frac{3}{4}} = k \sqrt{\frac{12}{4}} = \sqrt{3} k$$



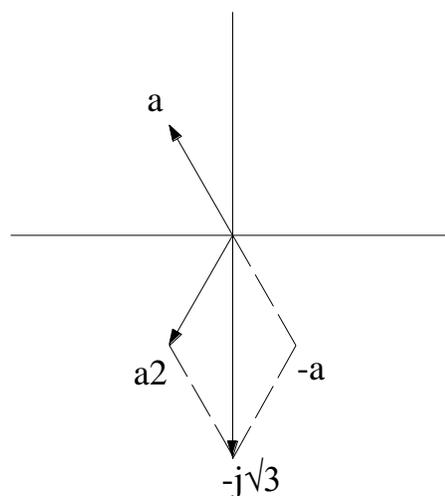
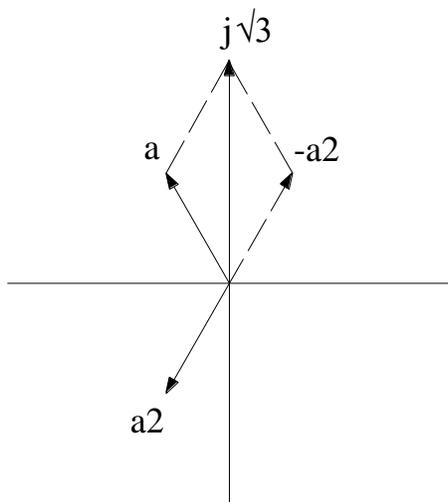
$$\theta = \operatorname{tg}^{-1} \frac{\frac{\sqrt{3}}{2}}{-\frac{3}{2}} = \operatorname{tg}^{-1} -\frac{2\sqrt{3}}{6} = \operatorname{tg}^{-1} -\frac{1}{2}\sqrt{3} = \operatorname{tg}^{-1} -\frac{\sqrt{3}\sqrt{3}}{3\sqrt{3}} = \operatorname{tg}^{-1} -\frac{3}{3\sqrt{3}} = \operatorname{tg}^{-1} -\frac{1}{\sqrt{3}}$$

$$V_{ca} = \sqrt{3} k \angle -30^\circ = \sqrt{3} k \angle 150^\circ$$

Se concluye que la magnitud del tensión entre fases es $\sqrt{3}$ veces la tensión al neutro.

$$\text{Si } V_n = 258 \text{ V } \therefore V_{ff} = \sqrt{3} (258) = 440 \text{ V}$$

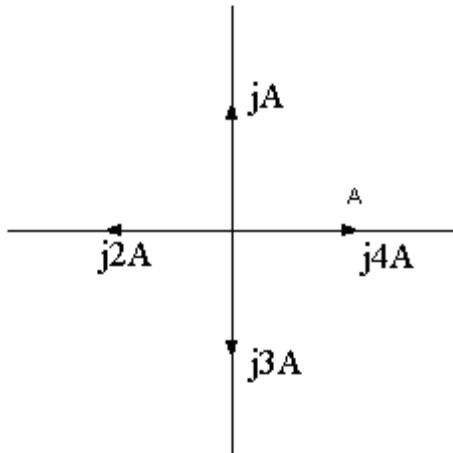
Obtención de la resultante de: $a - a^2$ y de $a^2 - a$



Operador j



Cuando a un vector ó fasor lo multiplicamos por el operador j , dicho vector gira 90° .



$$A = A \angle 0^\circ$$

$$jA = A \angle 90^\circ$$

$$j^2 A = j j A = A \angle 180^\circ = -A$$

$$j^3 A = j j^2 A = A \angle 270^\circ = -jA$$

$$j^4 A = j j^3 A = A \angle 360^\circ = A \angle 0^\circ$$

Se observa que:

$$j^2 A = -A$$

Despejando:

$$j^2 = \frac{-A}{A}$$

$$j^2 = -1$$

$$j = \sqrt{-1}$$

Ahora:

$$j^4 = j^2 \cdot j^2 = (-1) (-1)$$

$$j^3 = j^2 \cdot j = -j$$

$$j^4 = 1$$



BIBLIOGRAFÍA

-  **El arte y la ciencia de la protección con relevadores.**
C. Russel Mason
Ed. Cia. Editorial Continental
-  **LIBRO Elementos de protección de sistemas eléctricos, Teoría y Practica**
AUTOR Gilberto Enríquez Harper
EDITORIAL Limusa
-  **LIBRO Fundamentos de Instalaciones Eléctricas en mediana y alta tensión**
AUTOR Gilberto Enríquez Harper
EDITORIAL Limusa 2 Edicion
-  **LIBRO Electrical Power Equipment Maintenance and Testing**
AUTOR Paul Gill
EDITORIAL MADISON AVENUE
-  **LIBRO Máquinas eléctricas y transformadores**
AUTOR Bhag S. Gurú (2003).
EDITORIAL Oxford ISBN-10: 0195138902. 720 pp.
-  **LIBRO Análisis de sistemas de potencia**
AUTOR Grainger Power
EDITORIAL McGraw-Hill, ISBN- 10:0070612935. 784 pp.
-  **LIBRO Elementos de diseño de subestaciones eléctricas**
AUTOR Harper Enríquez (2005).
EDITORIAL Limusa ISBN-10: 9681811501. 626 pp.
-  **LIBRO Máquinas eléctricas y transformadores**
AUTOR Irving L. Kosow (2009).
EDITORIAL Reverté, ISBN-10: 8429130454. 748 pp.
-  **LIBRO Análisis y diseño de sistemas de potencia**
AUTOR J. Duncan Glover (2003).
EDITORIAL Thomson Learning Mexico, ISBN-10: 9706862919. 672 pp.
-  **LIBRO Líneas de transmisión de energía**
AUTOR Luis María Checa. (2008)
-  **EDITORIAL Marcombo Boixareu Editores, ISBN- 10: 8426706843. 628 pp.**
-  **Applied Protective Relaying**



Westinghouse Electric Corporation

 **Protective Relaying Principles and Application**
J. Lewis Blackburn
Ed. Marcel Dekker Inc.

NORMAS

ANSI/IEEE (1986). Guide for safety in AC Substation grounding Std. 80.

CFE-04400-42, Guía de criterios básicos para subestaciones de 115, 230 y 400 kV.

CFE J1000-50, Especificación (enero-2006). Torres para líneas de subtransmisión y transmisión.

ANSI/IEEE STD-141, Red Book (1993). Recommended practice for electric power distribution for industrial plants. ISBN: 1559373334.

NMX-J-098-ANCE, Tensiones eléctricas normalizadas

NMX-J-116-ANCE-2005, Productos eléctricos-transformadores-transformadores de distribución tipo poste y tipo subestación-especificaciones NMX-J-136-ANCE-2007, Abreviaturas y símbolos para diagramas, planos y equipos eléctricos.

NMX-J-150/1-ANCE-2008, Coordinación de aislamiento – Parte 1: Definiciones, principios y reglas.

NMX-J-150/2-ANCE-2004, Coordinación de aislamiento – Parte 2: Guía de aplicación.

NMX-J-169-ANCE-2004, Productos eléctricos-transformadores-transformadores y autotransformadores de distribución y potencia-métodos de prueba, 96 pp.

NMX-J-210-ANCE-2005, Cuchillas seccionadoras de operación con carga o sin carga- Terminología.

NMX-J-321/5-ANCE-2008, Apartarrayos – Parte 5: Recomendaciones para selección y aplicación.

NMX-J-321-ANCE-2005, Apartarrayos de óxidos metálicos sin explosores, para sistemas de corriente alterna – Especificaciones y métodos de prueba.

NMX-J-323-ANCE-2005, Cuchillas seccionadoras de operación con carga para media tensión – Especificaciones y métodos de prueba.

NMX-J-356-ANCE-2007, Cuchillas seccionadoras de operación sin carga y de desconexión a tierra de corriente alterna para servicio interior y exterior – Especificaciones y métodos de prueba.

NMX-J-512-1998-ANCE, Productos eléctricos-Reguladores automáticos de Tensión- Especificaciones y métodos de prueba.

NMX-J-549-ANCE-2005, Sistemas de protección contra tormentas eléctricas – Especificaciones, materiales y métodos de medición.

NMX-J-603-ANCE-2008, Guía de aplicación del sistema de protección contra tormentas eléctricas.

NOM-001-SEDE-20012 Instalaciones eléctricas (Utilización). Aprobada por el Comité Consultivo Nacional de Normalización de Instalaciones eléctricas, 792 pp.

NOM-002-SEDE-2007, Requisitos de seguridad y eficiencia energética para transformadores de distribución. 8 pp.

NOM-008-SCFI-2002, Sistema general de unidades de medida.

NRF-048-Pemex-2007, Diseño de instalaciones eléctricas. Richard C, Dorf (2011). Circuitos Eléctricos, Alfaomega, ISBN.10: 607707232X. 886 pp.

Stephen J. Chapman (2010). Máquinas Eléctricas, 4a. ed., McGraw-Hill, ISBN-10: 9584100564.

Theodore Wildi (2007). Máquinas Eléctricas y Sistemas de Potencia, Sexta Edición, Prentice Hall, ISBN-10: 9789702608147.



ESTA INFORMACION ES SOLO CON FINES EDUCATIVOS

