

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán

PROTECCION DE GENERADORES DE ALTA POTENCIA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO  
ELECTRICISTA

P R E S E N T A N  
MARCO ANTONIO PAREDES REYES  
ENRIQUE CANALES RUFINO

Director de Tesis: Ing. Benjamín Contreras Santa Cruz

Cuautitlán Izcalli, Méx.,

Marzo 1986



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

# TESIS CON FALLA DE ORIGEN

## INTRODUCCION

En las últimas décadas nuestro país, ha experimentado un crecimiento significativo en diversos aspectos tales como: - Industrial, Comercial y Demográfico. Lo que ha implicado al sector eléctrico un incremento de la demanda de la energía - que debe satisfacer, con la construcción de nuevas y más modernas plantas que permitan aumentar la capacidad instalada y - prever la demanda futura.

En un sistema eléctrico de potencia, la protección eléctrica a los generadores de alta potencia es muy importante - puesto que una correcta y eficiente aplicación permitirá que el sistema opere dentro de un alto grado de seguridad y confiabilidad. Particularmente los generadores de alta potencia son elementos con un gran valor económico y son parte vital de una planta de fuerza.

Tomando en cuenta lo anterior éste elemento requiere de - una adecuada protección.

La presencia de fallas en los generadores es muy rara pero cuando estas ocurren ocasionan daños considerables que provocan pérdidas económicas muy elevadas y el tiempo en que estará fuera de servicio la unidad será considerable.

Por ello el trabajo de los elementos de protección es -- aislar y eliminar la falla que se presente, en el menor tiempo posible y hacer que la falla no alcance a dañar otros elementos del sistema, asegurando al máximo la continuidad del servicio con mínimos daños a elementos materiales y al personal que labora en las plantas.

Todos los elementos que intervienen en la protección deberán ser de la más alta calidad y su costo se justificará dependiendo de el valor y potencia de el generador a proteger.

## INDICE

Página

### INTRODUCCION

<u>CAPITULO I</u>	GENERALIDADES SOBRE GENERADORES	1
1.1	Tipos básicos de generadores	2
1.2	Características generales de los generadores de c.a.	3
1.2.1	Generación de voltaje senoidal alterno	3
1.2.2	Fuerza electromotriz inducida (FEM)	7
1.2.3	Frecuencia	9
1.2.4	Construcción del rotor y del estator	10
1.2.5	Diagrama fasorial y circuito equivalente.	12
1.2.6	Prueba de circuito abierto y corto circuito.	16
1.3	Sistemas de excitación para máquinas sincro--nas.	20
<u>CAPITULO II</u>	TIPOS DE FALLAS Y PRINCIPIOS BASICOS DE PROTECCION	24
2.1	Definición	25
2.2	Causas	25
2.3	Tipos de fallas	26
2.4	Estudio de corto circuito	29
2.5	Principios básicos de protección por relevado res.	31
2.6	Cantidades esenciales de calidad en la protección	31
2.7	Protección primaria y de respaldo	33
2.8	Dispositivos de protección contra fallas	35

<u>CAPITULO III</u>	UNIDADES BASICAS DE RELEVADORES	37
	3.1 Clasificación de los relevadores	38
	3.2 Relevadores de atracción electromagnética	39
	3.3 Tipos de relevadores de atracción electromagnética.	40
	3.4 Relevadores de inducción electromagnética	45
	3.5 Tipos de relevadores de inducción electromagnética.	48
<u>CAPITULO IV</u>	INSTRUMENTOS Y DISPOSITIVOS UTILIZADOS EN LA PROTECCION DE GENERADORES.	52
	4.1 Relevadores	54
	4.2 Clasificación tiempo-corriente de mecanismos de protección.	55
	4.3 Relevadores de sobrecorriente no direccionales	56
	4.4 Relevadores direccionales de c.a.	60
	4.4.1 Relés de potencia	60
	4.4.2 Relés direccionales para protección en corto circuito.	64
	4.5 Relevador de distancia	66
	4.6 Relevador diferencial	75
	4.7 Relevador de balance de voltaje	81
	4.8 Transformadores de instrumentos y relevadores	84
	4.8.1 Transformadores de corriente	84
	4.8.2 Transformadores de potencial	92
	4.9 Interruptores	100
	4.9.1 Tipos de interruptores	106
<u>CAPITULO V</u>	PROTECCION ELECTRICA DE GENERADORES POR MEDIO DE RELEVADORES.	111
	5.1 Introducción	112

5.2	Protección diferencial del generador	113
5.3	Protección contra fallas a tierra en el estator del generador.	120
5.4	Protección contra pérdida de excitación	125
5.5	Protección de sobrecalentamiento del estator.	132
5.6	Protección contra sobrevoltaje en generadores hidráulicos.	135
5.7	Protección contra fallas a tierra en el campo.	138
5.8	Protección contra la sobreexcitación	142
5.9	Protección de respaldo contra fallos externos.	145
5.10	Protección de sobrecorriente de secuencia negativa.	154
5.11	Protección de balance de voltaje	157
5.12	Protección contra la motorización del generador.	161
5.13	Protección de sobrevelocidad	165
5.14	Protección de baja frecuencia	167
5.15	Protección contra la pérdida de sincronismo.	171
5.16	Ejemplos prácticos de protección	172
	a. Protección de sobrecorriente de un generador.	
	b. Práctica del relevador de distancia - tipo mho.	179
	c. Práctica del relevador diferencial.	188
	<u>CONCLUSIONES</u>	193
	<u>BIBLIOGRAFIA</u>	194

CAPITULO I

GENERALIDADES SOBRE REZERVOES



## GENERALIDADES SOBRE GENERADORES

### 1.1. TIPOS BASICOS DE GENERADORES.

Existen básicamente dos tipos de generadores: los generadores de corriente directa ( c-d ) y los generadores de corriente alterna ( c-a ). Los dos generan fuerzas electromotrices alternas, la diferencia es que, los generadores de c-d -- convierten el voltaje alterno generado y lo rectifican por medio de un conmutador y escobillas.

Los generadores c-a son también llamados alternadores. -- y estos deben ser manejados a una velocidad definida constante porque la frecuencia de la fem generada es determinada por ésta velocidad, la que recibe el nombre de velocidad sincrónica debido a esta característica los generadores reciben el nombre de generadores sincrónicos.

Los sistemas industriales convencionales reciben potencia trifásica de los generadores sincrónicos los cuales se dividen en dos grupos:

- I.- Las máquinas con rotores cilíndricos ( superficie enteramente cilíndrica ).
- II.- Las máquinas con rotores de polos salientes ( polos que sobresalen de la estructura cilíndrica ).

Las primeras son impulsadas por turbinas de vapor y girando a velocidad de 3600 y 1800 rpm con una frecuencia de -- 60 Hz, con 2 y 4 polos respectivamente.

Las máquinas de polos salientes son impulsadas por turbinas hidráulicas y tienen 6 ó más polos, girando a velocidades bajas.

## 1.2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS GENERADORES DE C.A.

### 1.2.1. GENERACION DE VOLTAJE SENOIDAL ALTERNO.

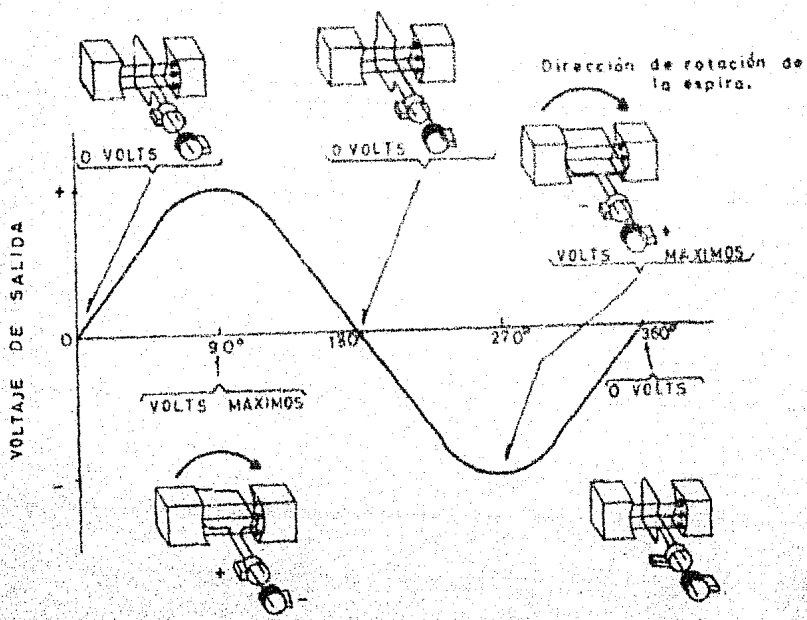
Para obtener un voltaje es necesario contar con un movimiento relativo entre dos elementos importantes, el primero es un devanado o grupo de bobinas en las cuales se induce el voltaje deseado y se le llama devanado de inducido, la estructura que lo contiene se llama armadura.

El segundo elemento es la creación de un campo magnético, que en la mayoría de las máquinas, el flujo se establece por medio de un devanado separado, denominado devanado de campo. Un movimiento de rotación da a producir cambios continuos en la cantidad de flujo que atravesará las bobinas del inducido.

En máquinas de c-a ésta rotación se obtiene haciendo girar el campo magnético en el devanado de la armadura, como el campo es el elemento rotatorio éste se llama rotor y el elemento estacionario que es el devanado de inducido se denomina estator.

El devanado de campo es excitado por la corriente de campo la cual lleva hasta él, por medio de escobillas de carbón que están sobre anillos deslizantes o anillos colectores. La corriente de campo es proporcionada por una fuente externa llamada excitatriz.

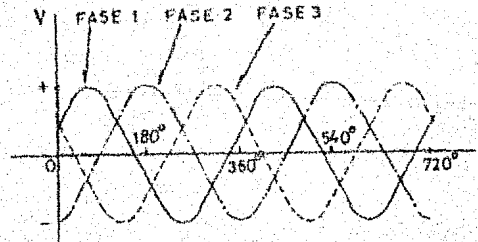
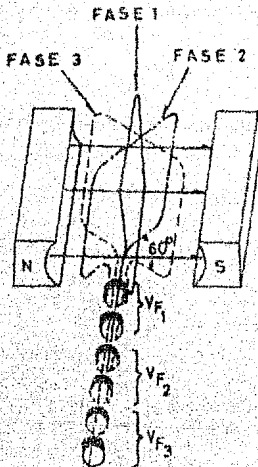
En la siguiente figura se muestra de una manera sencilla como se genera un voltaje senoidal en una bobina, al correr estos lados de la bobina las líneas magnéticas de flujo.



Cuando no se cortan líneas de flujo el voltaje es cero y con el máximo de líneas de flujo cortadas por la bobina, el voltaje es máximo. En el dibujo se muestra un generador básico de c-a monofásico de dos polos, el voltaje llega a cero y alcanza un máximo dos veces durante un giro completo de  $360^{\circ}$ . Estas variaciones tienen la forma de una onda senoidal.

El principio de generación arriba descrito es para un generador monofásico, para un generador trifásico es el mismo, a excepción de que son tres devanados espaciados igualmente y tres voltajes de salida defasados  $120^{\circ}$  entre sí.

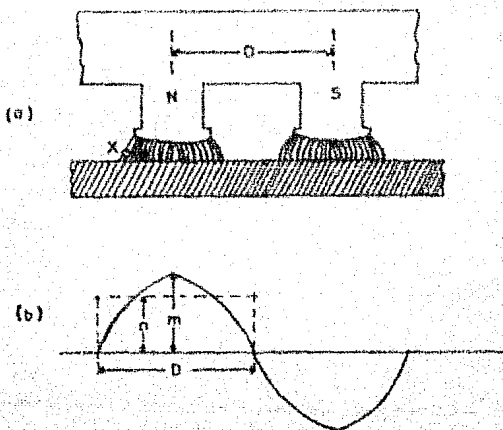
La figura siguiente muestra un generador trifásico con armadura rotatoria con sus respectivas ondas generadas senoidales.



En este caso el campo es estacionario y la armadura es giratoria, sin embargo prácticamente todos los generadores -- de corriente alterna tienen la armadura estacionaria y el campo rotatorio, esto permite velocidades de rotación más elevadas y por lo tanto voltajes más altos. Una fuente de potencia mecánica conectada al eje del rotor lo hace girar a velocidad constante, esta fuente puede ser una turbina hidráulica una turbina de vapor o gas, o un motor de combustión interna.

### 1.2.2. FUERZA ELECTROMOTRIZ INDUCIDA ( F.E.M. )

En la siguiente figura se representa el flujo magnético que existe entre los polos Norte y Sur y el inducido de un - alternador. Suponemos una distribución del flujo magnético de forma senoidal.



De la figura (b) se tiene que  $\underline{m}$  es el valor máximo de la densidad de flujo magnético,  $\underline{n}$  es el valor medio de  $\underline{m}$  y es -- igual a  $\frac{2}{\pi} m$ .

Un conductor  $\underline{x}$  se mueva con una velocidad  $\underline{v}$  en cm/seg. y  $\underline{l}$  en cm. es la longitud del conductor, perpendicularmente al plano del dibujo.

Quando  $\underline{x}$  pasa exactamente frente al polo, la f.e.m. inducida en el conductor es máxima ya que en ese punto la densidad de flujo es máxima, expresandose de la siguiente forma.

$$E_m = 214 \times 10^{-8} \text{ volts.}$$

Si  $D$  es el paso polar en cm. y  $f$  la frecuencia en periodos por segundo, el tiempo que tarda el conductor  $\underline{x}$  en recorrer el paso polar es  $1:2f$  seg.

$$v = \frac{D}{t} = \frac{D}{1:2f} = 2fD \text{ cm/csg.}$$

Tenemos que por polo, el flujo total cortado es:

$$\lambda = nID$$

Sustituyendo el valor de  $n$  tenemos:

$$\lambda = \frac{2}{\pi} nID \text{ Maxwell}$$

Reemplazando  $n$  se tiene:

$$\lambda = \frac{\pi \phi}{2fD} \text{ gauss}$$

La E.M.F. eficaz resulta de dividir la E.M. máxima por  $\sqrt{2}$

$$E_{ef} = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = \frac{214 \times 10^{-8}}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left( \frac{\pi \phi}{2fD} \right) 1 (2fD) 10^{-8} \text{ volts}$$

Eliminando términos se obtiene:

$$E_{ef} = \frac{\pi \phi \times 10^{-8}}{\sqrt{2}} = 2.22 \pi \phi \times 10^{-8} \text{ voltios}$$

Si hay  $Z$  conductores en serie por fase,  $E_{af}$  es:

$$E_{af} = 2.22 Z \phi \times 10^{-8} \text{ voltios.}$$

Como en el ciclo se tiene 2 fases por ser 2 polos se obtiene finalmente que la F.E.M. eficaz inducida es :

$$E_{ef} = 2.22 Z ( 2 \phi ) f \times 10^{-8} \text{ voltios}$$

$$E_{ef} = 4.44 Z \phi f \times 10^{-8} \text{ voltios.}$$

### 1.2.3. FRECUENCIA.

El voltaje alterno generada en una bobina recorre un ciclo completo de valores por cada revolución de la máquina bipolar, la frecuencia en Hz ó ciclos por segundo es igual a la velocidad del rotor en revoluciones por segundo ( rpm/60 ) es decir hay una sincronización con la velocidad mecánica.

Si el rotor gira a mayor número de revoluciones la frecuencia aumentará, es decir hay una proporción directa. En máquinas con mayor número de polos, por ejemplo, 4,6,8 ó más, entonces la frecuencia por revolución es igual al número de pares de polos ( p/2 ).

Combinando ambos factores se establece que la frecuencia es igual a :

$$f = \frac{P}{2} \times \frac{\text{rpm}}{60} = \frac{P \times \text{rpm}}{120} * (\text{Hz}) \text{ ó } (\text{ciclos por seg.})$$

donde

P = número de polos.

rpm = revoluciones por minuto.



#### 1.2.4. CONSTRUCCION DEL ROTOR Y DEL ESTATOR

##### a).- ROTOR

La construcción de un rotor de polos salientes consiste básicamente de un grupo similar de núcleos de polo laminados, alrededor de ellos se encuentra un devanado de excitación. En los alternadores de baja velocidad ( hidráulicos ), estos núcleos se unen o fijan a un buco en forma de cuña o se fijan con pernos a la llanta del rotor.

En alternadores de alta velocidad se utiliza el rotor - tipo cilíndrico, el cual se construye de acero forjado en cu ya superficie se hacen ranuras a lo largo de la pieza cilíndrica para alojar las bobinas del inductor. Para reducir al mínimo la resistencia del aire debido a la velocidad, la superficie del rotor se hace tan lisa como sea posible

El devanado de excitación es alimentado con tensiones - de 115 ó 250 v.c.d. La fuente de suministro puede ser un ge nerador de c.d. montado en un extremo de la flecha del alter na dor, o un alternador pequeño con su salida rectificada por medio de tiristores.

El devanado de excitación recibe la corriente directa - de la fuente suministradora por medio de anillos rozantes -- que van instalados en un extremo del rotor.

##### b).- ESTATOR

El estator o elemento fijo del alternador está formado por un núcleo de acero laminado para reducir las pérdidas por corrientes parásitas y está ranurado para alojar el deva na do de armadura.

En los tipos de alternadores más comunes, el hierro del estator se compone de segmentos semicirculares superpuestos que se fijan a la estructura, dichos segmentos están perforados para que formen conductos longitudinales de aire.

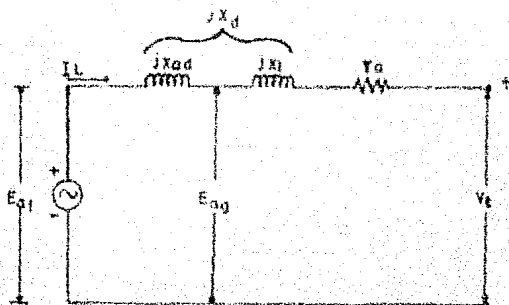
En los máquinas con arros diámetro que giran a baja velocidad y que tienen muchos polos, la longitud axial de el núcleo es considerablemente corta. En este tipo de máquinas el enfriamiento es simple y efectivo ya que son completamente abiertas.

Mientras que en las máquinas de gran velocidad accionadas por turbinas de vapor la longitud axial es varias veces el diámetro. El enfriamiento del generador por sí mismo no sería efectivo, tales alternadores son completamente cerrados a fin de que grandes volúmenes de aire limpio y seco pueda ser forzado a través de ellos.

En los generadores de alta potencia de elevadas rpm, el hidrógeno es un elemento utilizado como medio refrigerante, en lugar de aire ya que presenta más ventajas, la presión de trabajo que debe tener el hidrógeno es en general de  $3 \text{ Kg/cm}^2$ .

## 1.2.5. DIAGRAMA FASORIAL Y CIRCUITO EQUIVALENTE.

En la figura ( 1.2.5.b ) se muestra el diagrama fasorial de un generador de rotor cilíndrico que alimenta a una carga balanceada. Por lo tanto como es un sistema balanceado se puede analizar una sola fase.



( Fig. 1.2.5. a ) CIRCUITO EQUIVALENTE

El voltaje generado está expresado por la ecuación.

$$E_{af} = V_t + ( r_a + jx_d ) I_L$$

$$x_d = x_{ad} + x_l \quad \therefore$$

$x_d$  = reactancia sincrónica.

$x_{ad}$  = reactancia magnetizante.

$x_l$  = reactancia de dispersión

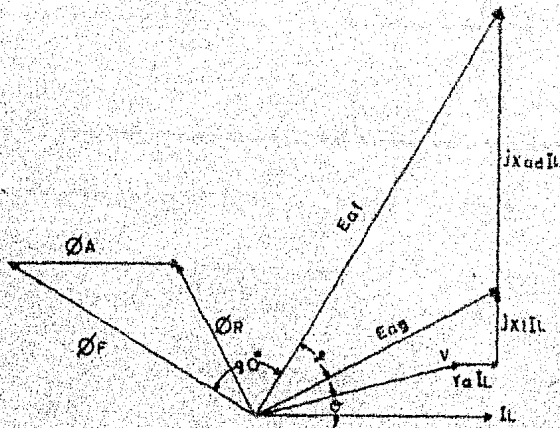
Debido a que las cargas no son 100% resistivas, el voltaje  $V_t$  y la corriente  $I$  estarán defasadas por un ángulo  $\theta$ .

$r_a I_1$  = La caída de tensión en  $r_a$  va en fase con  $I_1$

$jx_d I_1$  = La caída de tensión en  $X_d$  se adelanta  $90^\circ$  a  $I_1$

Entonces, si suponemos una carga inductiva, el factor de potencia será atrasado. La ecuación de malla y el diagrama fasorial será:

$$E_{af} = V_t + r_a I_1 + jx_d I_1$$

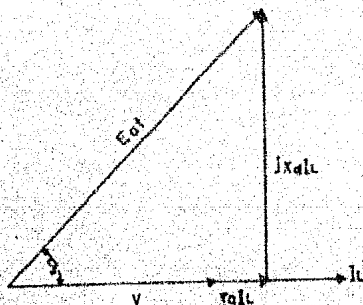


( fig. 1.2.5.b. ) DIAGRAMA FASORIAL

Siendo  $\Phi_R$  el flujo neto en el entrehierro,  $\Phi_A$  = el flujo debido a la corriente de armadura,  $\Phi_c$  = flujo debido a la corriente del campo.

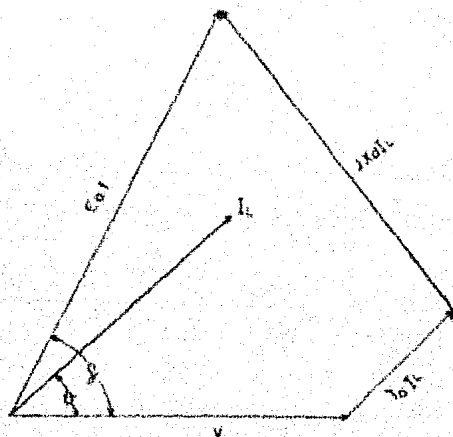
$$\Phi_R = \Phi_L + \Phi_A$$

Los diagramas fasoriales para cargas resistivas y capacitivas son los siguientes :



( fig. 1.2.5.c. )

Factor de potencia unitario



Factor de potencia adelantado.

( fig. 1.2.5. d . )

En el diagrama de la figura 1.2.5.c. el generador alimenta una carga resistiva, los factores de voltaje y corriente se encuentran en fase y el voltaje generado es mayor que el voltaje en terminales  $V$ .

En el diagrama 1.2.5.d. el generador alimenta una carga capacitiva, el factor de potencia es adelantado y el voltaje generado  $E_{gf}$  es menor que el voltaje en terminales de  $V$ . La corriente de línea está  $\phi^\circ$  adelante de el voltaje  $V$ .

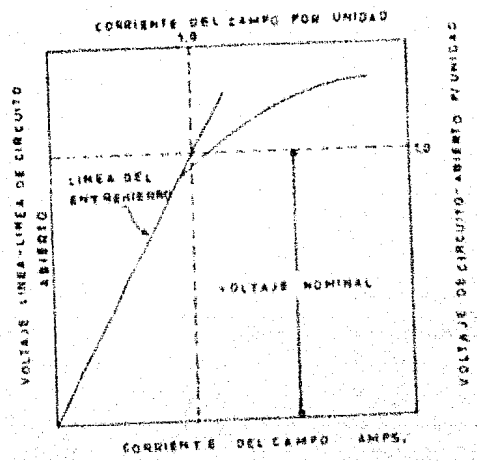
### 1.2.6. PRUEBA DE CIRCUITO ABIERTO Y CORTO CIRCUITO

Estas pruebas se realizan para determinar las características magnéticas de la máquina y conocer los parámetros necesarios para evaluar su comportamiento, tales como la impedancia sincrónica no saturada, y un valor de la impedancia sincrónica saturada, voltaje de circuito abierto y corriente de corto circuito.

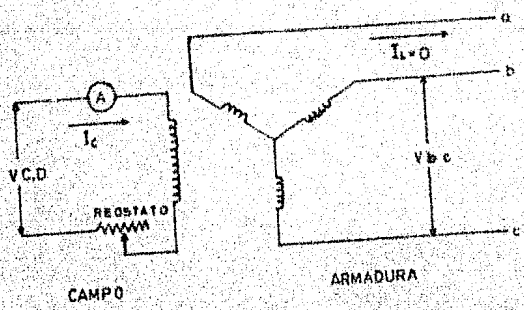
#### a) PRUEBA DE CIRCUITO ABIERTO.

Para obtener las características de circuito abierto la máquina se impulsa a su velocidad nominal sin carga, con el devanado de armadura abierta, se conecta una fuente de voltaje de corriente directa a el devanado de campo, controlando la corriente por medio de un reostato, comenzando con una corriente de campo cero se incrementa hasta obtener, un voltaje entre cualquier par de terminales un poco arriba de voltaje nominal.

Tomando lecturas de voltaje de línea a línea ó de línea a neutro y de la corriente de campo para un suficiente número de puntos y trazar la curva de saturación de circuito abierto, antes de trazar la curva se obtiene el voltaje por fase dividiendo el voltaje de línea entre  $\sqrt{3}$ . Una gráfica de ésta prueba se muestra en la siguiente figura.



CARACTERISTICAS DE CIRCUITO - ABIERTO

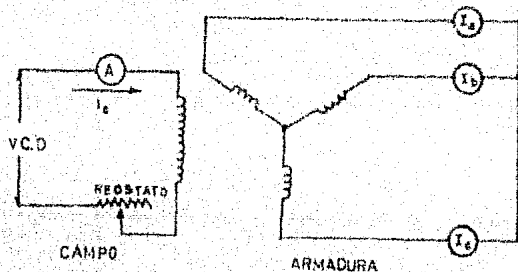


PRUEBA DE CIRCUITO 1-1330



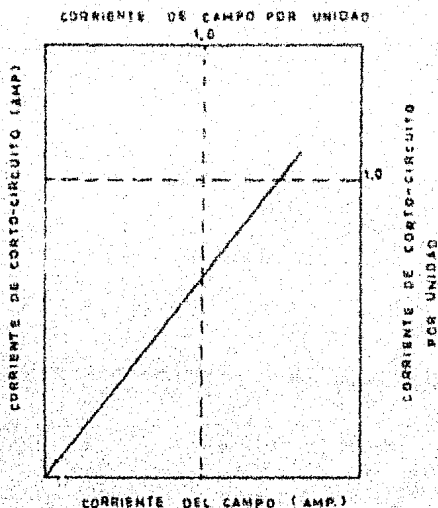
b).- PRUEBA DE CORTO CIRCUITO.

Esta prueba se efectúa con las terminales de fase corto circuitadas y un amperímetro en cada una o fin de tomar lecturas de corriente de línea ( $I_1$ ) mientras se varía la corriente de campo ( $I_c$ ) con la máquina girando a velocidad nominal. La corriente de campo ( $I_c$ ) se varía desde cero hasta que alcanza la corriente nominal ( $I_1$ ). En la siguiente figura se muestra el diagrama de la prueba de corto circuito.



PRUEBA CORTO CIRCUITO

Esta prueba se debe realizar con mucho cuidado para hacer varias mediciones de la corriente de corto - circuito de armadura, ya que se hace para varios valores de la corriente de campo, usualmente hasta y algo arriba de la corriente nominal de armadura, para poder obtener la curva característica de corto circuito, después de haber hecho una serie de mediciones se obtendrá una gráfica como la de la siguiente figura.

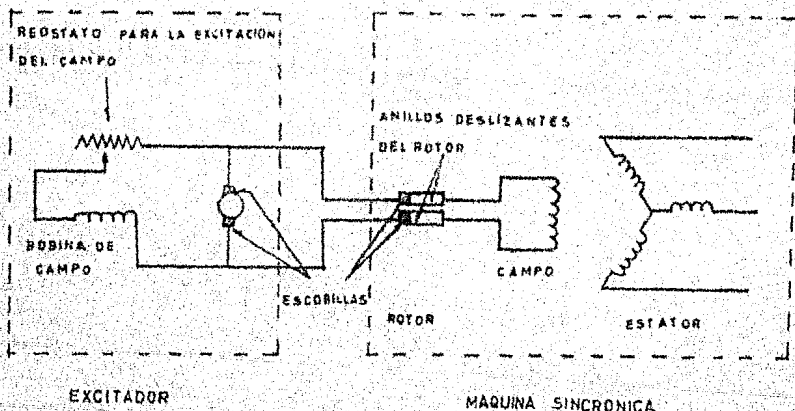


CARACTERISTICAS DE CORTO - CIRCUITO

### 1.3. SISTEMAS DE EXCITACION PARA MAQUINAS SINCRONAS

Existen varios arreglos para suministrar corriente directa a el campo de un generador sincrónico. El ajuste de la corriente de campo se hace de forma automática ó manual; la fuente de potencia a usar puede ser un excitador conectado en directa, un conjunto motor generador, rectificador ó batería.

En la siguiente figura se muestra un sistema de excitación con un generador de c.d. convencional acoplado en paralelo y montado sobre el eje de la máquina sincrónica. La corriente de campo suministrada es regulada por el reostato de campo, llegando a éste por medio de escobillas y anillos deslizantes del rotor.



Un sistema más complejo utiliza un excitador piloto es decir un generador de corriente directa compuesto que excita al generador c.d que suministra la corriente principal de excitación a el generador.

Este arreglo proporciona mayor rapidez de respuesta, característica importante en el caso de generadores sincrónicos cuando se presentan perturbaciones en el sistema al cual el generador está sincronizado, un ejemplo de este arreglo se muestra a continuación.

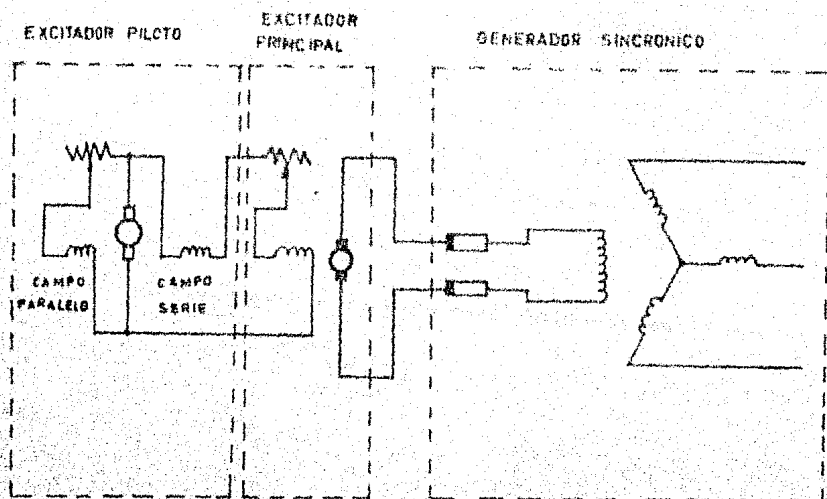


DIAGRAMA DEL CIRCUITO PARA UN EXCITADOR DE EJE PORTADO Y EXCITADOR PILOTO.

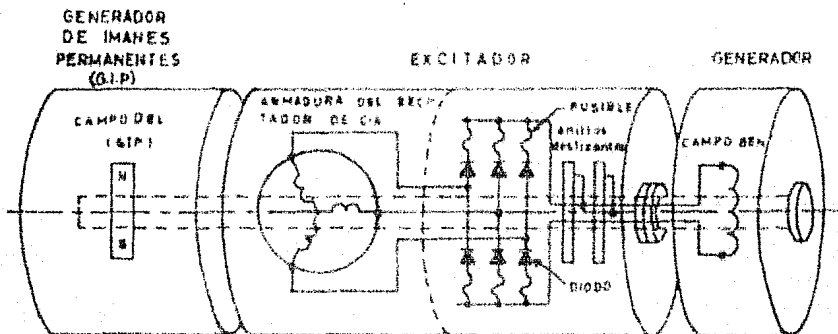
## SISTEMA DE EXCITACION SIN ESCOBILLAS.

Este sistema elimina al conmutador, anillos colectores y escobillas. En la figura 1.3.1 se muestra el arreglo en el cual un excitador piloto de magneto permanente, un excitador principal de C.A. y un rectificador giratorio se montan en el mismo eje del campo de un turbogenerador.

El excitador piloto, tiene un imán permanente giratorio y una armadura estacionaria, que alimenta a 420 ciclos, potencia trifásica a un regulador que la rectifica y suministra corriente directa ( c-d ) regulada a el campo estacionario de un excitador de corriente alterna ( c-a ) de armadura rotatoria.

La salida del excitador de ( c-a ) se rectifica por diodos y es suministrada al campo del turbogenerador.

## COMPONENTES ROTATORIOS



## COMPONENTES ESTACIONARIOS

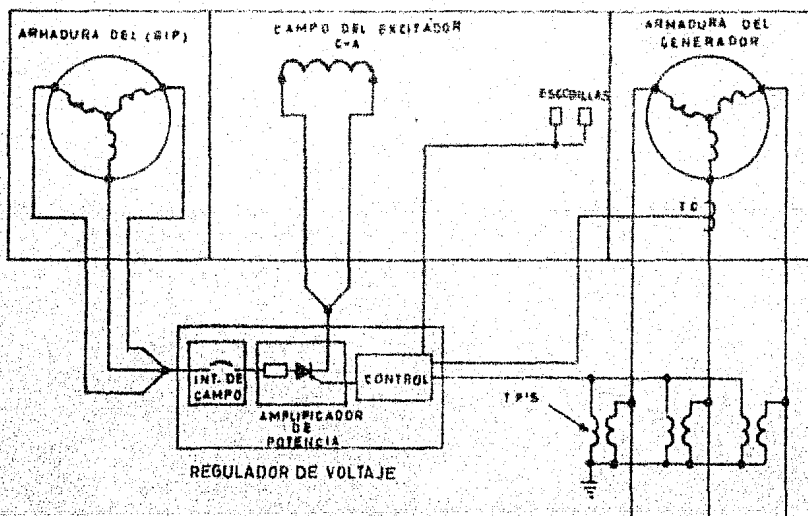


FIG. 1.3.1 SISTEMA DE EXCITACION SIN ESCOBIILLAS.

C A P I T U L O   I I

TIPOS DE FALLAS Y PRINCIPIOS BASICOS DE PROTECCION

## TIPOS DE FALLAS Y PRINCIPIOS BÁSICOS DE PROTECCIÓN.

La electricidad producida en las plantas generadoras es conducida hasta los consumidores a través de una gran cantidad de elementos que juntos conforman un sistema de potencia, en el cual, pueden ocurrir fallas de diferentes tipos, poniendo en peligro al personal que labora en un lugar cercano a donde ocurre la falla y dañando al equipo o equipos involucrados en la misma.

### 2.1. DEFINICIÓN.

Una falla es una condición anormal que ocasiona una reducción de la resistencia del aislamiento básico ya sea entre dos fases o entre las fases y tierra.

Dicha reducción se considera como falla hasta cuando produce un efecto en el sistema, es decir, un exceso de corriente o una disminución de la impedancia entre los conductores o entre estos y tierra a un valor inferior al de la impedancia mínima normal del circuito.

### 2.2 CAUSAS.

A continuación se enlistan algunas de las causas que provocan fallas:

1) Fallos en los aislamientos de las máquinas, aparatos y cables producidos por errores o defectos de diseño, fabricación impropia, envejecimiento, calentamiento o corrosión.



2) Fallas de aislamiento en aire o en los materiales de máquinas y aparatos debido a sobretensiones de origen atmosférico, por apertura o cierre de interruptores o continuación a tensiones a la frecuencia de operación del sistema.

3) Efecto de la humedad en el terreno y el medio ambiente.

4) Fallas mecánicas en las máquinas, fallas en las líneas de transmisión por el viento, caída de arboles o ramas en los conductores, etc.

5) Sobrecargas en transformadores, generadores y líneas de transmisión.

6) Errores humanos en las maniobras como: apertura de cuchillas bajo condiciones de carga, falsas maniobras, etc.

7) Accidentes ocasionados por animales como pájaros en líneas de transmisión, roedores en cables y tableros, etc.

### 2.3. TIPOS DE FALLA.

En un sistema eléctrico de potencia se presentan diferentes tipos de fallas por cortocircuito, en general -- son las siguientes:

- . Falla de fase a tierra
- . Falla de dos fases a tierra
- . Falla entre fase y fase
- . Falla trifásica

De acuerdo con las estadísticas que se llevan a cabo se ha obtenido la probabilidad de ocurrencia de las fallas mencionadas.

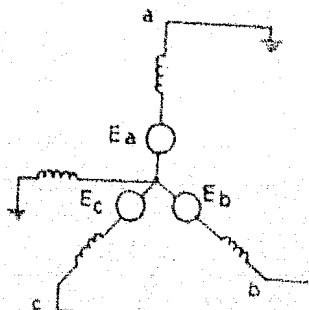
TIPO DE FALLA

REPRESENTACION

% DE OCURRENCIA

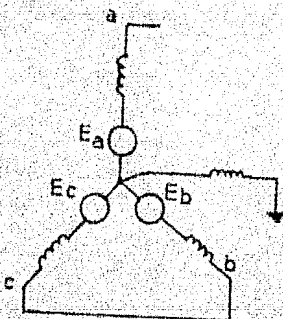
1.- Fase a tierra

85



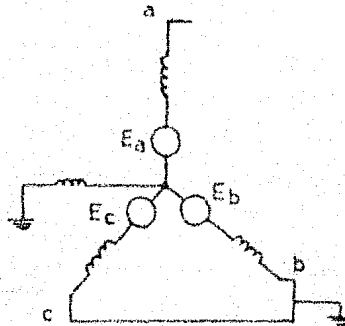
2.- Fase a fase

8



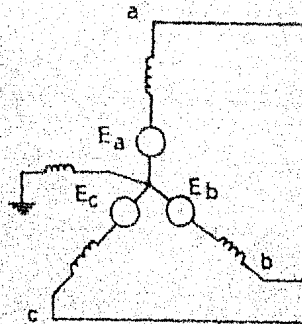
## 3.- Doble fase a tierra

5



## 4.- Trifásica

2 ó menos



Como se puede observar la falla que más se presenta es la falla de fase a tierra, en cambio la que tiene menos probabilidad de ocurrir es la falla trifásica, ésta se presenta generalmente debido a errores humanos.

Una falla puede paralizar tanto una pequeña parte de un sistema eléctrico de potencia como causar una interrupción mayor como es la pérdida de sincronismo del sistema.

#### 2.4. ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO.

Un aspecto importante que se toma en cuenta en la operación y planeación de los sistemas eléctricos de potencia es su comportamiento en condiciones transitorias y principalmente en condiciones de corto circuito.

Los estudios de corto circuito en las redes eléctricas permiten obtener información de gran valor para cumplir con los requerimientos de protección adecuados y en lo posible minimizar los efectos de las fallas, el corto circuito puede presentarse ocasionalmente teniendo diversos orígenes, - por eso es importante conocer en todos los puntos de una -- instalación las magnitudes de las corrientes de corto circuito.

El objetivo del estudio de corto circuito es:

a).- Conocer las magnitudes de las corrientes de corto circuito para diversos tipos de fallas en diferentes puntos de la red lo cual permite especificar las características de los elementos principales de protección.

b).- Conocer las potencias de corto circuito en los términos del inicio anterior para especificación y coordinación de las protecciones.

c).- Determinar las magnitudes de las corrientes de corto circuito para efectos térmicos y dinámicos usados en el diseño de barras conductoras, tableros, etc.

Al realizar el estudio de corto circuito es importante considerar a todas las fuentes suministradoras de corriente de corto circuito o elementos activos y que son:

- 1.- Generadores
- 2.- Motores síncronos y Condensadores síncronos
- 3.- Motores de inducción.

Hay que considerar también las características de las reactancias de estas fuentes, conocidas como elementos pasivos o limitadores de las corrientes de corto circuito y que son:

- . Las impedancias de las máquinas rotatorias.
- . Las impedancias de las líneas de transmisión, transformadoras y en general todo tipo de reactores y resistencias limitadoras.

En la mayoría de los sistemas industriales, la corriente de corto circuito máxima se tiene cuando se presenta el corto circuito trifásico. Las magnitudes de corriente de corto circuito son generalmente menores para corto circuitos fase a tierra o fase a fase que para los trifásicos.

La falla trifásica es simétrica mientras que las demás son asimétricas y su cálculo se simplifica ya que la red se trata en condiciones de simetría.

Los métodos para el cálculo de las corrientes de corto circuito son los siguientes:

- 1.- Método aproximado en por unidad o por ciento.
- 2.- Método de las componentes simétricas.

El primero es utilizado para fallas trifásicas y el segundo para fallas línea a tierra, doble línea a tierra y línea a línea, los cuales son asimétricos.

## 2.5. PRINCIPIOS BASICOS DE PROTECCION POR RELEVADORES.

Básicamente la función de la protección por relevadores es originar el retiro inmediato del servicio de cualquier elemento de un sistema de potencia que haya fallado, es decir, cuando sufre un corto circuito ó funciona en cualquier forma anormal que origine algún daño ó cause disturbios en el funcionamiento eficaz del sistema.

En este terreno el sistema de protección por relevadores es auxiliado por interruptores, que desconectan el elemento defectuoso, acción que es ordenada por el equipo de protección.

El interruptor debe ser capaz de interrumpir tanto las corrientes normales como las corrientes de falla.

## 2.6. CANTIDADES ESENCIALES DE CALIDAD EN LA PROTECCION

Todo sistema de protección utilizado para el aislamiento de un elemento en falla debe reunir ciertos requerimientos de calidad:

- . Confiabilidad
- . Selectividad
- . Rapidez de operación
- . Discriminación

### . Confiabilidad

Un requerimiento básico es que el equipo de protección debe ser confiable. Cuantitativamente se expresa como la - probabilidad de falla. La falla puede ocurrir no sólo por el sistema de protección sino que puede ser causado por interruptores defectuosos. La probabilidad de falla puede reducirse mediante diseños confiables respaldados por un mantenimiento regular y completo.

### . Selectividad

La selectividad es la propiedad de aislar únicamente al elemento que presenta una falla, dejando intactos a los elementos restantes.

### . Rapidez de operación

Se requiere que los relevadores sean de acción rápida - debido a las siguientes razones:

- a) El relevador debe actuar sin rebasar el tiempo crítico de eliminación.
- b) Los aparatos eléctricos pueden dañarse si la - corriente de falla que soportan no es eliminada rápidamente.
- c) Una falla persistente, disminuye el voltaje -- del sistema de potencia causando sobrecarga, -- que perjudica a los usuarios, particularmente a los de tipo industrial.

### . Discriminación

La protección debe operar confiablemente para la detección de condiciones mínimas de falla, aislando a las fallas que ocurren en su propia zona de protección y sin introdu - cir problemas de estabilidad al sistema bajo condiciones de carga máxima.

Un relevador debe diferenciar una falla de una sobrecarga.

## 2.7. PROTECCION PRIMARIA Y DE RESPALDO

La protección primaria es el conjunto de relevadores cuya función principal es proteger a los elementos principales del sistema de potencia, de tal forma que el número de elementos aislados sea mínimo para no afectar grandes áreas del servicio.

La protección de respaldo se emplea como protección cuando una falla no es eliminada por la protección primaria.

La protección de respaldo se utiliza solamente contra corto circuitos debido a que son el tipo de falla que más se presenta en los sistemas de potencia.

La protección primaria puede fallar debido a fallas en los elementos que la constituyen y que son:

- 1.- Corriente o tensión de alimentación a los relevadores.
- 2.- Disparo de la tensión de alimentación de c.d.
- 3.- Relevadores de protección.
- 4.- Circuito de disparo o mecanismo del interruptor.
- 5.- Falla en el interruptor.

La protección de respaldo debe trabajar de tal manera que cualquier cosa que induzca falla en la protección primaria no origine también desactivación de la protección de respaldo.

Para ejemplificar la protección de respaldo consideraremos el siguiente diagrama unifilar.



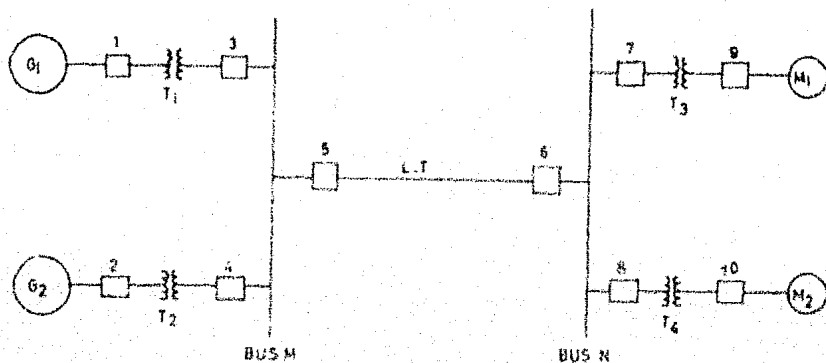


Fig. 2.7.1. Diagrama unifilar para ejemplificar la protección de respaldo.

Consideremos la sección 5-6 que corresponde a la línea de transmisión en el diagrama, y suponiendo una falla en la misma, los relevadores que respalden esta sección estén pre dispuestos para disparar los interruptores 1, 2, 9, y 10.

Si falla la protección primaria es decir, si el interruptor 5 no dispara, el respaldo funciona a través de los interruptores 1 y 2.

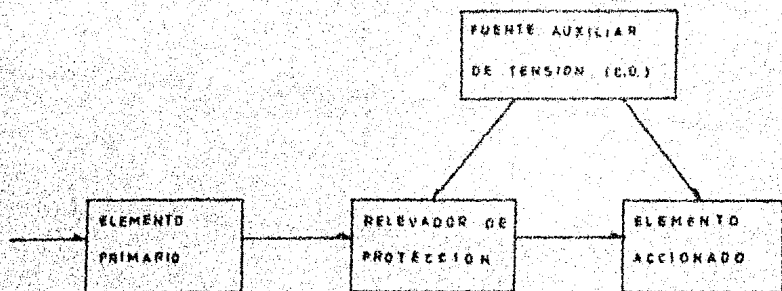
Los relevadores de respaldo que disparan los interruptores 1, 2, y 6 protegen contra fallas en las barras colectoras del bus M. Así como los interruptores 5-9 y 10 se disparan cuando hay fallas en las barras colectoras del bus N, y la protección primaria ha fallado.

Los relés de respaldo que accionan los interruptores 1 y 6 ofrecen también protección para fallas en la sección de línea 2-4.

El área de la protección de respaldo se extiende en una dirección y al menos superpone cada elemento del sistema adyacente.

## 2.8. DISPOSITIVOS DE PROTECCION CONTRA FALLAS

Son los elementos utilizados por un dispositivo de protección a base de relevadores, tales elementos tienen la siguiente secuencia.



### A) Elemento Primario.

Es aquel que detecta las señales de falla ( corriente o voltaje, etc. ) y los transforma en valores prácticos, - no peligrosos, para alimentar al relevador por lo general- estos elementos son los transformadores de corriente y potencial, los que a su vez constituyen el medio de aislamiento entre las partes de alta tensión y los relevadores de baja tensión, estos transformadores se tratarán páginas adelante.

### B) Relevador de protección.

Constituye el elemento principal dentro de los mecanismos de protección y es en sí el elemento más importante en los esquemas de protección.

Funcionalmente el relevador recibe la señal proveniente del elemento primario, siendo medida por el relevador y este decide de acuerdo con el valor de la señal, si se acciona o no el dispositivo de protección o relevador. Antes de enviar la señal a él elemento que es accionado por el relevador es amplificado ya sea por contactores o amplificadores.

### C) Elemento Accionado.

Esta constituido generalmente por el elemento que recibe la señal del relevador y es por lo general la bobina de disparo de los interruptores.

### D) Fuente Auxiliar de Tensión.

Esta fuente tiene como objetivo proporcionar la tensión de corriente directa a el sistema de protección, generalmente está constituida por un banco de baterías la mayoría de los relevadores de protección disparan interruptores usando 125 ó 250 volts de c-d.

C A P I T U L O   I I I

UNIDADES BASICAS DE RELEVADORES

## UNIDADES BASICAS DE RELEVADORES

### 3.1. CLASIFICACION DE LOS RELEVADORES.

En la protección a los sistemas eléctricos de potencia se utilizan diferentes tipos de relevadores generalmente -- accionados por una señal eléctrica y en determinadas situaciones por variables que pueden ser la presión o la temperatura.

Los relevadores se pueden clasificar de acuerdo a diversas características.

a).- De acuerdo a la naturaleza de la señal a la cual el relé responde; voltaje, corriente, potencia, reactancia, impedancia, frecuencia.

b).- Atendiendo a la conexión del elemento sensor, los relevadores primarios son aquellos que están conectados directamente al circuito o elemento al que protegen y los relevadores secundarios son aquellos que están conectados a -- través de transformadores de corriente o potencial. Normalmente se emplean los relevadores secundarios en la protección de sistemas eléctricos de alta tensión debido a los altos valores de los voltajes y corrientes de línea.

c).- De acuerdo al método por medio del cual los relevadores actúan sobre el interruptor, los que pueden ser de acción directa que son aquellos cuyos elementos de control actúan mecánicamente para operar un interruptor y de acción indirecta cuyos elementos actúan a través de una fuente auxiliar para operar el interruptor.

d).- De acuerdo a la función que desempeñan en el esquema de protección se pueden clasificar como principales y auxiliares.

En términos generales los relevadores para protección eléctrica se clasifican en dos categorías: Relevadores --- electromagnéticos y relevadores estáticos.

Enfocaremos nuestro estudio en los primeros dada su mayor aplicación actual en los sistemas de potencia especialmente en la protección de generadores.

Los relevadores electromagnéticos pueden ser de dos tipos:

- a).- Atracción electromagnética
- b).- Inducción electromagnética

### 3.2. RELEVADORES DE ATRACCION ELECTROMAGNETICA.

Estos relevadores pueden ser accionados por magnitudes de c-d- ó c-a, e incluyen una armadura fija, un brazo móvil y un brazo de sujeción, trabajan bajo el siguiente principio: el flujo magnético produce una fuerza electromagnética y el flujo magnético es producido por la cantidad actuante.

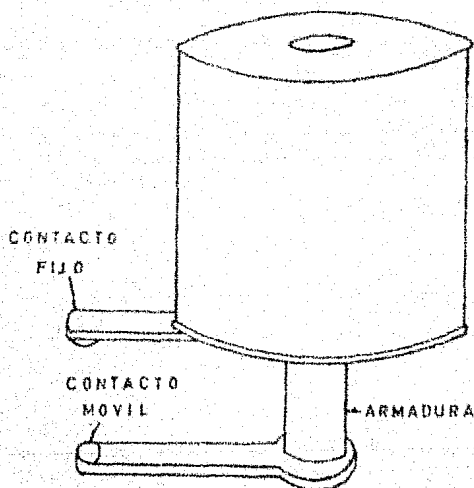
La fuerza electromagnética ejercida sobre el elemento móvil es proporcional al cuadrado de la corriente que circula en la bobina.

En relevadores que operan con c-d ésta fuerza es constante y si excede a la fuerza de atracción el relevador opera en forma confiable, en relevadores accionados por c-a ésta fuerza está dada por:

$$\begin{aligned}
 F &= KI^2 \\
 &= K (I \text{ máx} \text{ sen } \omega t)^2 \\
 &= \frac{1}{2} K (I^2 \text{ máx} - I^2 \text{ máx} \cos 2 \omega t)
 \end{aligned}$$

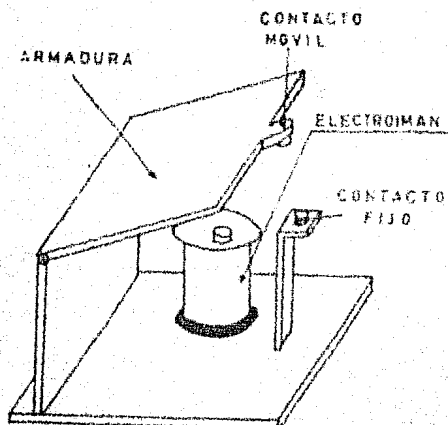
### 3.3. TIPOS DE RELEVADORES DE ATRACCION ELECTROMAGNETICA:

#### . ÉMBOLO



Las características de operación de estas unidades son grandemente determinadas por la forma del émbolo, el núcleo interno, la estructura magnética, el diseño de la bobina y las derivaciones magnéticas.

ARMADURA ASOCIADA.



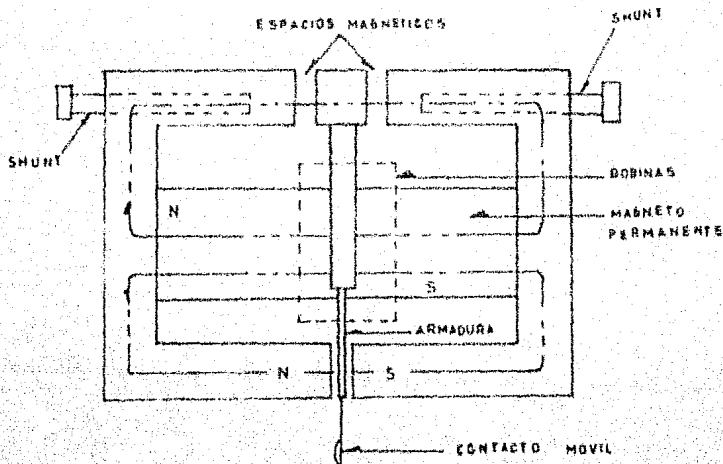
Estas unidades tienen una estructura magnética en forma de U con una armadura móvil a través de un extremo abierto. La armadura está empujada por un lado y restringida por un resorte por el otro. Cuando la bobina eléctrica asociada es energizada, la armadura se mueve hacia el núcleo magnético, abriendo o cerrando un grupo de contactos con un par proporcional al cuadrado de la corriente de la bobina.

Este tipo de relevadores se emplean principalmente como unidades auxiliares, por ejemplo como relevadores de disparo ó relevadores de voltaje y corriente con c-a y c-d.

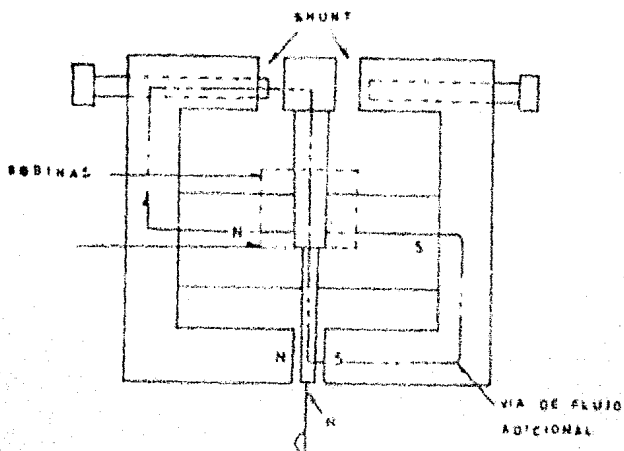


### . . . POLAR

Las unidades polares trabajan con c-d aplicada a una bobina devanada alrededor de una armadura fijada en el centro de la estructura magnética. Un imán permanente a través de la estructura polariza los polos entre armadura, como se muestra en las figuras, ( a ) y ( b ).



( a ) .- ENTRE-HIERROS BALANZADOS.



( b ) .- ENTRE-HIERROS DESBALANCEADOS.

Con los entrehierros balanceados la armadura flotará en el centro con la bobina desenergizada, con los entrehierros desbalanceados algo del flujo es derivado a través de la armadura.

La polarización resultante mantendrá la armadura contra un polo con la bobina desenergizada.

Como se muestra en la figura b, el ajuste del shunt o derivación magnética hará de la armadura un polo norte, y se moverá a la derecha.

Con la corriente directa circulando en la bobina de one ración tenderá a hacer al extremo del contacto un polo sur, vencerá esta tendencia y el contacto se moverá a la izquierda.

El valor del espacio izquierdo controla el valor de puesta en trabajo; el ajuste del espacio derecho controla el valor de la corriente de reposición.

Ambas unidades utilizan una bobina de operación y una de restricción.

La polaridad de la bobina de restricción tenderá a mantener los contactos en su posición inicial.

Estas unidades proveen gran sensibilidad, alta velocidad de operación sobre niveles de energía muy bajas.

### 3.4. RELEVADORES DE INDUCCION ELECTROMAGNETICA.

Este tipo de relevador se utiliza cuando se manejan magnitudes de c-a, utiliza el mismo principio de funcionamiento que el motor de inducción.

El par de torsión se desarrolla cuando, en un elemento móvil que puede ser un disco u otra forma de rotor de material no magnético, un flujo alterno reacciona con la corriente inducida en el rotor por otro flujo alterno desplazado en tiempo y espacio pero con la misma frecuencia.

#### PRODUCCION DEL PAR DE TORSION.

En la siguiente figura se muestran las diversas magnitudes cuando se tienen dos flujos de c-a adyacentes que atraen una sección de rotor, en un instante de tiempo.

Cada flujo induce tensión alrededor del mismo en el rotor, bajo la influencia de los dos tensiones.

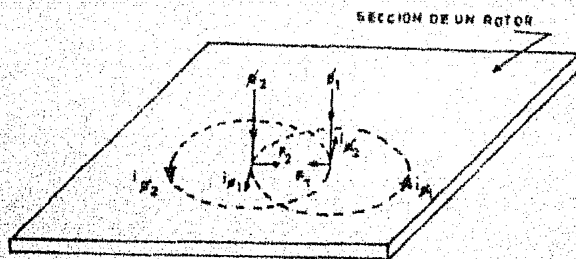


FIG. 3.4.1 PRODUCCION DEL PAR EN UN RELEVADOR DE INDUCCION

La corriente inducida por el flujo varía con la otra y viceversa para producir las fuerzas que actúan sobre el rotor.

Estos fenómenos pueden expresarse como:

$$\phi_1 = \Phi_1 \sin \omega t$$

$$\phi_2 = \Phi_2 \sin (\omega t + \theta)$$

$\theta$  = ángulo de fase entre  $\phi_1$  y  $\phi_2$

$$i_{\phi_1} \propto \frac{d\phi_1}{dt} \propto \Phi_1 \cos \omega t$$

$$i_{\phi_2} \propto \frac{d\phi_2}{dt} \propto \Phi_2 \cos (\omega t + \theta)$$

De la figura No. 3.4.1 la fuerza neta  $F$  es:

$$F = (F_2 - F_1) \propto \phi_2 i_{\phi_1} - \phi_1 i_{\phi_2} \quad \text{--- (1)}$$

Sustituyendo valores en (1) tenemos:

$$F \propto \Phi_1 \cos \omega t \Phi_2 \sin (\omega t + \theta) - \Phi_1 \sin \omega t \Phi_2 \cos (\omega t + \theta)$$

Factorizando:

$$F \propto \Phi_1 \Phi_2 [ \cos \omega t \sin (\omega t + \theta) - \sin \omega t \cos (\omega t + \theta) ]$$

Sabiendo que:  $\sin(\alpha - \beta) = \sin \alpha \cos \beta - \cos \alpha \sin \beta$

Reemplazando tenemos:

$$\alpha = \omega t + \theta$$

$$\beta = \omega t$$

$$\therefore E = I_1 I_2 \cos(\alpha - \beta)$$

$$\alpha - \beta = \cancel{\theta} + \theta - \cancel{\theta} = \theta$$

Así tanto:

$$E = I_1 I_2 \cos \theta$$

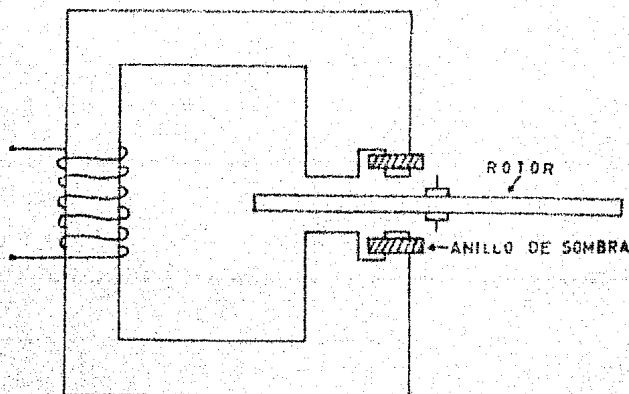
Cuando el ángulo se hace entre  $0^\circ$  y  $90^\circ$  la fuerza será nula y cuando ambos flujos estén definidos existirá una fuerza neta o par que hará que el rotor gire.

La fuerza neta estará dirigida hacia el punto donde el flujo elastico converge al rotor hacia el punto donde el flujo circula a través del rotor.

### 3.5. TIPOS DE RELEVADORES DE INDUCCION ELECTROMAGNETICA.

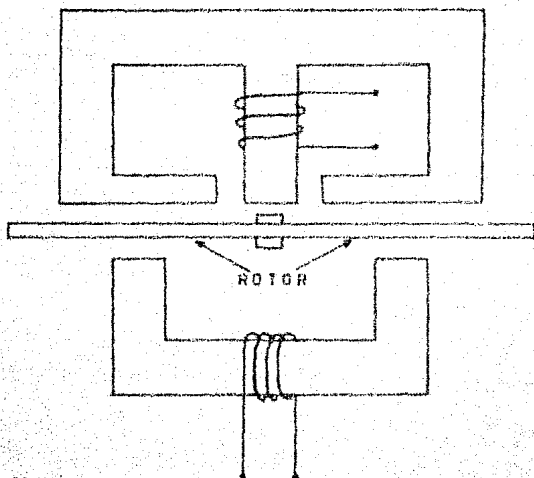
Atendiendo al tipo de rotor los relevadores de inducción pueden ser de disco ó de eje. En los de disco existe una división, en la que dos tipos son los de mayor aplicación, estos reciben los nombres de: ( a ) relevador de polo sombreado y ( b ) relevador tipo variométrico, cuyo funcionamiento se describe a continuación.

#### . POLO SOMBRADO



El flujo magnético creado por la corriente actuante crza el entrehierro y es aquí donde se divide en dos flujos, - los cuales están retrasados en tiempo y espacio con la ayuda de dos polos sombreados. El flujo del entrehierro de los polos sombreados está atrasado respecto al flujo que pasa por los polos no sombreados.

. . . VATIONETRICO



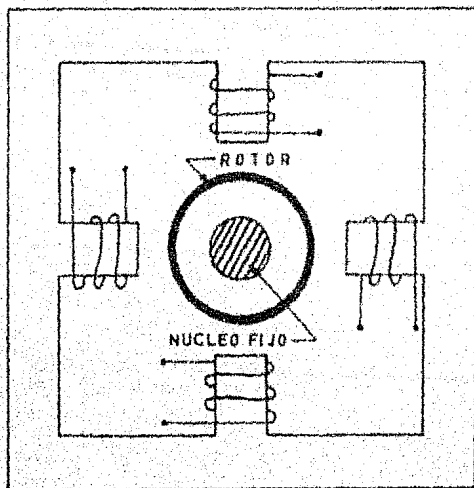
El relevador tipo vatiométrico ó wattmetro tiene dos -- sistemas magnéticos, obteniendo un defasamiento entre ellos ya sea teniendo diferente resistencia e inductancia para -- los dos circuitos ó alimentándolos desde dos fuentes diferen- tes con salidas relativamente defasadas. El disco puede ser de aluminio o cobre.

Normalmente a los contactos del relé los opera directa- mente un brazo soportado desde el husillo del rotor.



. . . COPA

El relevador de inducción de copa trabaja con el mismo principio de funcionamiento que el motor de inducción, una estructura de este tipo de relevador se muestra a continuación.



Los dos pares de bobinas si ser excitadas por la cantidad actuante producen un campo rotatorio, el cual induce corriente en la copa, haciendo que ésta gire en la misma dirección. La rotación de la copa depende de la rotación del campo y de la magnitud de los voltajes y/o corrientes aplicadas así como del ángulo de fase existente entre  $V$  e  $I$ .

Estos relevadores operan muy rápidos debido a la ligereza de la copa y a las pequeñas fuerzas magnéticas que se presentan en el circuito magnético. Son ideales también como relevadores direccionales por su alta sensibilidad y velocidad y por su par de torsión, constante que no produce vibración.

C A P I T U L O I V

INSTRUMENTOS Y DISPOSITIVOS UTILIZADOS EN LA PROTECCION  
DE GENERADORES.

## INSTRUMENTOS Y DISPOSITIVOS UTILIZADOS EN LA PROTECCION DE GENERADORES.

En este capítulo trataremos las características de los principales elementos que se utilizan en la protección eléctrica de generadores de alta potencia.

Actualmente en nuestro país los generadores de mayor potencia tienen un valor de 346 MVA, instalados principalmente en varias Termoeléctricas del país.

En un sistema eléctrico, las variables esenciales son : voltaje, corriente, frecuencia, fase, polaridad, potencia, etc. Las que permanecen estables en condiciones normales de funcionamiento, sin embargo sufren alteraciones en condiciones de falla. Estas variables deben ser monitoreadas permanentemente para vigilar sus magnitudes normales ( estables ) y anormales ( inestables ) de operación, éstas últimas cuando se presenta alguna falla o disturbio.

Los mecanismos utilizados primordialmente en la protección eléctrica de generadores son:

a.- Relevadores

b.- Interruptores

c.- Transformadores de Corriente y Potencial.

#### 4.1. RELEVADORES

Los relevadores son aparatos que son interconectados en el sistema para detectar problemas y mandar una señal a un circuito para disparar eléctricamente los interruptores de circuitos asociados.

Existen diversos tipos de relevadores, algunos actúan sobre magnitudes de corriente, o a una combinación de corriente y voltaje, o corriente y corriente, también el balance de corriente o voltaje, diferencias de magnitud de corriente en dos puntos de un circuito, otras son dispositivos para operar sobre sólo una determinada dirección del flujo de potencia al punto de falla, o para localizar una falla midiendo la impedancia ( distancia desde el relé hasta el sitio de falla ).

#### 4.2. CLASIFICACION TIEMPO-CORRIENTE DE MECANISMOS DE PROTECCION.

Todos los relevadores de protección contra corriente de corto circuito y otros mecanismos pueden ser clasificados bajo una de estas formas :

- a.- Instantaneo
- b.- Alta velocidad
- c.- Retraso de tiempo
- d.- Combinación de instantaneo e alta velocidad y retraso de tiempo.

La definición de ASA (American Standards Association), de relevadores instantaneos, son aquellos que no tienen retraso de tiempo intencional. Algunos de ellos operan en menor de medio ciclo, mientras otros pueden tomar tanto como 0.1 seg. (seis ciclos), aquellos que operan en tres ciclos o menos -- son también clasificados como relevadores de alta velocidad.

Los relevadores con retraso de tiempo pueden ser de inducción, armadura articulada o tipo solenoide. Usualmente el retraso de tiempo es ajustable. La mayoría de ellos son tipo inducción con una característica inversa, es decir, la velocidad del relé aumenta progresivamente conforme la cantidad-actuante (corriente solamente o el producto de corriente y - voltaje, etc.) se incrementa.

De esta manera, unos cuantos relevadores con retraso de tiempo operan a una velocidad constante predeterminada por ajuste y son independientes de la magnitud de la corriente-- siempre y cuando la corriente sea suficiente para operar el relevador. Estos son conocidos como relevadores de tiempo definido.

### 4.3. RELEVADORES DE SOBRECORRIENTE (NO DIRECCIONALES).

En sistemas de potencia de plantas industriales estos re-  
levadores son los que tienen más uso, pueden ser de acción --  
instantánea o con retraso de tiempo.

Responden a magnitudes de corriente solamente, sin consi-  
derar la dirección del flujo de la misma.

Generalmente los relevadores de sobrecorriente instantá-  
neos son del tipo árbol o de armadura articulada mientras que  
la mayoría de los relevadores de sobrecorriente con retraso de  
tiempo son tipo inducción-inverso.

La característica tiempo-corriente "inverso", significa-  
que el tiempo de operación del relevador disminuye conforme --  
aumenta la corriente de operación.

Tales relevadores son clasificados como de "tiempo inver-  
so", "tiempo muy inverso" y "tiempo extremadamente inverso".

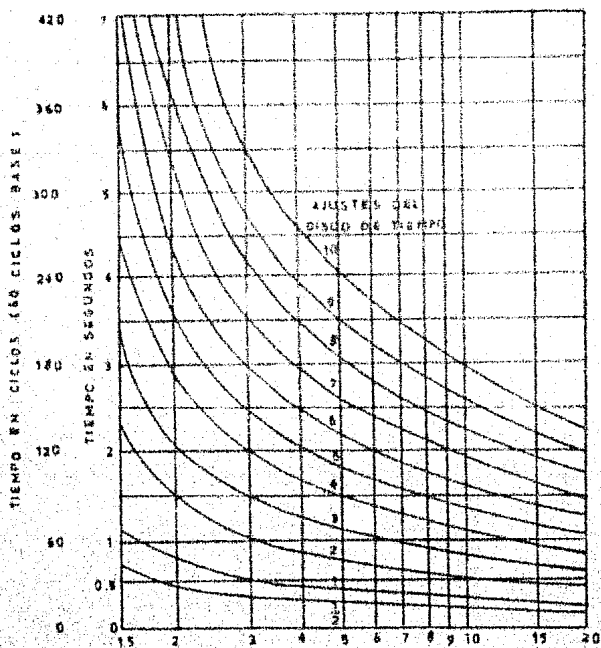
La corriente de puesta en trabajo de el relevador es se-  
leccionada por medio de los taps o derivaciones en la bobina-  
de operación y los ajustes de tiempo son hechos por medio de-  
un disco de tiempo.

Para conveniencia en los ajustes, el disco completo es--  
dividido en 10 y 11 divisiones.

Cada disco de relevador tiene una familia de curvas de-  
operación tiempo-corriente correspondientes al número de divi-  
siones sobre la escala.

La figura 4.3.a muestra una familia de curvas para un --  
relevador con una característica de tiempo-inverso. Estas --  
curvas se aplican a todos los rangos de corriente de un mode-  
lo de relevador dado.

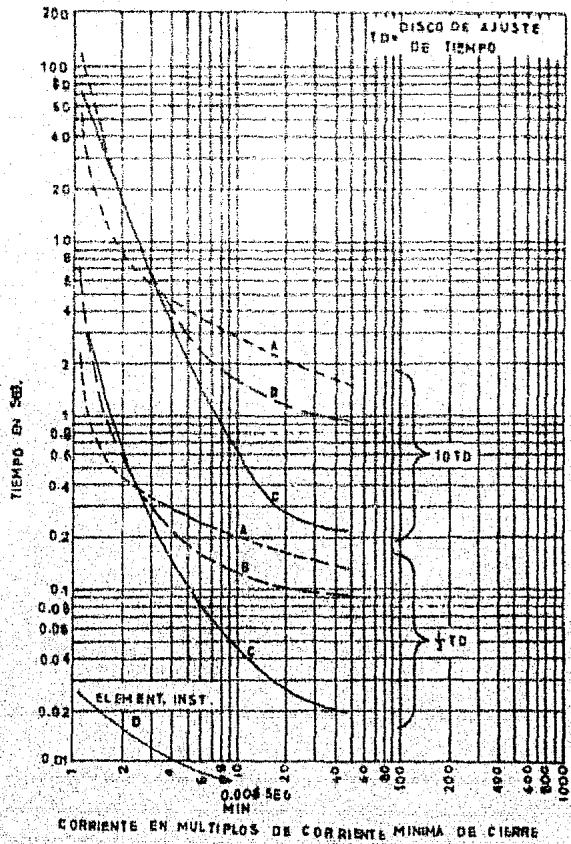
Fig. 4.3.2. CURVAS TIEMPO-CORRIENTE DE UN RELEVADOR DE SOBRECORRIENTE DE INDUCCIÓN DE TIEMPO INVERSO.



MULTIPLICOS DE LA I. A. CORRIENTE DE CIERRE  
( VALOR DE IAP ).



Fig. 4.3.b CURVAS TIEMPO-CORRIENTE CON CARACTERISTICAS TIEMPO-CORRIENTE: (A) TIEMPO INVERSO, (B) TIEMPO LUY INVERSO, (C) TIEMPO EXTRINSECO INVERSO Y (D) ELEMENTO INSTANTANEO.



La figura 4.3.b muestra las diferencias en las características: Tiempo-corriente de los relevadores, tiempo inverso, tiempo muy inverso y tiempo extremadamente inverso, así como la característica tiempo-corriente del elemento ign instantáneo cuando es suministrado en cualquiera de estos tres tipos de relés.

El relevador de tiempo inverso es ampliamente usado -- para aplicaciones generales. Su curva tiempo-corriente relativamente plana permite al relevador operar razonablemente rápido sobre un rango suceso más amplio de corriente de corto circuito que los demás tipos de relés que se describen.

El relevador de tiempo muy inverso tiene una curva más pronunciada, lo cual lo hace más lento en bajos valores de corriente y más rápido en magnitudes más elevadas de corriente de falla.

El relevador de tiempo extremadamente inverso fue diseñado para usarse en alimentadores de sistemas de distribución, donde es necesario que el relevador no ordene disparo de interruptores cuando se tiene una corriente inicial alta, que se presenta cuando se reenergiza un alimentador después de una falla y también proporciona rápida operación cuando sea necesario contra corto circuito.

#### 4.4. RELEVADORES DIRECCIONALES DE C-A.

Un relevador direccional opera cuando la corriente que circula por un circuito de c-a lluye en una dirección dada e ignora la corriente que viaja en dirección opuesta no importando la magnitud de la corriente.

Existen dos tipos de este relevador, uno se usa para trabajar con potencia real, watta (relevadores de potencia) y otro para operar con corriente de cortocircuito (relevadores de sobrecorriente direccionales).

Los relés direccionales actúan bajo el principio de reconocer las diferencias entre el ángulo de fase existente entre la corriente y la magnitud de polarización. La capacidad para distinguir el sentido que lleva la corriente en una dirección o en la otra depende de la selección de la magnitud de polarización y el ángulo de par máximo.

##### 4.4.1. RELES DE POTENCIA.

Estos relevadores se conectan para polarizarse por una tensión de un circuito, seleccionando las conexiones de corriente y las características del relé de manera que el par máximo se obtiene cuando la corriente del relevador este en fase con la tensión, es decir cuando la carga tiene factor de potencia unitario por el circuito.

En un sistema trifásico se utiliza un relé direccional si la carga está suficientemente ecullibrada, la tensión de polarización debe estar en fase con la corriente en una de las tres fases con carga a factor de potencia unitario.

La tensión en fase se tendrá siempre y cuando se tenga la tensión de fase a neutro, si no es así el relevador se conectará de la siguiente manera, para tener una polarización adecuada.

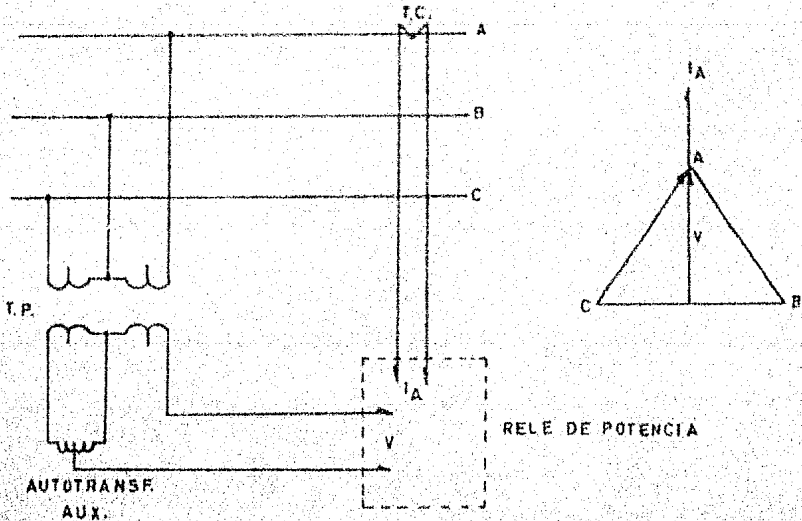


Fig. 4.4.1.

También el relevador pueda conectarse cuando éste tenga por máximo cuando su corriente vaya  $30^\circ$  adelante de su tensión y utilizar  $V_{AC}$  e  $I_A$  como se muestra en la siguiente figura.

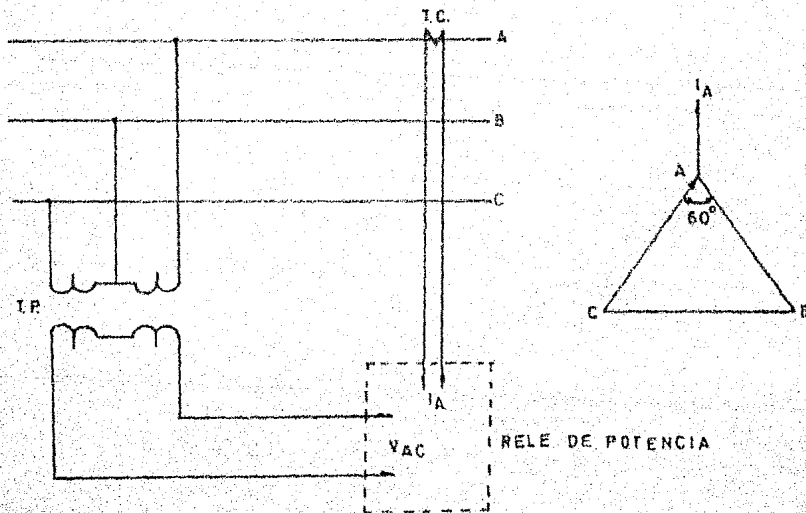


Fig. 4.4.2.

En un sistema trifásico desbalanceado se utiliza un relé polifásico, el cual utiliza tres elementos de relés monofásicos, sumando los pares de cada uno. Las magnitudes de influencia de este relevador pueden ser diversas combinaciones, pero las más utilizadas son:

Elemento No.	Voltaje	Corriente
1	$V_{AC}$	$I_A$
2	$V_{CB}$	$I_B$
3	$V_{BA}$	$I_C$

El relevador de potencia desarrollará par positivo cuando la potencia fluya en una dirección y par negativo en la dirección opuesta.

La componente de la corriente de factor de potencia unitario se invertirá a medida que se invierta el flujo de potencia como se indica a continuación para un relevador conectado como en la figura 4.4.5.

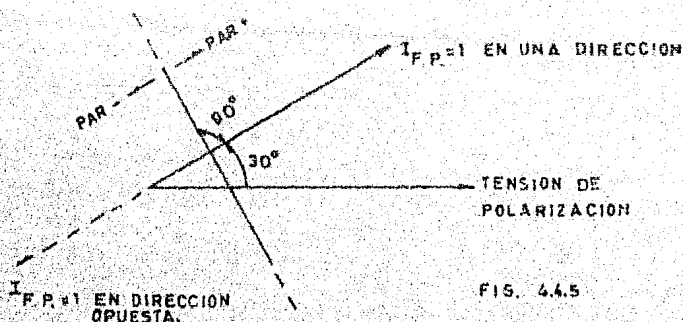


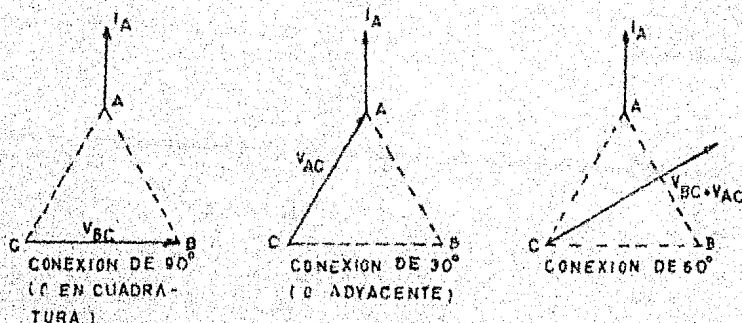
FIG. 4.4.5

Los relevadores de potencia trabajan bajo condiciones trifásicas equilibradas aproximadamente y para magnitudes de tensión de polarización casi normales.

#### 4.4.2. RELEVADORES DIRECCIONALES PARA PROYECCION EN CORTO CIRCUITO.

Durante los corte circuitos, se desarrollan corrientes que se atrasan de su posición de factor de potencia unitario en tal condición los relevadores direccionales deben descargar su par máximo en condiciones de corriente atrasada.

En la siguiente figura se muestran con diagramas vectoriales las combinaciones de corriente utilizadas para relevadores de fase, las magnitudes son para uno y tres relevadores monofásicos o para uno de los tres elementos de un relevador polifásico.



Estas combinaciones se conocen como la relación de fase de la corriente de la bobina de corriente a la tensión de polarización en condiciones trifásicas equilibradas de factor de potencia igual a 1.

Para protección contra fallas a tierra direccionales, se utiliza un relevador direccional monofásico que actúa por el producto de dos corrientes a una corriente y un potencial, las conexiones son tales que no inserta fase cuando este involucrado pues las magnitudes que actúan sobre el relé tienen la misma relación de fase.

Un relevador de tierra sólo está afectado por las fallas a tierra, para las otras fallas las magnitudes de influencia no están presentes.

Un esquema de un relevador de tierra con la bobina magnetizada con corriente se muestra a continuación, donde ésta bobina es conectada a un transformador de corriente en la conexión del neutro a tierra de un transformador o generador donde la corriente fluirá en la misma dirección.

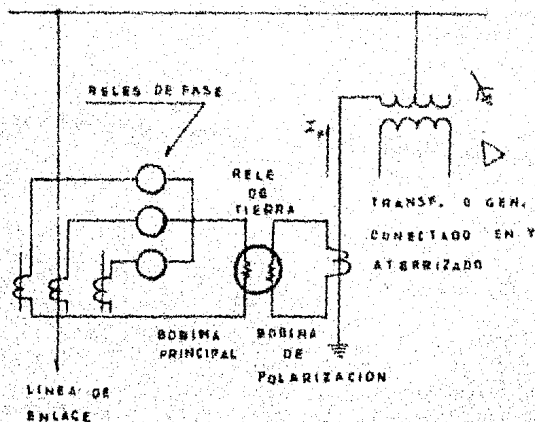


Diagrama esquemático de un relevador de tierra direccional polarizado con corriente para operación de la corriente de falla a tierra fluyendo en dirección de la flecha en la línea de enlace.



#### A.5. RELEVADORES DE DISTANCIA ( 21 ).

##### DEFINICION.

Funciona cuando la admitancia, impedancia o reactancia del circuito varían por encima o debajo de los límites prefijados.

Los relevadores de distancia son interesantes por la variedad que existen de ellos. En relevadores de distancia, hay un equilibrio entre tensión y corriente que puede expresarse en función de la impedancia. La impedancia es una medida eléctrica de la distancia o lo largo de una línea de transmisión, lo que explica el nombre aplicado a este grupo de relevadores.

Al aplicar los relevadores a un sistema de transmisión es necesario establecer las características del relevador en los mismos términos en que se establecen las condiciones del sistema. Esto ocurre en especial para los relevadores de distancia. Si las características del relevador se conciben en función de volts y amperes, las condiciones del sistema deben establecerse en los mismos términos. Sin embargo, tratándose de los relevadores de distancia, es difícil pensar en términos de volts y amperes, porque estos valores varían mucho para la misma respuesta del relevador. Esta respuesta es función de la relación que existe entre el voltaje y la corriente, y para cualquier valor dado de la relación, puede existir un número infinito de valores de voltaje y corriente. Por lo tanto, las cosas se simplifican mucho si se piensa en la respuesta del relevador de distancia en función de la relación de volts y amperes, o en otras palabras en la impedancia, la resistencia o una combinación de las mismas a la que responde el relevador. Sin embargo al diseñar los relevadores de distancia, es necesario pensar en función de los volts, amperes y el ángulo de fase a los que debe de responder, porque éstas son las cantidades

que realmente operan las partes actuantes de los contactos.

A continuación se enuncian los tipos principales de los relevadores de distancia.

#### T I P O S :

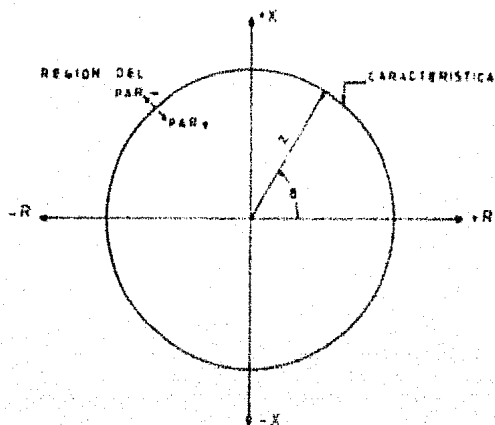
- . RELEVADORES DE IMPEDANCIA
- . RELEVADOR DE REACTANCIA
- . RELEVADOR DE ADMITANCIA (MHO)
- . RELEVADOR DE OHS
- . RELEVADOR DE MHO DESPLAZADO

#### RELEVADOR DE IMPEDANCIA.

Este es un dispositivo que mide distancias comparando la corriente de falla (I) con el voltaje (V) que existe entre las terminales del circuito en la que está la falla. La formula que caracteriza a el relevador de impedancia es:

$$\frac{V}{I} = Z = \sqrt{\frac{K_1}{K_2}} = \text{CTE}$$

Una forma mucho más útil de mostrar la característica de funcionamiento del relevador de distancia es por medio del conocido " diagrama de impedancia o bien diagrama R - X " la característica de funcionamiento del relevador de impedancia se muestra en la siguiente figura, en este tipo de diagrama.



#### CARACTERÍSTICA DE FUNCIONAMIENTO DE UN RELEVADOR DE IMPEDANCIA EN DIAGRAMA R - X.

El valor de la relación de  $V$  e  $I$  se muestra como la longitud de un radio vector, tal como  $Z$ , y el ángulo de fase  $\phi$  entre  $V$  e  $I$  determina, como se muestra, la posición del vector. Si  $I$  está en fase con  $V$ , el vector se sitúa a lo largo del eje  $+R$ ; pero si  $I$  está  $180^\circ$  fuera de fase con  $V$ , el vector se localiza a lo largo del eje  $-R$ . Si  $I$  se atrasa de  $V$ , el vector tiene una componente  $+X$ ; y si  $I$  se adelanta de  $V$ , el vector tiene una componente  $-X$ . Ya que el funcionamiento del relevador de impedancia es práctica o realmente independiente del ángulo de fase entre  $V$  e  $I$ , la característica de funcionamiento es un círculo con su centro en el origen. -- Cualquier valor de  $Z$  menor que el radio del círculo resultará en la producción de un par positivo, y cualquier valor de  $Z$  mayor que este radio resultará en un par negativo, sin tomar en cuenta el ángulo de fase entre  $V$  e  $I$ .

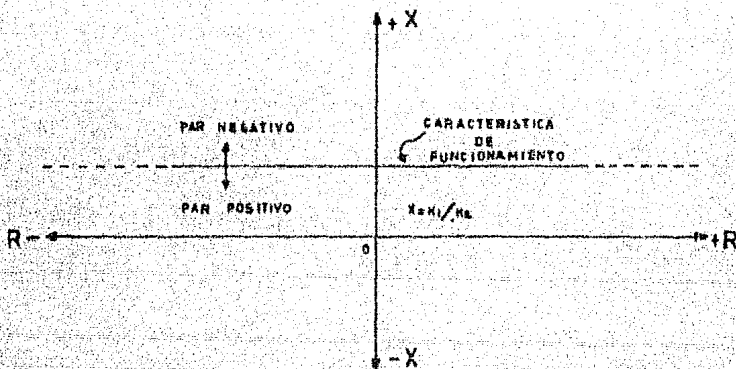
### RELEVADOR DE REACTANCIA.

La unidad de reactancia de un relevador de distancia del tipo de reactancia tiene, de hecho, un elemento de sobrecorriente que desarrolla par positivo, y un elemento - direccional corriente tensión que se opone o ayuda al elemento de sobrecorriente, según sea el ángulo de fase entre  $V$  e  $I$ .

La ecuación característica de este relevador es:

$$X = \frac{K_1}{K_2} = \text{Cte}$$

En otras palabras, este relevador tiene una característica de funcionamiento tal que todos los radios vectores de impedancia cuya punta se encuentra situada en esta característica tienen una componente  $X$  constante. Esta se muestra en la siguiente figura en diagrama  $R - X$ .



CARACTERISTICA DE FUNCIONAMIENTO DEL RELEVADOR DE REACTANCIA

Con algún ajuste predeterminado del valor de  $X$ , el relevador medirá cualquier valor de la reactancia, inferior - al de ajuste. Una reactancia responde sólo a la componente reactiva de la impedancia del sistema; o sea que la resistencia de la componente de la impedancia no tiene efecto en el funcionamiento del relevador; éste sólo responde a la -- reactancia de la impedancia. Sin embargo, cuando la resistencia de la falla tiene un valor tan alto que resultan comparables las magnitudes de las corrientes de carga y falla, se modifica el alcance del relevador por el valor de la carga y su factor de potencia, y se puede presentar sobrealcance o subalcance.

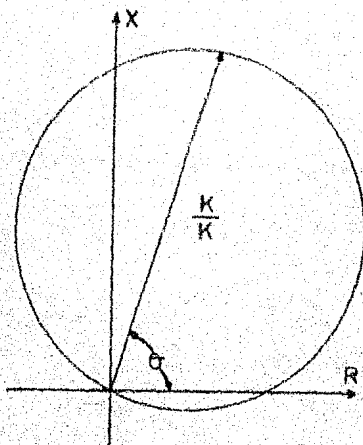
### . RELEVADOR DE ADMITANCIA ( MHO )

Este relevador tiene un elemento de tensión de retención que se opone al elemento direccional. En otras palabras, éste es un relevador direccional de tensión de retención. Cuando se le utiliza con un relevador de distancia del tipo de reactancia, a esta unidad también se le conoce como " unidad de arranque ".

La ecuación característica de este relevador es:

$$Y \cos (\Theta - \phi) = \frac{K}{K'}$$

Esto representa la admitancia o la característica mho, cuando se traza en el diagrama R - I, es un círculo que pasa por el origen.

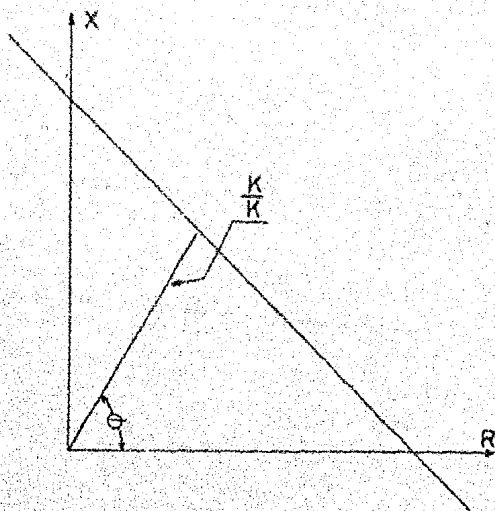


CARACTERÍSTICA DEL RELEVADOR MHO

Como el círculo pasa por el origen, es implícitamente direccional. Con tal característica, el relevador mide distancias solamente en una dirección.

RELEVADOR DE OHM.

Como se explicó antes, un relevador de reactancia es un caso particular de una característica del relevador de ohm, - cuando se traza en el plano  $R - X$ , es una línea recta como - se muestra en la figura de abajo. El relevador de ohm se emplea como elemento complementario para modificar la región de operación de los otros elementos de medición.



CARACTERISTICAS DEL RELEVADOR DE OHM

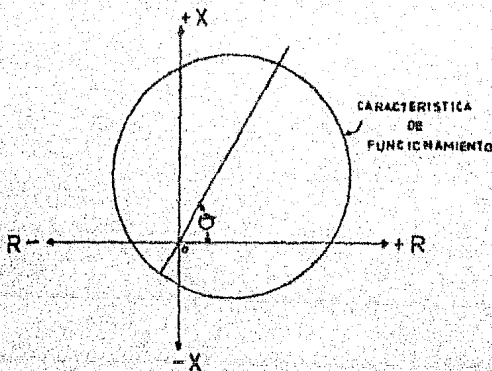
. RELEVADOR DE RHO DESPLAZADO O DE IMPEDANCIA MODIFICADO.

El relevador de distancia del tipo de impedancia modificado es el mismo que el del tipo de impedancia excepto que las características de funcionamiento de la unidad de impedancia están desplazadas, como se muestra en la siguiente figura. Este desplazamiento se lleva a cabo por lo que se conoce por una corriente de polarización. La que sólo consiste de la introducción en la tensión de alimentación de una tensión adicional proporcional a la corriente.

La ecuación característica de este relevador es:

$$T = K_1 I^2 - K_2 (V + CI)^2$$

El término  $(V + CI)$  es la magnitud eficaz de la suma vectorial de  $V$  y  $CI$ , incluyendo el ángulo  $\phi$  entre  $V$  e  $I$  lo mismo que un ángulo constante en el término constante  $C$ . Es ta es la ecuación de un círculo cuyo centro esta fuera del origen.



CARACTERÍSTICA DE FUNCIONAMIENTO DE UN RELEVADOR DE DISTANCIA DEL TIPO DE IMPEDANCIA MODIFICADO.



Por tal polarización, puede desplazarse un círculo característico en cualquier dirección del origen, y por -- cualquier cantidad deseada, aun cuando el origen esté fuera del círculo. Pueden ocurrir ligeras variaciones en la polarización, debido a la saturación de los elementos del circuito.

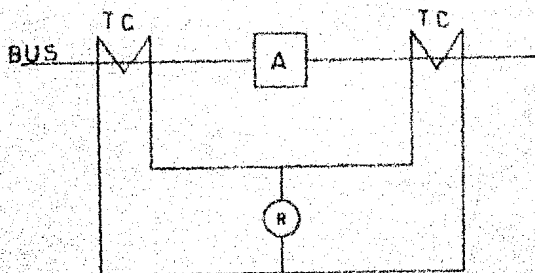
Por esta razón, la práctica no se trata de hacer -- que los círculos pasen por el origen y, por lo tanto, se requiere una unidad separada como se indica en la figura -- anterior.

## 4.6. RELEVADOR DIFERENCIAL

## . DEFINICION.

Un relevador diferencial se define como " aquel que funciona cuando el vector diferencia de dos o más magnitudes eléctricas iguales excede un valor previamente determinado ".

Un ejemplo de un arreglo sencillo lo tenemos en la siguiente figura.



A = APARATO PROTECCION  
 R = RELEVADOR  
 TC = TRANSFORMADOR DE CORRIENTE

La corriente que circula por el devanado primario de los TC'S es transformada por los TC'S a valores pequeños, normalmente la corriente que circula por el secundario es entre 0 y 5A.

Los secundarios de los transformadores de corriente se interconectan en paralelo con la bobina del relevador R. En este arreglo puede ser utilizado un relevador de sobrecorriente de c-a.

. CONDICIONES DE FALLA EXTERNA.

En la figura 4.6.A se tiene representada una condición para una falla externa al equipo protegido.

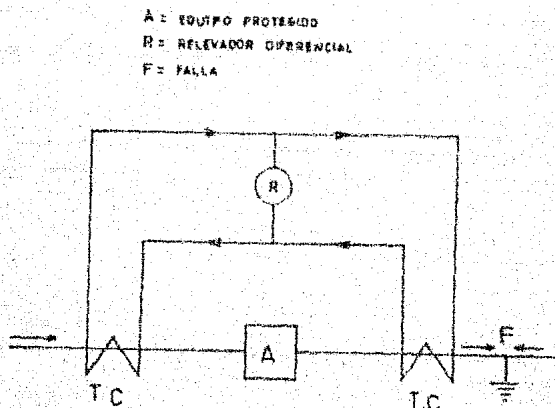
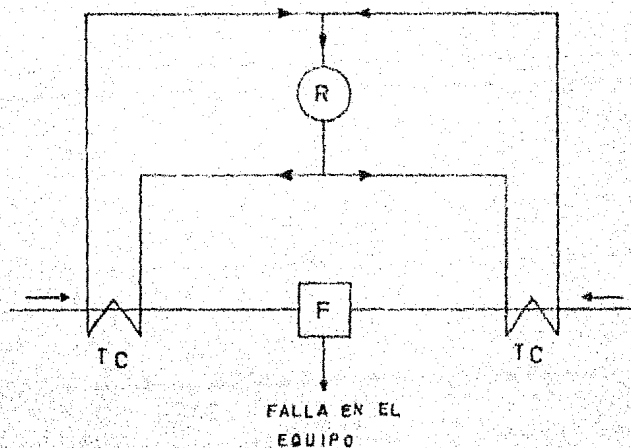


FIG. 4.6.A

Si los TC'S tienen la misma relación de transformación y sus conexiones son correctas, las corrientes circularán - como se muestran y la corriente diferencial será nula, por consiguiente el relevador no operará.

. CONDICIONES DE FALLA INTERNA.

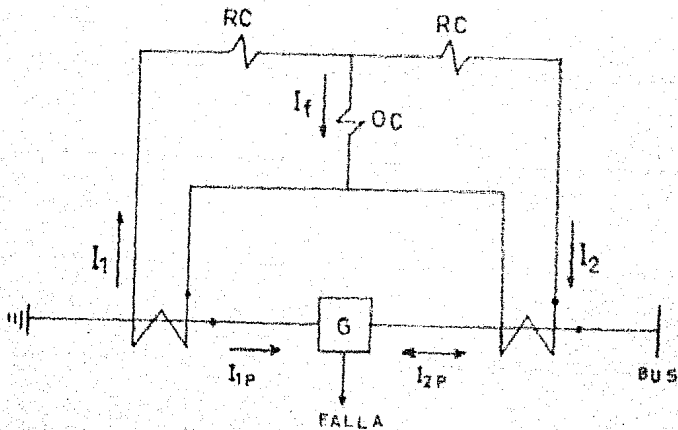
Sucede cuando se desarrolla un corto circuito en cualquier parte entre los dos transformadores de corrientes, como se muestra en la figura siguiente.



Si la falla se desarrolla en el equipo protegido, esto ocasionará que las corrientes circulantes por el secundario de los TC al sumarse fluyan por el relevador diferencial y si la suma excede el valor de la puesta en trabajo, el relevador operará.

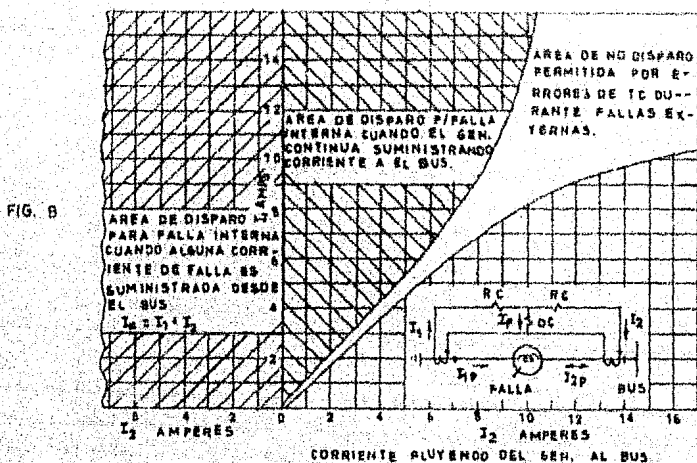
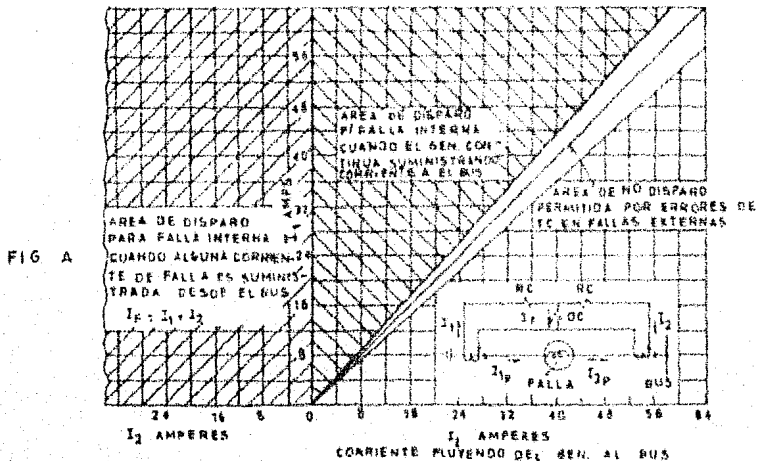
#### 4.6.1. RELEVADOR DIFERENCIAL DE PORCENTAJE.

Existe una forma más utilizada del relé diferencial denominada del tipo de porcentaje ó tanto por ciento, el cual se muestra abajo.



Cuando se tiene un corto circuito en un generador, la corriente en los TC'S no es la misma todo el tiempo y la diferencia en corriente fluirá a través de la bobina de operación OC del relé. Si esta diferencia es mayor a la corriente que circula por la bobina de restricción RC por un cierto porcentaje, el relevador opera instantáneamente y manda disparo de los interruptores de línea y campo del generador.

Hay dos tipos de relevador diferencial, uno trabaja con una diferencia de porcentaje constante de corriente en los 2 T.E.'S ( ver figura A ) y el otro lo hace con una diferencia de porcentaje que se incrementa tan rápido como se incrementa la corriente de corto circuito ( ver figura B ).



El propósito de la pendiente en los 2 relés es prevenir falsa operación debido a corrientes erróneas en el TC que -- pueden fluir en el circuito del relevador diferencial durante un corto circuito severo fuera de la zona protegida diferencialmente.

Las corrientes de error aparecen porque los TC'S no son absolutamente iguales a pesar de tener las mismas especificaciones y ser del mismo lote de material, debido a esto se saturan desigualmente por las altas corrientes que fluyen a -- través de ellos durante cortos circuitos externos.

El relé diferencial de porcentaje constante trabaja sobre una pendiente del 10% como se ve en la figura A.

El área sombreada en V representa más ó menos 10% de -- margen permitido para errores de TC debido a características diferentes y saturación.

El relevador diferencial de pendiente ( ver figura B ), con incremento opera sobre un 10% diferencial de corriente -- sobre fallas de baja magnitud cuando no hay peligro de corrientes de error en los TC'S y aún no opera incorrectamente durante fallas severas ( externas al generador ) inclusive -- hasta cuando un TC falla completamente.

#### 4.7. RELAYADOR DE BALANCE DE VOLTAJE ( 60 ).

##### DEFINICION.

Es un dispositivo que opera sobre una diferencia determinada de voltaje entre dos circuitos.

El relayador de balance de voltaje es usado para bloquear mecanismos que operarían incorrectamente cuando uno de los dos fusibles de los transformadores de potencial se funde. El relayador es alimentado con voltaje trifásico desde dos grupos de transformadores de potencial. Si los voltajes trifásicos de los dos grupos de transformadores de potencial son balanceados los contactos del relayador de balance de voltaje permanecen en posición abiertos sin considerar la magnitud de los voltajes.

Si un fusible se funde en cualquier fase de uno de los grupos de TP'S, esto ocasionará que el relayador opere para cerrar los contactos izquierdos.

Estos contactos entonces pondrán en trabajo otro relayador auxiliar el cual también tiene un contacto normalmente abierto y dos contactos normalmente cerrados. Los contactos normalmente abiertos de los relés auxiliares son usualmente utilizados para sonar una alarma, y los contactos normalmente cerrados son usados para abrir los circuitos de disparo del relayador sujetos a falsa operación. Algunos de los relayadores y dispositivos que pueden ser bloqueados para prevenir la operación incorrecta cuando el fusible de un TP' se funde son los relayadores de sobrecorriente con restricción de voltaje, relayadores de sincronización y reguladores de voltaje.



### CARACTERÍSTICAS DE OPERACION.

El relevador puede ser ajustado para cerrar los contactos derechos, cuando el voltaje trifásico aplicado a los bornes 5-6-7 estén por abajo de algunos valores entre al 20-99% de la capacidad de voltaje cuando el voltaje es mantenido sobre los bornes 15-16-17. Los contactos izquierdos pueden ser ajustados para cerrar cuando el voltaje trifásico aplica a los bornes 15-16-17 estén por abajo de algunos valores 50-95% de la capacidad de voltaje cuando es mantenido sobre los bornes 5-6-7.

Cada fuente de voltaje produce un par el cual es proporcional a el área del triángulo de voltaje trifásico, estén o no balanceados los voltajes.

La figura (A) muestra las características del relevador con la calibración de fábrica para el cierre del contacto -- cuando una fuente de voltaje es normal y la otra fuente esta por abajo de 96 volts ( 80% del voltaje nominal ). Los voltajes trifásicos balanceados son mantenidos para éstas curvas.

La característica puede ser aplicada a condiciones -- trifásicas desbalanceadas calculando las áreas de los triángulos de voltaje de las dos fuentes, y determinando los dos voltajes balanceados los cuales formarían triángulos de áreas iguales a ellos. Estos dos voltajes pueden ser usados para localizar un punto en la figura (A) para determinar si el relevador se pondría en trabajo o no.

Esta curva característica es aplicable sólo cuando el relevador es calibrado para esta condición.

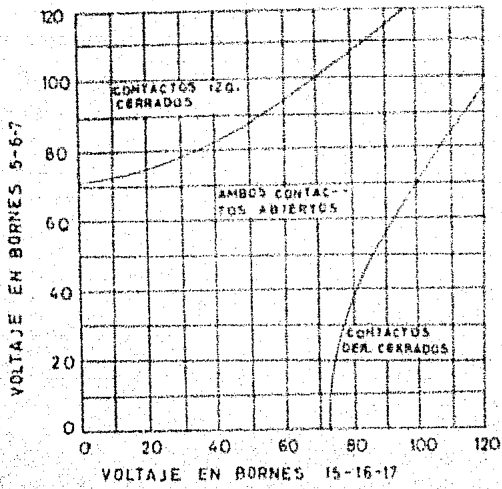


FIGURA ( A )

#### 4.5. TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTOS Y RELEVADORES.

Los transformadores de instrumentos son una parte esencial para los sistemas eléctricos de potencia para medición y protección, son usados por dos razones muy importantes:

- a).- Para protección del personal contra altos voltajes.
- b).- Para el uso de niveles de aislamiento-reducidos y capacidad para llevar corrientes a relevadores.

Existen dos tipos generales de transformadores para instrumentos y relevadores que son los transformadores de corriente (TC) y transformadores de potencial (TP), usados en medición de corriente y voltaje respectivamente. Ambos tipos sirven como aisladores entre el normalmente alto voltaje del primario y el bajo voltaje del secundario de los circuitos.

Estos transformadores alimentan a los relevadores con magnitudes proporcionales a aquellas del circuito de potencia, pero lo suficientemente reducidas en magnitud para que los relevadores puedan hacerse relativamente pequeños y no muy costosos.

Estos valores secundarios son normalmente de 5 Amp y/o 120 Volts nominales, 60 HZ.

#### 4.8.1. TRANSFORMADORES DE CORRIENTE:

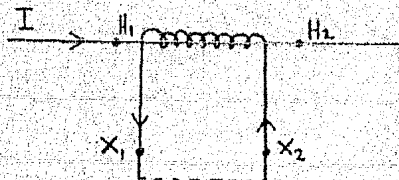
Cuando se desea hacer mediciones de corriente cuyos valores son elevados y no pueden ser manejados directamente por los sistemas de medición o protección, o bien, cuando se trata de -

Hacer mediciones de corriente en circuitos que operen a tensiones elevadas es necesario establecer un aislamiento eléctrico entre el circuito primario de estudio y los instrumentos. Este aislamiento se logra por medio de los secundarios transformadores de corriente.

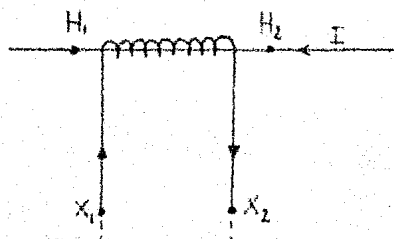
La dirección del flujo de corriente en los devanados del transformador no es importante cuando los relevadores operen solamente en magnitudes de voltaje y corriente. Sin embargo, donde los relevadores operen la suma o diferencia de dos corrientes, o las interacciones de varios voltajes o corrientes, es necesario conocer la polaridad del transformador.

#### POLARIDAD:

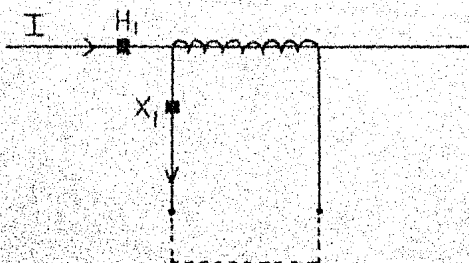
La polaridad del (TC), es expresada usualmente por los símbolos " $H_1$  y  $H_2$ " para terminales primarias y " $X_1$ ,  $X_2$ " para terminales secundarias. La convención es que cuando la corriente primaria entra en la terminal " $H_1$ " la corriente secundaria sale por la terminal " $X_2$ ", como se muestra en la figura de abajo.



o bien cuando, la corriente entra por la terminal " $H_2$ ", --  
 ésta sale por la terminal " $X_2$ ".



cuando se utiliza pintura, se identifican los terminales correspondientes " $H_1$ " y " $X_1$ " del TC. En la práctica común -- se muestran los terminales correspondientes por cuadros en diagramas de conexión como se muestra en la sig. fig.



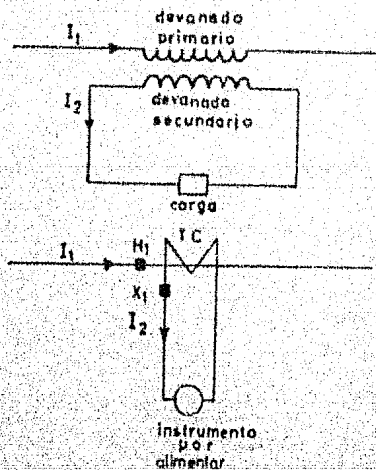
( Convención para mostrar la polaridad de los  
 TC en Diagramas)

Porque es importante conocer la polaridad de los TC.

- 1.- Ayuda a hacer las conexiones correctas.
- 2.- Muestra la dirección del flujo de la corriente relativo a otra corriente ó a una tensión.

Si los transformadores de corriente no estuvieran interconectados, o si la corriente de un (TC) no tuviese que cooperar con la corriente de otro (TC), o con una fuente de tensión para producir algún resultado, tal como un var en un relé, no habría necesidad conocer la polaridad del TC.

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

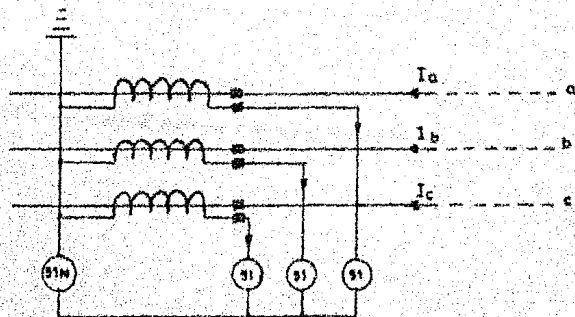


### CONEXION:

La conexión de los transformadores de corriente pueden ser conectados en cualquiera de las conexiones físicas de los circuitos trifásicos es decir, en DELTA o ESTRELLA y -- combinación entre delta y estrella según sea necesario.

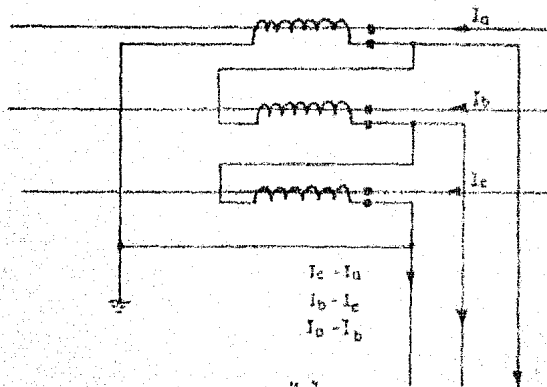
En particular se debe tener cuidado para cualquier conexión de conectar la polaridad del transformador de corriente que debe estar en correspondencia con la de los instrumentos que alimentan. En particular para los TC'S no es práctica como alimentar más de un instrumento de protección aunque puede alimentar, si es el caso, hasta dos instrumentos de medición.

Por ejemplo, una conexión " ESTRELLA " de los TC para alimentar relevadores de sobre corriente y a tierra se indica como sigue:

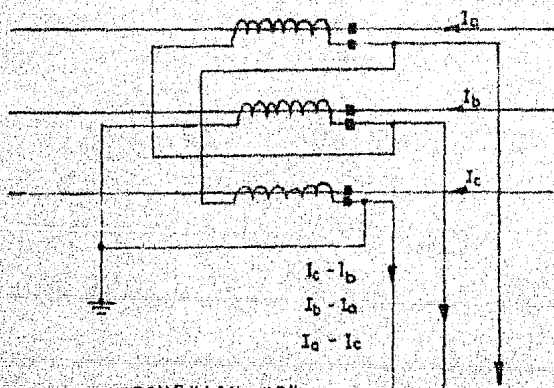


CONEXION ESTRELLA

Con los transformadores de corriente concebidos en " DELTA ", son posibles dos conexiones, como se muestra en las figuras de abajo, conexión "A" y "B".



CONEXION "A"



CONEXION "B"



## UTILIZACION DE LOS TRANSFORMADORES DE CORRIENTE.

Como ya se ha indicado anteriormente, los transformadores de corriente (TC) tienen su utilización principalmente en la alimentación de instrumentos de medición y protección, para lo cual se tienen ya recomendaciones establecidas por las normas y por los fabricantes en donde se indican las aplicaciones más adecuadas en función del tipo de servicio a prestar.

Existen otras designaciones de clases de precisión como las usadas por las normas ANSI en USA y que son de uso muy común en otros países.

Las normas ANSI definen la clase de precisión como el error máximo admisible en  $\%$  que un transformador de instrumento puede introducir en la medición de potencia, expresadas como clases de precisión normadas las siguientes: 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 1.2, 3.0, 5.1.

En la tabla que a continuación se describe se dan las clases de precisión recomendadas para TC según su uso.

CLASE	UTILIZACION
0.1	Calibración y medidas de laboratorio.
0.2-0.3	Medidas de laboratorio. Alimentación de Watthorímetros para alimentadores de gran potencia.
0.5-0.6	Alimentación de Watthorímetros para facturación, en circuitos de distribución. Watthorímetros industriales.
1.2	Amperímetros indicadores
	Amperímetros Registradores
	Pneómetros indicadores
	Pneómetros Registradores

	Wattómetros indicadores
	Wattómetros registradores
	Wattómetros industriales
	Protecciones diferenciales, relevadores de impedancia y distancia
3-5	Protecciones en general. ( Relevadores de sobre corriente.

#### PRECAUCION:

Es de suma importancia saber que el secundario del TC no deberá estar abierto cuando exista un flujo de corriente en el devanado primario; ya que bajo estas condiciones es altamente peligroso, porque la corriente del primario se convertiría en corriente de excitación, la cual elevaría la densidad del núcleo magnético hasta la saturación induciéndose así un alto voltaje en el secundario; en condiciones de corto circuito, la vida humana, aparatos y conductores son puestos en grave peligro.

Otra explicación que se puede considerar es que la impedancia del secundario cuando está abierto es mucho más alta que la del primario cuando está cerrado, por lo tanto el voltaje através del transformador es mucho mayor. La ruptura del circuito secundario cuando fluye corriente en el primario es una situación que debe ser evitada, por eso todo aquel que trabaje con (TC) deberá asegurarse siempre que el secundario del transformador este cortocircuitado o conectado con algún instrumento, pero nunca abierto.

#### 4.3.2. TRANSFORMACIONES DE POTENCIAL (TP)

Los transformadores de potencial al igual que los transformadores de corriente sirven para aislar y proteger de altos voltajes a los equipos de medición, protección y personal.

En el caso de los sistemas de alta tensión, no es posible conectar las bobinas de voltaje de los dispositivos de protección directamente al sistema; por lo tanto, es necesario bajar el voltaje y además, aislar el equipo de protección del circuito primario. Esto se logra usando un transformador de voltaje, conocida también como transformador de potencial, aislante o un transformador de energía. La capacidad del transformador de voltaje se especifica en función de la carga máxima (VA de salida) que entra sin rebasar los límites específicos de error, mientras que la de un transformador de energía se especifica por la salida del secundario, sin rebasar la elevación capacitiva de la temperatura. La entrada de los transformadores de voltaje está generalmente limitada a unos cuantos centenares de volt-ampers y el voltaje en el secundario es, casi siempre de 110 volts entre fases. Idealmente, un transformador de potencial debe producir un voltaje secundario proporcional al voltaje primario del mismo. Es evidente que en la práctica esto no pueda lograrse debido a las caídas de voltaje que ocurre en las bobinas del primario y del secundario, por la magnitud y el factor de potencia de la carga del secundario.

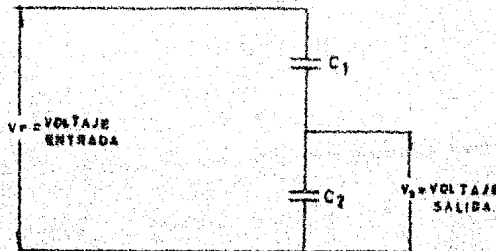
#### TIPOS

Existen dos tipos de transformadores de potencial para propósitos de protección por relevadores.

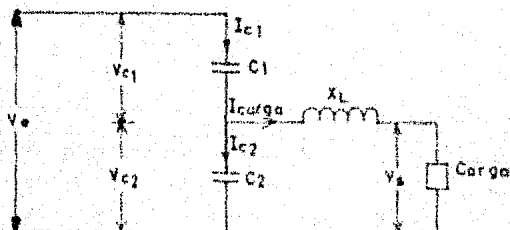
- a).- TRANSFORMADOR DE POTENCIAL NORMAL
- b).- TRANSFORMADOR DE POTENCIAL CON CAPACITOR

Un transformador de potencial normal es un transformador convencional que tiene arrollamientos primarios y secundarios. El arrollamiento primario está conectado directamente al circuito de potencia ya sea entre dos fases o entre fase y tierra, dependiendo de la capacidad del transformador y de las exigencias requeridas por la aplicación.

Un transformador de potencial con capacitor es un equipo de transformación de tensión que utiliza un divisor de tensión capacitivo conectado entre fase y tierra de un circuito de potencia, generalmente el transformador de potencial devanado se aplica convencionalmente en sistemas hasta 132 KV. e inferiores por razones económicas y el transformador de potencial con capacitor, se usa para voltajes superiores a los 132 KV. El transformador de potencial con capacitor es, en esencia un divisor de la capacidad y el potencial, que trabaja con el circuito básico mostrado en las figuras siguientes.



DIVISOR DE VOLTAJE CON CAPACITOR "CIRCUITO BASICO"



#### NIVEL DE VOLTAJE CON CAPACITOR "CIRCUITO COMPENSADO"

La caída de voltaje en la carga, debido a la reactancia de los capacitores, puede compensarse insertando una reactancia en serie con la carga, como se muestra en la figura del circuito compensado. el requisito es que una corriente que pase por la carga debe tener impedancia nula en el divisor del capacitor. En otras palabras, el circuito debe ofrecer cero impedancia a la corriente de la carga estando en corto circuito las terminales de línea y de tierra es decir:

$$WL = 1/(\omega C_1 + \omega C_2)$$

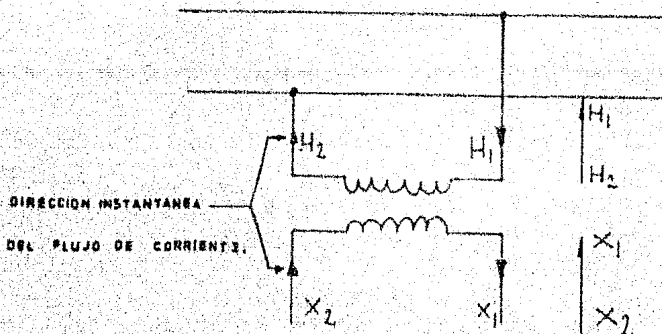
Los valores de  $C_1$  y  $C_2$  se escogen de manera que la mayor parte de las caídas de voltaje se efectúen entre las terminales de  $C_1$ , es decir  $C_1$  es mucho menor que  $C_2$ , de manera que

$$\omega L \approx 1/\omega C_2$$

## POLARIDAD:

Los terminales de los transformadores de potencial están marcados para indicar las polaridades relativas de los arrollamientos primario y secundario. Por lo general, las terminales que corresponden a la alta y baja tensión están marcadas con  $H_1$  y  $X_1$ , respectivamente (  $Y$  para el caso de tener un devanado terciario). En dispositivos de potencial capacitivos, sólo están marcadas las terminales  $X_1$  y  $Y_1$ , siendo obvia la terminal  $H_1$  de la configuración del equipo.

Las marcas de polaridad tienen el mismo significado que para los transformadores de corriente, es decir, que cuando la corriente entra por la terminal  $H_1$  ésta sale por la terminal  $X_1$  ( o  $Y_1$  ). La relación entre las tensiones alta y baja es tal que  $X_1$  ( o  $Y_1$  ) tiene la misma polaridad instantánea que  $H_1$ , como se muestra en la siguiente figura:

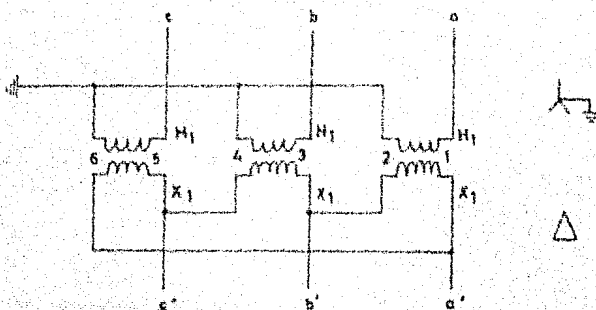


SIGNIFICADO DE LAS MARCAS DE POLARIDAD DEL TRANSFORMADOR DE POTENCIAL.

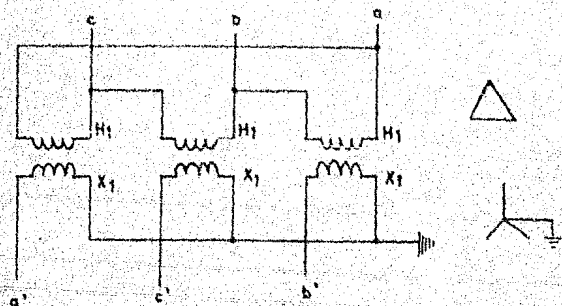
Puede ignorarse el que un transformador tenga polaridad aditiva o sustractiva porque esto no tiene ningún efecto en las conexiones.

#### CONEXIONES:

Las conexiones de los transformadores de potencial pueden hacerse en todas las combinaciones que existen de estrella y delta, las cuales las más usuales son ESTRELLA-DELTA y DELTA-ESTRELLA. Como se ilustran en las figuras siguientes:



ESTRELLA-DELTA



DELTA-ESTRELLA

## USOS:

Las normas nacionales para transformadores de potencial se clasifican según su clase de precisión como:

0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 0.6, 1.2, 3.5 y recomiendan su utilización según la tabla siguiente:

CLASE	UTILIZACION
0.1	Calibración
0.2-0.3	Mediciones en laboratorios, alimentación de integradores (Watt-hourímetros) para sistemas de gran potencia.
0.5-0.6	Instrumentos de medición e integradores (WHR)
1.2-3.5	Voltímetros de tableros Voltímetros registradores Wattímetros de tableros Watt-hourímetros Frecuencímetros de tableros Sincronoscopios Reguladores de tensión Relevadores de protección

APARATOS Y CONSUMOS APROXIMADOS DE INSTRUMENTOS ALIMENTADOS POR TRANSFORMADORES DE POTENCIAL.

APARATOS	CONSUMOS APROXIMADOS EN (VA)
<b>VOLTMETROS:</b>	
Indicadores	3-15
Registradores	15-25



## APARATOS

## CONSULOS APROXIMADOS. (VA)

## WATTMETROS:

Indicadores 6 - 10

Registadores 3 - 10

## MEDIDORES DE FASE:

Indicadores 7 - 20

Registadores 15 - 20

## WATTMETER P.W.S.:

3 - 15

## FRECUENCIETROS:

Indicadores 1 - 15

Registadores 7 - 15

## RELEVADORES:

Tensión 10 - 15

Selectivos 2 - 10

## Direccional:

25 - 20

## Sincronoscopia

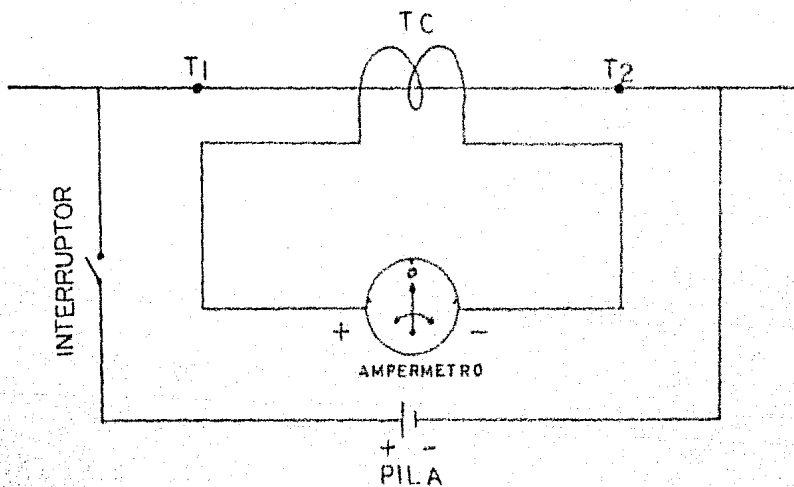
6 - 25

## Reguladores de Tensión

30 - 250

## PRUEBA PRACTICA PARA VERIFICAR LA POLARIDAD A LOS TRANSFORMADORES DE CORRIENTE Y POTENCIAL.

Se necesita esta verificación para saber la polaridad relativa de las terminales del primario y secundario cuando éstas no están marcadas, o para establecer si son las marcas - cuando las hay. En la siguiente figura se muestra un circuito de prueba simple para este objeto. El primario está conectado entre las terminales de una batería de bajo voltaje, a través de un interruptor. El secundario del transformador de corriente está en corto circuito mediante un amperímetro de bobina móvil y de imán permanente, del tipo del cero al centro. Al cerrar el interruptor, el amperímetro "A" de corriente directa debe indicar un movimiento positivo, y al abrirlo, un movimiento negativo.



VERIFICACION DE LA POLARIDAD DE TC Y TP.

#### 4.9 INTERRUPTORES

En los sistemas eléctricos de potencia el interruptor es un dispositivo eléctrico de gran importancia, ya que opera generalmente cuando ocurre una falla de corto circuito en el sistema, este dispositivo tiene como función primordial separar y proteger de la corriente de falla al demás equipo que puede ser, (transformador, generador, etc) o bien establecer la continuidad de un circuito de potencia - bajo carga, produciéndose así un arco eléctrico al separarse los contactos del interruptor, éste arco está constituido por electrones y gas ionizado a temperaturas muy altas - de ( 2500 a 10,000 °C ).

La corriente que tiene que interrumpir puede ser la corriente normal del circuito o una corriente que puede ser mucho mayor debida a una situación anormal producida por un corto circuito, o una corriente mucho menor que la normal, por ejemplo al desconectar una línea de transmisión o un transformador en vacío.

Las normas recomiendan que como mínimo se deben especificar las siguientes características nominales de un interruptor.

- 1.- Tensión nominal, y corriente nominal.
- 2.- Frecuencia nominal.
- 3.- Capacidades de interrupción simétrica y asimétrica
- 4.- Capacidad de cierre en corto circuito.
- 5.- Máxima duración de la corriente de corto circuito nominal de tiempo corto.
- 6.- Ciclo de operación nominal.

A continuación se indican algunos valores de tensiones nominales del sistema y las tensiones máximas de diseño.

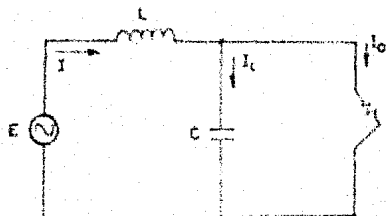
## TENSIONES NOMINALES Y TENSIONES MAXIMAS DE DISEÑO

TENSION NOMINAL (KV)	TENSION MAXIMA DE DISEÑO (KV)
2.2	2.2
4.16	4.36
13.18	15.0
23.0	24.6
34.5	38.8
69.0	72.5
115.0	123.0
230.0	245.0
400.0	420.0

## INTERRUPCION DE CORRIENTE ALTERNA.

Desde el punto de vista de su interrupción, la corriente alterna presenta una gran ventaja sobre la corriente continua, ya que a la frecuencia de 60 ciclos por segundo pasa 120 veces por cero, y esta característica se aprovecha para facilitar la interrupción de la corriente.

Para ver como se realiza la interrupción de la corriente, supongamos que tenemos el siguiente circuito que es la representación simplificada de un circuito real.



Donde:

E = Fem. Electromotriz

L = Inductancia en serie

C = Capacitancia en paralelo

En el instante ( $t_1$ ) se inicia la separación de los contactos del interruptor. Aparece un arco eléctrico el cual mantiene la continuidad en el circuito. La corriente total (I) proporcionada por la fuente se divide en la corriente del capacitor ( $I_c$ ) y la corriente del arco ( $I_a$ ).

En un principio la caída de voltaje a través del arco es muy pequeña. El voltaje aplicado al condensador también es pequeño y este toma por tanto poca corriente. A medida que la caída de voltaje a través del arco aumenta, la corriente en el condensador aumenta y así, la corriente que atraviesa el arco disminuye.

I = corriente total del generador

$\epsilon_d$  = rigidez dieléctrica

$I_a$  = corriente a través del arco

$I_c$  = corriente a través del condensador

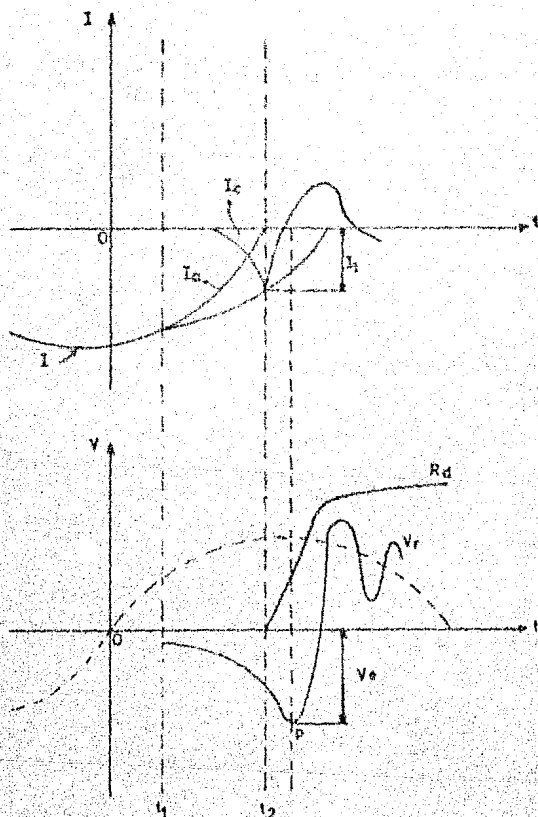
$I_1$  = corriente en el condensador en el momento de interrumpirse el arco.

$$V_e = I_1 \sqrt{\frac{L}{C}}$$

$t_1$  = separación de los contactos

$t_2$  = el arco se interrumpe

$p$  = punto de extinción.



INTERRUPCION DE U.A. CORRIENTE ALTERN.A.

El arco se interrumpe un poco antes del paso natural de la corriente por cero. El voltaje aplicado al condensador aumenta bruscamente y se produce una oscilación del circuito LC, que se amortiguará más o menos rápidamente dependiendo de la resistencia del circuito.

El voltaje que aparece entre los contactos aumenta primero hasta el punto "P" llamado punto de extinción. La magnitud de este voltaje depende de la energía electromagnética almacenada en la inductancia dada por:

$$\frac{1}{2} L I_1^2 = \frac{1}{2} C V_e^2$$

de donde:

$$V_e = I_1 \sqrt{\frac{L}{C}}$$

El voltaje oscila alrededor del valor de cresta del voltaje del generador, este voltaje llamado voltaje de recuperación, puede alcanzar prácticamente un máximo teórico de dos veces el valor de la cresta del voltaje del generador. En un circuito real esta oscilación es amortiguada por su resistencia.

Si la rigidez dieléctrica ( $R_d$ ) del medio que está entre los contactos que se están separando es mayor que el voltaje que aparece entre ellos, el circuito queda abierto definitivamente. Si la rigidez dieléctrica ( $R_d$ ) es menor que el voltaje que aparece entre los contactos, se volverá a producir el arco.

Por lo tanto el interruptor debe realizar dos funciones para poder interrumpir un circuito.

- 1.- Debe ser capaz de disipar la energía producida por el arco.
- 2.- Debe ser capaz de restablecer muy rápidamente la rigidez dieléctrica del medio comprendido entre los contactos una vez extinguido el arco.



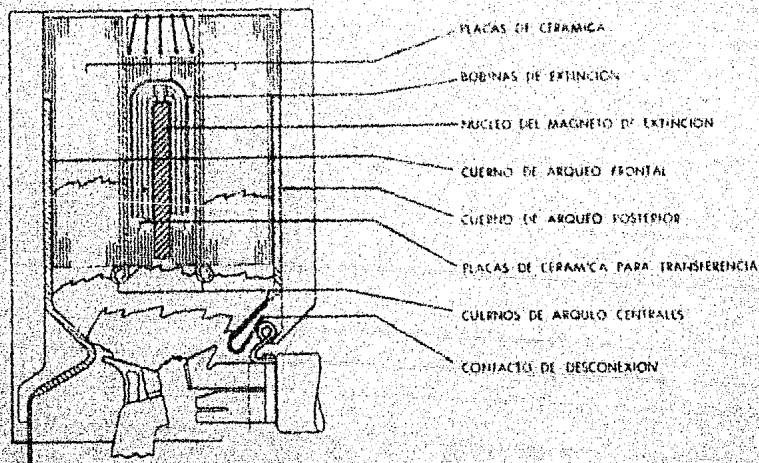
#### 4.9.1. TIPOS DE INTERRUPTORES

Los interruptores se pueden clasificar en tres grupos principales según el procedimiento de extinción del arco:

##### 1.- INTERRUPTORES DE EXTINCIÓN MAGNÉTICA DE AIRE.

Son interruptores en los que el arco se es-  
tira y se enfría aumentando grandemente su  
resistencia, lo que reduce la corriente has-  
ta que el arco se extingue.

En este tipo la corriente que se va a interrumpir se  
utiliza para crear un campo magnético que impulsa el arco  
contra un laberinto de celulas de material cerámico donde  
el arco se calza y se enfría hasta apagarlo, como se ilus-  
tra en la figura de abajo.



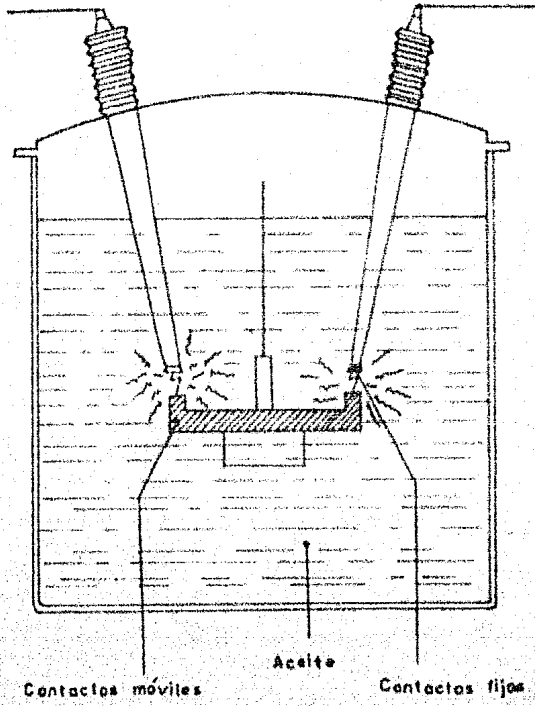
## 2.- INTERRUPTORES EN ACEITE.

Estos interruptores son los que aprovechan la energía desprendida por el arco mismo para apagarlo. Al alcanzar la separación de los contactos en un baño de aceite en lugar de en aire a la presión atmosférica, la capacidad interruptiva se aumenta grandemente debido a dos razones principales:

- 1.- La rigidez dieléctrica del aceite es mayor que la del aire a la presión atmosférica.
- 2.- El arco descompone el aceite, generando hidrógeno y este gas es un medio refrigerante superior al aire.

En los interruptores en aceite los contactos se rodean de un recipiente pequeño, la cámara de explosión, provista de algún orificio de salida. El hidrógeno desprendido por el arco y confinado en la cámara de explosión aumenta de presión, lo que aumenta la rigidez dieléctrica del gas; además el gas a presión que atraviesa el arco para salir -- por los orificios de la cámara de explosión enfría y apaga el arco.

Con este tipo se alcanzan capacidades interruptivas de 10 millones de KVA y se han realizado para voltajes hasta de 345 KV.

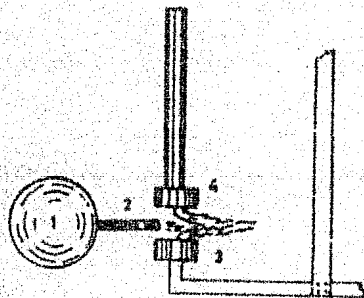


REPRESENTACION ESCUEMATICA DE UN INTERRUPTOR  
EN ACEITE

### 3.- INTERRUPTORES NEUMATICOS.

Interruptores en los que se utiliza una energía exterior para soplar y apagar el arco, como sucede en los de hexafluoruro de azufre a presión, comprimido a una presión de  $15 \text{ Kg/cm}^2$ , sopla el arco generalmente circulando a lo largo del eje del arco, adelgazándolo primero e interrumpiéndolo.

Con este tipo de interruptores se han alcanzado capacidades interruptivas de 25 millones de KVA en 500 KV.



- 1.- Cilindro almacenando aire comprimido
- 2.- Válvula electro-neumática
- 3.- Contactos móviles
- 4.- Contactos fijos

#### 4.- INTERRUPTOR EN VACIO.

Podemos citar de este interruptor que se está empezando a utilizar industrialmente, en voltajes inferiores a 20 KV.

Los contactos se separan en una cámara donde se ha hecho el vacío. De esta manera se trata de evitar el nacimiento del arco y aunque éste no se logra totalmente, se disminuye mucho la duración del arco, la energía producida por el arco y la distancia que tienen que separarse los contactos.

Citemos por último lo que podría ser el interruptor ideal. Un interruptor en que los contactos empezasen a separarse exactamente en el momento que la corriente pasa por cero y con una rapidez suficiente para evitar la producción del arco eléctrico.

C A P I T U L O V

PROTECCION ELECTRICA DE GENERADORES POR MEDIO DE RELEVADORES

## CAPITULO IV

## PROTECCION ESPECIFICA DE GENERADORES POR MEDIO DE RELAYADORES

## A.1. INTRODUCCION

La importancia del generador de alta potencia en un sistema eléctrico es tal que requiere algunas de protección distintos a los empleados para otros equipos que forman el sistema eléctrico.

Una falla en un generador inevitablemente se debe considerar -- permanentemente, su reparación requiere tiempo y es costosa por lo -- que requiere una protección lo más sensible y completa posible. El margen de sobrecarga para operar fuera de sus límites es menor en generadores que en otros equipos eléctricos. Esto exige -- una protección adicional de respaldo para evitar su operación -- prolongada bajo condiciones anormales debidas a causas externas.

Las condiciones anormales que pueden ocurrir en las máquinas rotatorias son las siguientes:

- a) fallas en los devanados
- b) sobrecarga
- c) sobrecalentamiento de devanados o chuzaceras
- d) sobrevelocidad
- e) pérdida de excitación
- f) motorización de generadores
- g) operación con corriente desbalanceada o monofásica

Algunas de estas condiciones no requieren el disparo automático de la unidad sin embargo deben ser corregidas mientras --

la máquina permanece en servicio. Estas condiciones pertenecen - señaladas como alarmas en los paneles de control. Otras condiciones como fallos requieren la inmediata desincronización de la máquina con el sistema.

## 5.2 PROTECCION DIFERENCIAL DE GENERADOR (E75)

La protección diferencial de generador protege principalmente contra corto circuitos entre fases dentro del embobinado del generador. Cuando se trata de generadores cuyo neutro esté aterrizado a través de un reactor de reactancia baja, la protección diferencial detecta también corto circuitos interiores de fase a tierra.

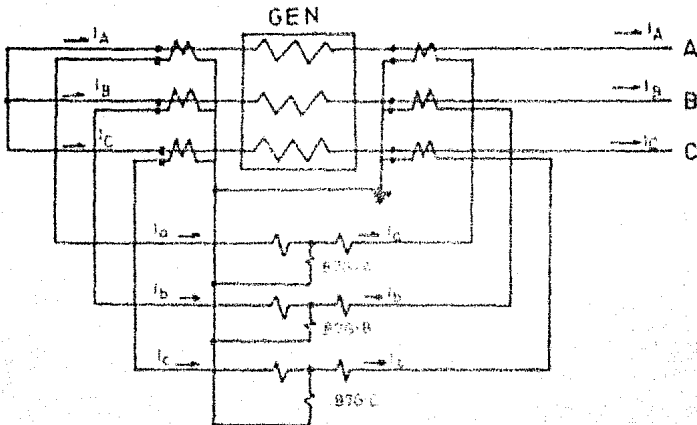
### - FASE DE OPERACION

La protección diferencial compara la corriente que sale de un embobinado con la corriente que entra por el otro extremo del mismo embobinado. Si las dos corrientes son iguales el embobinado se encuentra en condiciones normales, si las corrientes difieren el embobinado tiene falla.

### - CONEXION FASICA Y ESQUEMA

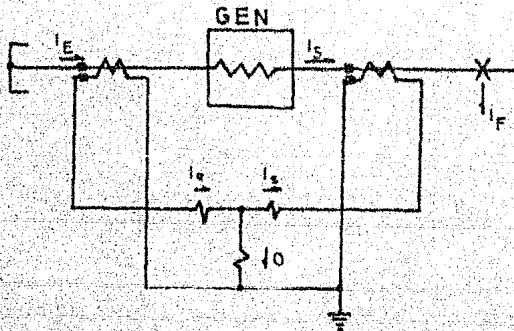
La conexión trifásica de una protección diferencial de generador es la siguiente:





La operación del esquema es explicada más fácilmente usando la representación monofásica.

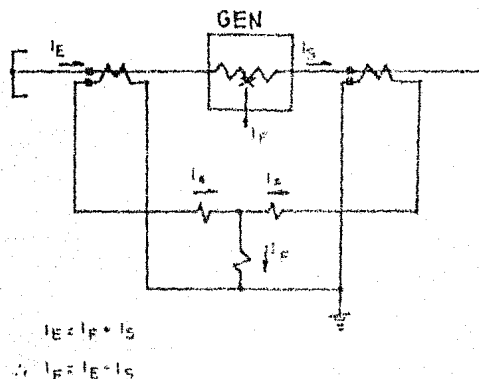
Para condiciones normales de operación o para una falla exterior las corrientes en la protección diferencial se reparten así:



$$I_E = I_S$$

$$I_e = I_s$$

Para una falla interior las corrientes que recibe la protección diferencial son las siguientes:



La bobina de operación del relevador recibe corriente únicamente cuando hay una falla dentro del generador. El relevador - puede detectar únicamente fallas que quedan entre los juegos de transformadores de corriente.

#### - CARACTERÍSTICAS DEL RELEVADOR DIFERENCIAL

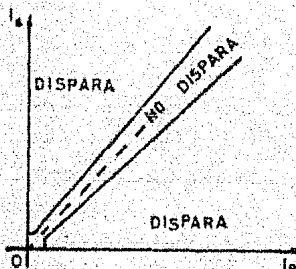
En los diagramas mostrados se aprecia que la diferencia entre una falla interior y una falla exterior consiste en la circulación de corriente a través de la bobina de operación del relevador. Teóricamente es posible usar relevadores que tienen únicamente esa bobina, relevadores de sobrecorriente conectados diferencialmente.

El inconveniente práctico de emplear relevadores de sobrecorriente para esta aplicación consiste en que tendrían a one-

rar con cualquier corriente de desbalance que podría ser causada por diferencias de precisión o de saturación de los dos juegos de transformadores de corriente y no solamente por fellas interiores. En consecuencia habrá que usar ajustes de arranque relativamente altos para evitar disparos indebidos durante fellas externas, perdiéndose la sensibilidad inherente al esquema básico.

Este inconveniente se elimina usando relevadores diferenciales tipo "pendiente". Estos relevadores tienen dos bobinas de retención y una bobina de operación. Al circular corriente a través de las bobinas de retención se produce un par que tiende a abrir los contactos, en oposición al par producido por la corriente que atraviesa la bobina de operación, que tiende a cerrar los contactos.

Los límites de operación del relevador diferencial se pueden representar gráficamente:



Por "pendiente" de la característica se entiende la relación entre la corriente diferencial y la menor de las corrientes

en las bobinas de retención.

$$s = \frac{I_e - I_s}{I_s}$$

si  $I_s < I_e$

En protección diferencial de generadores es habitual usar una pendiente del orden de 10% en vista de que los transformadores de corriente en sus dos extremos son idénticos. Existe una variante del relevador diferencial que es de "pendiente variable" su característica es más abierta en la parte alta de la gráfica. La ventaja de esta característica es mayor inmunidad contra errores de transformadores de corriente a corrientes altas, pero conservando sensibilidad a corrientes bajas.

En la gráfica se observa que hacia el origen la característica se desvía de la línea recta que representa la pendiente constante. Esto se debe al resorte del relevador, que produce un par en el sentido de abrir contactos y cuyo efecto es más notorio en la parte baja de la gráfica, donde los pares de las bobinas son más débiles.

Los relevadores diferenciales de generador normalmente tienen una corriente de arranque del orden de 0.2 Amps. operando con una bobina de retención y la bobina de operación en serie (intersección de la gráfica con los ejes).

Como los relevadores diferenciales tienen limitada su zona de operación únicamente por la posición de los transformadores de corriente no requieren tiempo de coordinación con otros rele-

vadores. En consecuencia, los relevadores diferenciales son siempre de alta velocidad.

#### - AJUSTES

Los relevadores diferenciales del generador no tienen ajuste.

#### - CONEXIONES DE CONTROL

Los contactos de los relevadores diferenciales de las tres fases se conectan en paralelo para disparar un relevador auxiliar de contactos múltiples de reposición manual (86G).

Este relevador auxiliar a su vez tiene los contactos que se emplean para las funciones siguientes:

TIPO	FUNCIÓN	OBSERVACION
a	Disparo Interruptor Generador (52A)	
b	Bloqueo Cierre Int. Generador (52G)	
a	Disparo Interruptor Campo (41G)	
b	Bloqueo Cierre Int. Campo (41G)	
a	Disparo Válvula de Paro (65)	P. Termoelectrónica
b	Disparo Válvula de Paro (65SD)	P. Hidroeléctrica
a	Disparo Interruptor de Auxiliares (52A)	
a	Alarma "Disparo Protección Generador"	
a	Disparo Válvulas Corte Combustible Caldera	P. Termoelectrónica
b	Bloqueo cierre Int. AuxB.(52A)	

TIPO	FUNCION	OBSERVACION
a	Disparo Equipo contra Incendio gen. (CO <sub>2</sub> )	P. Hidroaléctrica
a	Iniciación Transferencia Auxiliares.	P. Termoaléctrica

Este relevador es de reposición manual para impedir una reenergización inmediata. Se supone que se reposirá apenas después de haber estado antes inspeccionado la unidad. Por el tipo de protección que lo acciona se considera que no debe tener operaciones equivocadas y que únicamente disparo cuando ha habido un cortocircuito en el generador.

#### - PROBLEMAS DE APLICACION

La protección diferencial de generador es de las protecciones que menos problemas presentan. En su aplicación deben observarse las siguientes precauciones:

1.- Empleo de transformadores de corriente idénticos en los dos extremos del generador (no usar transformadores de corriente auxiliares).

2.- Empleo exclusivo de los transformadores de corriente para la protección diferencial.

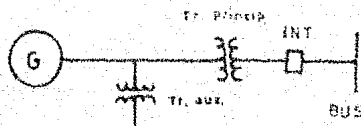
3.- Localizar los transformadores de corriente de manera de proteger únicamente al generador (evitar incluir derivaciones o servicios propios).

4.- Revisión cuidadosa de polaridad y faseo de los T.C. c.

### 5.3 PROTECCION CONTRA FALLAS A TIERRA EN EL ESTATOR DEL GENERADOR (645).

La protección contra fallas entre cualquier fase del generador y tierra se basa en la detección de voltaje en el neutro de un sistema que opere con neutro aislado o aterrizado a través de una impedancia alta.

Esta protección además de detectar fallas monofásicas a tierra en la mayor parte del embobinado del generador, también lo hace en todas las conexiones a voltaje de generación: bus ductos, devanado de bajo voltaje del transformador de unidad y embobinado de transformador de auxiliares.



Conexión del generador en esquema unitario.

La aplicación de esta protección se hace básicamente a generadores conectados en sistema unitario, es decir que están conectados directamente a un transformador elevador, y no existe una separación por medio de algún interruptor entre el generador y el transformador elevador.

#### - BASE DE OPERACION

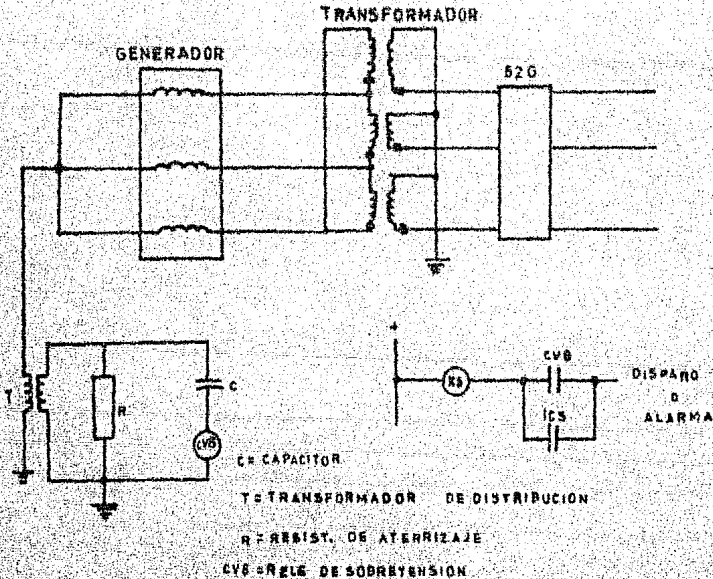
Como se señaló arriba, la protección contra fallas a tierra en el estator del generador basa su operación en la detección de voltaje en el neutro del propio generador, el voltaje

en este punto es cero en condiciones normales, crece el sustancial voltaje normal de tercera armónica que puede presentar se entre el neutro y tierra, éste es fácilmente eliminable por medio de un circuito de filtro sintonizado contenido en el propio relevador.

El voltaje en el neutro del generador será tanto más alto cuanto más alejada del neutro se encuentre la falla. Al contrario una falla a tierra en el propio neutro no podrá ser detectada por no producir voltaje, además de que es el punto menos expuesto a una falla por no tener voltaje en operación normal.

El relevador normalmente empleado tiene sensibilidad suficiente para cubrir del 20 al 95% del bobinado del generador.

#### - CONEXION BASICA DEL ESCUETA





En este esquema se utiliza un transformador de distribu-  
ción ya que se trata de un sistema unitario, en combinación con  
una resistencia para amortiguar el circuito. En instalaciones -  
donde no había resistencia se observaron fenómenos de resonan-  
cia entre la inductancia de excitación del transformador de po-  
tencial y la capacitancia a tierra del estrobinado del generador  
resultando en sobrevoltajes transitorios.

El esquema combina buena sensibilidad para fallas a tierra  
internas, mientras que es insensible a las tensiones de tercera  
armónica y múltiplos de ésta.

Un circuito de filtraje sintonizado consistiendo en la bo-  
bina del relevador y el capacitor, manifiesta alta impedancia a  
los voltajes de la tercera armónica evitando así la operación -  
del relevador.

El valor de la resistencia  $R$  no deberá ser mayor que el da-  
do por la expresión  $R = \frac{X_c}{3V^2}$  ohms, donde  $X_c$  es la reactancia  
capacitiva total de fase a tierra de cada fase del estator del  
generador y  $V$  es la relación de tensión en vacío del devanado de  
alta al devanado de baja tensión del transformador de distribu-  
ción.

El valor de  $R$  limitará el valor de la tensión máxima ins-  
tantánea a casi 260% del valor cresta normal de fase a tierra.

Una reducción mayor en el valor de la resistencia no condu-  
ce a reducir en forma significativa la magnitud de la tensión -  
transitoria.

Otra expresión para calcular  $R$ , despreciando  $X_c$  y seleccio-

nando una resistencia que restringirá la corriente a 15 Amp. es la siguiente:

$$R = \frac{10^3 V_g}{15 \sqrt{3} N^2} \text{ ohms}$$

donde  $V_g$  = tensión nominal entre fases en KV.

El transformador de distribución deberá tener los siguientes datos:

Voltaje primario:	Igual al voltaje entre fases del generador.
Voltaje secundario:	120 ó 240 V.
Capacidad:	Que resista la corriente máxima de falla durante 10 minutos sin exceder su calentamiento momentáneo máximo, al ós ta protección se usa para disparar.
Enfriamiento:	Natural, de preferencia con líquido, - no inflamable o de diseño tipo seco.

#### - CARACTERÍSTICAS DEL RELEVADOR

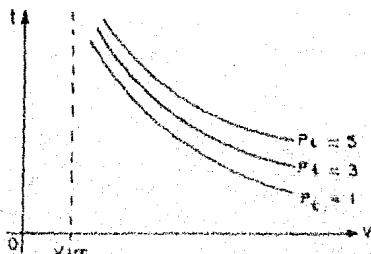
Se utiliza un relevador de sobrevoltaje el cual debe tener dos características especiales:

- Filtro de 3a. armónica que consiste de un capacitor en serie con la bobina del relevador.
- Rango bajo de 5 a 20 volts para energizarse.

En la práctica se utiliza un relevador con disco de indu--

cción para ésta aplicación, la cual no requiere de alta velocidad por ser de baja corriente.

La característica voltaje-tiempo de este relevador es la siguiente:



El voltaje de arranque se ajusta por medio del "tap" de la bobina de operación; el tiempo se ajusta con el dial, es decir variando el ángulo de recorrido del disco hasta que cierra su contacto.

#### - AJUSTES

##### a. Tap

Se utiliza un ajuste bajo para cubrir el 95% del embobinado, el tap debe ajustarse a 5% del voltaje que se obtiene para una falla en la salida del embobinado es decir:

$$V_{\text{máx}} = \frac{240}{\sqrt{3}} = 138.6 \text{ Volts en secundario.}$$

$$V_{\text{tap}} = 0.05 V_{\text{máx}} = (0.05)(138.6) = 6.93 \text{ Volts.}$$

Se usará el tap más próximo 5 ó 7 Volts.

#### b. Dial de Tiempo.

Este ajuste puede ser alto puesto que la falla a tierra no causa destrucción de laminación por ser de baja corriente.

Se desea un tiempo largo para evitar operaciones equivocadas para fallas exteriores, en las cuales puede reflejarse un voltaje a través del transformador de unidad por efecto capacitivo o inductivo que pudiera energizar a esta protección.

Normalmente el tiempo de ajuste es de 2 segundos para la falla que da el voltaje máximo (138.5 Volts), resultando con un tiempo mayor para todas las demás fallas.

#### 5.4 PROTECCION CONTRA PERDIDA DE EXCITACION O DE CAMPO (40G).

Quando la pérdida de excitación, ya sea parcial o total - ocurre en una máquina síncrona, se produce un flujo de potencia reactiva del sistema hacia la máquina, entonces la máquina síncrona opera como un generador de inducción. Bajo estas condiciones el rotor del generador tiende a sobrecalentarse debido a las corrientes inducidas en él, ya que en los generadores de gran potencia son de rotor redondo y no contiene devanados amortiguadores que puedan conducir las corrientes inducidas en éste.

#### - RAZA CONTRA LA CUAL PROTEGE.

La protección contra pérdida de campo tiene por función detectar excitación anormalmente baja y dar alarma o disparo an--

tes de que la operación del generador se vuelva inestable.

- LAS CAUSAS PRINCIPALES DE BAJA EXCITACION SON:

- 1) Regulador de voltaje desconectado y ajuste manual de excitación demasiado bajo.
- 2) Falta de escobillas.
- 3) Apertura del interruptor de campo.
- 4) Corto circuito en el campo.
- 5) Falta de alimentación al equipo de excitación.

- BASE DE OPERACION.

En teoría la manera más sencilla para detectar baja excitación es emplear un relevador de baja corriente en el circuito del campo. En vista de que la corriente mínima de campo que puede considerarse como aceptable depende de la potencia generada, se ve inmediatamente que este método tiene serias limitaciones. En la práctica se emplea únicamente en generadores de poca capacidad, en los cuales se tiene certeza que únicamente operan con cargas a factor de potencia atrasado; aún así este tipo de relevador requiere ser demorado y debe bloquearse para poder cerrar el interruptor de campo.

La práctica común para generadores de tamaño mayor es emplear relevadores del tipo de distancia conectados a transformadores de corriente y potencial del generador para detectar si sus condiciones de excitación tienden a la inestabilidad.

Esto se hace en que la localización de la impedancia "vista"

por relevadores de distancia indice con toda precisión las condiciones de excitación en las cuales opera el generador.

#### - CONEXION BASICA DEL ESQUEMA

La conexión para la protección contra pérdida de campo por medio de relevadores de tipo distancia es la siguiente:

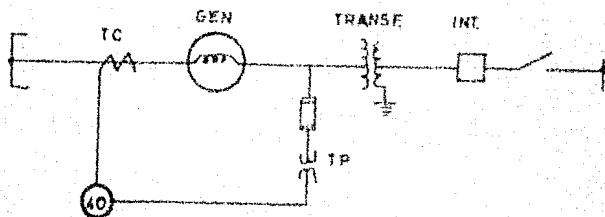


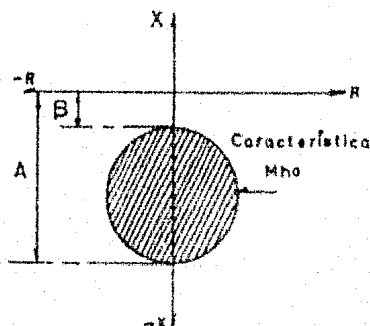
DIAGRAMA UNIFILAR

El fenómeno de pérdida de excitación es trifásico, de manera que se emplea solamente un relevador monofásico para detectarlo.

#### - CARACTERISTICAS DEL RELEVADOR

El relevador de distancia empleado para protección contra pérdida de campo tiene una característica "mho desplazado" orientada hacia la parte negativa de X en el diagrama R - X. La parte superior al eje R es eliminada ya sea por desplazamiento o por un elemento direccional adicional, cuando hay pérdida de excitación completa, la impedancia equivalente del generador -

cae dentro de la zona de disparo.



Como todos los relevadores de distancia, estos elementos son inherentemente instantáneos. El relevador puede contener en la misma caja un relevador de tiempo para demorar la operación del conjunto.

El elemento de distancia tiene dos ajustes:

- a) Alcance (A).
- b) Desplazamiento del origen (B).

La diferencia (o suma) de estos dos valores define el diámetro del círculo.

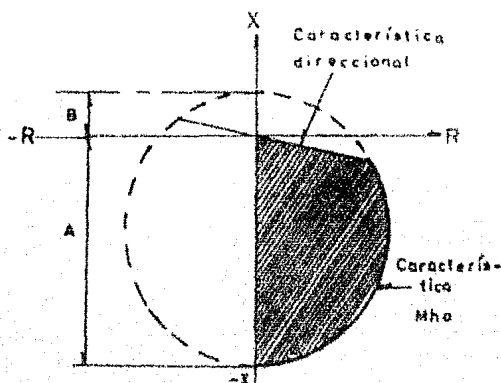
#### - AJUSTES

- a) Alcance.

Si el relevador tiene un sólo elemento de distancia se recomienda:

$$A = Kd + \frac{X'd}{2} \quad (\text{reactancias sin saturación})$$

Si el relevador tiene dos elementos de distancia se recomienda ajustarlos como sigue:



$$A_1 = 1 + \frac{X'd}{2} \quad (\text{Zona 1})$$

$$A_2 = X_d + \frac{X'd}{2} \quad (\text{Zona 2})$$

b) Desplazamiento

Si el relevador tiene desplazamiento únicamente hacia el lado negativo de X, entonces se recomienda:

$$B = \frac{X'd}{2}$$

Si el relevador tiene desplazamiento también hacia el lado positivo de X, el elemento de zona 1 se ajusta hacia el lado negativo con:

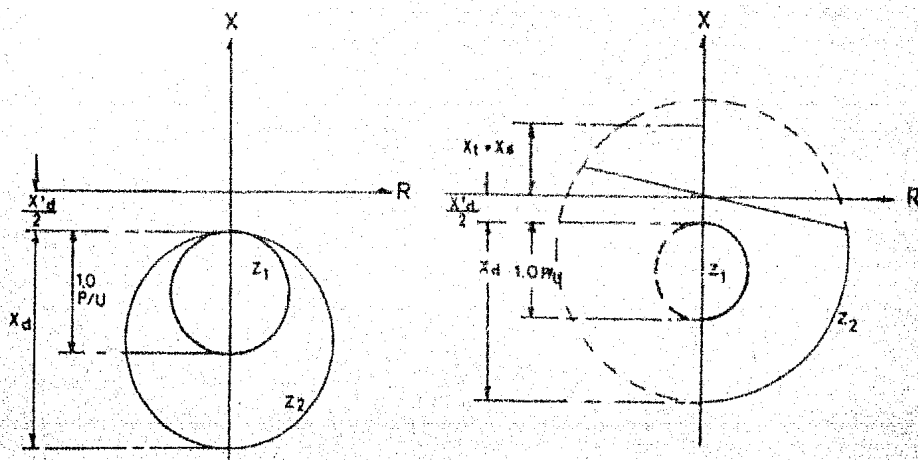
$$B_1 = \frac{X'd}{2}$$



y el elemento de zona 2 se ajusta hacia el lado positivo de manera de rebasar un poco la resistencia del transformador más la del sistema a generación máxima:

$$B_2 \geq X_t + X_s$$

así se logra que la curva del relevador sea paralela a la del límite de estabilidad.



### c) Tiempo

Para la zona 1 se recomienda:  $t = 0$  a  $0.25$  seg.

Para la zona 2 se recomienda:  $t = 0.5$  a  $2$  seg.

En teoría habría que realizar un estudio de estabilidad para determinar el ajuste de zona 2, para la zona 1 el tiempo es dado nada más como margen de seguridad contra disparos equivocados.

## d) Voltaje

Si el esquema contiene un relevador instantáneo de bajo -- voltaje como supervisión de disparo, el ajuste recomendado es:-

$$V = 0.8 - 0.95 V_n$$

## - CONEXIONES DE CONTROL

## . Alarma

Si el esquema contiene un relevador de voltaje, se reco-- mienda emplear la detección del elemento de distancia para dar alarma mientras el voltaje sea normal y dar disparo únicamente si coincide con bajo voltaje.

## . Bloqueo

El disparo de la protección contra pérdida de campo debe -- bloquearse con el relevador 60, que detecta fusibles fundidos -- en el circuito de potencial.

## . Disparo

Dependiendo del sistema de excitación puede optarse por -- disparar únicamente a los interruptores de generador y de auxi-- liares o bien un relevador auxiliar de reposición manual (25G u 86T) con objeto de parar totalmente la unidad para su repara-- ción.

#### - PROBLEMAS DE APLICACION

El problema más grave que se ha observado en la operación de los relevadores de protección contra pérdida de campo, ha sido el de disparos equivocados de generadores debidos a extinción de líneas largas en vacío al separarse el sistema de transmisión. Cabe hacer notar que los relevadores instalados son de un solo elemento, sin demora de tiempo y sin supervisión por bajo voltaje. Para evitar la repetición de esos disparos indebidos se recomienda adicionar primero la supervisión por bajo voltaje, luego elementos de tiempo y solamente si subsiste el problema sustituir los relevadores de elemento sencillo por otros de elemento doble.

#### 5.5 PROTECCION DE SOBRECALENTAMIENTO DEL ESTATOR. (499)

##### - FALLAS CONTRA LAS CUALES PROTEGE

La protección contra temperatura alta en el estator del generador detecta las condiciones de operación que causen calentamiento del generador y que son principalmente:

- a. Sobrecarga continua.
- b. Sistema de enfriamiento dañado.
- c. Sistema de enfriamiento mal ajustado.

### - BASE DE OPERACION.

La protección contra temperatura alta en el estator opere por medio de un medidor de temperatura, generalmente tipo puente de Wheatstone, que recibe su señal de un detector de resistencia intercalado en el embobinado del generador.

Es usual emplear instrumentos registradores de temperatura de puntos múltiples para supervisar la operación de generadores y si estos instrumentos tienen contacto de temperatura alta, éste se usa para dar alarma.

Si se desea disponer la unidad por temperatura alta generalmente se utilice un relevador por separado, operando con un detector de temperatura independiente, y ajustado  $10^{\circ}$  C arriba del valor de alarma.

### - CONEXION BASICA DEL ESQUEMA



### - CARACTERÍSTICA DEL RELEVADOR

El relevador responde directamente a la temperatura del detector.

### - AJUSTES

Se recomienda ajustar el contacto de alarma a una tempera-

tura del orden de 10 a 15 °C abajo de la temperatura máxima de operación del aislamiento del estator.

#### - DISPARO

Se recomienda ajustar el elemento de disparo entre 0 y 5 °C abajo de la temperatura máxima de operación del aislamiento del estator.

#### - CONEXIONES DE CONTROL

El contacto de disparo debe conectarse para disparar únicamente al interruptor de unidad (50G), preferentemente dando una alarma que indique la causa del disparo, para que el operador revisé el sistema de enfriamiento.

#### - PROBLEMAS DE APLICACION

##### a. Inducción en el cable del detector de temperatura.

Se recomienda usar cable blindado para las conexiones de los detectores de temperatura al tablero, para evitar operaciones equivocadas del relevador de temperatura.

##### b. Circuito abierto en el detector de temperatura

Los detectores de temperatura pueden fallar por vibración, causando indicación de temperatura alta y disparo.

## 5.6 PROTECCION CONTRA SOBREVOLTAJE EN GENERADORES HIDRAULICOS (59G).

La protección contra sobrevoltaje en el generador es empleada principalmente en plantas hidroeléctricas en las siguientes condiciones:

1. Falla del regulador automático de voltaje.
2. Exceso de potencia reactiva recibida del sistema, o sea excitación de líneas de alta tensión fuera del rango de control del regulador de voltaje.

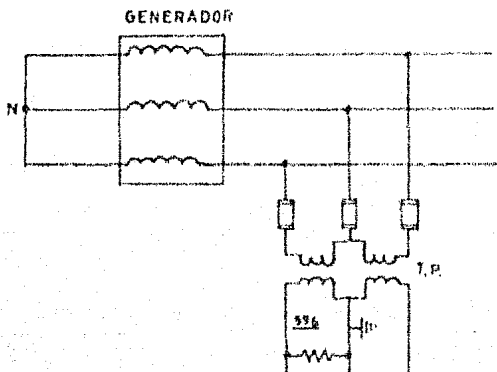
Una variante del segundo caso es el rechazo de carga con líneas de transmisión conectadas a la unidad, en la cual el exceso de potencia reactiva se combine con una sobrevelocidad y el sistema de excitación puede perder control del voltaje.

### - BASE DE OPERACION

Se utilizan transformadores de potencial en las terminales del generador para energizar un relevador de voltaje que detecta si existe un sobrevoltaje.

### - CONEXION DEL ESQUEMA

Se utiliza un relevador monofásico para medir el voltaje entre dos fases del generador y su conexión es la siguiente:

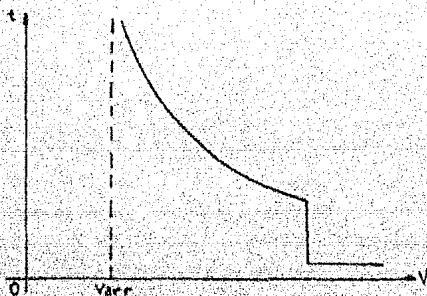


#### - CARACTERÍSTICAS DEL RELEVADOR

Los relevadores empleados en ésta protección son con mecanismo de disco de inducción y con un elemento instantáneo. Como característica adicional debe tener compensación por frecuencia para mantener su ajuste aún en condiciones de rechazo de carga.

El elemento de tiempo inverso tiene un rango de ajuste de 55 a 140 volts, el elemento instantáneo es de 120 a 200 volts.

Su curva es la siguiente en coordenadas voltaje-tiempo.



## - AJUSTES

## a. Tap

Se recomienda emplear un voltaje de pick-up de 1.05 - veces el voltaje más alto de operación normal.

## b. Dial de tiempo

Se recomienda en general dar un tiempo del orden de 2 a 3 segundos para un voltaje de 1.15 veces el voltaje más alto de operación normal.

## c. Elemento instantáneo

La recomendación es que éste elemento empiece a operar entre 1.15 y 1.20 veces el voltaje más alto de operación normal.

## - CONEXIONES DE CONTROL

La protección contra sobrevoltaje del generador normalmente se conecta para energizar un relevador auxiliar de reposición automática, el cual dispara a:

Interruptor de Generador (52G).

Interruptor de Campo (41C).

Interruptor de Auxiliares (52A).

Cuando se presenta esta falla se prefiere seguir rodando - el generador, para volver a excitar y resincronizar una vez eliminada la falla. En general no se necesita parar la unidad, aún cuando se haya tratado de una falla del regulador de voltaje.



La primera falla a tierra en el campo no puede ser un problema, pero debe repararse antes de que se presente una segunda pues esa ya significaría un corto circuito, causar vibraciones y calentamiento irregular en el rotor.

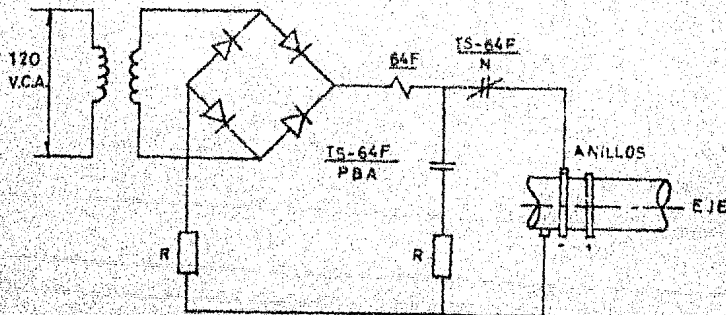
#### - BASE DE OPERACION

Existen dos esquemas diferentes para detectar fallas a tierra en campos de generadores:

- Aplicación de voltaje de corriente directa entre el campo y tierra para medir la corriente que circula.
- Medición de voltaje entre tierra y un neutro artificial formado en el circuito de campo por medio de un potenciómetro de resistencias.

#### - CONEXION BASICA DEL ESQUEMA

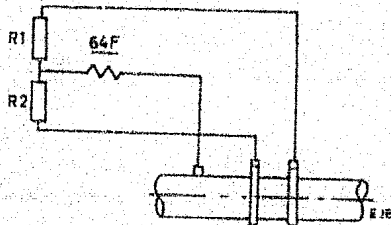
- Con voltaje exterior aplicado.



La alimentación de 100 V.C.A. se toma preferentemente de servicios propios, para que siga en servicio la protección aunque esté parada la unidad. Es habitual poner un conmutador de prueba para verificar el relevador contra una resistencia, pero cortando la señal de alarma mientras se prueba.

El voltaje de corriente directa aplicado es del orden de 100 a 200 Volts, la sensibilidad varía a lo largo del embobinado de campo.

b) Con neutro artificial.



ANILLOS

El voltaje que aparece a través de la bobina de 64F es tanto mayor mientras más cerca de los extremos del campo se encuentre la falla. Algunos relevadores contienen una resistencia no lineal en serie con  $R_1$ , con lo cual se logra detectar fallas aun en el centro del embobinado de campo, pues el neutro se des-  
plaza en función del voltaje de operación del campo.

- CARACTERÍSTICAS DEL RELEVADOR.

Para ambos esquemas de protección el elemento detector es un relevador instantáneo de corriente directa, ya sea de sobrecorriente o de sobrevoltaje. Vienen diseñados con sensibilidad muy alta, para poder detectar fallas de alta resistencia, pero a la vez resisten seguir operando energizados indefinidamente.

#### - AJUSTES

Los relevadores de protección contra falla a tierra en el campo no tienen ajuste.

#### - CONEXIONES DE CONTROL

Los relevadores de protección contra falla a tierra en el campo habitualmente se conectan para dar alarma exclusivamente.

#### - PROBLEMAS DE APLICACION

##### a) Conexión a tierra.

En la aplicación de estos relevadores, la tierra respecto a la cual se piensa detectar es el eje del generador. La conexión del relevador hasta la escobilla que toca al eje debe tener aislamiento (1000 V.), para no introducir un circuito de corrientes parásitas adicional a lo largo del eje, cuando se tienen chumaceras aisladas de tierra.

##### b) Acceso al campo.

Quando se trata de generadores con sistemas de excitación sin escobillas, deben proveerse anillos rozantes y escobillas -

únicamente para aplicar esta protección. Algunos fabricantes de generadores insisten en que estas escobillas no deben hacer con tacto continuo, en esos casos debe proveerse un conmutador que energiza un solenoide que aplica las escobillas sobre los anillos para probar periódicamente el campo con esta protección -- (una vez por turno de operadores).

El esquema con voltaje exterior aplicado tiene la ventaja de requerir solamente una escobilla.

#### 5.8 PROTECCION CONTRA LA SOBRESERCITACION (59T).

Esta protección es propiamente una protección del transformador de unidad, detecta sobrevoltajes en el generador a velocidades por abajo de la nominal.

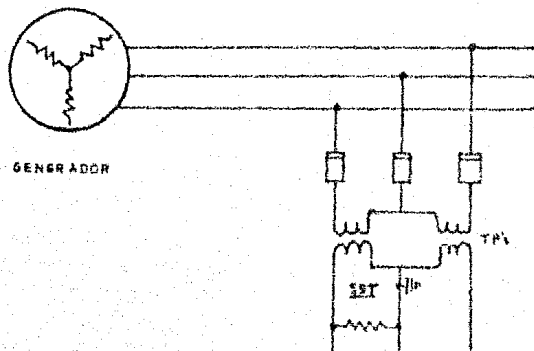
Un sobrevoltaje de frecuencia baja ocasiona una corriente de excitación muy alta en los transformadores conectados al generador con el riesgo de sufrir daños por calentamiento excesivo en poco tiempo.

#### - BASE DE OPERACION

El relevador utilizado para detectar sobrevoltaje de baja frecuencia es transistorizado. Su característica de respuesta -- constante a la relación de voltaje entre frecuencia (Volts/ Hertz) es:

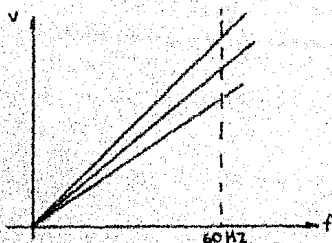
$$\frac{V}{f} = K$$

- CONEXION BASICA DEL ESQUEMA



- CARACTERÍSTICA DEL RELEVADOR

La curva de operación del relevador de sobrevoltaje a baja frecuencia es:



La pendiente es ajustada por medio de un potenciómetro que interviene dentro del circuito transistorizado.

El elemento detector opera sobre un relevador de tiempo -- que da el retraso de tiempo antes del disparo.

- AJUSTES

En unidades de gran capacidad se recomienda utilizar dos relevadores de sobreexcitación con ajustes distintos para detectar sobrevoltajes de magnitud diferente y responder más rápidamente en los casos más graves.

a. Pendiente del 1er. paso.

El ajuste que se recomienda es:

$$\frac{V}{f} = \frac{1.05 \times \text{Voltaje máximo de operación}}{50 \text{ Hz}}$$

b. Tiempo del 1er. paso.

Se sugiere un ajuste del orden de 40 a 50 seg., este rango amplio de tiempo se debe a que los transformadores normales pueden resistir esta sobreexcitación por algunos minutos.

c. Pendiente del segundo paso.

$$\frac{V}{f} = \frac{1.12 \times \text{Voltaje máximo de operación}}{50 \text{ Hz}}$$

d. Tiempo del segundo ajuste.

Los fabricantes de transformadores recomiendan un ajuste del orden de 2 seg.

- CONEXIONES DE CONTROL

Los contactos principales de los elementos del relevador de protección contra sobreexcitación (Volta/Fertz) se conectan

a un relevador auxiliar el cual a su vez dispara a:

- Interruptor de Campo (413).
- Interruptor de Generador (527).
- Interruptor de Auxiliares (52A).

### 5.9 PROTECCION DE RESPALDO CONTRA FALLAS EXTERNAS

Los generadores deben protegerse en caso de fallas en elementos adyacentes de sistema: en los cuales la protección primaria haya sido nula o ineficaz.

En caso de fallas monofásicas a tierra es suficiente con la protección de sobrecorriente de tiempo inverso. Para fallas de fase, se prefiere un relevador de sobrecorriente de tiempo inverso de tensión de retención o un relevador del tipo de distancia de un solo escalón con retardo definido.

A continuación se describen los tipos de protección de respaldo contra fallas externas:

- I.- PROTECCION DE RESPALDO DE TIERRA (51NT).
- II.- PROTECCION DE RESPALDO DE FASE (51M 3 1N).

## I.- PROTECCIÓN EN ESTADO DE TIERRA (51103).

### - RAMAS CONECTADAS CON LAS PARTES RELEVANTES.

La protección de resaca de tierra aplicada en unidades conectadas en esquema unitario propiamente es una protección para el transformador elevador, para librar fallas a tierra en el sistema de alta tensión cuando no funciona a tiempo un interruptor más cercano a la falla.

Indirectamente es una protección del generador, pues cualquier falla a tierra sostenida en el lado de alta tensión se reflejará en el generador como falla entre fases y causará calentamiento en el rotor por corriente de secuencia negativa.

### - BASE DE OPERACIÓN

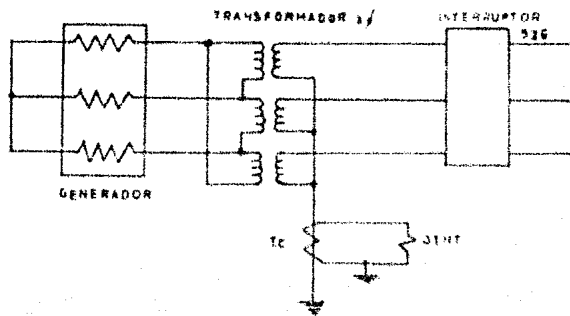
Para detectar una falla a tierra en el sistema de alta tensión se utiliza la contribución a la corriente de falla que circula de tierra al neutro del embobinado de alta tensión del transformador elevador de la unidad.

La protección es proporcionada por un relevador de sobrecorriente conectado al secundario de un transformador de corriente intercalado en la conexión de neutro a tierra del transformador elevador.

### - CONEXIÓN BÁSICA DEL ESQUEMA

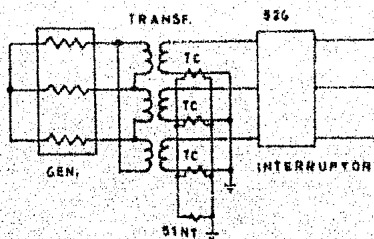
Si se trata de un transformador trifásico la conexión es la siguiente:





Esta conexión puede usarse también en bancos de transformadores monofásicos, pero implica llevar la conexión de neutro aislada de tierra antes de pasar por el transformador de corriente. Por error de físico de la subestación generalmente es más fácil conectar el neutro de cada transformador monofásico directamente a tierra o emplear transformadores de corriente tipo bushing en el lado de neutro.

La conexión es la siguiente:



#### - CARACTERÍSTICAS DEL RELEVADOR

El relevador de sobrecorriente utilizado en la profesión-

de rescaldo de tierra es del tipo de tiempo inverso, sin elemento instantáneo.

La curva de tiempo del relevador se selecciona en función de la protección contra fallas a tierra que tienen las líneas de alta tensión conectadas al mismo bus de la unidad:

- a).- Relevadores con curva de tiempo definida o ligeramente inversa en caso de que las líneas tengan protección de distancia de tierra.
- b).- Relevadores con curva de tiempo inverso o muy inverso si la protección de tierra de las líneas es de sobrecorriente o direccional de sobrecorriente. La curva del relevador de rescaldo debe siempre ser tal o más inversa que la del relevador de primarias líneas.

#### - AJUSTES

##### a. Selección de relación del Transformador de Corriente

En el caso de transformadores monofásicos, la relación de los TC's queda definida por la corriente nominal del devanado respectivo. En el caso de transformadores trifásicos la relación del TC deberá ser igual o ligeramente mayor que la de los TC's de la línea con la capacidad mayor.

##### b. Tap

El tap del relevador de sobrecorriente debe ajustarse a 1.25 - 2.0 veces el ajuste del elemento que detecta B10 en la -

finos que haga el ajuste más alto. A la vez debe asegurarse que el ajuste de tan permita todavía detectar una falla monophasica a tierra en el extremo alejado de la línea más larga a regeneración mínima, o sea únicamente alimentada por esa unidad.

### c. Palanca de tiempo

Si las líneas tienen protección de distancia de tierra, deberá calcularse la corriente de corto circuito en el neutro del transformador para una falla en el límite de la primera zona de la línea más corta, seleccionando las condiciones de generación máxima en el neutro del transformador. Para esa corriente se - ajuste el dial o palanca de tiempo para que el relevador dispare en un tiempo:

$$t = Tz2 + \Delta t$$

Donde:  $Tz2$  = ajuste de tiempo de zona 2 de la protección - de distancia de tierra.

$\Delta t$  = margen de coordinación (0,3-0,5seg.)

Si las líneas tienen protección de sobrecorriente o direccional de sobrecorriente de tierra, debe calcularse la corriente de corto circuito en el neutro del transformador para una falla en el límite de operación del elemento instantáneo de la línea con la protección menos sensible, y más lenta, seleccionando las condiciones de generación que producen la corriente máxima en el neutro del transformador. Para esa corriente debe ajustarse la palanca de tiempo para que el relevador dispare en un tiempo.

### 3.11. $\Delta t$

Desde el momento de disparo del elemento de tiempo inverso de la línea con la protección menos sensible y más lenta en el valor de ajuste de su elemento instantáneo.

$\Delta t$  a margen de coordinación.

### - CONDICIONES DE CONTROL

Por tratarse de una protección de respaldo que opera únicamente para fallos externos a la unidad, el relevador SINT debe disparar solamente el interruptor de unidad (S23).

La unidad generadora debe quedar rodando, excitada y con su servicio propio operando, preparada para conectarse al bus tan pronto como se haya librado la falla exterior que causó el disparo.

### - PROBLEMAS DE APLICACION

- a. La protección de respaldo debe ajustarse siempre con sensibilidad menor y tiempo mayor que la protección a la que se respalda. Especialmente cuando se trata de respaldar una protección de distancia de tierra con una protección de sobrecorriente de neutro es fácil violar involuntariamente esta regla fundamental, porque las dos operan sobre principios distintos. Generalmente conviene sacrificar parte de la sensibilidad del respaldo para resolver este problema.
- b. Polaridad de transformadores de corriente. Cuando se trata

de transformadores de corriente de bushing en el lado neutro de tres transformadores monofásicos, deberá observarse la polaridad con mucho cuidado para que los secundarios queden efectivamente en paralelo y den únicamente corriente de secuencia cero.

## II.- PROTECCION DE RESPALDO DE FASE (21G).

Esta protección detecta fallas entre fases y trifásicas exteriores a la unidad y dispara con demora en caso de que esas fallas no hayan sido libradas por interruptores más próximos.

También esta protección respalda a las protecciones diferenciales del generador y del transformador, ya que pueda detectar fallas internas de la unidad generadora.

### - BASE DE OPERACION

#### a. Relevador de distancia (21)

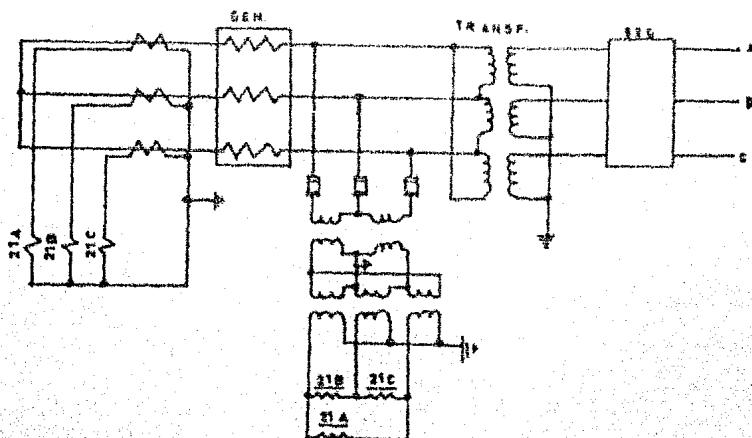
Estos relevadores utilizan la corriente y el voltaje del generador para medir la impedancia entre el generador y la falla, que es proporcional a la "distancia eléctrica" hasta el corto circuito.

### - CONEXION BASICA DEL ESQUEMA.

La protección de respaldo con relevadores de distancia generalmente se emplea en unidades de alta potencia y que están -

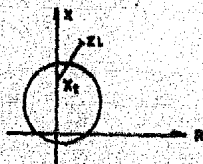
conectadas en esquema unitario. En este caso se toma en cuenta que las corrientes del generador ya son corrientes delta ( $I_a - I_b$ ,  $I_b - I_c$ ,  $I_c - I_a$ ) en relación con el lado de alta tensión.

Por consiguiente es necesario obtener los voltajes delta - respectivos, referidos en alta tensión. Es decir, se requiere - un juego de transformadores de potencial auxiliares en conexión delta - estrella. El esquema se muestra a continuación:



#### - CARACTERISTICA DEL RELEVADOR.

Los relevadores de distancia usados para protección de respaldo de generador tienen característica tipo mho desplazada para incluir el origen.



$X_T$  = Reactancia del transformador

$Z_L$  = Impedancia de línea de transmisión.

Los elementos de distancia son inherentemente de alta velocidad, requieren de un relevador auxiliar de tiempo para dar la demora necesaria para la protección de respaldo.

#### - AJUSTES

##### 1) Alcance.

El elemento de distancia se ajusta para alcanzar a detectar holgadamente fallas en el bus de alta tensión, pero sin exceder el límite de la primera zona de protección de distancia - de la línea más corta.

##### 2) Tiempo.

Si es de un paso:  $t = 0.1scg + \Delta t$ , una der coordinación - con la primera zona de todas las líneas.

Si es de dos pasos, el primer paso se ajusta igual, y el - segundo deberá disparar  $\Delta t$  después.

#### - CONEXIONES DE CONTROL

##### a. Disparo.

Por ser una protección de respaldo, los relevadores 21 deben disparar únicamente el interruptor de unidad (523), dejando a la unidad disponible para ser resincronizada tan pronto como se haya librado la falla exterior que causó el disparo.

##### b. Bloqueo.

Como el relevador tiende a disparar por falta de voltaje,

el disparo de la protección de rescaldo de fase debe bloquearse con el relevador 60, que detecta fugibles fundidos en el circuto de potencial.

#### 5.10 PROTECCION DE SOBRECORRIENTE DE SECUENCIA NEGATIVA (46).

Las corrientes trifásicas desequilibradas del estator originan corrientes de frecuencia doble de la del sistema que se inducen en el hierro del rotor, causando calentamiento excesivo del rotor y un daño serio si se permite que el generador siga funcionando en tales condiciones desequilibradas.

Estas corrientes pueden también originar vibración severa, su origen puede ser debido a:

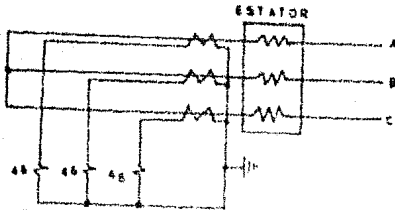
- a. Faltas asimétricas en alta tensión.
- b. Una fase abierta en algún circuito conectado al generador.
- c. Cargas desbalanceadas o monofásicas.

#### - BASE DE OPERACION.

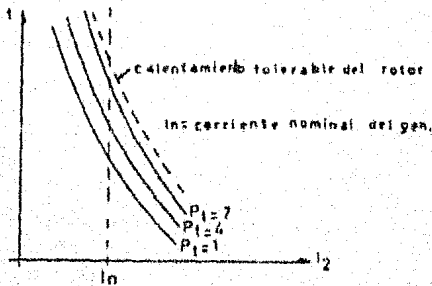
Los relevadores de sobrecorriente de secuencia negativa - utilizados actualmente contienen un filtro de secuencias que a partir de las corrientes de las tres fases se tiene un voltaje proporcional a su componente de secuencia negativa. Este voltaje es aplicado a un elemento de disco de inducción o bien de estado sólido.



- CONEXION BASICA DEL ESQUEMA



- CARACTERISTICA DEL RELEVADOR



La característica tiempo corriente de secuencia negativa del relevador de protección de sobrecorriente de secuencia negativa es extremadamente inversa.

La curva de calentamiento tolerable del rotor en función de su corriente de secuencia negativa se expresa como:

$$I_2^2 \times t = K$$

$I_2$  está expresado en por unidad sobre la capacidad nominal del generador.

K es una constante de diseño del generador.

Máquinas de polos salientes:	K = 40
Máquinas convencionales de polos lisos:	K = 30
Máquinas de polos lisos con enfriamiento a través de conductores huecos:	K = 10

#### - AJUSTES

##### a. Tar.

El tar es ajustado al valor más próximo a la corriente nominal del generador.

##### b. Dial de tiempo.

El ajuste del tiempo de operación se calcula a partir de dos condiciones:

1).- Trazar la característica  $I_2^2 \times t = K$  del generador y escoger un valor del dial tal que la característica del relevador quede siempre abajo de la curva del generador.

2).- Calcular la corriente de secuencia negativa para una falla bifásica en el bus que conecta el interruptor del generador. Para esa falla seleccionar:

$$t = 0.1 \text{ seg} + \Delta t$$

donde:  $\Delta t$  = margen de coordinación (0.3 - 0.5 seg)

Se elige el que da un tiempo mayor en el dial.

#### - CONEXIONES DE CONTROL

El relevador deberá conectarse para disparar el interruptor principal del generador (52G), pues es una protección que opera en función de causas externas al generador. La unidad deberá permanecer rodando y excitada para ser resincronizada tan pronto se haya eliminado la causa del disparo.

Algunos relevadores incluyen también una unidad muy sensible para controlar una alarma para pequeños desequilibrios prolongados de la corriente.

#### 5.11 PROTECCION DE BALANCE DE VOLTAJE (60).

El relevador de voltaje balanceado protege los circuitos de potencial del generador contra fusibles fundidos. Estas fallas se pueden manifestar de dos maneras distintas:

- a. Fusible en el lado de excitación: produce sobreexcitación del generador (disparo por sobrevoltaje).
- b. Fusible en el lado de protección: produce disparo equivocado de algunas protecciones.

El relevador de voltaje balanceado detecta a que circuito corresponde el fusible fundido, y toma las precauciones necesarias para evitar las consecuencias antes mencionadas.

#### - BASE DE OPERACION

El relevador de voltaje balanceado tiene un mecanismo de copia de inducción de alta velocidad, cuyo par en un sentido es-

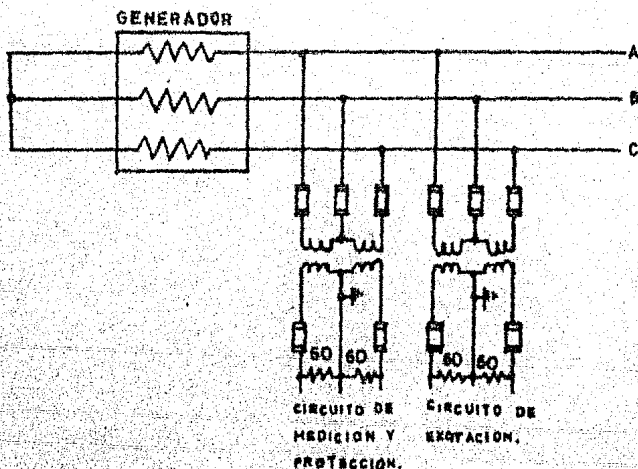
proporcional al área del triángulo de voltajes aplicado a un -- juego de bobinas, y el par en el sentido opuesto es proporcio-- nel al área del triángulo de voltajes aplicado al segundo juego de bobinas.

Este mecanismo tiene un resorte que en condiciones de pa-- res iguales mantiene la armadura al centro, los dos contactos - abiertos. Cada contacto actúa sobre un relevador auxiliar que - multiplica su número de contactos y da indicación sobre cuál de los dos operó.

Este relevador presenta dos ventajas:

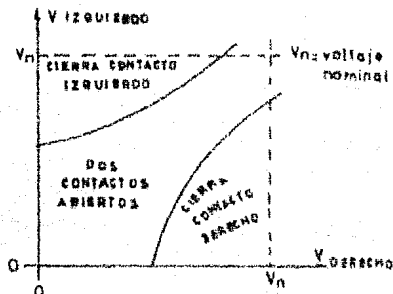
- 1).- No actúa al desenergizarse los dos circuitos en opera-- ciones rutinarias de desexcitación del generador.
- 2).- Alta velocidad.

- CONEXION BASICA DEL ESQUEMA



## - CARACTERÍSTICAS DEL RELEVADOR

La característica de operación del relevador de voltaje es lanzado, para voltajes trifásicos en los dos juegos de bobinas es:



En caso de que se fundia un fusible, aunque las otras dos fases tengan voltaje pleno, el par producido por las bobinas respectivas es cero y responde como si el voltaje trifásico aplicado a esas bobinas fuera igual a cero, cerrando los contactos respectivos.

## - AJUSTES

### a) Desbalance.

Es posible variar el ajuste de desbalance para el cual cierra sus contactos el relevador, alterando la separación de contactos fijos.

El ajuste normal es que los contactos apenas cierran con 30% aplicado a un juego de bobinas y 100% de voltaje nominal en el otro juego de bobinas.

## - CONEXIONES DE CONTROL

### a) Alarma.

Conviene asignar alarmas independientes a los dos contactos: falla de fusible de potencial en excitación y falla de fusible de potencial de protección.

### b) Protección.

Se usan contactos "b" del relevador auxiliar accionado por falla de potencial de protección en serie con los contactos de disparo de los relevadores siguientes:

(40) - Pérdida de campo.

(21) - Respaldo de fase tipo distancia.

(51V)- Respaldo de fase tipo sobrecorriente con control o-retención por voltaje.

(81) - Baja frecuencia.

### c) Excitación.

Se use un contacto del relevador auxiliar accionado por falta de potencial en el circuito de excitación para transferir la excitación automática a manual.

## - PROBLEMAS DE APLICACION

El relevador de voltaje balanceado es sensible a la secuencia de fases, debe aplicarse siempre con la secuencia anotada en el instructivo.

## 5.12 PROTECCIÓN CONTRA LA MOTORIZACIÓN DEL GENERADOR (327).

La protección de potencia inversa detecta que el generador recibe potencia del sistema en lugar de suministrarla y manda disparo después de un retraso de tiempo.

La motorización resulta debido a un deficiente o nulo suministro de potencia de entrada a el generador. Como ésta potencia de entrada no puede satisfacer todas las pérdidas, la deficiencia es suministrada absorbiendo potencia real del sistema.

Puesto que la excitación del campo debe permanecer igual, la misma potencia reactiva fluirá como antes de la motorización.

Así, en la motorización, la potencia real estará en la máquina, mientras la potencia reactiva puede fluir ya sea fuera o dentro del generador. Usualmente la potencia reactiva será suministrada hacia el sistema conforme las máquinas no están generalmente operadas en baja excitación.

Durante la motorización del generador, el factor de corriente caerá en el segundo o tercer cuadrante, con la máquina suministrando reactivos al sistema (Fig. 5.12.1).

La motorización del generador se tolera un corto tiempo si no es a consecuencia de falla mecánica del motor o turbina. Si se mantiene por un tiempo largo causa calentamiento excesivo en partes de la turbina.

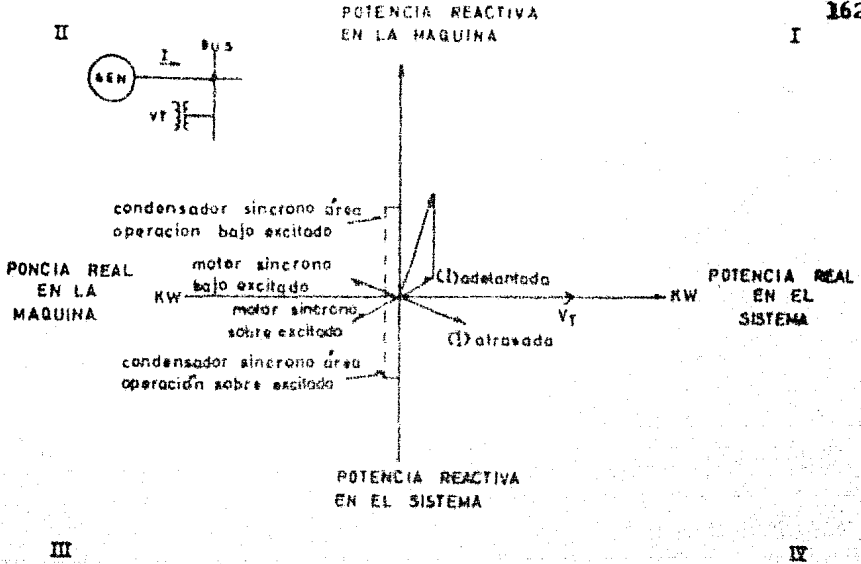


Fig. 5.12.1 Diagrama fasorial de la corriente de máquinas c-a operando bajo varias condiciones.

### - BASE DE OPERACION

El relevador de potencia inversa empleado en generadores cuyo primotor es una turbina de vapor es trifásico, tipo copa de inducción, de alta sensibilidad y equipado con un elemento auxiliar de tiempo.

Para generadores que son movidos por turbinas hidráulicas, turbinas de gas o motores de combustión interna se pueden utilizar relevadores monofásicos del tipo de disco de inducción que tienen demora inherente de tiempo inverso.

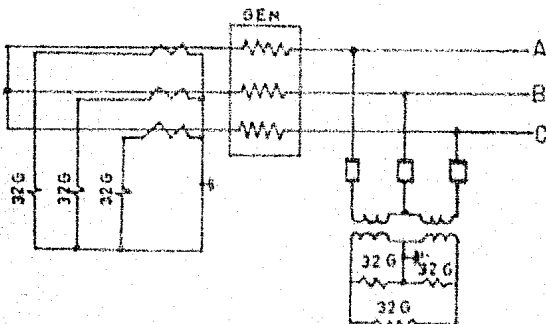
La diferencia consiste en que las turbinas de vapor tienen pérdidas mecánicas muy bajas del orden de 1% de su potencia nominal. Para los demás tipos de primotores la potencia para moto



rizar es mayor de 10% de su potencia nominal.

#### - CONEXION BASICA DEL ESQUEMA

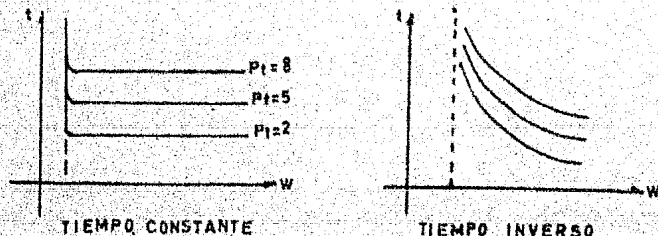
El relevador de potencia inversa trifásico tiene las siguientes conexiones.



Los relevadores monofásicos pueden tener conexión de  $0^\circ$ ,  $30^\circ$  ó  $60^\circ$ , según el fabricante y modelo de relevador empleado.

#### - CARACTERISTICA DEL RELEVADOR

El relevador trifásico empleado para generadores movidos por turbinas de vapor tiene característica de tiempo constante, mientras que los relevadores monofásicos son de tiempo inverso.



Los relevadores monofásicos generalmente tienen taps, que permiten ajustar su potencia de arranque, mientras que los relevadores trifásicos tienen arranque fijo en 2 watts o 5 watts según el modelo.

- AJUSTES

a. Arranque.

Se recomienda que el tap, en caso de que lo tenga se ajuste al 50% de la potencia mínima de motorización del motor o turbina.

b. Tiempo.

Para turbinas de vapor se recomienda un tiempo del orden de 5 segundos.

Si se utilizan relevadores monofásicos, de tiempo inverso, se sugieren tiempos de 2 a 10 segundos para la potencia de motorización estimada.

- CONEXIONES DE CONTROL

La protección de potencia inversa debe disparar un relevador auxiliar de reposición manual, el cual a su vez dispara:

Interruptor de Máquina (52G).

Interruptor de Auxiliares (52A).

Interruptor de Campo (41).

Válvula de Paro de Turbina o Motor (65SD).

Válvula de corte de Combustible a la Caldera, en su caso.

- PROBLEMAS DE APLICACION.

a. Conexiones.

Se deberán revisar cuidadosamente la polaridad y la secuencia de fases.

b. Tiempo.

Ocasionalmente ocurren disparos equivocados durante oscilaciones del sistema, en estos casos es conveniente aumentar el ajuste de tiempo en lugar de reducir la sensibilidad.

5.13 PROTECCION DE SOBREVELOCIDAD (12)

(12)- Dispositivo de sobrevelocidad.- Es usualmente conectado directamente al interruptor de velocidad que actúa sobre la máquina sobregirada.

En todos los generadores manejados por primotores se recomienda la protección contra sobrevelocidad. El elemento de sobrevelocidad deberá responder de la velocidad de la máquina por conexiones mecánica, o eléctrica equivalente; si es eléctrica, el elemento de sobrevelocidad no deberá estar afectado en forma adversa por la tensión del generador.

El elemento de sobrevelocidad puede formar parte del primotor, o de su gobernador de sobrevelocidad o del generador; deberá accionar el gobernador de velocidad, o en cuanto esté provisto otro medio de paro, para el primotor. El interruptor del generador será disparado con el objeto de impedir el funcionamiento

to en sobrefrecuencia de las cargas conectadas al sistema alimentado por el generador, y para evitar el posible funcionamiento en sobrefrecuencia del generador mismo a partir del sistema de c-a. En ciertos casos, puede ser adecuado un relevador de sobrefrecuencia para proporcionar otras formas de protección. Sin embargo, se prefiere un interruptor centrífugo conectado directamente.

El elemento de sobrevelocidad debe ajustarse por lo general para funcionar de 3% a 5% arriba de la velocidad de rechazo de plena carga. Se precisa la protección complementaria de sobrevelocidad para algunos tipos de turbina de gas. El fabricante deberá especificar si es necesaria dicha protección para cualquier turbina dada, y cual deberá ser su ajuste.

#### 5.14 PROTECCION DE BAJA FRECUENCIA (51G).

(81) - Relevador de frecuencia.- Es un dispositivo que funciona sobre un valor predeterminado de frecuencia (ya sea debajo o por encima de la frecuencia normal del sistema) o dentro de un rango de variación.

##### - FALLAS CONTRA LAS CUALES PROTEGE.

La protección de baja frecuencia se emplea en turbogeneradores de gran capacidad, debido a que las aspas grandes en las partes de baja presión de la turbina presentan problemas de vibración a velocidad baja.

Esas aspas son de diseño muy crítico, se calculan de manera de que sus frecuencias naturales de vibración no coincidan ni tengan armónicas que coincidan con la frecuencia de vibración de la velocidad nominal de la turbina. Este equilibrio es tan fino, que a velocidades ligeramente distintas a la nominal se puede haber frecuencias naturales de vibración o sus armónicas, debiendo evitarse que la turbina opere bajo carga en esas condiciones.

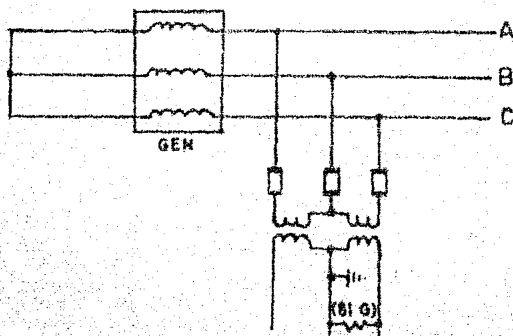
La operación a baja frecuencia se debe generalmente a sobrecarga del sistema, puede también presentarse transitoriamente cuando se subdivide el sistema eléctrico.

En todo caso el fenómeno de daño a las aspas largas por vibración es acumulativo. La fatiga total se compone de la suma de los tiempos operados fuera de sus límites admisibles de velocidad.

### - BASE DE OPERACION

Como criterio para medir la velocidad de la turbina se emplea la frecuencia, que además indica que el generador está -- excitado.

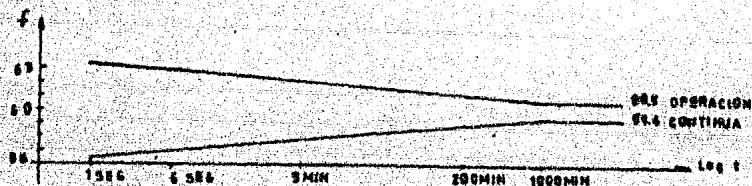
### - CONEXION BASICA DEL ESQUEMA



### - CARACTERISTICAS DEL RELEVADOR

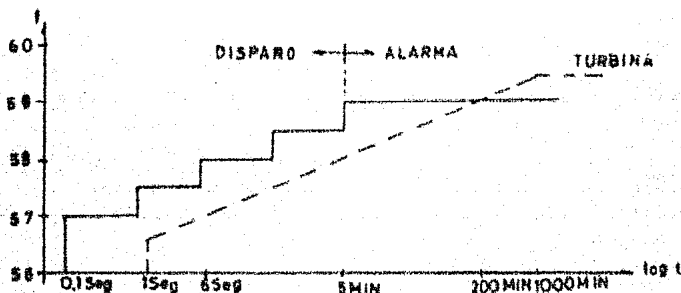
Aún no existe un relevador especial para esta aplicación, cuya característica se adopte totalmente a la curva de frecuencias límite de operación de la turbina.

La característica siguiente es el límite típico de operación bajo carga de turbinas grandes de un fabricante:



Una manera de atacar el problema consiste en usar varios - relevadores instantáneos de frecuencia y hacerlos disparar por conducto de relevadores auxiliares de tiempo. Se recomiendan en tre 3 y 5 pasos de frecuencia y de tiempo.

La característica de disparo quedaría así en la misma gráfica:



El relevador de baja frecuencia de tiempo inverso no se -- adapta para esta aplicación, debe ajustarse aproximadamente a - 58.5 Hz. Deja las frecuencias mayores sin proteger, y a frecuencias bajas es demasiado lento; cruza la característica de la -- turbina en dos puntos.

#### - AJUSTES

El ajuste de los pasos de frecuencia y tiempo se hace considerando la curva de la turbina como indicación de 100% de pérdida de vida. Luego sobre la misma gráfica se trazan los puntos que corresponden al porcentaje de pérdida de vida que se desear usar como margen de seguridad, generalmente 5, 10 ó 20%.

A continuación se agregan las características de las fre--

cuencias seleccionadas para el número de pasos previstos y se determinan los tiempos respectivos para quedar siempre arriba de la característica deseada. Generalmente el paso de 57 Hz da disparo instantáneo, sin demora.

#### - CONEXIONES DE CONTROL

##### a) Disparo.

Los contactos de los relevadores auxiliares de tiempo correspondientes a los pasos de frecuencia de 58.5 Hz. hacia abajo se conectan para disparar exclusivamente al interruptor de la unidad (52G). La unidad quedará girando y excitada, dando servicio a sus auxiliares, disponible para ser resincronizada tan pronto como las condiciones del sistema lo permitan.

##### b) Alarma.

El elemento ajustado a 59 Hz. generalmente se conecta para dar alarma únicamente. El ajuste de tiempo que tiene es relativamente largo, y la turbina resiste operar entre 58.5 y 59 Hz bastante tiempo, de manera que se da oportunidad al operador para efectuar maniobras correctivas.

#### - PROBLEMAS DE APLICACION

El problema principal en la aplicación de esta protección es decidir el grado de protección que se desea dar: número de pasos y margen de seguridad. Además normalmente no se dispone de la curva del límite de operación de la turbina a la cual se trata de proteger, debiendo usarse una característica generalizada.



## 5.15 PROTECCION CONTRA LA PERDIDA DE SINCRONISMO.

No es práctica usual proporcionar protección contra la pérdida de sincronismo en un generador manejado por un excitador. - No es probable que un generador pierda el sincronismo con otros generadores en la misma estación o menos de que pierda la excitación, para la cual se provee la protección. Si una estación - tiene uno o más generadores, y si ésta pierde el sincronismo - con otra estación, el disparo necesario para separar los generadores que están fuera de sincronismo se hace por lo general en el sistema de transmisión que los interconecta. Sin embargo, se dispone del equipo de protección contra la pérdida de sincronismo para utilizarlo en una estación generadora si se desea.

Cuando los generadores han perdido sincronismo, deberán - abrirse todos los enlaces entre ellos para mantener el servicio y para permitir la resincronización. La separación solo deberá hacerse en aquellas localidades en las que la capacidad de generación y las cargas en cualquier lado del punto de separación - se ajusten en forma constante de tal manera que no haya interrupción del servicio. Los relevadores de distancia en esas localidades estén adecuados algunas veces para disparar sus interruptores en la pérdida de sincronismo, y en algunos sistemas se les utiliza con este propósito, además de sus propias funciones de protección. Sin embargo las ediciones o retiros de generadores o líneas durante el funcionamiento normal cambiarán o cuando la respuesta de ciertos relevadores de distancia a la pérdida de - sincronismo.

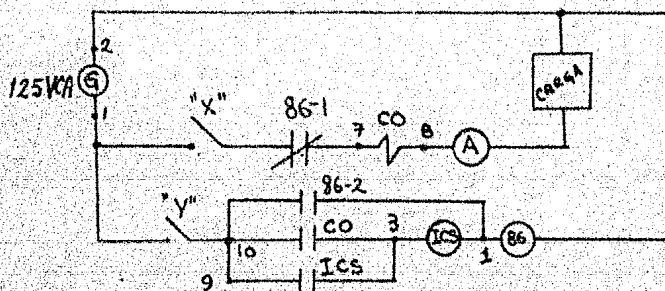
## 5.15 EJEMPLOS PRACTICOS DE PROTECCION

- a. Protección de sobrecorriente de un generador y grafi  
cación de las curvas tiempo-corriente del relevador.

Materiales y Equipo utilizado:

- 1 Relevador de sobrecorriente (50/51)
- Mca: Mitsubishi
- Tipo: CO-9
- 1 Relevador Auxiliar (86)
- Mca: Siemens
- 600 V.
- 1 Tablero simulador de carga
- 1 Cronómetro
- 1 Módulo de resistencias
- 1 Fuente de Voltaje (120 V.c.a.)
- 1 Ampermetro de gancho

- DIAGRAMA ESQUEMATICO DE PROTECCION



### FUNCIONAMIENTO DEL CIRCUITO DEL DIAGRAMA ESQUEMATICO:

Al cerrar las cuchillas "I" y "X" se energiza la bobina de operación "CO" del relevador, la cual cierra el contacto - "CO" normalmente abierto, energizándose así la bobina de sellado "ICS" que está en serie con la bobina del relevador auxiliar "86" (que sería la bobina de disparo del interruptor).

Al energizarse la bobina de "ICS" y del auxiliar "85", se cierra el contacto "ICS" normalmente abierto que es el de sellado y también se cierra el contacto normalmente abierto - del "86-2" que funciona como sellador del circuito de disparo para mantener abierto y no se vuelve a cerrar el contacto - "86-1", que es el contacto normalmente cerrado, el cual interrumpe el suministro de corriente hacia la carga, protegiendo al generador.

Al desenergizarse la bobina de operación "CO" por la apertura del contacto normalmente cerrado "85-1", se abre el contacto "CO", que a la vez desenergiza la bobina "ICS", la - que abre su contacto ICS.

Para restablecer el sistema se abre la cuchilla "X" para desenergizar la bobina "86" y cerrar el contacto 86-1.

### PROCEDIMIENTO PARA OBTENER LAS CIEVAS TIEMPO-CORRIENTE DEL RELEVADOR CO-9.

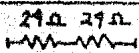
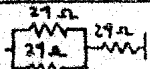
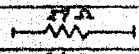
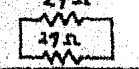

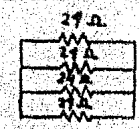
- 1.- Se calibra el relevador para permitir una corriente nominal deseada que en este caso será de 2A; esto se realiza

- en el bloque de tapa.
- 2.- Como carga se utiliza el módulo de resistencias para obtener diferentes cargas como de 48, 36, 24, 12, 8 y 6 - ohms.
  - 3.- Se coloca el dial en el valor deseado, en este caso es de 1.5.
  - 4.- Se verifica que el disco se encuentre en su posición inicial.
  - 5.- Se alimenta la fuente de voltaje de 120 VCA simulando un generador.
  - 6.- Se cierran las cuchillas "X" y "Y".
  - 7.- Se anota el valor de la corriente que circula por la bobina de operación "CO" anotandolo en la tabla No. 1.
  - 8.- Con el cronómetro se toma el tiempo de disparo y se anota en la tabla No. 1.
  - 9.- Se repiten los procedimientos anteriores para las diferentes cargas y posiciones del dial, y anotandolos en la tabla No. 1.
  - 10.- Ahora se calibra el relevador para permitir una corriente nominal de 4 Amp.
  - 11.- Se coloca una carga de 48
  - 12.- El dial se coloca en 1.5
  - 13.- Se alimenta la fuente de voltaje de 120 VCA que simula el generador.
  - 14.- Se cierran las cuchillas "X" y "Y".
  - 15.- Se toma el valor de la corriente que circula por la bobina de operación "CO", así como el tiempo de disparo del-

relevador, y anótalo en la tabla No. 1.

- 16.- Repetir los procedimientos anteriores para los siguientes valores de carga: 24, 15, 12, 8 y 6 Ohms.

TABLA NO. 1

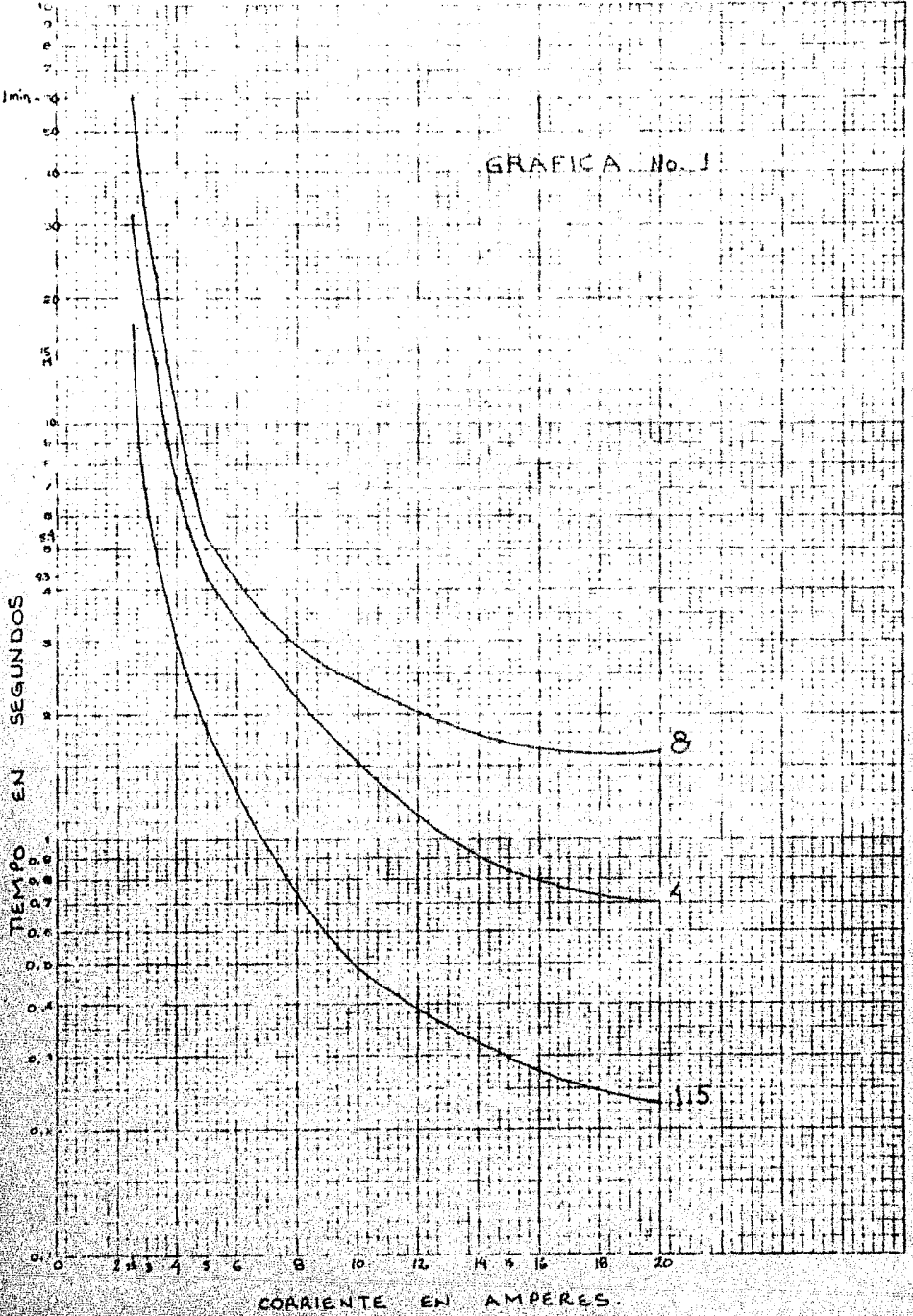
	CONEXION DE LA CARGA	VALOR DE LA CARGA ( $\Omega$ )	AMPERES	POSICION DEL DIAL		
				1.5	4	8
1		48 $\Omega$	2.5	17.2 seg	31.5 seg	1.12 min
2		36 $\Omega$	3.3	4.8 s	14 s	22.58 s
3		24 $\Omega$	5	1.84 s	4.33 s	5.4 s
4		12 $\Omega$	10	0.99 s	1.52 s	2.9 s
5		8 $\Omega$	15	0.3 s	0.89 s	1.7 s
6		6 $\Omega$	20	0.2 s	0.7 s	1.63 s

Los valores de corriente y tiempo son representados en la gráfica No. 1

GRAFICA No. J

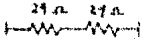
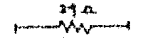
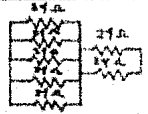

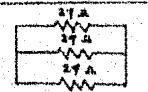
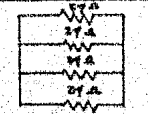
EN LOGARITMOS DE CICLOS Y  
EN OHMS POR PULSO

TEMPO EN SEGUNDOS



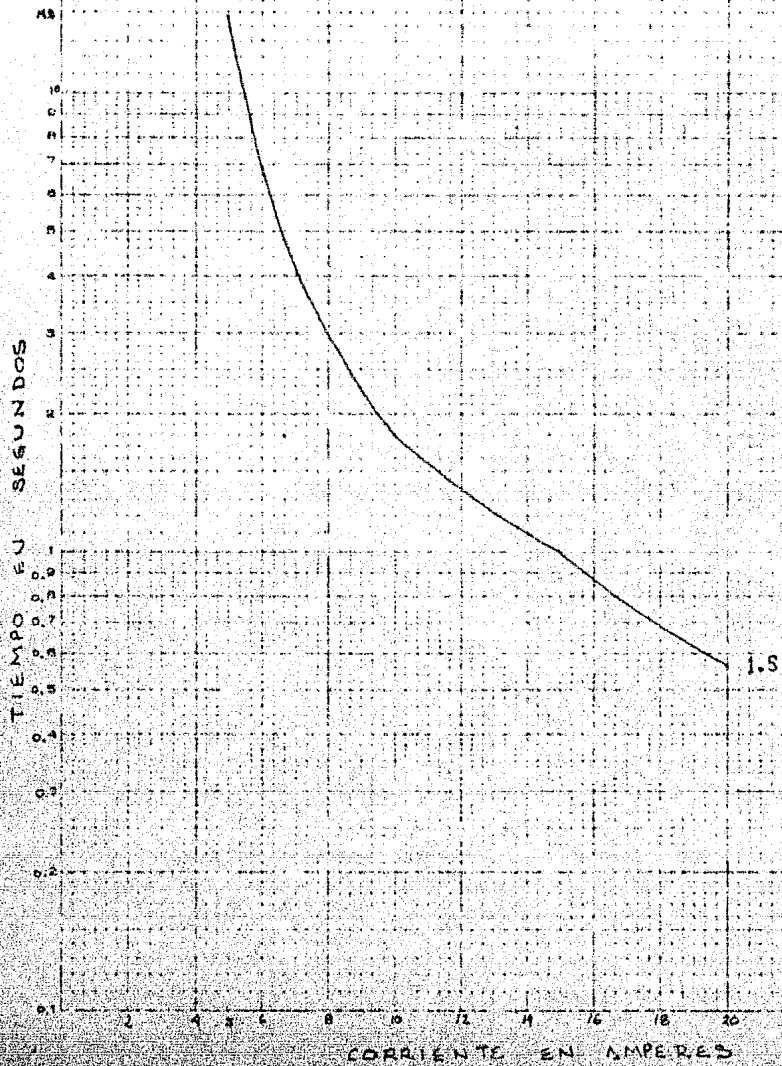
CORRIENTE EN AMPERES.

TABLA NO. 2

	CONECION DE LA CARGA	VALOR DE LA CARGA	AMPERES	POSICION DEL DIAL
1		48 $\Omega$	2.5 A	1.5 NO OPERA EL RELEVADOR
2		24 $\Omega$	5 A	14.85 seg.
3		16.8 $\Omega$	7.14 A	4 seg
4		12 $\Omega$	10 A	1.8 seg
5		8 $\Omega$	15 A	1.01 seg
6		6 $\Omega$	20 A	0.56 seg

Los valores de corriente y tiempo son representados en la gráfica No. 2

GRAFICA No. 2





## P R A C T I C A

## RELEVADOR DE DISTANCIA TIPO "MHO"

## OBJETIVO:

- 1.- Analizar la estructura del relevador
- 2.- Conocer el diagrama interno del relevador
- 3.- Funcionamiento del relevador
- 4.- Conocer el diagrama de conexión externa.

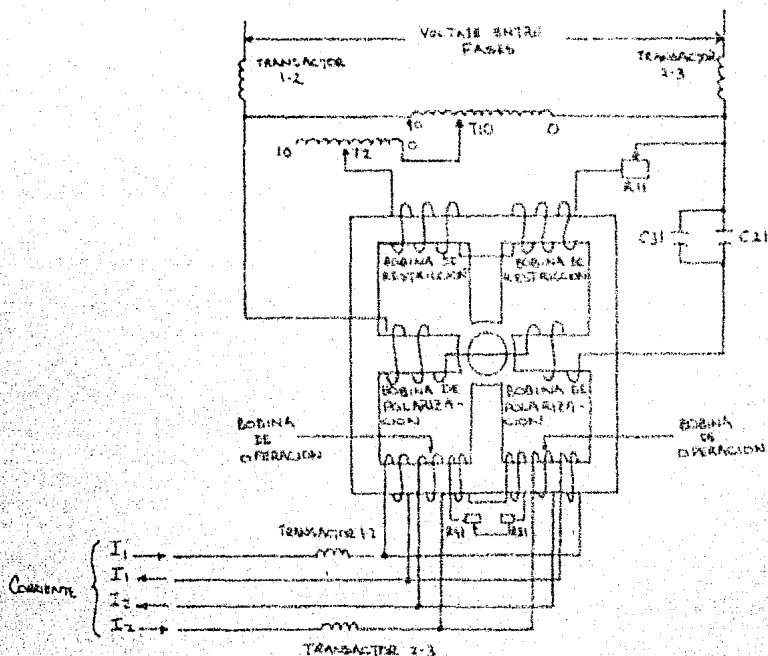
## INTRODUCCION:

Los relevadores de distancia se aplican fundamentalmente para protección primaria y de respaldo para líneas de transmisión y para protección de respaldo del generador.

El relevador con que se cuenta es un relevador de distancia tipo mho direccional de una zona, trifásico y de alta velocidad. Esta constituido de tres unidades -- monofásicas. Una unidad de sello indican la operación del relevador. Este relevador esta diseñado para usarse con retraso de tiempo para proporcionar una zona de protección de respaldo a una línea de transmisión para fallos trifásicas, fase a fase, doble fase a tierra.

## CONSTRUCCION:

Las unidades OM tienen una construcción del tipo de cilindro de inducción de 4 polos. La conexión esquemática se muestra en la siguiente figura.

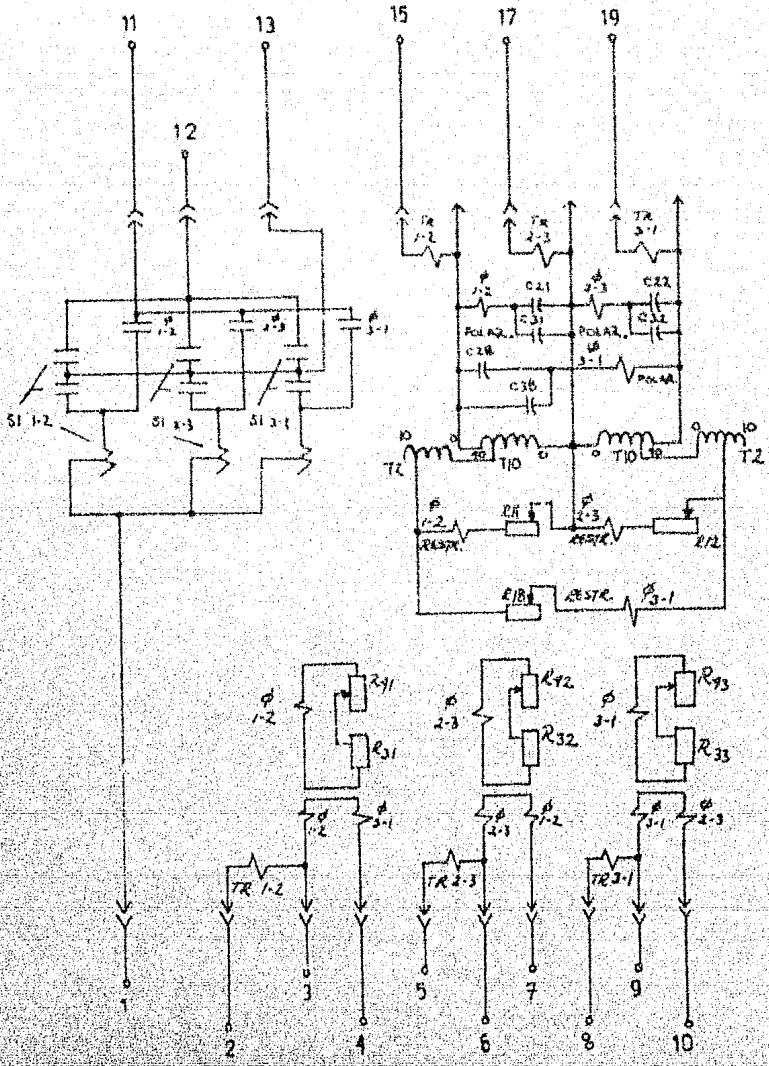


Los dos polos (Izquierdo y derecho de polarización) energizados con voltaje de fase a fase, producen el flujo de polarización el cual interactúa con el flujo producido en los polos posteriores energizados, con un porcentaje del mismo voltaje producen el par de restricción. El flujo producido en el polo frontal, energizado con las dos corrientes de línea asociadas con el voltaje de fase a fase usado, interactúa con el flujo de polarización para producir el par de operación.

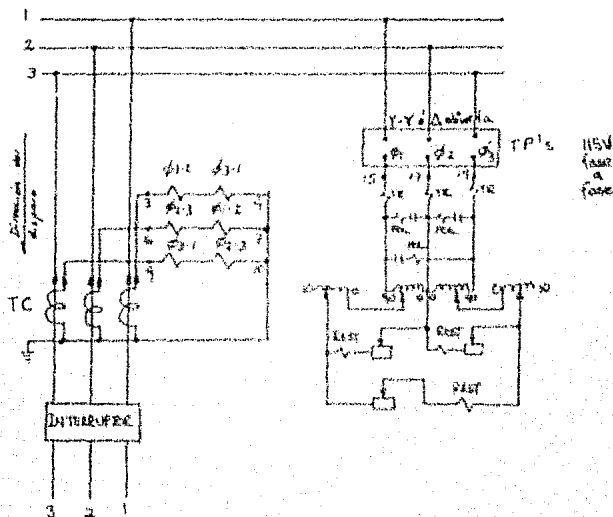
Así el relevador se pondrá en trabajo a una componente constante de la admitancia a un ángulo fijo dependiendo del par máximo y ángulo de la línea, por consiguiente el nombre de unidad PNC.

CONEXIONES:

El diagrama interno de conexión para el relevador es mostrado en la siguiente figura.



Un diagrama de alambrado físico de conexión externa es el siguiente:



El voltaje de fase a fase de 115 volts que se obtiene del secundario de los transformadores de potencial es aplicado en las terminales 15-17 y 19 del relevador.

La corriente proveniente del secundario de los transformadores de corriente es alimentada a las terminales 3, 6 y 9 del relevador.

Los transformadores de corriente son utilizados para obtener corrientes pequeñas ( 0 - 5 Amp ) y los transformadores para obtener voltajes bajos ( 115-120 volts ), para alimentación del relevador, además para aislar al equipo de altas corrientes y voltajes que pondrían en peligro al personal y equipo.

Además es muy importante que este aterrizado adecuadamente la caja del relevador, se recomienda que se aterricen a través de un tornillo con un conductor de calibre no menor del número 12, alambre de cobre o equivalente.

## AJUSTES Y PRUEBAS:

Las unidades OM están previamente calibradas en la fábrica, no es conveniente desajustar la calibración. El alcance de la unidad OM pueda ser ajustada en 2 pasos de porcentaje por el propio posicionador de las terminales de tap del autotransformador ( T10 y T2 ) en ambos bloques de tap ( izq. y der. ).

El ángulo de par máximo esté ajustado a  $45^{\circ}$  con la corriente atrasada del voltaje y puede ser ajustado por prueba a  $60^{\circ}$  con la corriente atrasada del voltaje.

## PROCEDIMIENTO:

- 1.- Anliste los datos de placa del relevador
- 2.- ¿Cuál es el rango mínimo en ohms y cual es su ángulo de par máximo del relevador ?
- 3.- Quitar la tapa frontal del relevador
- 4.- Extraer las pines superior e inferior
- 5.- Jalar la clavete guía que se encuentra en la parte superior e inferior
- 6.- Extraer el armazón de la carcasa
- 7.- Examine la estructura del relevador
- 8.- Identificación y descripción de sus partes.
  - a) Identificar los contactos principales, el móvil y el fijo para las 3 unidades OM que se encuentran en la parte frontal.
  - b) Identificar el bloque de taps izquierdo y derecho.
  - c) Identifique las terminales del relevador numeradas, viendo el relevador de frente y contando de la parte inferior de izquierda a derecha empezando con el número uno, y continuando en la parte superior de igual manera.

- d) Identifique en la parte superior izquierda el elemento de sello; éste elemento tiene su bobina en serie con el contacto principal de la unidad OK.
- e) La bandera de operación del elemento de sello es elevada indicando la operación del relevador.
- f) A un lado del elemento de sello se encuentra el restaurador.
- g) Identifique el ajuste del tap usado en la unidad de sello de la bandera que es determinado por la corriente a través de la bobina de disparo ( 0.6/2.0 Amp ).
- h) Tabla I

#### RANGOS PARA LA UNIDAD DE SELLO Y BANDERA

	2 Amp Tap	0.6 Amp Tap	0.2 Amp Tap
Resistencia $\Omega$	0.13 ohm	0.6 ohms	7.5 ohms
Operación mínima	2.0 amps	0.6 amps	0.2 amps
Conduce Continuumente	4.0 amps	1.2 amp	0.4 amps
Conduce 30 Amps por	4.0 seg	0.5 seg	+

+ Este tap conducirá 10 amperes durante 0.5 seg.

## CARGAS:

La máxima corriente de carga impuesta a cada TC con un ajuste práctico de 5 amperes, 115 volts y 60 ciclos son listados en la tabla II

TABLA II

## CORRIENTE DE CARGA

	R	X	Z	VA	
RANGO OHMICO	(ohms)	(ohms)	(ohms)	(Volt-Amps)	
SIN	0.5 - 5	0.007	0.001	0.007	0.18
OFFSET	2 - 20	0.012	0.012	0.017	0.43
	3 - 30	0.018	0.018	0.023	0.58
CON	0.5 - 5	0.015	0.012	0.020	0.50
OFFSET	2 - 20	0.024	0.023	0.033	0.83
	3 - 30	0.029	0.029	0.046	1.15

El máximo potencial de carga impuesto en cada TP - con un ajuste práctico a 115 volts, 5 amperes, 60 ciclos para las unidades OM 0.5, 2 y 3 OHM, se encuentra en la tabla III.

TABLA III

watts	Vars	Volt Amperes
14.6	4.5	15.3

La carga de potencial de la unidad OM es alterada cambiando el ajuste de tap de restricción a fin de seleccionar el alcance apropiado.

La carga para cualquier condición de ajuste puede ser calculada usando las ecuaciones siguientes.

$$\text{Watts} = 3.6 + \left[ \frac{\text{Ajuste de tap}}{100} \right]^2 \quad 6.0$$

$$\text{Vars} = 2.4 + \left[ \frac{\text{Ajuste de tap}}{100} \right]^2 \quad 6.9$$

Calcule los watts y vars para los siguientes ajustes de tap: 60, 45 y 20.

#### Ejem Plo:

Calcular el ajuste descable del relevador para alcanzar el equivalente de 6 Km de una línea de 69 KV teniendo una impedancia primaria de  $0.3 + i 4.5$ .

La relación de los CT es de 600/5 Amp. y la relación de los TP es de 69000/115 Volts.

Para obtener la impedancia secundaria se utiliza la siguiente fórmula:

$$Z_{\text{sec}} = Z_{\text{prim}} \frac{\text{CT relación}}{\text{TP relación}}$$

$$Z_{\text{sec}} = (0.3 + i 4.5) \frac{\frac{600}{5}}{\frac{69000}{115}}$$



$$= (0.8 + 1.45) \cdot 0.2$$

$$= 0.16 + 0.3$$

$$Z_{\text{sec}} = 0.91 \angle 30^\circ$$

Para calcular el % de tap requerido se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{TAP SALIDA} = \frac{Z_{\text{mín}} \cos(\theta - \phi)}{|Z_{\text{sec}}|} \cdot 100$$

$$\text{TAP SALIDA} = \frac{0.3 \cos(45 - 30^\circ)}{0.91} \cdot 100$$

$$\text{TAP SALIDA} = 45.4$$

Ajuste el tap para 45.4.

## PRACTICA

## RELEVADOR DIFERENCIAL PARA PROTECCION DE GENERADORES.

## OBJETIVO:

- 1.- Analizar la estructura del relevador.
- 2.- Conocer su funcionamiento.
- 3.- Conocer el diagrama interno del relevador.
- 4.- Conocer el diagrama de conexión externa del relevador.

## INTRODUCCION:

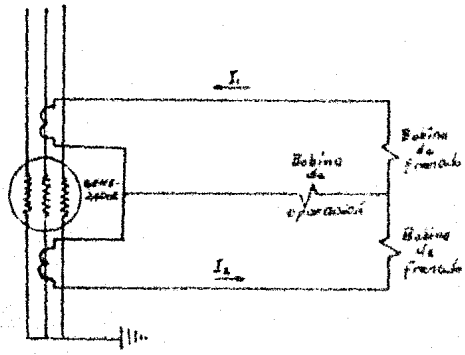
Cuando un generador con sus bobinados conectados en estrella está funcionando normalmente, las tres corrientes que convergen en el punto neutro de la estrella son iguales a las corrientes de línea correspondientes.

Si el punto neutro está puesto a tierra, la mencionada igualdad de corrientes dejará de mantenerse en cuanto se produzca una falla a tierra en cualquiera de los arrolla---mientos del generador.

La protección contra fallas de este tipo se realiza con relés que actúan bajo la acción de la diferencia entre las dos corrientes de cada fase y cierran sus contactos cuando la relación entre ambas exceda un valor determinado.

La figura 1 muestra esquemáticamente las conexiones para la aplicación del relé en una fase.

Tratándose de generadores trifásicos, se emplearán tres relés monofásicos.



( FIG. 1 )

Cuando las corrientes  $I_1$  e  $I_2$  de los TC's sean iguales y del mismo sentido no circulará ninguna corriente por la bobina de operación.

CONSTRUCCION:

El relevador IJD es del tipo de disco de inducción montado sobre un eje y dispuesto para girar en el entrehierro de los dos circuitos magnéticos siguientes.

El elemento de operación formado por un núcleo en forma de U, provisto de espiras de sombra y alimentado por la bobina operadora a través de la cual circula la diferencia de corrientes  $\pm (I_1 - I_2)$ . Este elemento, cuando actúa, desarrolla sobre el disco un par motor que tiende a cerrar los contactos normalmente abiertos. La bobina operadora está conectada al punto medio de la bobina de frenado.

El elemento de frenado, semejante al de operación. La conexión de la bobina operadora hace que la bobina de este elemento quede dividida en dos mitades por las cuales circulan las corrientes  $I_1$  e  $I_2$ . El par motor de este elemento tiende a mantener abiertos los contactos del relé.

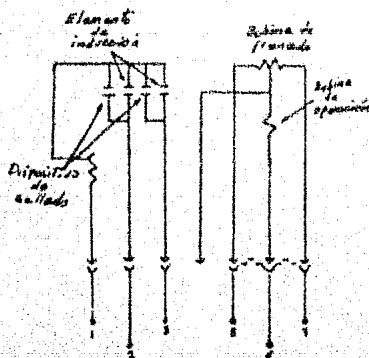
Un imán permanente, que abraza el disco de inducción y desarrolla un par de frenado cuando gira el disco.

Cuando la relación entre las corrientes  $I_1$  e  $I_2$  sobre-

pasa un cierto valor, el par motor originado por la bobina operadora predomina sobre los de frenado y el disco se pone en movimiento, equilibrado por un muelle antagonista, y después de girar un determinado ángulo cierra los contactos del relé.

#### CONEXIONES:

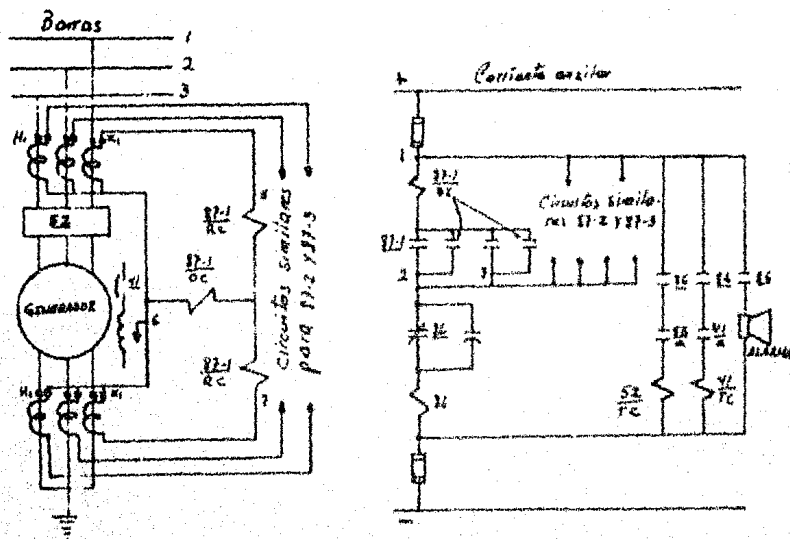
Las conexiones internas del relevador IJD se indican - en la figura 2.



( Fig. 2 )

Un esquema típico de conexiones exteriores se muestra en la figura No. 3.

En el cual puede observarse que los contactos están - previstos para cerrar los circuitos de disparo de los interruptores 52 y 41.



- 41 - Contacto del interruptor de campo.
- 52 - Interruptor de potencia
- 66 - Relé auxiliar de recesión manual tipo HEA
- 87 - Relé diferencial tipo 1DJ
- 6 - Contacto auxiliar, cerrado cuando el interruptor está cerrado.
- OC - Bobina de operación
- RC - bobina de frenado
- 53 - Dispositivo de sellado y señalización.
- 7C - Bobina de bloqueo

#### AJUSTE PARA EL DISPOSITIVO DE SELLADO:

El ajuste viene hecho de fábrica, pero en caso de que se desee ajustar o cambiar la sensibilidad de la bobina de "sellado" se hace mediante un pequeño tornillo que se introduce en la toma marcada con el número que indica la sen-

sibilidad deseada, cuidando de que la otra quede libre.

Se procede del siguiente modo. Supongamos que está tomada la sensibilidad 2A y queremos pasar a la 0.2A.

- 1.- Se saca el tornillo de la parte superior izquierda del dispositivo.
- 2.- Se coloca este tornillo en la parte inferior derecha - marcada con el 0.2.
- 3.- Se quita el tornillo de la parte superior derecha (marcada con 2).
- 4.- Se coloca este último tornillo en la parte superior izquierda, quedando así completada la operación.

#### PROCEDIMIENTO:

- 1.- Enliste los datos de placa del relevador
- 2.- Quitar la tapa del relevador
- 3.- Jale el clip de sujeción superior e inferior
- 4.- Extraiga la clavija de contactos o peineta
- 5.- Extraiga la unidad de la carcasa
- 6.- Examine la estructura del relevador
- 7.- Identifique las siguientes partes:
  - a) Dispositivo de sellado y señalización
  - b) Indicador de funcionamiento o bandera
  - c) Contactos del dispositivo de sellado
  - d) Contactos fijos
  - e) Índice de tiempos
  - f) Contacto móvil
  - g) Eje del disco
  - h) Disco
  - i) Imán de freno
  - j) Conjunto bobina de frenado o restricción y núcleo
  - k) " " operación y núcleo
  - l) Clavija de contactos o peineta

CONCLUSIONES

Al término de la tesis concluimos que la protección por relevadores es de gran importancia para la protección de los generadores de alta potencia, puesto que son los equipos eléctricos más importantes en el sistema eléctrico, ya que su operación normal debe estar dentro de los rangos de operación, los cuales están fijados por las características propias de construcción de cada generador y que son proporcionadas por el fabricante de cada generador.

Es muy importante entonces mantener bien ajustados las diferentes protecciones de tal manera que fallas internas o externas al generador puedan ser detectadas, y liberadas por los interruptores asociados.

En la actualidad la protección de los generadores se lleva a cabo utilizando relevadores electromecánicos, aún cuando se ha tenido un desarrollo de la protección estática ésta aún no representa gran ventaja sobre los relevadores electromecánicos, además de que los esquemas de protección de generadores no requieren de lógicas muy elaboradas.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- "ELECTRICAL MACHINES"  
Sistind, Ed. McGraw Hill Bookshs, Second edición.
- 2.- "MÁQUINAS ELECTROMAGNÉTICAS Y ELECTROMECÁNICAS"  
Isaander W. Hatch, Ed. Representaciones y Servicios de Ingeniería, México, 1974.
- 3.- "FUNDAMENTOS DE INGENIERIA ELECTICA"  
A.E. Fitzgerald, Ed. McGraw Hill, 1973.
- 4.- "CENTRALES HIDROELECTRICAS"  
G. Zoppetti, Ed. GE, 1977.
- 5.- "ANÁLISIS DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA"  
William D. Stevenson, Ed. McGraw Hill, 1979.
- 6.- "REDES ELECTRICAS"  
Jacinto Viqueira Landa, Ed. Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.A. México, 1977.
- 7.- "APPLIED PROTECTIVE RELAYING"  
Westinghouse Electric Corporation, Relay Instrument Division Coral Springs, Florida, 1979.
- 8.- "EL ARTE Y LA CIENCIA DE LA PROTECCION POR RELEVADORES"  
C. Russell Mason, Ed. CEEISA, México, 1980.
- 9.- "PROTECCION DE SISTEMAS DE POTENCIA E INTERRUPTORES"  
B. Ravindranath y M. Chender, Ed. Limusa, 1980.
- 10.- "FUNDAMENTOS DE PROTECCION DE SISTEMAS ELECTRICOS POR RELEVADORES"  
Gilberto Enriquez Harper, Ed. Limusa, 1981.
- 11.- "ESQUEMAS ELECTRICOS DE PROTECCION"  
Comisión Federal de Electricidad, 1981.