

CALCULO DE LA PROTECCION DEL FUTURO SISTEMA DE  
TRANSMISION A 69 Kv. DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL.

INVENTARIADO  
RESPONSABLE: *[Signature]*

TESIS DE GRADO PARA OPTAR AL TITULO DE  
INGENIERO EN ELECTRICIDAD.

INVENTARIADO  
RESPONSABLE: *[Signature]*

*R. 2061*

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

POR:

ROBERTO YANNUZZELLI CANEPA.



Guayaquil, Junio 1.967.

La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestas en esta tesis corresponden exclusivamente al autor.

(Art. Sexto del Reglamento de Exámenes y Títulos Profesionales de la Escuela Superior Politécnica del Litoral).

A handwritten signature in dark ink, appearing to read 'Roberto Yannuzzelli Canepa', written over a horizontal dotted line.

Roberto Yannuzzelli Canepa

Guayaquil, Junio 1.967

AUTOR ..... *Roberto Yannuzzi* .....  
Roberto Yannuzzi C.

DIRECTOR DE TESIS ..... *Gregorio Wong* .....  
Ing. Gregorio Wong

PROFESOR ..... *Rubio* .....

PROFESOR ..... *Rubio* .....

*Pres. de la Comisión  
de Examen de Tesis  
Francisco Albarrán*

A MIS PADRES Y MAESTROS

## INDICE

	Pag.
Introducción .....	1
Sistema .....	2
a.- Descripción general del sistema actual.....	2
b.- Descripción general del sistema futuro.....	3
Cálculo de Fallas .....	5
Estudio y selección de los relés y de los transfor - madores de corriente y potencial para la protección .....	38
a.- Generadores .....	38
b.- Barras .....	48
c.- Transformadores .....	48
d.- Líneas .....	56
Coordinación de los relés .....	84
Selección de los interruptores de potencia .....	97
Aspecto económico del sistema de protección a ser utilizado .....	105
Conclusiones .....	108

## INTRODUCCION

El capital invertido en un sistema de potencia, para la generación, transmisión y distribución, de energía eléctrica, es lo suficientemente grande como para que se tomen ciertas precauciones no solamente para que el equipo funcione en su máxima eficiencia, sino que también se encuentre lo suficientemente protegido contra cualquier accidente.

En la presente tesis, vamos a tratar sobre la protección del futuro anillo de transmisión a 69 Kv. de la ciudad de Guayaquil, para lo cual ha sido necesario dividirla en tres partes principales: cálculo de fallas, selección y coordinación de los relés.

El camino normal de la corriente eléctrica, en un sistema de potencia, es desde los generadores, através de los transformadores y las líneas, a la carga y es confinada a esta curva por medio del aislamiento, sin embargo, éste puede ser roto de tal manera que la corriente sigue una curva anormal generalmente conocida como cortocircuito o falla. En el tema correspondiente al cálculo de fallas se ha determinado una serie de fórmulas, las cuales sirven para determinar la corriente en diversas partes del sistema durante la ocurrencia de una falla. En el mismo tema han sido determinadas las magnitudes de las corrientes que siguen a una falla trifásica y a una falla de línea a tierra, ya que estas son las más severas y las que conciernen para un cálculo de protección.

La protección se hace por medio de relés, los cuales son mecanismos que responden a las condiciones anormales de un sistema de potencia eléctrico, para controlar un interruptor, de tal manera que se aisle la sección con falla del sistema con la mínima interrupción de servicio. En el tema correspondiente a la selección de los relés se ha ido determinando las diferentes clases de relés para la protección de las diversas partes componentes del sistema: generadores, barras, transformadores y líneas.

Durante la ocurrencia de una falla, deben funcionar solamente los relés necesarios para aislar la falla, para lo cual es necesario coordinar a los mismos. En el tema correspondiente a la coordinación se lo ha hecho tanto para los relés de fase como para los relés de tierra.

SISTEMA

a.- Descripción general del sistema actual.- En la actualidad, el sistema de transmisión a 69 Kv. está compuesto por:

1.- Generación.-El único sistema de generación actual es la planta de Guayaquil, la cual está formada por 12 generadores impulsados por motores a diesel y 4 generadores impulsados por turbinas a vapor ( Fig. 2), estos generadores además de suplir la carga que alimenta la línea a 69 Kv., está supliendo cargas a diversas alimentadoras de 4,16 y 13,8 Kv.

Los generadores impulsados por motores a diesel generan a 4,16 Kv. y de aquellos impulsados por turbinas a vapor, uno de ellos genera a 4,16 Kv. y los tres restantes a 13,8Kv.. Los generadores a 4,16 Kv. están unidos con los generadores a 13,8 Kv. por medio de una subestación.

2.- Transformadores.- Existen dos subestaciones, una de ellas está en la planta de Guayaquil y está formada por un transformador elevador de 13,2 Kv. a 67 Kv.. Este es de 15.000 Kva.

La otra subestación es la llamada Los Ceibos, debido a su localización, y está formada por un transformador de bajada de 67 a 13,8 Kv. Esta subestación tiene una capacidad de 12.000 Kva. y sirve para alimentar gran parte de la carga del sector nor-ocete de la ciudad de Guayaquil.

3.- Línea.- En la actualidad solo existe la línea que une la subes-

tación de la planta de Guayaquil con la subestación Los Ceibos.

La configuración de esta línea está mostrada en la figura uno y los conductores son A.C.S.R. 336,4 M.C.M. 18/1, con alambre a tierra de hierro galvanizado de  $\frac{1}{4}$ " ( 7 ) .

4.- Protección.- De la protección actual, debemos decir que existen los relés de distancia en la planta de Guayaquil con el respectivo relé de tierra, los relés diferenciales para los transformadores y la protección por medio de relés de sobrecorriente para las alimentadoras que salen de la subestación Los Ceibos.

La protección de los generadores de la planta de Guayaquil existe completamente en la actualidad.

Solamente existen interruptores en el lado de 13,8 Kv.

b.- Descripción general del sistema futuro.-

1.- Generación.- En la planta de Guayaquil se está procediendo a - instalar, actualmente, un generador impulsado por turbina a gas de 16.000 Kva., por lo tanto, como todavía no está en línea, se lo ha considerado como generación futura.

Debido al gran incremento de carga, especialmente a las horas de máxima carga, se va a proceder a instalar un generador de 22.000 Kva. y 13,8 Kv. en un lugar cercano a la fábrica de cemento de San Eduardo, por lo tanto en este generador, en esta tesis, se lo va a denominar planta de San Eduardo.



2.- Transformadores.- Se tiene planeado que para el año 1.970 deban estar instaladas dos subestaciones más.

Una de ellas es de 67 Kv. a 4,16 Kv. con 5.000 Kva. Esta está destinada a alimentar una gran parte de la carga del centro de la ciudad.

La otra subestación es de 67 Kv. a 13,8 Kv. con 12.000 Kva. Esta está destinada a alimentar una gran parte de la carga del sur de la ciudad.

3.- Línea.- Se va a proceder a correr líneas de tal manera que se llegue a mallar el sistema ( Fig.3).

La configuración de la línea está mostrada en la Fig. 1 y el conductor va a ser A.C.S.R. 336,4 M.C.M. 26/7 , con alambre a tierra de hierro galvanizado de  $\frac{1}{4}$ ".

CALCULO DE FALLAS

a.- Impedancias de secuencia.- Por la disposición de las líneas (Fig.1) y debido a que éstas no han sido transpuestas, debemos decir que el sistema no es simétrico. Por lo tanto existe una cierta impedancia mutua entre las impedancias de secuencia. Posteriormente vamos a señalar, (en nuestro cálculo, estas impedancias mutuas son despreciables, pero por el momento vamos a calcularlas.

Otro aspecto que debemos tomar en cuenta es que la línea tiene un alambre a tierra que no es equidistante a los tres conductores, de donde tenemos que las impedancias de secuencia positiva y negativa con sus respectivas impedancias mutuas de secuencia son: (1)

$$Z_{11-w} = Z_{22-w} = Z_{11} - \frac{1}{3Z_{w-g}} (Z_{a-w-g} + aZ_{b-w-g} + a^2 Z_{c-w-g}) \times \\ \times (Z_{a-w-g} + a^2 Z_{b-w-g} + aZ_{c-w-g})$$

$$Z_{21-w} = Z_{12-w} - \frac{1}{3Z_{w-g}} (Z_{a-w-g} + a^2 Z_{b-w-g} + aZ_{c-w-g})^2$$

$$Z_{12-w} = Z_{21-w} - \frac{1}{3Z_{w-g}} (Z_{a-w-g} + aZ_{b-w-g} + a^2 Z_{c-w-g})^2$$

$$Z_{01-w} = Z_{10-w} = Z_{01} - \frac{Z_{a-w-g}}{Z_{w-g}} (Z_{a-w-g} + a^2 Z_{b-w-g} + aZ_{c-w-g})$$

$$Z_{02-w} = Z_{20-w} = Z_{02} - \frac{Z_{a-w-g}}{Z_{w-g}} (Z_{a-w-g} + aZ_{b-w-g} + a^2 Z_{c-w-g})$$

El segundo término de estas ecuaciones nos indican la influencia del alambre a tierra sobre las impedancias de secuencia positiva y negativa. En nuestro sistema, el segundo término de estas ecuaciones es despreciable, por lo tanto no vamos a tomar en cuenta las influencias del alambre a tierra sobre las impedancias de secuencia positiva y negativa.

De donde tenemos que (2) :

$$Z_{22} = Z_{11} = 0,278 + j0,696 \text{ } \frac{\%}{\text{milla}} \text{ (ACSR 336,4MCM 26/7 )}$$

$$Z_{22} = Z_{11} = 0,3 + j0,705 \text{ } \frac{\%}{\text{milla}} \text{ (ACSR 336,4MCM 18/1 )}$$

$$D_{eq} = 7,56'$$

$$Z_{12} = j0,1863 \left( \log \frac{(S_{ab} \times S_{ac})^{\frac{1}{2}}}{S_{bc}} \right) + j0,866 \log \frac{S_{ac}}{S_{ab}}$$

$$= j0,0186 - 0,0485 \text{ } \frac{\%}{\text{milla}}$$

$$Z_{21} = j0,1863 \left( \log \frac{(S_{ab} \times S_{ac})^{\frac{1}{2}}}{S_{bc}} \right) - j0,866 \log \frac{S_{ac}}{S_{ab}}$$

En donde: (3)

$Z_{11}$  = impedancia a las corrientes de secuencia positiva

$Z_{22}$  = impedancia a las corrientes de secuencia negativa

$Z_{12}$  = razón de la caída de voltaje de secuencia positiva producido por  $I_{a2}$ , a  $I_{a1}$ .

$Z_{21}$  = razón de la caída de voltaje de secuencia negativa producido por  $I_{a1}$ , a  $I_{a2}$ .

Ahora vamos a proceder a calcular la impedancia de secuencia cero de la línea de transmisión, para lo cual debemos considerar que la línea tiene un alambre a tierra ( Fig. 1) y asumiendo  $\rho = 300$ .

$$Z_{00-w} = Z_{00} - 3 \frac{(Z_{aw-g})^2}{Z_{ww-g}} \quad (4)$$

En donde:

$Z_{00-w}$  = autoimpedancia del conductor con un alambre a tierra

$Z_{ww-g}$  = autoimpedancia del alambre a tierra con retorno de tierra

$Z_{00}$  = autoimpedancia de secuencia cero del conductor

$Z_{aw-g}$  = valor promedio de la impedancia mutua, con retorno de tierra, entre alambre de tierra y con-

ductores.

De donde tenemos:

$$Z_{00-w} = 0,68 + j3,02 \text{ } \Omega/\text{milla} \quad (\text{para ACSR } 336,4 \text{ MCM } 26/7)$$

$$Z_{00-w} = 0,70 + j3,04 \text{ } \Omega/\text{milla} \quad (\text{para ACSR } 336,4 \text{ MCM } 18/1)$$

b.- Diagramas de secuencia.- Observando los valores obtenidos para las impedancias mutuas de secuencia vemos que nuestro sistema es muy poco asimétrico, por lo tanto, en nuestro cálculo, no vamos a considerar dicha asimetría.

Antes de proceder a formar los diagramas de secuencia vamos a reducir todas las impedancias a valores por unidad, tomando como base 13,8 Kv. y 12,5 Mva. ( En las barras de 13,8 Kv.)

1.- Valores por unidad de la planta de Guayaquil

Como se muestra en la fig. 2, la planta eléctrica de Guayaquil genera a 4,16 Kv. y a 13,8 Kv. y esta formada por generadores a diesel, a gas y a vapor.

Planta diesel ( Kv base = 4,16 Kva base = 12.500)

Generadores # 6 - 12 - 4

$$X_d'' = 0,155 \times \frac{12.500}{1.250} = 1,55 \text{ pu.}$$

$$X_d' = 0,3 \times 10 = 3 \text{ pu.}$$

$$X_2 = 1,55 \text{ pu.}$$

$$X_0 = 1,5 \text{ pu.}$$

Generadores # 8 - 7

$$X_d'' = 0,18 \times \frac{12.500}{2.625} = 0,86 \text{ pu.}$$

$$X_d' = 0,28 \times 4,75 = 1,33 \text{ pu.}$$

$$X_o = 0,02 \times 4,75 = 0,095 \text{ pu.}$$

$$X_2 = X_d''$$

Generadores # 1 - 2

$$X_d'' = 0,22 \times \frac{12.500}{324} = 0,22 \times 38,6 = 8,5 \text{ pu.}$$

$$X_d' = 0,33 \times 38,6 = 12,71 \text{ pu.}$$

$$X_o = 0,06 \times 38,6 = 2,32 \text{ pu.}$$

$$X_2 = X_d''$$

Generador # 3

$$X_d'' = 0,24 \times \frac{12.500}{438} = 6,85 \text{ pu.}$$

$$X_d' = 0,33 \times 28,6 = 9,42 \text{ pu.}$$

$$X_o = 0,09 \times 28,6 = 2,57 \text{ pu.}$$

$$X_2 = X_d''$$

Generadores # 5 - 10 - 11

$$X_d'' = 0,22 \times \frac{12.500}{1.875} = 1,47 \text{ pu.}$$

$$X_d' = 0,27 \times 6,67 = 1,8 \text{ pu.}$$

$$X_o = 0,05 \times 6,67 = 0,334 \text{ pu.}$$

$$X \text{ reactor} = \frac{0,63}{1,38} = 0,456 \text{ pu.}$$

$$X_2 = X_d''$$

Generador # 2

$$X_d'' = 0,27 \times 12,5 = 3,38 \text{ pu.}$$

$$X_d' = 0,35 \times 12,5 = 4,38 \text{ pu.}$$

$$X_0 = 0,16 \times 12,5 = 2 \text{ pu.}$$

$$X_2 = X_d''$$

Reactores

$$\text{Impedancia base} = \frac{(4,16)^2 \times 1.000}{12.500} = 1,38 \text{ ohm.}$$

De donde :

$$X \text{ reactor pu.} = \frac{0,1}{1,38} = 0,0725 \text{ pu.}$$

Planta a vapor

Generador # 1

$$X_d'' = 0,1 \times \frac{12.500}{6.250} = 0,2 \text{ pu.}$$

$$X_d' = 0,13 \times 2 = 0,26 \text{ pu.}$$

$$X_0 = 0,05 \times 2 = 0,1 \text{ pu.}$$

$$X_2 = X_d''$$

$$X \text{ reactor pu.} = \frac{0,0418}{1,38} = 0,03 \text{ pu.}$$

Generador # 2

Son los mismos valores que en el generador # 1

$$\text{Impedancia base reactor} = \frac{(13,8)^2 \times 1.000}{12.500} = 15,2 \text{ ohm.}$$

De donde :

$$X \text{ reactor pu.} = \frac{0,529}{15,2} = 0,035 \text{ pu.}$$

Generadores # 3 - 4

Como las bases que hemos escogido son las de estos generadores, sus impedancias no varían. Luego:

$$X_d'' = 0,11 \text{ pu.}$$

$$X_d' = 0,17 \text{ pu.}$$

$$X_o = 0,05 \text{ pu.}$$

$$X \text{ reactor pu.} = \frac{0,306}{15,2} = 0,02 \text{ pu.}$$

Generador a gas # 5

$$X_d'' = 0,11 \times \frac{12.500}{16.000} = 0,086 \text{ pu.}$$

$$X_d' = 0,16 \times 0,78 = 0,125 \text{ pu.}$$

$$X_2 = X_d''$$

$$X_o = 0,55 \times 0,78 = 0,43 \text{ pu.}$$

$$X \text{ reactor pu.} = 0,19/15,2 = 0,0125 \text{ pu.}$$

Subestación de 4,16 Kv. a 13,8 Kv. en el interior de la planta de Guayaquil.

$$X_1 = X_2 = X_o = 0,0566 \times \frac{12.500}{7.500} = 0,095 \text{ pu.}$$

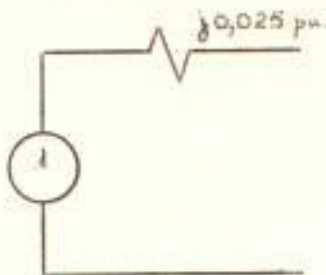
2.- Reducción de los generadores de la planta de Guayaquil en uno equivalente.

Tomando en cuenta que durante la condición de máxima generación van a estar en línea todos los generadores disponibles y que durante la condición de mínima generación solamente van a estar en línea los generadores # 3 - 4 de la planta a vapor, vamos a proceder a reducir todos estos generadores en uno equivalente

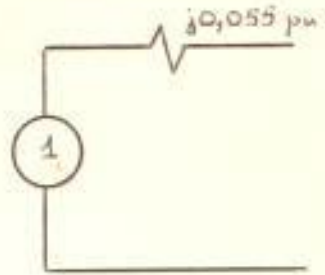
por medio del teorema de Thevenin.

Secuencia positiva. (para valores de  $X_d''$ )

Máxima generación

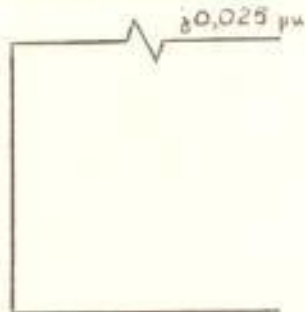


Mínima generación

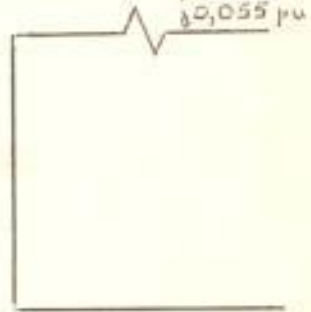


Secuencia negativa. ( para valores de  $X_d''$ )

Máxima generación

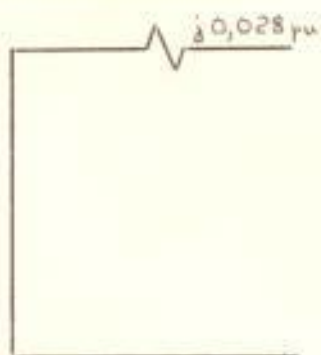


Mínima generación

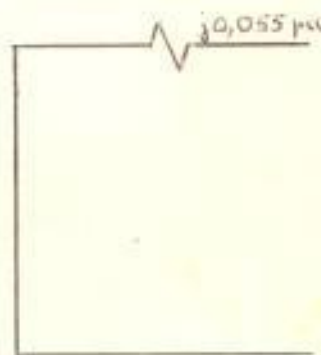


Secuencia cero. ( para valores de  $X_d''$ )

Máxima generación



Mínima generación



3.- Valores por unidad de la línea.

Los transformadores de las subestaciones de las plantas son de  
13,2 / 67 Kv.



De donde:

$$Kv \text{ base} = 13,8 \times \frac{67}{13,2} = 70 \text{ Kv.}$$

Por lo tanto:

$$Z \text{ base} = \frac{(70)^2 \times 1.000}{12.500} = 392 \text{ ohm.}$$

Luego:

Tramo AB (Fig.3) (Conductor 336,4 ACSR 18/1)

$$L = 2,5 \text{ millas}$$

$$Z1 = Z2 = 2,5 (0,3 + j0,705) = 0,75 + j1,76 \text{ ohm.}$$

$$Z1 \text{ pu.} = Z2 \text{ pu.} = (0,75 + j1,76) / 392 = \\ = (1,91 + j4,5) 10^{-3} \text{ pu.}$$

$$Z_0 = (0,7 + j3,04) \times 2,5 = 1,75 + j7,6 \text{ ohm.}$$

$$Z_0 \text{ pu.} = (1,75 + j7,6) / 392 = (4,6 + j19,4) 10^{-3} \text{ pu.}$$

Tramo BC (Fig. 3) (Conductor 336,4 ACSR 18/1)

$$L = 3,82 \text{ millas}$$

$$Z1 = Z2 = 3,82 (0,3 + j0,705) = 1,14 + j2,7 \text{ ohm.}$$

$$Z1 \text{ pu.} = Z2 \text{ pu.} = (1,14 + j2,7) / 392 = \\ = (2,92 + j6,9) 10^{-3} \text{ pu.}$$

$$Z_0 = (0,7 + j3,04) \times 3,82 = 2,67 + j11,6 \text{ ohm.}$$

$$Z_0 \text{ pu.} = (2,67 + j11,6) / 392 = (6,9 + j29,6) 10^{-3} \text{ pu.}$$

Tramo CD (Fig.3)

(Conductor 336,4 ACSR 26/7)

$$L = 3,12 \text{ millas}$$

$$Z1 = Z2 = 3,12 (0,278 + j0,696) = 0,867 + j2,18 \text{ ohm.}$$

$$\begin{aligned} Z1 \text{ pu.} = Z2 \text{ pu.} &= (0,867 + j2,18) / 392 = \\ &= (2,22 + j5,56) 10^{-3} \text{ pu.} \end{aligned}$$

$$Z_0 = (0,68 + j3,02) \times 3,12 = 2,12 + j9,4 \text{ ohm.}$$

$$Z_0 \text{ pu.} = (2,12 + j9,4) / 392 = (5,4 + j24) 10^{-3} \text{ pu.}$$

Tramo DE (Fig.3)

(Conductor 336,4 ACSR 26/7)

$$L = 3,8 \text{ millas}$$

$$Z1 = Z2 = 3,8 (0,278 + j0,696) = 1,05 + j2,64 \text{ ohm.}$$

$$\begin{aligned} Z1 \text{ pu.} = Z2 \text{ pu.} &= (1,05 + j2,64) / 392 = \\ &= (2,68 + j6,75) 10^{-3} \text{ pu.} \end{aligned}$$

$$Z_0 = (0,68 + j3,02) \times 3,8 = 2,6 + j11,5 \text{ ohm.}$$

$$Z_0 \text{ pu.} = (2,6 + j11,5) / 392 = (6,6 + j29,4) 10^{-3} \text{ pu.}$$

Tramo EA (Fig. 3 )

(Conductor 336,4 ACSR 26/7)

$$L = 1 \text{ milla}$$

$$Z1 = Z2 = 0,278 + 0,696 \text{ ohm.}$$

$$\begin{aligned} Z1 \text{ pu.} = Z2 \text{ pu.} &= (0,278 + j0,696) / 392 = \\ &= (0,71 + j1,78) 10^{-3} \text{ pu.} \end{aligned}$$

$$Z_0 = 0,68 + j3,02 \text{ ohm.}$$

$$Z_0 \text{ pu.} = (0,68 + j3,02) / 392 = (1,7 + j7,7) 10^{-3} \text{ pu.}$$

4.- Valores por unidades de los transformadores de las subestaciones .

a.- Transformador de la subestación de la planta de Guayaquil

Este transformador es de 13,2/67 Kv. y 15.000 kva. con:

$$X_1 = X_2 = 7,48\%$$

$$\begin{aligned} X_1 \text{ pu.} = X_2 \text{ pu.} &= j0,0748 \left( \frac{13,2}{13,8} \right)^2 \times \frac{12,5}{15} = \\ &= j56,7 \cdot 10^{-3} \text{ pu.} \end{aligned}$$

$$X_0 = 6,44\%$$

$$\begin{aligned} X_0 \text{ pu.} &= j0,0644 \times \frac{(13,2)^2}{(13,8)^2} \times \frac{12,5}{15} = \\ &= j48,7 \cdot 10^{-3} \text{ pu.} \end{aligned}$$

b.- Transformador de la subestación de la planta en San Eduardo

Este transformador está planeado para 25.000 Kva. y con una relación asumida de 13,2/67 Kv. La reactancia asumida es de:

$$X_1 = X_2 = X_0 = 7\%$$

$$\begin{aligned} X_1 \text{ pu.} = X_2 \text{ pu.} = X_0 \text{ pu.} &= j0,07 \times \frac{(13,2)^2}{(13,8)^2} \times \frac{12,5}{25} = \\ &= j31,8 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

5.- Valores por unidad del generador de 22 Mva. en la planta de San Eduardo. ( Fig. 3 ) ( 5 )

$$X_d'' \text{ pu.} = j0,15 \times \frac{12.500}{22.000} = j0,085 \text{ pu.}$$

$$X_d' \text{ pu.} = j0,205 \times 0,57 = j0,116 \text{ pu.}$$

$$X_2 = X_d''$$

$$X_0 = j0,05 \times 0,57 = j0,0284 \text{ pu.}$$

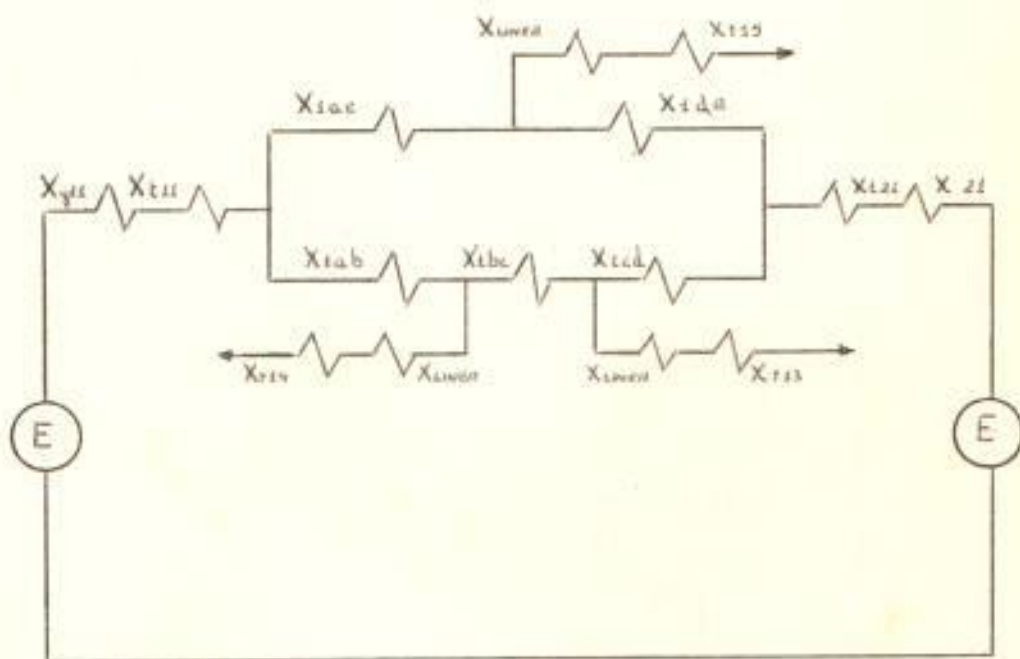
El reactor de esta unidad, debe ser de:

$$X_{\text{reactor}} = \frac{0,15 - 0,05}{3} = 0,033 \text{ pu. (en la base del gen.)}$$

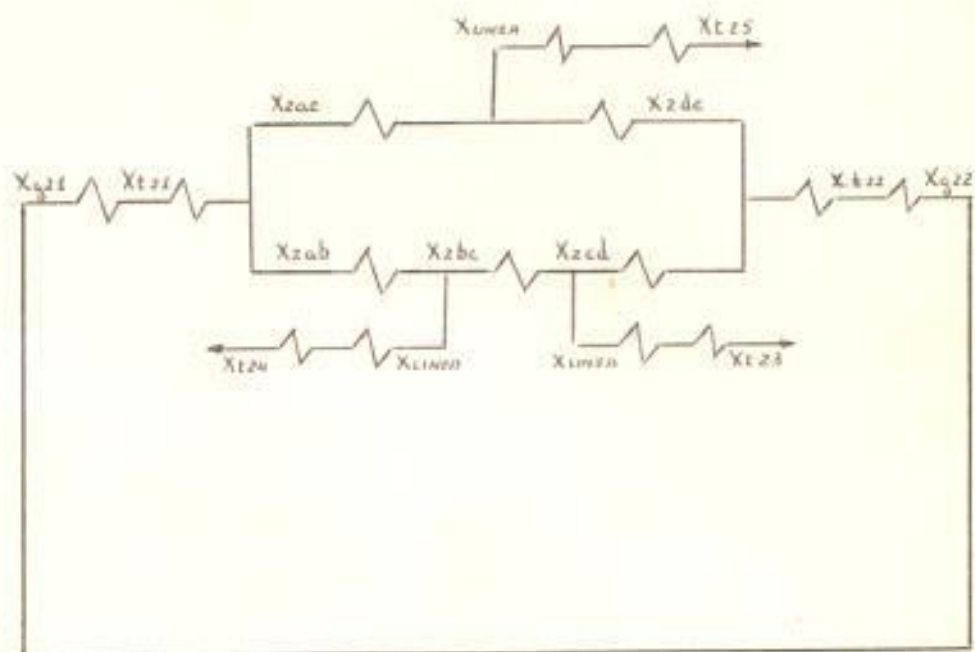
Luego:

$$X_{\text{reactor}} = 0,033 \times \frac{12,5}{22} = 0,0187 \text{ pu. (en la nueva base)}$$

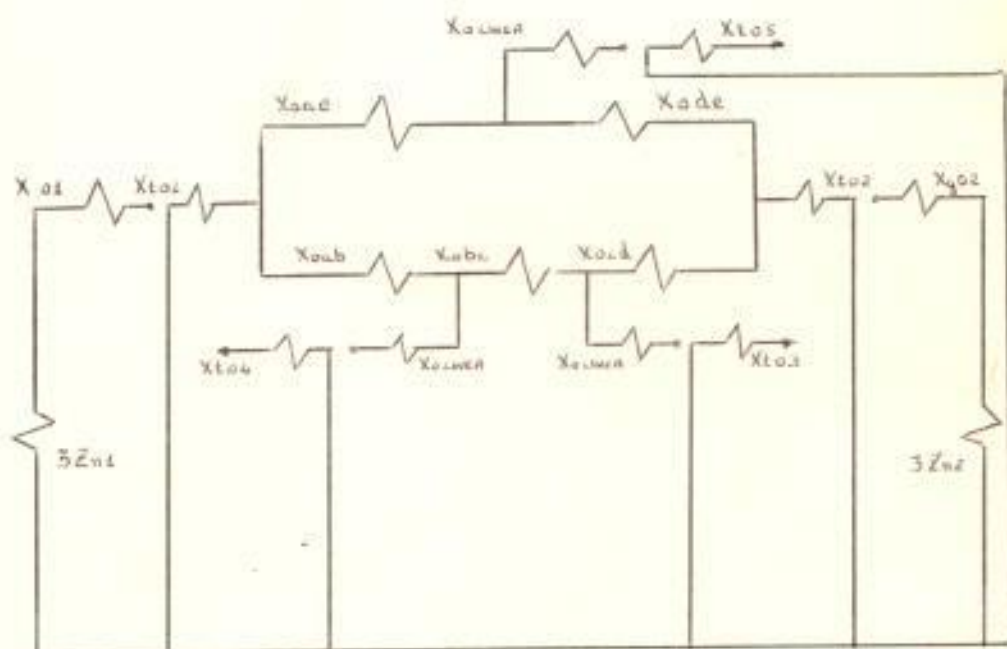
c.- Diagrama de secuencia positiva.



B.- Diagrama de secuencia negativa.

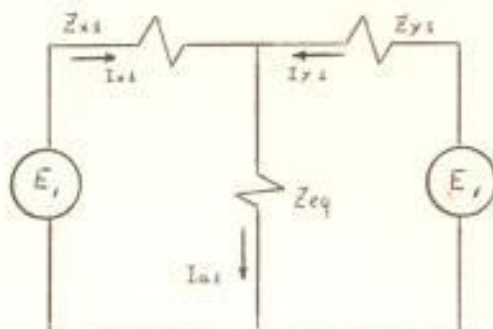


e.- Diagrama de secuencia cero.



f.- Cálculo de las corrientes de falla.

Falla trifásica



$Z_{x1}$  = impedancia desde el generador 1 al punto de falla.(sec.+)

$Z_{y1}$  = impedancia desde el generador 2 al punto de falla.(sec.+)

$Z_{eq}$  = impedancia de falla o equivalente.

Para determinar las corrientes de falla, tenemos:

$$I_{x1} (Z_{x1} + Z_{eq}) + I_{y1} \times Z_{eq} = E_1$$

$$I_{x1} \times Z_{eq} + I_{y1} (Z_{y1} + Z_{eq}) = E_1$$

$$I_{x1} = \frac{\begin{vmatrix} E_1 & Z_{eq} \\ E_1 & (Z_{y1} + Z_{eq}) \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} (Z_{x1} + Z_{eq}) & Z_{eq} \\ Z_{eq} & (Z_{y1} + Z_{eq}) \end{vmatrix}} = \frac{E_1 \times Z_{y1}}{Z_{x1} \times Z_{y1} + Z_{eq}(Z_{x1} + Z_{y1})}$$

$$I_{y1} = \frac{\begin{vmatrix} (Z_{x1} + Z_{eq}) & E_1 \\ Z_{eq} & E_1 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} (Z_{x1} + Z_{eq}) & Z_{eq} \\ Z_{eq} & (Z_{y1} + Z_{eq}) \end{vmatrix}} = \frac{E_1 \times Z_{x1}}{Z_{x1} \times Z_{y1} + Z_{eq}(Z_{x1} + Z_{y1})}$$

$$I_{ai} = I_{x1} + I_{y1} = \frac{E_1 \times (Z_{x1} + Z_{y1})}{Z_{x1} \times Z_{y1} + Z_{eq} (Z_{x1} + Z_{y1})}$$

De donde tenemos:

$$I_{b1} = a^2 I_{a1} = a^2 \frac{E_1 (Z_{x1} + Z_{y1})}{Z_{x1} \times Z_{y1} + Z_{eq} (Z_{x1} + Z_{y1})}$$

$$I_{c1} = a I_{a1}$$

Para los voltajes tenemos:

$$V_{a1} = I_{a1} \times Z_{eq}$$

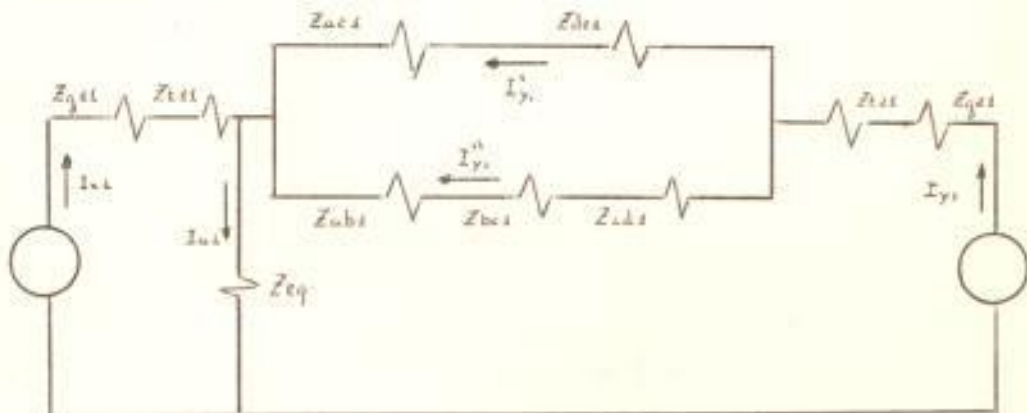
$$V_{a2} = 0$$

$$V_{a0} = 0$$

$$V_{b1} = a^2 V_{a1}$$

$$V_{c1} = a V_{a1}$$

Para la falla en el punto *a*, tenemos:



$$I_{y1}' = I_{y1} \frac{Z_{a11} + Z_{b11} + Z_{d11}}{Z_{a11} + Z_{b11} + Z_{d11} + Z_{a21} + Z_{d21}}$$

$$I_{y1}'' = I_{y1} - I_{y1}'$$

En donde:

$$Z_{x1} = Z_{g11} + Z_{t11}$$

$$Z_{y1} = \frac{(Z_{a11} + Z_{b11} + Z_{c11}) \times (Z_{a21} + Z_{d21})}{Z_{a11} + Z_{b11} + Z_{c11} + Z_{a21} + Z_{d21}} + Z_{t21} + Z_{g21}$$

En donde:

$Z_{g11}$  = impedancia de sec. + del generador 1

$Z_{g21}$  = impedancia de sec. + del generador 2

$Z_{t11}$  = impedancia de sec. + del transformador 1

$Z_{t21}$  = impedancia de sec. + del transformador 2

Las demás impedancias corresponden a los tramos de línea.

Haciendo:

$$K_1 = \frac{(Z_{a11} + Z_{b11} + Z_{c11}) \times (Z_{a21} + Z_{d21})}{Z_{a11} + Z_{b11} + Z_{c11} + Z_{a21} + Z_{d21}}$$

Tenemos:

$$Z_{y1} = K_1 + Z_{t21} + Z_{g21}$$

Luego:

$$I_{y1}' = I_{y1} \times \frac{K_1}{Z_{a21} + Z_{d21}}$$

Para la falla en el punto b tenemos las mismas fórmulas que para la falla en el punto a, pero:

$$Z_{x1} = Z_{g11}$$

$$Z_{y1} = Z_{t11} + K_1 + Z_{t21} + Z_{g21}$$

Para la falla en el punto e, tenemos :



$$Z_{x1} = Z_{g11} + Z_{t11} + K1$$

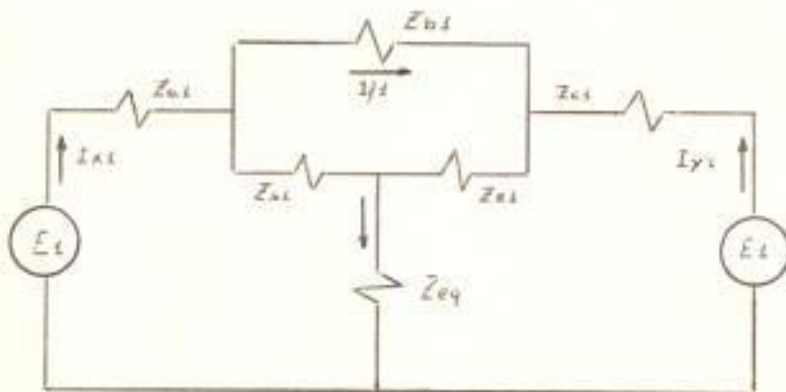
$$Z_{y1} = Z_{t21} + Z_{g21}$$

Para la falla en el punto  $f$ , tenemos :

$$Z_{x1} = Z_{g11} + Z_{t11} + K1 + Z_{t21}$$

$$Z_{y1} = Z_{g21}$$

Para calcular las corrientes de falla en los puntos  $c, d, g$ , tenemos:



$$E1 = I_{x1} \times (Z_{a1} + Z_{s1} + Z_{eq}) - I_{f1} \times Z_{s1} + I_{y1} \times Z_{eq}$$

$$E1 = I_{x1} \times Z_{eq} + I_{f1} \times Z_{r1} + I_{y1} \times (Z_{c1} + Z_{r1} + Z_{eq})$$

$$0 = - I_{x1} \times Z_{s1} + I_{f1} ( Z_{b1} + Z_{r1} + Z_{s1} ) + I_{y1} \times Z_{r1}$$

Luego:

$$I_{x1} = \frac{\begin{vmatrix} E1 & -Z_{s1} & Z_{eq} \\ E1 & Z_{r1} & (Z_{c1} + Z_{r1} + Z_{eq}) \\ 0 & (Z_{b1} + Z_{r1} + Z_{s1}) & Z_{r1} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} (Z_{a1} + Z_{s1} + Z_{eq}) & -Z_{s1} & Z_{eq} \\ Z_{eq} & Z_{r1} & (Z_{c1} + Z_{r1} + Z_{eq}) \\ -Z_{s1} & (Z_{b1} + Z_{r1} + Z_{s1}) & Z_{r1} \end{vmatrix}}$$

$$I_{x1} = \frac{EI(Zr1^2 - (Zc1+Zr1+Zeq)(Zb1+Zr1+Zs1)) + EI(Zs1 \times Zr1 + Zeq(Zb1+Zr1+Zs1))}{(Za1+Zs1+Zeq)(Zr1^2 - (Zc1+Zr1+Zeq)(Zb1+Zr1+Zs1)) + Zeq(Zs1 \times Zr1 + Zeq(Zb1+Zr1+Zs1)) + Za1(Zc1+Zr1+Zeq) + Zeq \times Zr1}$$

$$I_{f1} = \frac{\begin{vmatrix} (Za1 + Zs1 + Zeq) & EI & Zeq \\ Zeq & EI & (Zc1 + Zr1 + Zeq) \\ -Zs1 & 0 & Zr1 \end{vmatrix}}{L} =$$

$$= \frac{(Za1+Zs1+Zeq)(EI \times Zr1) - Zeq(EI \times Zr1) - Zs1(EI(Zc1+Zr1+Zeq) - EI \times Zeq)}{L} =$$

$$= \frac{EI(Zr1 \times Za1 - Zs1 \times Zc1)}{L}$$

$$I_{y1} = \frac{\begin{vmatrix} (Za1 + Zs1 + Zeq) & -Zs1 & EI \\ Zeq & Zr1 & EI \\ -Zs1 & (Zb1 + Zr1 + Zs1) & 0 \end{vmatrix}}{L} =$$

$$= \frac{-EI(Za1(Zb1 + Zr1 + Zs1) + Zb1 \times Zs1)}{L}$$

$$I_{al} = I_{xl} + I_{yl}$$

$$I_{bl} = a^2 I_{al}$$

$$I_{cl} = a I_{al}$$

Para los voltajes tenemos:

$$V_{al} = I_{al} \times Z_{eq}$$

$$V_{bl} = a^2 V_{al}$$

$$V_{cl} = a V_{al}$$

Para el punto de falla d (Fig.3), tenemos:

$$Z_{sl} = Z_{abl} + Z_{bcl}$$

$$Z_{rl} = Z_{cdl}$$

$$Z_{bl} = Z_{ael} + Z_{del}$$

$$Z_{al} = Z_{g1l} + Z_{t1l}$$

$$Z_{cl} = Z_{t2l} + Z_{g2l}$$

Para el punto de falla e (Fig.3), tenemos:

$$Z_{sl} = Z_{abl}$$

$$Z_{rl} = Z_{bcl} + Z_{cdl}$$

$$Z_{bl} = Z_{ael} + Z_{del}$$

$$Z_{al} = Z_{g1l} + Z_{t1l}$$

$$Z_{cl} = Z_{t2l} + Z_{g2l}$$

Para el punto de falla g (Fig.3), Tenemos :

$$Z_{sl} = Z_{ael}$$

$$Z_{rl} = Z_{del}$$

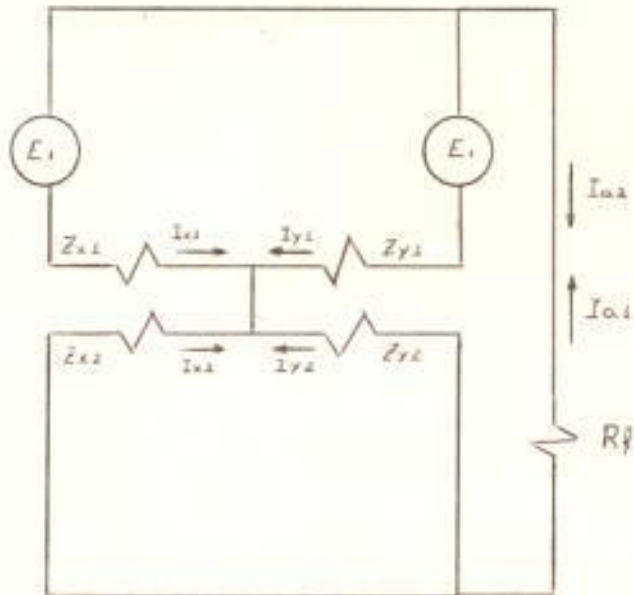
$$Z_{bl} = Z_{abl} + Z_{bcl} + Z_{cdl}$$

$$Z_{al} = Z_{g1l} + Z_{t1l}$$

$$Z_{cl} = Z_{t2l} + Z_{g2l}$$

Falla de línea a línea.

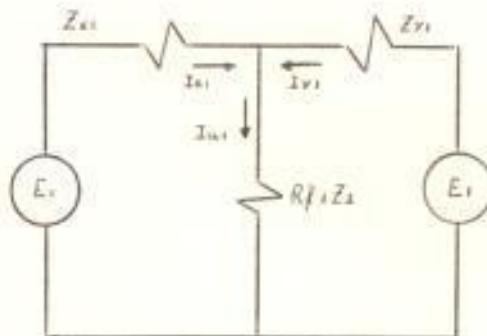
El diagrama de secuencia para falla de línea a línea es:



Si hacemos :

$$Z_2 = \frac{Z_{x2} \times Z_{y2}}{Z_{x2} + Z_{y2}}$$

Podemos simplificar el diagrama de secuencia a:



De donde, podemos utilizar las mismas fórmulas que para la falla trifásica, reemplazando  $Z_{eq}$  por  $R_f + Z_2$ .

Por lo tanto:

$$I_{a1} = \frac{E_1(Z_{x1} + Z_{y1})}{Z_{x1} \times Z_{y1} + (R_f + Z_2)(Z_{x1} + Z_{y1})}$$

$$I_{a2} = - I_{a1}$$

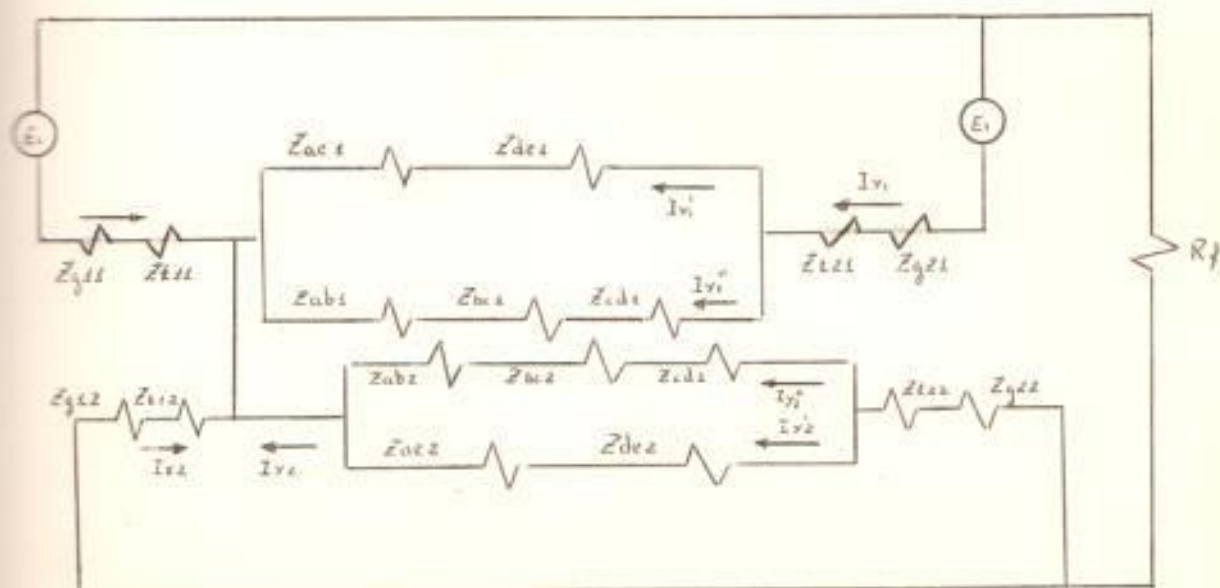
$$I_{x2} = I_{a2} \frac{Z_{y2}}{Z_{x2} + Z_{y2}}$$

$$I_{y2} = I_{a2} \frac{Z_{x2}}{Z_{x2} + Z_{y2}}$$

$$I_{x1} = I_{a1} \frac{Z_{y1}}{Z_{x1} + Z_{y1}}$$

$$I_{y1} = I_{a1} \frac{Z_{x1}}{Z_{x1} + Z_{y1}}$$

Para el punto de falla  $a$ , tenemos:



De donde:

$$I_{y1}' = I_{y1} \frac{Z_{ab1} + Z_{bc1} + Z_{cd1}}{Z_{ab1} + Z_{bc1} + Z_{cd1} + Z_{ae1} + Z_{de1}}$$

$$I_{y1}'' = I_{y1} - I_{y1}'$$

$$I_{y2}' = I_{y2} \frac{Z_{ab2} + Z_{bc2} + Z_{cd2}}{Z_{ab2} + Z_{bc2} + Z_{cd2} + Z_{ae2} + Z_{de2}}$$

$$I_{y2}'' = I_{y2} - I_{y2}'$$

Para este punto de falla:

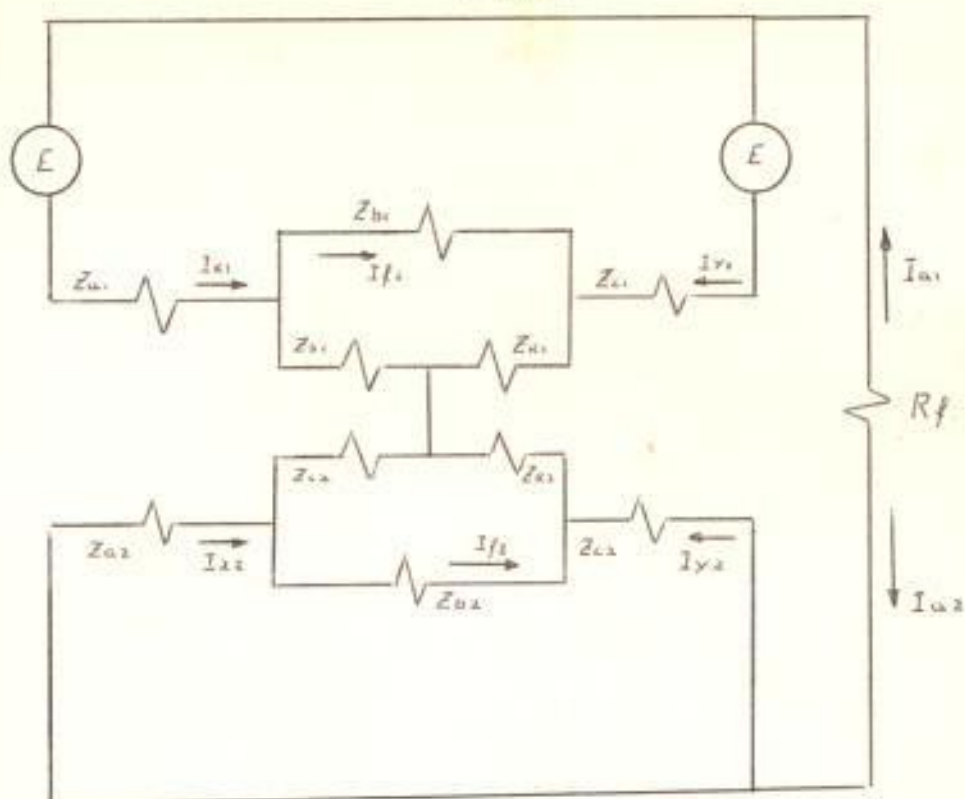
$$Z_{x1} = Z_{g11} + Z_{t11}$$

$$Z_{y1} = K_1 + Z_{t21} + Z_{g21}$$

La impedancia de secuencia negativa están formadas con los mismos componentes pero con sus impedancias de secuencia negativa.

Para los demás puntos de falla  $Z_{x1}$  y  $Z_{y1}$ , son las mismas que para la falla trifásica, mientras que  $Z_{x2}$  y  $Z_{y2}$  están formadas por los mismos componentes que  $Z_{x1}$  y  $Z_{y1}$  pero con las respectivas impedancias de secuencia negativa.

Para determinar las corrientes en los puntos de falla c,d,g,tenemos:



Si hacemos :

$$Z_2 = \frac{(Z_{a2} + Z_{d2}) (Z_{r2} + Z_{e2}) + Z_{f2}}{Z_{a2} + Z_{d2} + Z_{r2} + Z_{b2}}$$

En donde :

$$Z_{d2} = \frac{Z_{a2} \times Z_{b2}}{Z_{a2} + Z_{b2} + Z_{c2}}$$

$$Z_{e2} = \frac{Z_{b2} \times Z_{c2}}{Z_{a2} + Z_{b2} + Z_{c2}}$$

$$Z_{f2} = \frac{Z_{a2} \times Z_{c2}}{Z_{a2} + Z_{b2} + Z_{c2}}$$

Reemplazando  $Z_{eq}$  por  $R_f + Z_2$  podemos utilizar las mismas fórmulas

que han sido desarrolladas para la falla trifásica.

Para determinar la corriente  $I_{x2}$ ,  $I_{y2}$ ,  $I_{f2}$ , tenemos:

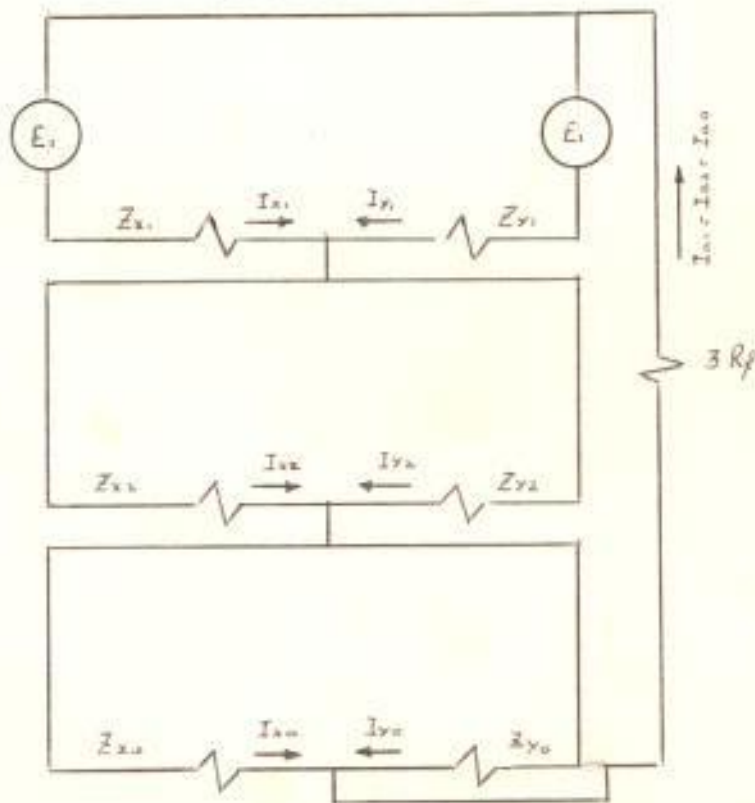
$$I_{x2} = I_{a2} \frac{Z_2 - \frac{Z_{r2} + Z_{e2}}{Z_{s2} + Z_{d2} + Z_{r2} + Z_{e2}} Z_{s2}}{Z_{a2}}$$

$$I_{y2} = I_{a2} - I_{x2}$$

$$I_{f2} = I_{a2} \frac{Z_2 - \frac{Z_{r2} + Z_{e2}}{Z_{s2} + Z_{d2} + Z_{r2} + Z_{e2}} (Z_{s2} + Z_{a2})}{Z_{a2}}$$

Falla de línea a tierra.

Para los puntos de falla a,b,e,f, el diagrama de secuencia es :





Si hacemos:

$$Z_2 = \frac{Z_{x2} \times Z_{y2}}{Z_{x2} + Z_{y2}}$$

$$Z_0 = \frac{Z_{x0} \times Z_{y0}}{Z_{x0} + Z_{y0}}$$

Podemos utilizar las mismas fórmulas que para la falla trifásica, reemplazando  $Z_{eq}$  por  $3R_f + Z_2 + Z_0$

De donde:

$$I_{a1} = \frac{E_1 (Z_{x1} + Z_{y1})}{Z_{x1} \times Z_{y1} + (3R_f + Z_2 + Z_0) (Z_{x1} + Z_{y1})}$$

$$I_{a2} = I_{a0} = I_{a1}$$

También tenemos que:

$$I_{x1} = I_{a1} \frac{Z_{y1}}{Z_{x1} + Z_{y1}}$$

$$I_{y1} = I_{a1} \frac{Z_{x1}}{Z_{x1} + Z_{y1}}$$

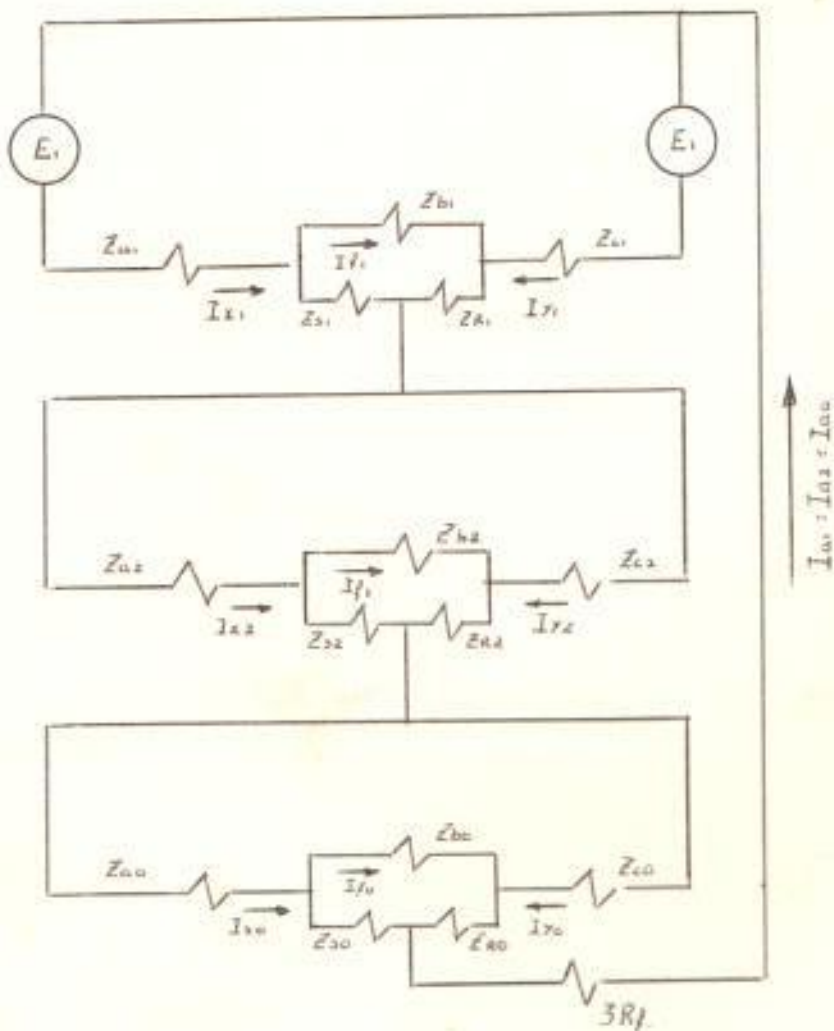
$$I_{x2} = I_{a2} \frac{Z_{y2}}{Z_{x2} + Z_{y2}}$$

$$I_{y2} = I_{a2} \frac{Z_{x2}}{Z_{x2} + Z_{y2}}$$

$$I_{x0} = I_{a0} \frac{Z_{y0}}{Z_{x0} + Z_{y0}}$$

$$I_{y0} = I_{a0} \frac{Z_{x0}}{Z_{x0} + Z_{y0}}$$

Para determinar las corrientes de falla en los puntos c,d,g,  
tenemos:



Si hacemos:

$$Z_2 = \frac{(Z_{s2} + Z_{d2})(Z_{r2} + Z_{e2})}{Z_{s2} + Z_{d2} + Z_{r2} + Z_{e2}} + Z_{f2}$$

En donde  $Z_{d2}$ ,  $Z_{e2}$ ,  $Z_{f2}$ , son iguales a los valores obtenidos para la falla de línea a línea en los respectivos puntos.

$$Z_0 = \frac{(Z_{s0} + Z_{d0})(Z_{r0} + Z_{e0})}{Z_{s0} + Z_{d0} + Z_{r0} + Z_{e0}} + Z_{f0}$$

En donde :

$$Z_{d0} = \frac{Z_{a0} \times Z_{b0}}{Z_{a0} + Z_{b0} + Z_{c0}}$$

$$Z_{e0} = \frac{Z_{b0} \times Z_{c0}}{Z_{a0} + Z_{b0} + Z_{c0}}$$

$$Z_{f0} = \frac{Z_{a0} \times Z_{c0}}{Z_{a0} + Z_{b0} + Z_{c0}}$$

Podemos utilizar las mismas fórmulas que han sido obtenidas para la falla trifásica reemplazando  $Z_{eq}$  por  $3R_f + Z_2 + Z_0$  y de esta manera obtener  $I_{a1}$ ,  $I_{x1}$ ,  $I_{y1}$ ,  $I_{f1}$ .

Ahora vamos a desarrollar las fórmulas para obtener  $I_{x2}$ ,  $I_{y2}$ ,  $I_{f2}$ .

$$I_{x2} = I_{a2} \frac{Z_2 - \frac{Z_{r2} + Z_{e2}}{Z_{s2} + Z_{d2} + Z_{r2} + Z_{e2}} Z_{s2}}{Z_{a2}}$$

$$I_{y2} = I_{a2} - I_{x2}$$

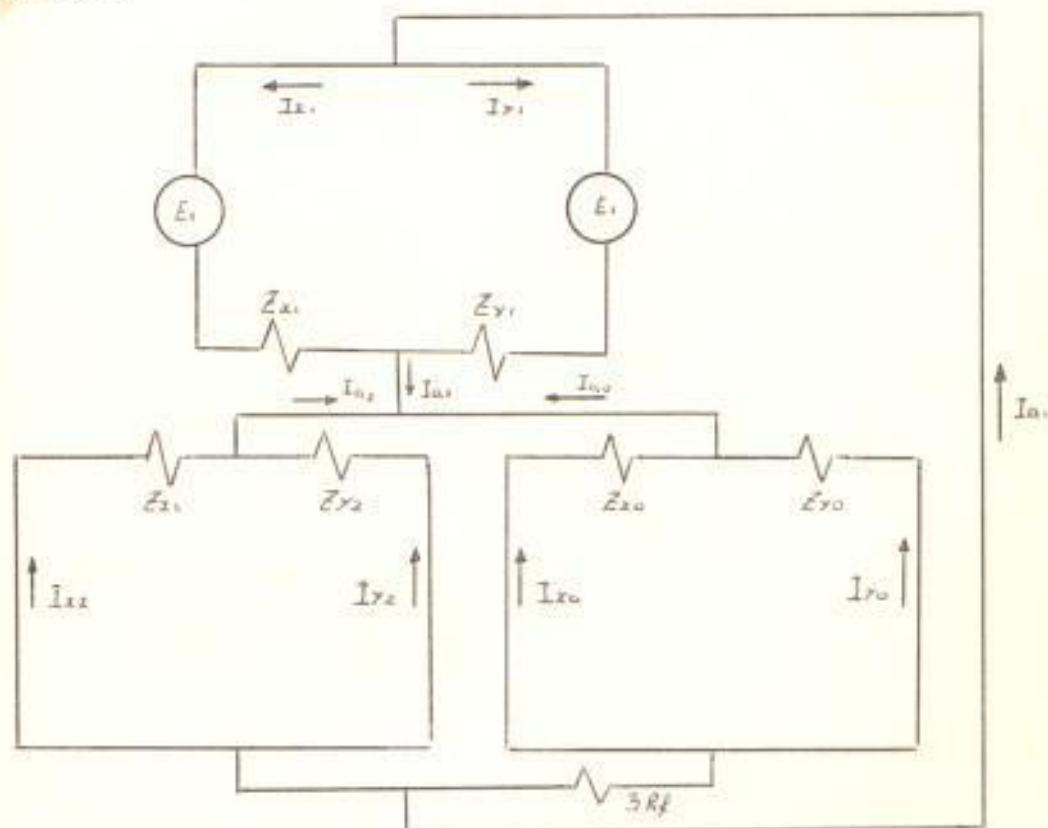
$$I_{f2} = I_{a2} \frac{Z_{r2} + Z_{e2}}{Z_{s2} + Z_{d2} + Z_{r2} + Z_{e2}} (Z_{s2} + Z_{a2})$$

$$Z_{f2} = \frac{Z_{a2}}{Z_{s2} + Z_{d2} + Z_{r2} + Z_{e2}}$$

$I_{x0}$ ,  $I_{y0}$ ,  $I_{f0}$ , están formadas por las mismas componentes que  $I_{x2}$ ,  $I_{y2}$ ,  $I_{f2}$ , pero con sus respectivas impedancias de secuencia cero.

Falla de dos líneas a tierra.

Para determinar la corriente de falla en los puntos a, b, e, f, tenemos:



Si hacemos:

$$Z_{f2} = \frac{Z_{x2} \times Z_{y2}}{Z_{x2} + Z_{y2}}$$

$$Z_{f0} = \frac{Z_{x0} \times Z_{y0}}{Z_{x0} + Z_{y0}}$$

Podemos utilizar las mismas fórmulas que han sido obtenidas para la falla trifásica reemplazando  $Z_{eq}$  por  $Z_2 (Z_0 + 3R_f) / (Z_2 + Z_0 + 3R_f)$

De donde :

$$I_{a1} = \frac{E_1 \times (Z_{x1} + Z_{y1})}{Z_{x1} \times Z_{y1} + \frac{Z_2(Z_0 + 3R_f)}{Z_2 + Z_0 + 3R_f} (Z_{x1} + Z_{y1})}$$

$$I_{a2} = - I_{a1} \frac{Z_0 + 3R_f}{Z_2 + Z_0 + 3R_f}$$

$$I_{a0} = - I_{a1} \frac{Z_2}{Z_2 + Z_0 + 3R_f}$$

$$I_{x1} = I_{a1} \frac{Z_{y1}}{Z_{x1} + Z_{y1}}$$

$$I_{y1} = I_{a1} \frac{Z_{x1}}{Z_{x1} + Z_{y1}}$$

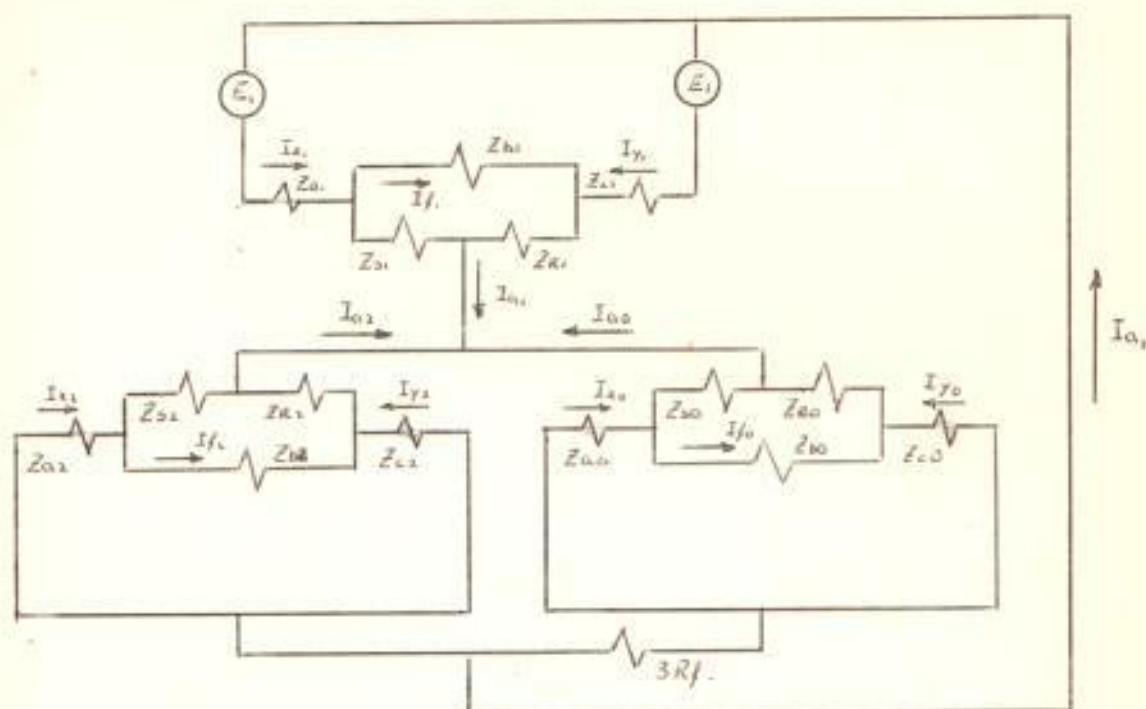
$$I_{x2} = I_{a2} \frac{Z_{y2}}{Z_{x2} + Z_{y2}}$$

$$I_{y2} = I_{a2} \frac{Z_{x2}}{Z_{x2} + Z_{y2}}$$

$$I_{x0} = I_{a0} \frac{Z_{y0}}{Z_{x0} + Z_{y0}}$$

$$I_{y0} = I_{a0} \frac{Z_{x0}}{Z_{x0} + Z_{y0}}$$

Para obtener las fallas en los puntos c,d,g, tenemos:



Podemos utilizar las mismas fórmulas obtenidas para la falla trifásica si reemplazamos:

$$Z_{eq} = \frac{Z_2(Z_0 + 3R_f)}{Z_2 + Z_0 + 3R_f}$$

En esta falla :

$$I_{a2} = - I_{a1} \frac{Z_0 + 3R_f}{Z_2 + Z_0 + 3R_f}$$

$$I_{a0} = - I_{a1} \frac{Z_2}{Z_2 + Z_0 + 3R_f}$$

Para obtener  $I_{a1}$ ,  $I_{c1}$ ,  $I_{y1}$ ,  $I_{f1}$ ,  $I_{x2}$ ,  $I_{y2}$ ,  $I_{f2}$ ,  $I_{x0}$ ,  $I_{y0}$ ,  $I_{f0}$ , podemos aplicar las mismas fórmulas obtenidas para la falla de línea a tierra .

FALLA TRIFASICA

MAXIMA GENERACION

<u>PUNTO</u>	<u>Ia1</u>	<u>Ia2</u>	<u>Ia3</u>	<u>Iv1</u>	<u>Iv1'</u>	<u>Iv1''</u>	<u>Iv1'''</u>
a	2,160	1,300	860	580	280	--	--
b	4,800	4,200	600	387	213	--	--
c	2,050	1,220	830	--	--	-193	
d	1,820	1,060	760	--	--	305	
e	2,120	1,220	900	-810	-410	--	--
f	2,150	890	1,260	-590	-300	--	--
g	2,150	1,270	880	--	--	-143	

FALLA TRIFASICA

MINIMA GENERACION

<u>PUNTO</u>	<u>Ia1</u>	<u>Ix1</u>	<u>Iv1</u>	<u>Iy1'</u>	<u>Iy1''</u>	<u>Ic1</u>
a	1.790	930	860	570	290	--
b	2.520	1.920	600	375	225	--
c	1.740	900	840	--	--	-251
d	1.740	880	860	--	--	210
e	1.810	900	910	-600	-300	--
f	1.960	710	1.250	-475	-235	--
g	1.780	940	840	--	--	-168



FALLA DE LINEA A TIERRA

MAXIMA GENERACION

<u>PUNTO</u>	<u>Ia1</u>	<u>Ix1</u>	<u>Iy1</u>	<u>Iv1'</u>	<u>Iv1"</u>	<u>If1</u>	<u>Ix2</u>	<u>Iy2</u>	<u>Iy2'</u>	<u>Iy2"</u>	<u>If2</u>	<u>Ix2</u>	<u>Iy2</u>	<u>Iy2'</u>	<u>Iy2"</u>	<u>Ifo</u>
a	865	517	348	243	105	--	517	348	243	105	--	461	404	265	139	--
b	1.460	1.290	170	121	49	--	1.290	170	121	49	--	1.460	--	--	--	--
c	820	456	364	--	--	-74,5	456	364	--	--	-74,5	384	436	--	--	-147
d	745	428	317	--	--	127	428	317	--	--	127	278	467	--	--	19
e	874	500	374	-333	-167	--	500	374	-333	-167	--	263	611	-174	-89	--
f	577	242	335	-162	-80	--	242	335	-162	-80	--	--	577	--	--	--
g	716	424	292	--	--	-48,2	424	292	--	--	-48,2	352	364	--	--	-71

FALLA DE LINEA A TIERRA

MINIMA GENERACION

<u>PUNTO</u>	<u>Ia1</u>	<u>Ia1</u>	<u>Ia1</u>	<u>Ia1'</u>	<u>Ia1"</u>	<u>Ia1</u>	<u>Ia2</u>	<u>Ia2</u>	<u>Ia2'</u>	<u>Ia2"</u>	<u>Ia2</u>	<u>Ia2</u>	<u>Ia2</u>	<u>Ia2'</u>	<u>Ia2</u>	<u>Ia2</u>	<u>Ia2</u>	<u>Ia2</u>	<u>Ia2</u>
a	745	388	357	238	119	-.-	388	357	238	119	-.-	398	347	229	118	-.-	-.-	-.-	-.-
b	760	583	177	119	58	-.-	583	177	119	58	-.-	760	-.-	-.-	-.-	-.-	-.-	-.-	-.-
c	680	352	328	-.-	-.-	-99	352	328	-.-	-.-	-99	320	360	-.-	-.-	-.-	-122	-.-	-.-
d	675	342	333	-.-	-.-	81,5	342	333	-.-	-.-	81,5	250	425	-.-	-.-	-.-	18	-.-	-.-
e	765	380	385	-254	-126	-.-	380	385	-254	-126	-.-	116	649	-76	-40	-.-	-.-	-.-	-.-
f	550	200	350	-134	-66	-.-	200	350	-134	-66	-.-	-.-	550	-.-	-.-	-.-	-.-	-.-	-.-
g	712	375	337	-.-	-.-	-66	375	337	-.-	-.-	-66	346	366	-.-	-.-	-.-	-73	-.-	-.-

ESTUDIO Y SELECCION DE LOS RELES Y DE LOS TRANSFORMADORES DE CORRIENTE  
Y POTENCIAL PARA LA PROTECCION

En el presente tema vamos a tratar sobre los problemas ocasionados por una falla en las diferentes partes que conforman un sistema de potencia y el comportamiento de los relés durante la existencia de esta falla.

Las partes componentes de un sistema de potencia son:

- a.- Generadores
- b.- Barras
- c.- Transformadores
- d.- Línea de transmisión.

Por lo tanto vamos a tratar sobre la protección de cada una de estas partes.

a.- Protección de los generadores.- En el sistema de transmisión a 69 Kv. propuesto por la Empresa Eléctrica del Ecuador Inc. y del que ya hemos hablado anteriormente, solo existe una unidad generadora adicional a las ya existentes, por lo tanto debemos estudiar solamente la protección de este generador.

De todas las partes componentes de un sistema eléctrico el generador es la más cara y la que está sujeta a mayor clases de problemas, por lo tanto es la que debe estar mayormente protegida. Al mismo tiempo la selección de la protección del generador debe ser lo

más cuidadosa posible debido a que cualquier operación falsa del relés o que alguno falle a operar, puede llegar a sobrecargar los restantes generadores del sistema y causar al mismo tiempo oscilaciones de potencia, del otro lado una falta de esclarecimiento de una falla puede causar grandes daños al generador.

Las diferentes fallas existentes y de las cuales debe ser protegido el generador son:

- 1.- Cortocircuitos en los embobinados del estator.
- 2.- Sobrecalentamiento del estator.
- 3.- Falla a tierra del campo.
- 4.- Pérdida del campo .
- 5.- Sobrevoltajes.
- 6.- Motorización.
- 7.- Corrientes desbalanceadas.

1.- Protección contra cortocircuitos en los embobinados del estator.- Es práctica común que los generadores, cuya capacidad sea mayor de 10.000 Kva., sean protegidos por medio de relés diferenciales, los cuales se basan en la comparación de la corriente que entra a la sección protegida con la corriente que sale de la misma.

Todo relé diferencial utilizado para la protección de generadores deberá operar para:

- a.- Cualquier falla interna del generador, excepto para fallas de vuelta a vuelta en la misma fase.

- b.- Cortocircuitos a tierra en cualquier parte del generador excepto en una pequeña porción cerca al neutro del generador.

También debemos decir que un relé diferencial no deberá operar para:

- a.- Fallas de vuelta a vuelta en la misma fase del generador.
- b.- Para circuitos abiertos.
- c.- Para corrientes de gran magnitud causadas por fallas externas a la sección protegida.

Como hemos explicado anteriormente todo relé diferencial se basa en la comparación de la corriente que entra a la sección protegida con la corriente que sale de la misma, por lo tanto para cualquier falla interna, en el generador, ya sea ésta entre fases o con tierra, se producirá un desbalance entre estas dos corrientes que podrían hacer funcionar el relé. Cuando existe una falla entre vueltas de la misma fase del generador no existirá una diferencia entre las dos corrientes y por lo tanto el relé no funcionará, pero al mismo tiempo debemos decir, que los generadores modernos para turbinas a vapor son construídos con solamente una vuelta por ranura, de donde antes que exista una falla de vuelta a vuelta deberá producirse una falla de línea a tierra, que ésta si detecta el relé diferencial.

Durante una falla externa, al generador, por los transformadores de corriente, existentes en los lados opuestos de ca-

da embobinado del generador, pasará una corriente de gran magnitud, lo que producirá una diferencia en la exactitud de los transformadores de corriente, debido a la diferencia de longitud de los secundarios y a que los transformadores de corriente, aunque sean del mismo tipo, nunca tienen la misma curva de magnetización lo que provocará que uno se sature antes que el otro, por lo tanto deberá pasar una corriente por la bobina de operación del relé y si éste es muy grande podrá hacer operar el relé incorrectamente.

Para la protección de este generador es conveniente utilizar un relé diferencial similar al tipo HA, fabricado por la Westinghouse, el cual elimina el problema causado por la diferencia de exactitud de los transformadores de corriente para una falla externa.

La máxima corriente para este generador es:

$$I_{\text{max.}} = \frac{22.000}{1,73 \times 13,8} = 920 \text{ amp.}$$

Por lo tanto los transformadores de corriente deberán tener una relación de 1.000 / 5.

- 2.- Protección contra sobrecalentamiento del estator.- El sobrecalentamiento del estator puede ser detectado por una resistencia colocada en el embobinado del mismo y que al mismo tiempo forme parte de uno de los brazos de un puente de Wheatstone.

En nuestro caso, en el que va a existir un operador que se encuentra vigilando constantemente el tablero de instrumentos del generador, podríamos instalar un relé similar al BT3 fabricado por la Westinghouse, para hacer funcionar una alarma.

Para fijar este relé es conveniente atenerse a las especificaciones del generador.

3.- Protección contra fallas a tierra del campo.- Una falla a tierra del campo no produce ningún efecto, ya que el circuito del campo no está puesto a tierra, pero la existencia de una segunda falla a tierra del campo puede cortocircuitar una gran parte de las vueltas del embobinado creando un desbalance en el flujo del entrehierro lo cual podría hacer torcer el eje del rotor. Al mismo tiempo, una segunda falla puede no cortocircuitar las suficientes vueltas para producir lo anteriormente especificado, pero el arco que produce puede sobrecalentar una parte del rotor.

Para la protección contra esta clase de daños se deberá utilizar un relé similar al DGF fabricado por la Westinghouse.

Para la utilización de esta protección es necesario instalar una escobilla en el eje del rotor. La utilización de esta escobilla es necesaria para proveer una menor resistencia a tierra y al mismo tiempo para proteger los cojinetes.

4.- Protección contra la pérdida de campo.- Cuando un generador ha

perdido la corriente que produce el campo en el rotor y si se sigue aplicando la misma potencia mecánica al generador, el rotor se acelera girando sobre la velocidad sincrónica, lo cual hará que el generador sincrónico funcione como un generador de inducción.

El generador sincrónico funcionando como generador de inducción en lugar de suplir potencia inductiva al sistema, absorbe potencia inductiva del sistema a través de los embobinados del estator.

Estas corrientes en el estator inducirán corrientes en los dientes del rotor, las cuales podrán dañar el generador si son permitidas durante cierto tiempo.

Otro problema resultante de la pérdida de campo es que se puede producir un bajo voltaje del sistema, el cual si es bastante grande puede producir inestabilidad entre los generadores, pero si el bajo voltaje no es lo suficientemente grande el sistema de excitación puede ser restaurado produciendo un disturbio mínimo al sistema. El campo de la máquina, que ha perdido momentáneamente la excitación, podrá ser reaplicado sin peligro mientras la máquina está operando como un generador de inducción. Por lo tanto, si la pérdida de excitación se ha producido por un error de operación, o si una fuente de excitación alternada es disponible, el campo puede ser reaplicado y la máquina podrá ser puesta en sincronismo.

Para la protección de este generador es conveniente utili-



zar un relé similar al KLF - 1 fabricado por la Westinghouse - el cual: a.- alertará al operador si existe cualquier pérdida o baja excitación, dándole tiempo para corregir esta condición; b.- dispara al generador.

Este tipo de relé tiene un rango de 69 V. de fase aneutro y 5 amperios.

De donde:

$$\begin{aligned} R_c &= \text{Radio del transformador de corriente} = \\ &= \frac{1,000}{5} = 200 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_v &= \text{Radio del transformador de potencial} = \\ &= \frac{13,800}{120} = 115 \end{aligned}$$

Para fijar este relé vamos a proceder por el método recomendado por la Westinghouse en su boletín descriptivo 41-745A pag. 10.

En donde: se recomienda que  $Z_a$  (impedancia de largo alcance) = 1,68 pu. y  $Z_c$  (impedancia de corto alcance) =  $2R - Z_a$ , en donde  $R$  = radio del círculo de capacidad en el diagrama  $R - X$ .

Por lo tanto:

$$Z_a = 1,68 \text{ pu.}$$

$$Z_c = 2R - Z_a = 2 \times 0,94 - 1,68 = 0,2 \text{ pu.}$$

$$R = 0,94 \quad (\text{recomendado por la Westinghouse})$$

Para nuestro generador:

$$\begin{aligned} Z \text{ base} &= \frac{1.000 \times K_v^2 \times R_c}{K_{va} \times R_v} \\ &= \frac{1.000 \times 13,8^2 \times 200}{22.000 \times 115} = 15,1 \text{ ohm.} \end{aligned}$$

De donde:

$$Z_a = 15,1 \times 1,68 = 25,4 \text{ ohm.}$$

$$Z_c = 15,1 \times 0,20 = 3,02 \text{ ohm.}$$

Para poder fijar estos valores de  $Z_a$  y  $Z_c$  en el relé tenemos:

- 1.- Utilizar el valor mas bajo del tap de  $S_a$  de tal manera que  $1,6 Z_a$  sea mayor que  $Z_a$ .  
Luego tenemos que poner el tap de  $S_a$  en dos.
- 2.- El tap de  $T_a$  más cercano a  $25,4 / 2 = 12,7 (Z_a/S_a)$ , es  $T_a = 11,5$ , luego tenemos que poner el tap de  $T_a$  en este valor.
- 3.- Debemos seleccionar un valor de  $M_a$  de tal manera que sea lo más cercano posible a:

$$M_a = \frac{T_a \times S_a}{Z_a} - 1 = \frac{11,5 \times 2}{25,4} - 1 = - 0,095$$

Luego tenemos que utilizar el tap  $M = - 0,09$ .

Para fijar el valor de  $Z_c = 3,02$  tenemos que seguir los mismos pasos que para fijar  $Z_a$ , de donde:

1.- El más bajo de tap de  $Sc$  para que  $\delta Sc$  sea mayor que  $Z_c$  es 1.

Luego tenemos que poner el tap de  $Sc$  en 1.

2.- El tap de  $Tc$  más cercano a  $3,02 / 1$  es 2,55

Luego tenemos que poner el tap de  $Tc$  en 2,55

3.- Debemos seleccionar un valor de  $Mc$  de tal manera que sea lo más cercano posible a:

$$Mc = \frac{Tc \times Sc}{Zc} - 1 = \frac{2,55 \times 1}{3,02} - 1 = - 0,155$$

Luego tenemos que poner el tap de  $Mc$  en  $- 0,15$ .

5.- Protección contra sobrevoltajes.- No se va a proteger el generador contra sobrevoltajes, puesto que la causa para que exista esta condición, además de las descargas atmosféricas y efectos transientes, está relacionada con la velocidad o con una falla del regulador de voltaje.

Cuando un generador, guiado por una turbina a vapor, ha perdido carga, la entrada de vapor puede ser disminuída antes de que se produzca una sobrevelocidad por medio de un mecanismo centrífugo operando en el eje del rotor y cualquier sobrevoltaje asociado con la sobrevelocidad puede ser controlado por el re-

gulador de voltaje.

- 6.- Protección contra la motorización.- La motorización ocurre por una deficiencia de la fuerza motriz del generador. Cuando un generador está trabajando como motor se produce un sobrecalentamiento en la turbina, el cual es debido a que no pasa por ella el suficiente vapor para sobrellevar el calor producido.

Como hemos explicado anteriormente, cuando ocurre motorización, se produce un sobrecalentamiento, por lo tanto la protección contra la motorización es principalmente para la turbina.

En nuestro caso podríamos utilizar un relé de potencia inversa similar al GRN-1 fabricado por la Westinghouse. Este relé tiene un mecanismo de retardo de tiempo con tap del 1 al 10 el cual lo podríamos fijar en el tap #6 para prevenir una falsa operación durante la sincronización o disturbios del sistema.

- 7.- Protección contra corrientes desbalanceadas.- Durante la ocurrencia de una falla desbalanceada, en el sistema, se producen corrientes de secuencia negativa que son suministradas por el generador. Estas corrientes de secuencia negativa, inducen en el rotor corrientes de 120 ciclos, causando sobrecalentamiento de éste.

Para la protección, contra este tipo de falla, debe utilizarse un relé similar al COQ fabricado por la Westinghouse, el cual es un relé de secuencia negativa.

Para obtener el fijamiento de este relé, es necesario - atenerse a las especificaciones (  $I_2^2 t$  permisible ) del generador.

b.- Protección de las barras.- Aunque en nuestro sistema las barras - están protegidas ya sea, por los relés sobrecorrientes de la línea o por los relés de secuencia negativa del generador, vamos a proceder a protegerlas por medio de relés diferenciales similares al - CA-6 fabricado por la Westinghouse, ya que los relés de sobrecorriente o de secuencia negativa deben tener un retardo de tiempo para - poder ser coordinados con los relés de las alimentadoras.

c.- Protección de los transformadores.- Las fallas internas de un transformador pueden ser divididas en:

- 1.- Falla de fase a fase o fase a tierra en los terminales externos, ya sea en el lado de alta o de baja tensión.
- 2.- Falla de fase a fase o fase a tierra en los embobinados.
- 3.- Cortocircuitos entre los embobinados de alta y baja - tensión.
- 4.- Falla en el sistema de enfriamiento , la cual causa una elevación del temperatura.
- 5.- Fallas en las conexiones eléctricas.

De todas las fallas anteriormente nombradas, las tres primeras pueden ser detectadas por un desbalance de corriente, mientras

que las dos últimas puede ser detectadas por medio de una elevación de temperatura.

Al mismo tiempo tenemos que decir que la protección adoptada para las fallas detectadas por un desbalance de corriente no va a ser capaz de detectar las otras fallas, del otro lado la protección aplicada a las fallas que pueden ser detectadas por medio de una elevación de temperatura no pueden necesariamente detectar las fallas del otro grupo. Por lo tanto la protección de las fallas que pueden ser detectadas por una elevación de temperatura deberá ser tratada como un suplemento de la otra protección y así viceversa.

Para las fallas que pueden ser detectadas por una elevación de temperatura es práctica común, en los transformadores fabricados en los E.E.U.U. , utilizar un relé de presión repentina (S.P.R.) , el cual es colocado en el tanque y cuya operación está basada en la razón del incremento de la presión. La operación de este relé podrá hacer operar los ventiladores adicionales del transformador y al mismo tiempo hacer sonar una alarma.

Para las fallas que pueden ser detectadas por un desbalance de corriente, es práctica común, para transformadores mayores de 1.000 Kva. , utilizar la protección diferencial, aunque estos relés no puedan ser tan sensitivos como en el caso de los relés diferenciales para la protección de generadores debido a:

- 1.- Característica de los transformadores de corriente.
- 2.- Cambio de relación como un resultado del cambio de tap

### 3.- Corriente de magnetización.

Para la protección de los tres transformadores, que todavía no han sido protegidos, vamos a utilizar relés diferenciales similares al HU fabricado por la Westinghouse, el cual tiene restricción de armónica y restricción de porcentaje variable. Como los tres transformadores son delta-Y, los transformadores de corriente en el lado delta deben ser conectados en Y, y los del lado Y deben ser conectados en delta.

Ahora vamos a proceder a fijar los taps de los relés diferenciales:

- 1.- Subestación de 25 Mva. de 13,2 a 67 Kv., el lado de 13,2 Kv. está conectado en delta y el lado de 67 Kv. esta conectado en Y.

Para proceder a determinar la relación de los transformadores de corriente y los taps del relé, tenemos:

En el lado de 13,2 Kv., tenemos:

$$I_p = \frac{25.000}{1,73 \times 13,2} = 1.090 \text{ amp.}$$

De donde, el radio del transformador de corriente debe ser 1.200/5.

Con esta relación, la corriente en el secundario del transformador de corriente, es:

$$I_s = \frac{1.090}{240} = 4,55 \text{ amp.}$$

Como en este lado los transformadores de corriente están conectados en Y, la corriente que entra al relé es:

$$I_r = 4,55 \text{ amp.}$$

Luego, el tap que podemos utilizar es el 5.

En el lado de 67 Kv. , tenemos

$$I_p = \frac{25.000}{1,73 \times 67} = 216 \text{ amp.}$$

De donde, la relación del transformador de corriente debe ser 250/5.

Con esta relación , la corriente en el secundario del transformador de corriente , es :

$$I_s = \frac{216}{50} = 4,32 \text{ amp.}$$

Como en este lado los transformadores de corriente están conectados en delta, la corriente que entra al relé es:

$$I_r = 4,32 \times 1,73 = 7,5 \text{ amp.}$$

De donde vemos que el tap que deberíamos utilizar es:

$$T \text{ tap} = \frac{7,5}{4,55} \times 5 = 8,25$$

Luego, podemos utilizar el tap 8,7 .



Con el tap anteriormente fijado el porcentaje de diferencia es:

$$\% \text{ diferencia} = 100 \frac{\frac{4,55}{7,25} - \frac{5}{8,7}}{\frac{5}{8,7}} = 5,2\%$$

2.- Subestación de 12 Mva (Fig.3) , de 67 Kv. a 13,8 Kv., el lado del 13,8 Kv. está conectado en Y y el lado de 67 Kv. está conectado en delta,

Para proceder a terminar la relación de los transformadores de corriente y los taps del relé, tenemos:

En el lado de 67 Kv., tenemos:

$$I_p = \frac{12.000}{1,73 \times 67} = 100 \text{ amp.}$$

De donde, la relación del transformador de corriente debe ser 100/5.

Con esta relación, la corriente en el secundario del transformador de corriente es :

$$I_s = \frac{100}{20} = 5,00 \text{ amp.}$$

Como en este lado los transformadores de corriente están conectados en Y, la corriente que entra al relé es :

$$I_r = 5,00 \text{ amp.}$$

Luego el tap que podemos utilizar es el 5.

En el lado de 13,8 Kv., tenemos:

$$I_p = \frac{12.000}{1,73 \times 13,8} = 500 \text{ amp.}$$

De donde la relación del transformador de corriente debe ser 500/5.

Con esta relación, la corriente en el secundario del transformador de corriente es:

$$I_s = 5,00 \text{ amp.}$$

Como en este lado los transformadores de corriente están conectados en delta, la corriente que entra al relé es:

$$I_r = 5,00 \times 1,73 = 8,7 \text{ amp.}$$

Luego el tap que podemos utilizar es el 8,7

Con el tap anteriormente fijado, el porcentaje de diferencia es:

$$\% \text{ diferencia} = 100 \frac{\frac{8,7}{5,00} - \frac{8,7}{5}}{\frac{8,7}{5}} = 0\%$$

3.- Subestación de 5 Mva. de 67 Kv. a 4,16 Kv., el lado de 4,16

está conectado en Y y el lado de 67 Kv. está conectado en delta.

Para proceder a determinar la relación de los transformadores de corriente y los taps del relé, tenemos:

En el lado de 67 Kv., tenemos:

$$I_p = \frac{5.000}{1,73 \times 67} = 42 \text{ amp.}$$

De donde, la relación de los transformadores de corriente debe ser 50/5.

Con este ratio, la corriente en el secundario de transformador de corriente es:

$$I_s = \frac{42}{10} = 4,2 \text{ amp.}$$

Como en este lado, los transformadores de corriente están conectados en Y la corriente que entra al relé es :

$$I_r = 4,2 \text{ amp.}$$

Luego, podemos utilizar el tap 5.

En el lado de 4,16 Kv. , tenemos;

$$I_p = \frac{5.000}{1,73 \times 4,16} = 695 \text{ amp.}$$

De donde, la relación de los transformadores de corriente debe ser 800 / 5.

Con esta relación, la corriente en el secundario del transformador de corriente es :

$$I_s = \frac{695}{160} = 4,35 \text{ amp.}$$

Como en este lado, los transformadores de corriente están conectados en delta, la corriente que entra al relé es:

$$I_r = 4,35 \times 1,73 = 7,5 \text{ amp.}$$

De donde vemos, que el tap que debemos utilizar es:

$$T \text{ tap} = \frac{7,5}{4,2} \times 5 = 8,95$$

Luego, podemos utilizar el tap 8,7 .

En el tap anteriormente fijado, el porcentaje de diferencia es:

$$\% \text{ diferencia} = 100 \frac{\frac{7,5}{4,2} - \frac{8,7}{5}}{\frac{8,7}{5}} = 2,87$$

Los transformadores de corriente, para la protección de estos transformadores de potencia, deben ser instalados con taps, tanto de subida como de bajada.

d.- Protección de las líneas.- Analizando las principales clases de protección de fase para las líneas de transmisión, podemos llegar a la conclusión que, en nuestro sistema, la más conveniente es la protección por medio de relés de distancia, por cuanto:

- 1.- los relés de sobrecorriente, a pesar de ser los más baratos y simples, no se justifican en un sistema de malla cerrada puesto que son muy difíciles de coordinar, pero, suponiendo el caso en que se podría llegar a la coordinación, todavía nos tropezamos con la dificultad de que con cualquier cambio en el sistema tendríamos que cambiar algunos de estos relés para poder obtener la coordinación.
- 2.- La protección por medio de relé piloto es muy cara, por lo tanto, no se justifica económicamente en nuestro sistema.

Para los relés de fase # 1 al 12 (Fig.3), se deben utilizar relés de distancia similares al KD-4, para las zonas 1 y 2, y al KD-4-1, para la zona 3, fabricados por la Westinghouse. Estos relés son trifásicos y cada uno de ellos cubre una sola zona.

Los transformadores de corriente, para estos relés, deben tener una relación de 300/5. Dicha relación no ha sido escogida por la carga existente en la línea, sino, para obtener un buen fijamiento de los relés de distancia.

Para los relés 13 al 15 (Fig.3) ya sea para fase o tierra, se deben utilizar relés de sobrecorrientes similares al CO-11 fabricado por

la Westinghouse. Estos mismos relés deben ser utilizados para cada una de las alimentadoras.

Los transformadores de corriente para estos relés deben tener los siguientes taps: 50 - 100 - 150 - 200 - 250 - 300 a 5.

El fijamiento de los relés de las alimentadoras, no va a ser dado ya que éstos deben ser coordinados con los correspondientes fusibles.

Para la protección de fallas a tierra se debe utilizar relés de sobrecorriente direccionales. Los relés y los transformadores de corriente que deben usarse, van a ser indicados a medida que se va haciendo la coordinación.

A continuación vamos a proceder a fijar los relés de distancia:

1.- Relé # 1. - En este relé, para poderlo fijar correctamente, es necesario instalar unos transformadores de corriente auxiliares, con una relación de 10/5.

a.- Zona # 1.

$$\begin{aligned} Z \text{ línea} &= 1,94 \angle 67,2^\circ \\ Z \text{ relé} &= 0,9 \times 1,94 \times \frac{120}{575} = 0,364 \end{aligned}$$

Si fijamos  $S = 1$  y  $T = 0,383$ .

Para determinar el valor de  $M$  necesario, tenemos:

$$M = \frac{T \times S}{Z} - 1 = \frac{0,383}{0,364} - 1 = 0,05$$

Luego fijamos,  $M = 0,06$

Con los valores anteriormente fijados, tenemos que la  $Z$  que ha sido fijada en el relé es:

$$Z = \frac{T \times S}{1 + M} = \frac{0,383}{1,06} = 0,362 \text{ ohm.}$$

Por lo tanto el relé ha sido fijado para el 99,5% de la impedancia deseada.

b.- Zona # 2

$$\begin{aligned} Z \text{ línea} &= 0,75 + j1,75 + 0,5(0,273 + j0,696) = \\ &= 2,28 \angle 67,1^\circ \text{ ohm.} \end{aligned}$$

$$Z \text{ relé} = 2,28 \times \frac{120}{575} = 0,476 \text{ ohm.}$$

Podemos fijar en  $S = 1$  y  $T = 0,537$

Para determinar el valor de  $M$  necesario tenemos :

$$M = \frac{0,537}{0,476} - 1 = 0,13$$

Luego fijamos  $M = 0,12$  .

Con los valores anteriormente fijados, tenemos que la

Z que ha sido fijada en el relé es :

$$Z = \frac{0,537}{1,12} = 0,48 \text{ ohm.}$$

Por lo tanto, el relé ha sido fijado para el 101 % de la impedancia deseada.

c.- Zona # 3.

$$\begin{aligned} Z \text{ linea} &= 0,75 + j1,75 + 0,278 + j0,696 + \\ &+ 0,25 ( 1,05 + j2,64 ) = \\ &= 3,36 \angle 67,4^\circ \text{ ohm.} \end{aligned}$$

$$Z \text{ relé} = 3,36 \times \frac{120}{575} = 0,7 \text{ ohm.}$$

Podemos fijar S = 1 y T = 0,69

Para determinar el valor necesario de M, tenemos :

$$M = \frac{0,69}{0,7} - 1 = - 0,015$$

Luego fijamos M = - 0,03

Con los valores anteriormente fijados, tenemos que la Z que ha sido fijada en el relé es :

$$Z = \frac{0,69}{0,97} = 0,71 \text{ ohm.}$$

Por lo tanto el relé ha sido fijado para el 101% de la



impedancia deseada.

2.- Relé # 2

a.- Zona # 1

$$Z \text{ línea} = 2,94 \angle 67,2^\circ \text{ ohm.}$$

$$Z \text{ relé} = 0,9 \times 2,94 \times \frac{60}{575} = 0,276 \text{ ohm.}$$

Podemos fijar en  $S = 1$  y  $T = 0,307$ .

Para determinar el valor necesario de  $M$ , tenemos :

$$M = \frac{0,307}{0,276} - 1 = 0,11$$

Luego fijamos  $M = 0,12$

Con los valores anteriormente fijados, tenemos que la  $Z$  que ha sido fijada en el relé, es:

$$Z = \frac{0,307}{1,12} = 0,274 \text{ ohm.}$$

Por lo tanto el relé ha sido fijado para el 99,5% de la impedancia deseada.

b.- Zona # 2

$$\begin{aligned} Z \text{ línea} &= 1,14 + j2,7 + 0,5 (0,867 + j2,18) = \\ &= 4,1 \angle 67,4^\circ \text{ ohm.} \end{aligned}$$

$$Z \text{ relé} = 4,1 \times \frac{60}{575} = 0,428 \text{ ohm.}$$

Podemos fijar en  $S = 1$  y  $T = 0,383$

Para determinar el valor necesario de  $M$ , tenemos :

$$M = \frac{0,383}{0,428} - 1 = - 0,105$$

Luego fijamos  $M = - 0,09$

Con los valores anteriormente fijados, tenemos que el valor de  $Z$  fijado en el relé, es:

$$Z = \frac{0,383}{0,91} = 0,42 \text{ ohm.}$$

Por lo tanto el relé ha sido fijado para el 98,5 % de la impedancia deseada.

c.- Zona # 3

$$\begin{aligned} Z \text{ línea} &= 1,14 + j2,7 + 0,867 + j2,18 + \\ &+ 0,25 (1,05 + j2,64) = \\ &= 6,00 \angle 67,7^\circ \text{ ohm.} \end{aligned}$$

$$Z \text{ relé} = 6 \times \frac{60}{575} = 0,626 \text{ ohm.}$$

Podemos fijar  $S = 1$  y  $T = 0,69$  .

Para determinar el valor necesario de M, tenemos :

$$M = \frac{0,69}{0,626} - 1 = 0,1$$

Luego, fijamos  $M = 0,09$ .

Con los valores anteriormente fijados, tenemos que el valor de Z fijado en el relé, es:

$$Z = \frac{0,69}{1,09} = 0,632 \text{ ohm.}$$

Por lo tanto el relé ha sido fijado para el 101 % de la impedancia deseada.

### 3.- Relé # 3

#### a.- Zona # 1

Esta zona debe ser fijada de la misma manera que la primera zona del relé # 2.

#### b.- Zona # 2

$$\begin{aligned} Z \text{ línea} &= 1,14 + j2,7 + 0,5 (0,75 + j1,76) = \\ &= 3,92 \angle 67,2^\circ \text{ ohm.} \end{aligned}$$

$$Z \text{ relé} = 3,92 \times \frac{60}{575} = 0,41 \text{ ohm.}$$

Podemos fijar  $S = 1$  y  $T = 0,383$ .

Para determinar el valor necesario de M, tenemos:

$$M = \frac{0,383}{0,41} - 1 = - 0,06$$

Luego fijamos  $M = - 0,06$

Con los valores anteriormente fijados, tenemos que el valor de Z fijado en el relé es:

$$Z = \frac{0,383}{0,94} = 0,407 \text{ ohm.}$$

Por lo tanto el relé ha sido fijado para el 99,4% de la impedancia deseada.

c.- Zona # 3

$$\begin{aligned} Z \text{ línea} &= 1,14 + j2,7 + 0,75 + j1,76 + \\ &+ 0,25 (0,278 + j0,696) = \\ &= 5,05 \angle 67,1^\circ \text{ ohm.} \end{aligned}$$

$$Z \text{ relé} = 5,05 \times \frac{60}{575} = 0,525 \text{ ohm.}$$

Podemos fijar  $S = 1$  y  $T = 0,537$

Para determinar el valor necesario de M, tenemos:

$$M = \frac{0,537}{0,525} - 1 = 0,02$$

Luego fijamos  $M = 0,03$

Con los valores anteriormente fijados, tenemos que el valor de  $Z$  fijado en el relé es:

$$Z = \frac{0,537}{1,03} = 5,22 \text{ ohm.}$$

Por lo tanto el relé ha sido fijado para el 99,5% de la impedancia deseada.

4.- Relé # 4

a.- Zona # 1

$$Z \text{ línea} = 2,34 \angle 68,3^\circ \text{ ohm.}$$

$$Z \text{ relé} = 0,9 \times 2,34 \times \frac{60}{575} = 0,22 \text{ ohm.}$$

Podemos fijar  $S = 1$  y  $T = 0,23$ .

Para determinar el valor necesario de  $M$ , tenemos :

$$M = \frac{0,23}{0,22} - 1 = 0,04$$

Luego fijamos  $M = 0,03$

Con los valores anteriormente fijados, tenemos que el valor de  $Z$  fijado en el relé es :

$$Z = \frac{0,23}{1,03} = 0,223 \text{ ohm.}$$

Por lo tanto el relé ha sido fijado para el 101,5% de la impedancia deseada.

b.- Zona # 2

$$\begin{aligned} Z \text{ línea} &= 0,867 + j2,18 + 0,5 (2,84 / \underline{68,3^\circ}) = \\ &= 3,76 / \underline{68,3^\circ} \text{ ohm.} \end{aligned}$$

$$Z \text{ relé} = 3,76 \frac{60}{575} = 0,392 \text{ ohm.}$$

Podemos fijar  $S = 1$  y  $T = 0,383$

Para determinar el valor necesario de  $M$ , tenemos:

$$M = \frac{0,383}{0,392} - 1 = - 0,023$$

Luego fijamos  $M = - 0,03$

Con los valores anteriormente fijados, tenemos que el valor de  $Z$  fijado en el relé es:

$$Z = \frac{0,383}{0,97} = 0,395 \text{ ohm.}$$

Por lo tanto el relé ha sido fijado para el 101 %

de la impedancia deseada.

c.- Zona # 3

$$\begin{aligned} Z \text{ linea} &= 2,34 \angle 68,3^\circ + 2,84 \angle 68,3^\circ + \\ &+ 0,25 ( 0,75 \angle 68,3^\circ ) = \\ &= 5,368 \angle 68,3^\circ \text{ ohm.} \end{aligned}$$

$$Z \text{ relé} = 5,368 \times \frac{60}{575} = 0,56 \text{ ohm.}$$

Podemos fijar  $S = 1$  y  $T = 0,537$ .

Para determinar el valor necesario de  $M$ , tenemos:

$$M = \frac{0,537}{0,56} - 1 = - 0,04$$

Luego fijamos  $M = - 0,03$

Con los valores anteriormente fijados, tenemos que el valor de  $Z$  fijado en el relé es:

$$Z = \frac{0,537}{0,97} = 0,555 \text{ ohm.}$$

Por lo tanto el relé ha sido fijado para el 99 % de la impedancia deseada.

5.- Relé # 5

a.- Zona # 1

Esta zona debe ser fijada de la misma manera que la zona # 1 del relé # 4.

b.- Zona # 2

$$\begin{aligned} Z \text{ línea} &= 0,867 + j2,18 + 0,5 ( 1,14 + j2,7 ) = \\ &= 3,82 / \underline{67,9^\circ} \text{ ohm.} \end{aligned}$$

$$Z \text{ relé} = 3,82 \frac{60}{575} = 0,398 \text{ ohm.}$$

Podemos fijar  $S = 1$  y  $T = 0,383$

Para determinar el valor necesario de  $M$ , tenemos:

$$M = \frac{0,383}{0,398} - 1 = - 0,038$$

Luego fijamos  $M = - 0,03$

Con los valores anteriormente fijados, tenemos que el valor de  $Z$  que ha sido fijado en el relé es:

$$Z = \frac{0,383}{0,97} = 0,395 \text{ ohm.}$$

Por lo tanto el relé ha sido fijado para el 99,3 % de la impedancia deseada.

c.- Zona # 3

$$\begin{aligned} Z \text{ línea} &= 0,867 + j2,18 + 1,146 + j2,7 + \\ &+ 0,25 ( 0,75 + j1,76 ) \end{aligned}$$



$$Z \text{ línea} = 5,75 / \underline{67,6^\circ} \text{ ohm.}$$

$$Z \text{ relé} = 5,75 \frac{60}{575} = 0,6 \text{ ohm.}$$

Podemos fijar  $S = 1$  y  $T = 0,537$

Para determinar el valor necesario de  $M$ , tenemos :

$$M = \frac{0,537}{0,6} - 1 = - 0,105$$

De donde, fijamos  $M = - 0,12$ .

Con los valores anteriormente fijados, tenemos que el valor de  $Z$  que ha sido fijado en el relé es :

$$Z = \frac{0,537}{0,88} = 0,61 \text{ ohm.}$$

Por lo tanto el relé ha sido fijado para el 103 % de la impedancia deseada.

#### 6.- Relé # 6

##### a.- Zona # 1

$$Z \text{ línea} = 2,84 / \underline{68,3^\circ} \text{ ohm.}$$

$$Z \text{ relé} = 0,9 \times 2,84 \times \frac{60}{575} = 0,267 \text{ ohm.}$$

Podemos fijar  $S = 1$  y  $T = 0,307$ .

Para determinar el valor necesario de  $M$ , tenemos:

$$M = \frac{0,307}{0,267} - 1 = 0,15$$

De donde, fijamos  $M = 0,15$ .

Con los valores anteriormente fijados, tenemos que el valor de  $Z$  fijado en el relé es:

$$Z = \frac{0,307}{1,15} = 0,267 \text{ ohm.}$$

Por lo tanto el relé ha sido fijado para el 100% de la impedancia deseada.

b.- Zona # 2

$$\begin{aligned} Z \text{ línea} &= 1,05 + j2,64 + 0,5 (0,278 + j0,696) = \\ &= 3,215 \angle 68,3^\circ \text{ ohm.} \end{aligned}$$

$$Z \text{ relé} = 3,215 \times \frac{60}{575} = 0,335 \text{ ohm.}$$

Podemos fijar  $S = 1$  y  $T = 0,383$ .

Para determinar el valor necesario de  $M$ , tenemos:

$$M = \frac{0,383}{0,335} - 1 = 0,14$$

De donde, fijamos  $M = 0,15$

Con los valores anteriormente fijados, tenemos que el

valor de Z fijado en el relé es:

$$Z = \frac{0,383}{1,15} = 0,334 \text{ ohm.}$$

Por lo tanto el relé ha sido fijado para el 99,5% de la impedancia deseada.

c.- Zona # 3

$$\begin{aligned} Z \text{ línea} &= 1,05 + j2,64 + 0,278 + j0,696 + \\ &+ 0,25 (0,75 + j1,76) = \\ &= 4,07 \angle 63,2^\circ \text{ ohm.} \end{aligned}$$

$$Z \text{ relé} = 4,07 \times \frac{60}{575} = 0,425$$

Podemos fijar S = 1 y T = 0,383

Para determinar el valor necesario de M, tenemos:

$$M = \frac{0,383}{0,425} - 1 = - 0,1$$

De donde, fijamos M = - 0,09

Con los valores anteriormente fijados, tenemos que el valor de Z fijado en el relé es:

$$Z = \frac{0,383}{0,91} = 0,421 \text{ ohm.}$$

Por lo tanto el relé ha sido fijado para el 99% de la impedancia deseada.

7.- Relé # 7

Los transformadores de corriente para este relé deben tener una relación de 900/5.

a.- Zona # 1

$$Z \text{ línea} = 2,84 \angle 68,3^\circ \text{ ohm.}$$

$$Z \text{ relé} = 2,84 \times \frac{180}{575} = 0,888 \text{ ohm.}$$

Si fijamos  $S = 1$  y  $T = 0,92$

Luego, el valor en que debe ser fijado  $M$  es:

$$M = \frac{0,92}{0,888} - 1 = 0,04$$

Luego fijamos ,  $M = 0,03$

Con los valores anteriormente fijados, el valor de  $Z$  que ha sido fijado en el relé es:

$$Z = \frac{0,92}{1,03} = 0,891 \text{ ohm.}$$

Por lo tanto el relé ha sido fijado para el 100,5% de la impedancia deseada.

b.- Zona # 2

$$\begin{aligned} Z \text{ línea} &= (2,84 + 0,75) \angle 68,3^\circ = \\ &= 3,59 \angle 68,3^\circ \text{ ohm.} \end{aligned}$$

$$Z \text{ relé} = 3,59 \frac{180}{575} = 1,022 \text{ ohm.}$$

Si fijamos  $S = 1$  y  $T = 0,92$

Luego, el valor en que debe ser fijado  $M$ , es :

$$M = \frac{0,92}{1,022} - 1 = - 0,1$$

Luego, fijamos  $M = - 0,09$

Con los valores anteriormente fijados, el valor de  $Z$  que ha sido fijado en el relé es:

$$Z = \frac{0,92}{0,91} = 1,005 \text{ ohm.}$$

Por lo tanto el relé ha sido fijado para el 98,5% de la impedancia deseada.

### 8.- Relé # 8

#### a.- Zona # 1

Esta zona debe ser fijada de la misma manera que la Zona # 1 del relé # 6.

#### b.- Zona # 2

$$\begin{aligned} Z \text{ linea} &= 1,05 + j2,64 + 0,5 (0,867 + j2,18) = \\ &= 4,01 / \underline{68,3^\circ} \text{ ohm.} \end{aligned}$$

$$Z \text{ relé} = 4,01 \frac{60}{575} = 0,42 \text{ ohm.}$$

Podemos fijar,  $S = 1$  y  $T = 0,383$

Para determinar el valor necesario de  $M$ , tenemos:

$$M = \frac{0,383}{0,42} - 1 = - 0,085$$

De donde, fijamos  $M = - 0,09$

Con los valores anteriormente fijados, tenemos que el valor de  $Z$  fijado en el relé es:

$$Z = \frac{0,383}{0,91} = 0,421 \text{ ohm.}$$

Por lo tanto el relé ha sido fijado para el 100,2% de la impedancia deseada.

c.- Zona # 3

$$\begin{aligned} Z \text{ línea} &= 1,05 + j2,64 + 0,867 + j2,18 + \\ &+ 0,25 (1,146 + j2,7) = \\ &= 5,95 / \underline{68,2^\circ} \text{ ohm.} \end{aligned}$$

$$Z \text{ relé} = 5,95 \frac{60}{575} = 0,62$$

Podemos fijar  $S = 1$  y  $T = 0,69$

Para determinar el valor necesario de  $M$ , tenemos :

$$M = \frac{0,69}{0,62} - 1 = 0,11$$

De donde , fijamos  $M = 0,12$

Con los valores anteriormente fijados, tenemos que el valor de  $Z$  fijado en el relé es:

$$Z = \frac{0,69}{1,12} = 0,616 \text{ ohm.}$$

Por tanto el relé ha sido fijado para el 99,5% de la impedancia deseada.

9.- Relé # 9.- En este relé, para poderlo fijar correctamente, es necesario instalar unos transformadores de corriente auxiliares, con una relación de 20/5.

a.- Zona # 1

$$Z \text{ línea} = 0,75 \angle 68,3^\circ \text{ ohm.}$$

$$Z \text{ relé} = 0,9 \times 0,75 \times \frac{240}{575} = 0,282 \text{ ohm.}$$

Podemos fijar  $S = 1$  y  $T = 0,307$

Para determinar el valor necesario de  $M$ , tenemos:

$$M = \frac{0,307}{0,282} - 1 = 0,09$$

De donde, fijamos  $M = 0,09$ .

Con los valores anteriormente fijados, tenemos que el valor de  $Z$  fijado en el relé es:

$$Z = \frac{0,307}{1,09} = 0,282 \text{ ohm.}$$

Por lo tanto el relé ha sido fijado para el 100% de la impedancia deseada.

b.- Zona # 2

$$Z \text{ línea} =$$

$$\begin{aligned} Z \text{ línea} &= 0,278 + j0,696 + 0,5 (0,75 + j1,76) = \\ &= 1,71 \angle 67,5^\circ \text{ ohm.} \end{aligned}$$

$$Z \text{ relé} = 1,71 \times \frac{240}{575} = 0,715 \text{ ohm.}$$

Podemos fijar  $S = 1$  y  $T = 0,69$

Para determinar el valor necesario de  $M$ , tenemos:

$$M = \frac{0,69}{0,715} - 1 = -0,035$$

De donde, fijamos  $M = -0,03$

Con los valores anteriormente fijados, tenemos que el valor de  $Z$  fijado en el relé es :

$$Z = \frac{0,69}{0,97} = 0,711 \text{ ohm.}$$

Por lo tanto el relé ha sido fijado para el 99,5 % de la impedancia deseada.

e.- Zona # 3

$$\begin{aligned} Z \text{ línea} &= 0,278 + j0,696 + 0,75 + j1,76 + \\ &+ 0,25 (1,146 + j2,7) = \\ &= 3,4 \angle 67,2^\circ \text{ ohm.} \end{aligned}$$

$$Z \text{ relé} = 3,4 \times \frac{240}{575} = 1,42 \text{ ohm.}$$

Podemos fijar  $S = 1$  y  $T = 1,23$



Para determinar el valor necesario de M, tenemos:

$$M = \frac{1,23}{1,42} - 1 = - 0,13$$

De donde, fijamos  $M = - 0,12$

Con los valores anteriormente fijados, tenemos que el valor de Z fijado en el relé es:

$$Z = \frac{1,23}{0,88} = 1,4 \text{ ohm.}$$

Por lo tanto el relé ha sido fijado para el 98,6% de la impedancia deseada.

#### 10.- Relé # 10

En este relé, para poderlo fijar correctamente, es necesario instalar unos transformadores de corriente auxiliares, con una relación de 20/5.

##### a.- Zona # 1

Esta zona debe ser fijada de la misma manera que la zona # 1 del relé #9.

##### b.- Zona # 2

$$\begin{aligned} Z \text{ linea} &= 0,278 + j0,696 + 0,5(1,05 + j2,64) = \\ &= 2,17 \angle 68,3^\circ \text{ ohm.} \end{aligned}$$

$$Z \text{ relé} = 2,17 \times \frac{240}{575} = 0,905 \text{ ohm.}$$

Podemos fijar  $S = 1$  y  $T = 0,92$

Para determinar el valor necesario de  $M$ , tenemos :

$$M = \frac{0,92}{0,905} - 1 = 0,015$$

De donde fijamos  $M = 0,03$

Con los valores anteriormente fijados, tenemos que el valor de  $Z$  fijado en el relé es:

$$Z = \frac{0,92}{1,03} = 0,895 \text{ ohm.}$$

Por lo tanto el relé ha sido fijado para el 99 % de la impedancia deseada.

c.- Zona # 3

$$\begin{aligned} Z \text{ línea} &= (0,75 + 2,84 + 0,25(2,34)) / \underline{68,3^\circ} \\ &= 4,18 / \underline{68,3^\circ} \text{ ohm.} \end{aligned}$$

$$Z \text{ relé} = 4,18 \frac{240}{575} = 1,74 \text{ ohm.}$$

Podemos fijar  $S = 2$ ,  $T = 0,92$

Para determinar el valor necesario de  $M$ , tenemos :

$$M = \frac{2 \times 0,92}{1,74} - 1 = 0,06$$

De donde, fijamos  $M = 0,06$

Con los valores anteriormente fijados, tenemos que el valor de  $Z$  fijado en el relé es:

$$Z = \frac{2 \times 0,92}{1,06} = 1,74 \text{ ohm.}$$

Por lo tanto el relé ha sido fijado para el 100 % de la impedancia deseada.

11.- Relé # 11.- En este relé, para poderlo fijar correctamente, es necesario instalar unos transformadores de corriente auxiliares, con una relación de 10/5.

a.- Zona # 1

Esta zona debe ser fijada de la misma manera que la zona # 1 del relé # 1.

b.- Zona # 2

$$\begin{aligned} Z \text{ línea} &= (1,94 + 0,5 (2,94j)) \angle 67,2^\circ = \\ &= 3,41 \angle 67,2^\circ \text{ ohm.} \end{aligned}$$

$$Z \text{ relé} = 3,41 \frac{120}{575} = 0,712 \text{ ohm.}$$

Podemos fijar  $S = 1$  y  $T = 0,69$

Para determinar el valor necesario de  $M$ , tenemos :

$$M = \frac{0,69}{0,712} - 1 = 0,97 - 1 = - 0,03$$

De donde, fijamos  $M = - 0,03$

Con los valores anteriormente fijados, tenemos que el valor de  $Z$  fijado en el relé es :

$$Z = \frac{0,69}{0,97} = 0,712$$

Por lo tanto el relé ha sido fijado para el 100 % de la impedancia deseada.

c.- Zona # 3

$$\begin{aligned} Z \text{ línea} &= 0,75 + j1,76 + 1,146 + j2,7 + \\ &+ 0,25 (0,867 + j2,18) = \\ &= 5,44 \angle 67,1^\circ \text{ ohm.} \end{aligned}$$

$$Z \text{ relé} = 5,44 \times \frac{120}{575} = 1,132 \text{ ohm.}$$

Podemos fijar  $S = 1$  y  $T = 1,23$ .

Para determinar el valor necesario de  $M$ , tenemos:

$$M = \frac{1,23}{1,132} - 1 = 0,09$$

De donde, fijamos  $M = 0,09$ .

Con los valores anteriormente fijados, tenemos que el valor de  $Z$  fijado en el relé es:

$$Z = \frac{1,23}{1,09} = 1,132 \text{ ohm.}$$

Por lo tanto el relé ha sido fijado para el 100 % de la impedancia deseada.

12.- Relé # 12.- En este relé, para poderlo fijar correctamente, es necesario instalar unos transformadores de corriente auxiliares, con una relación de 20/5.

a.- Zona # 1

$$Z \text{ línea} = 0,75 \angle 68,3^\circ \text{ ohm.}$$

$$Z \text{ relé} = 0,75 \frac{240}{575} = 0,314 \text{ ohm.}$$

Podemos fijar  $S = 1$  y  $T = 0,307$ .

Para determinar el valor necesario de  $M$ , tenemos:

$$M = \frac{0,307}{0,314} - 1 = - 0,02$$

De donde, fijamos  $M = - 0,03$ .

Con los valores anteriormente fijados, tenemos que el

valor de Z fijado en el relé es:

$$Z = \frac{0,307}{0,97} = 0,316 \text{ ohm.}$$

Por lo tanto el relé ha sido fijado para el 101 % de la impedancia deseada.

b.- Zona - # 2

$$\begin{aligned} Z \text{ línea} &= (2,84 + 0,75) \angle 68,3^\circ = \\ &= 3,59 \angle 68,3^\circ \text{ ohm.} \end{aligned}$$

$$Z \text{ relé} = 3,59 \times \frac{240}{575} = 1,496 \text{ ohm.}$$

Podemos fijar S = 2 y T = 0,69

Para determinar el valor necesario de M, tenemos:

$$M = \frac{2 \times 0,69}{1,496} - 1 = - 0,07$$

De donde, fijamos M = - 0,06

Con los valores anteriormente fijados, tenemos que el valor de Z al relé es:

$$Z = \frac{2 \times 0,69}{0,94} = 1,47 \text{ ohm.}$$

Por lo tanto el relé ha sido fijado para el 98,5% de la impedancia deseada.

Todos estos relés, KB-4 y KB-4-1, han sido fijados según la recomendación de la Westinghouse en su boletín IL 41-491.4 B.

En los cuales:

$$Z \text{ relé} = Z \text{ línea} \times \frac{R_c}{R_v} \text{ (para la primera zona debe multiplicarse por 0,9).}$$

En donde:

$$\begin{aligned} R_c &= \text{relación del transformador de corriente} = \\ &= 300/5 = 60. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_v &= \text{relación del transformador de voltaje} = \\ &= 69.000/120 = 575. \end{aligned}$$

La Z que se fija en el relé, es:

$$Z = \frac{T \times S}{1 + M}$$

En donde:

$$T = \text{valor del tap del compensador (0,23-0,307-0,383-0,537-0,69-0,92-1,23)}$$

$$S = \text{valor del tap en el primario del autotransformador(1-2-3)}$$

$$M = \text{valor del tap en el secundario del autotransformador (0,03-0,06-0,06-).}$$

Este relé, viene calibrado de fábrica con el máximo ángulo de torque de la unidad direccional para  $75^\circ$  (corriente atrazando el voltaje). La Westinghouse recomienda que esta calibración no sea variada cuando se instalan estos relés para proteger líneas con ángulos mayores de  $65^\circ$ , - como es en nuestro caso, por lo tanto no se va a proceder a variar el - ángulo de torque de la unidad direccional.



COORDINACION DE LOS RELES

a.- Coordinación de los relés de distancia.- Los relés de distancia, tipo KB-4 y KB-4-1, son inherentemente instantáneos, por lo tanto, para proveer una buena coordinación es necesario instalar en las zonas # 2 y # 3, un relé retardador de tiempo similar al TB-2 fabricado por la Westinghouse.

Para la zona # 2, el relé retardador de tiempo, debe ser fijado en el dial 0,35, para proveer selectividad con los demás relés.

Para la zona # 3, el relé retardador de tiempo, debe ser fijado en el dial 2, para proveer una buena selectividad.

Para los relés # 7 y 12, que son de dos zonas, la primera zona debe tener el retardador de tiempo en el dial 0,35 y la segunda zona en el dial 2.

b.- Coordinación de los relés de sobrecorriente.

1.- Considerando la falla de línea a tierra en el punto a (máx.gen.)

Relé # 12

Este relé debe ser del tipo GO-11 y debe estar el tap 3,5.

Los transformadores de corriente deben tener los siguientes taps, 100-150-200-250-300-350-400-500 a 5 y deben estar fijados en el tap 350/5.

La corriente de secuencia cero, para esta falla, que pasa por el relé es 404 amp.

De donde;

$$I_{\text{relé}} = \frac{I_0 \times 3}{R_c} = \frac{404 \times 3}{70} = 17,3 \text{ amp.}$$

En donde:

$I_0$  = corriente de secuencia cero

$R_c$  = relación del transformador de corriente.

De donde tenemos, que la corriente múltiplo de tap es=  $\frac{17,3}{3,5}$

= 4,94.

Asumiendo que, para esta falla, este relé debe operar en 0,8 seg. tenemos que fijar el relé en el dial #3.

Con este dial, el tiempo de operación de este relé, para los restantes puntos de falla es:

<u>Falla en:</u>	<u>I en el primario</u>		<u>I múltiplo del tap</u>		<u>Tiempo de operación</u>	
	<u>Máx.gen.</u>	<u>Mín.gen.</u>	<u>Máx.gen.</u>	<u>Mín.gen.</u>	<u>Máx.gen.</u>	<u>Mín.gen.</u>
a	404	347	4,94	4,25	0,80	1,00 (seg)
c	384	320	4,70	3,92	0,95	1,30
d	278	250	3,40	3,06	1,50	2,00
e	263	116	3,23	1,42	1,80	18,00
g	352	346	4,30	4,24	1,00	1,01

Relé # 7

Este relé debe ser similar al tipo CO-11 fabricado por la Westinghouse y debe estar en el tap 3,5.

Los transformadores de corriente deben tener los siguientes taps, 100-150-200-250-300-350-400-500 a 5 y deben estar fijados en - 350/5.

La corriente de secuencia cero, para esta falla, que pasa por el relé es 404 amp.

De donde:

$$I_{\text{relé}} = \frac{404 \times 3}{70} = 17,3 \text{ amp.}$$

De donde tenemos, que la corriente múltiplo del tap es = 4,94  
Este relé, para esta falla, deberá operar en 2,3 seg., para lo cual es necesario fijarlo en el dial #8.

Con este dial, el tiempo de operación de este relé, para los restantes puntos de falla es:

<u>Falla en:</u>	<u>I en el primario</u>		<u>I múltiplo del tap</u>		<u>Tiempo de operación</u>	
	<u>Máx.gen.</u>	<u>Mín.gen.</u>	<u>Máx.gen.</u>	<u>Mín.gen.</u>	<u>Máx.gen.</u>	<u>Mín.gen.</u>
a	404	347	4,94	4,25	2,30	2,90(seg)
c	436	360	5,35	4,40	1,80	2,50
d	467	425	5,70	5,20	1,60	1,80
e	611	649	7,50	7,95	0,95	0,85
g	364	366	4,45	4,50	2,50	2,50

Relé # 1

Este relé debe ser similar al tipo IRP-11 fabricado por la Westinghouse y debe estar en el tap 2,5, con la unidad instantánea para 200 amp.

Los transformadores de corriente deben tener los siguientes taps, 50-100-150-200-250-300-a 5 y deben estar fijados en el tap - 200/5.

La corriente de secuencia cero, para esta falla, que pasa por el relé es 139 amp.

De donde:

$$I \text{ relé} = \frac{139 \times 3}{40} = 10,44 \text{ amp.}$$

De donde tenemos, que la corriente múltiplo del tap es = 4,2

Este relé, para esta falla, deberá operar en 1,2 seg., para lo cual es necesario fijarlo en el dial # 3,1.

Con este dial, el tiempo de operación de este relé, para los restantes puntos de falla es:

<u>Falla en:</u>	<u>I en el primario</u>		<u>I múltiplo del tap</u>		<u>Tiempo de operación</u>	
	<u>Máx.gen.</u>	<u>Mín.gen.</u>	<u>Máx.gen.</u>	<u>Mín.gen.</u>	<u>Máx.gen.</u>	<u>Mín.gen.</u>
a	139	118	4,20	3,53	1,20	1,60 (seg)
c	289	238	8,65	7,15	0,00	0,00
d						Para este punto de falla el relé no opera.
e						Para este punto de falla el relé no opera.
g						Para este punto de falla el relé no opera.

Relé # 9

Este relé debe ser similar al tipo IRP-11 fabricado por la Westinghouse y debe estar en el tap 2,5, con la unidad instantánea para 360 amp.

Los transformadores de corriente deben tener los siguientes taps. 50-100-150-200-250-300 a 5 y deben estar fijados en el tap - 200/5.

La corriente de secuencia cero, para esta falla, que pasa por el relé es 265 amp.

De donde:

$$I_{\text{relé}} = \frac{265 \times 3}{40} = 19,86 \text{ amp.}$$

De donde tenemos, que la corriente múltiplo de tap es = 7,95. Este relé, para esta falla, deberá operar en 1,2 seg., para lo cual es necesario fijarlo en el dial # 10.

Con este dial, el tiempo de operación de este relé, para los restantes puntos de falla es:

<u>Falla en:</u>	<u>I en el primario</u>		<u>I múltiplo del tap</u>		<u>Tiempo de operación</u>	
	<u>Máx.gen.</u>	<u>Mín.gen.</u>	<u>Máx.gen.</u>	<u>Mín.gen.</u>	<u>Máx.gen.</u>	<u>Mín.gen.</u>
a	265	229	7,95	6,90	1,20	1,50 (seg)
c	147	122	4,40	3,66	3,50	5,20
d			Para este punto de falla el relé no opera.			
e			Para este punto de falla el relé no opera.			
g	435	439	13,05	13,10	0,00	0,00

Relé # 3

Este relé debe ser similar al tipo IMP-11 fabricado por la Westinghouse y debe estar en el tap 2,5, con la unidad instantánea para 390 amp.

Los transformadores de corriente deben tener los siguientes taps, 50-100-150-200-250-300 a 5 y deben estar fijados en el tap - 200/5 .

La corriente de secuencia cero, para esta falla, que pasa por el relé es 139 amp.

De donde:

$$I_{\text{relé}} = \frac{139 \times 3}{40} = 10,44 \text{ amp.}$$

De donde tenemos, que la corriente múltiplo de tap es = 4,2.

Este relé, para esta falla, deberá operar en 1,6 seg., para lo cual es necesario fijarlo en el dial # 4,5.

Con este dial, el tiempo de operación de este relé, para los restantes puntos de falla es:

<u>Falla en:</u>	<u>I en el primario</u>		<u>I múltiplo de tap</u>		<u>Tiempo de operación</u>	
	<u>Máx.gen.</u>	<u>Mín.gen.</u>	<u>Máx.gen.</u>	<u>Mín.gen.</u>	<u>Máx.gen.</u>	<u>Mín.gen.</u>
a	139	118	4,20	3,53	1,60	2,20 (seg)
c	289	238	8,65	7,15	0,45	0,60
d	486	443	14,60	13,30	0,00	0,00
e	Para este punto de falla el relé no opera.					
g	Para este punto de falla el relé no opera.					

Relé # 5

Este relé debe ser similar al tipo CMP-11 fabricado por la Westinghouse y debe estar en el tap 2,5.

Los transformadores de corriente deben tener los siguientes taps, 50-100-150-200-250-300 a 5 y deben estar fijados en el tap - 200/5.

La corriente de secuencia cero, para esta falla, que pasa por el relé es 139 amp.

De donde:

$$I_{\text{relé}} = \frac{139 \times 3}{40} = 10,44 \text{ amp.}$$

De donde tenemos, que la corriente múltiplo del tap es = 4,2.  
Este relé, para esta falla, deberá operar en 2 seg., para lo cual es necesario fijarlo en el dial # 6.

Con este dial, el tiempo de operación de este relé, para los restantes puntos de falla es:

<u>Falla en:</u>	<u>I en el primario</u>		<u>I múltiplo del tap</u>		<u>Tiempo de operación</u>	
	<u>Máx.gen.</u>	<u>Mín.gen.</u>	<u>Máx.gen.</u>	<u>Mín.gen.</u>	<u>Máx.gen.</u>	<u>Mín.gen.</u>
a	139	118	4,20	3,53	2,00	3,00 (seg)
c	289	238	8,65	7,15	0,65	0,80
d	486	443	14,60	13,30	0,32	0,35
e	785	725	23,60	21,80	0,22	0,24
g						Para este punto de falla el relé no opera.

Relé # 6

Este relé debe ser similar al tipo IRP-11 fabricado por la Westinghouse y debe estar en el tap 2,5, con la unidad instantánea para 550 amp.

Los transformadores de corriente deben tener los siguientes taps, 50-100-150-200-250-300 a 5 y deben estar en el tap 200/5.

La corriente de secuencia cero, para esta falla, que pasa por el relé es 265 amp.

En donde:

$$I_{\text{relé}} = \frac{265 \times 3}{40} = 19,86 \text{ amp.}$$

De donde tenemos, que la corriente múltiplo del tap es = 7,95.

Este relé, para esta falla, deberá operar en 1,6 seg., para lo cual es necesario fijarlo en el dial # 11.

Con este dial, el tiempo de operación de este relé, para los restantes puntos de falla es:

<u>Falla en:</u>	<u>I en el primario</u>		<u>I múltiplo del tap</u>		<u>Tiempo de operación</u>	
	<u>Máx.gen.</u>	<u>Mín.gen.</u>	<u>Máx.gen.</u>	<u>Mín.gen.</u>	<u>Máx.gen.</u>	<u>Mín.gen.</u>
a	265	229	7,95	6,90	1,60	1,80(seg)
c	147	122	4,40	3,66	4,00	5,90
d	Para este punto de falla el relé no opera.					
e	700	689	21,00	20,60	0,00	0,00
g	435	439	13,05	13,10	0,69	0,69



2.- Considerando la falla a tierra en el punto e (máx. gen.).

Para este punto de falla el relé # 12 opera en 1,8 seg.

Relé # 8

Este relé debe ser similar al tipo CRP-11 fabricado por la Westinghouse y debe estar en el tap 2,5.

Los transformadores de corriente deben tener los siguientes taps, 50-100-150-200-250-300 a 5 y deben estar fijados en el tap 200/5.

La corriente de secuencia cero, para esta falla, que pasa por el relé es 174 amp.

De donde:

$$I_{\text{relé}} = \frac{174 \times 3}{40} = 13,00 \text{ amp.}$$

De donde tenemos, que la corriente múltiplo del tap es = 5,2.

Este relé, para esta falla, deberá operar en 1,00 seg., para lo cual es necesario fijarlo en el dial # 4,2.

Con este dial, el tiempo de operación de este relé, para los restantes puntos de falla es:

Falla en:	<u>I en el primario</u>		<u>I múltiplo del tap</u>		<u>Tiempo de operación</u>	
	<u>Máx.gen.</u>	<u>Mín.gen.</u>	<u>Máx.gen.</u>	<u>Mín.gen.</u>	<u>Máx.gen.</u>	<u>Mín.gen.</u>
a					Para este punto de falla el relé no opera.	
c					Para este punto de falla el relé no opera.	
d	19	18			no opera.	
e	174	76	5,20	2,28	1,00	6,00
g	281	273	18,40	8,15	0,40	0,48

Relé # 10

Este relé debe ser similar al tipo CRP-11 fabricado por la Westinghouse y debe estar en el tap 2,5.

Los transformadores de corriente deben tener los siguientes taps, 50-100-150-200-250-300 a 5 y deben estar fijados en el tap - 200/5.

La corriente de secuencia cero, para esta falla, que pasa por el relé es 174 amp.

De donde:

$$I_{\text{relé}} = \frac{174 \times 3}{40} = 13 \text{ amp.}$$

De donde tenemos, que la corriente múltiplo del tap es = 5,2.

Este relé, para esta falla, deberá operar en 1,4 seg., para lo cual es necesario fijarlo en el dial # 7.

Con este dial, el tiempo de operación de este relé, para los restantes puntos de falla es:

<u>Falla en:</u>	<u>I en el primario</u>		<u>I múltiplo del tap</u>		<u>Tiempo de operación</u>	
	<u>Máx.gen.</u>	<u>Mín.gen.</u>	<u>Máx.gen.</u>	<u>Mín.gen.</u>	<u>Máx.gen.</u>	<u>Mín.gen.</u>
a	543	465	16,25	14,00	0,32	0,38 (seg)
c					Para este punto de falla el relé no opera.	
d	19	18			no opera.	
e	174	76	5,20	2,28	1,40	12,00
g	281	273	8,40	8,15	0,70	0,72

Relé # 4

Este relé debe ser similar al tipo IMP-11 fabricado por la Westinghouse y debe estar en el tap 2, con la unidad instantánea para 200 amp.

Los transformadores de corriente deben tener los siguientes taps, 50-100-150-200-250-300 a 5 y deben estar fijados en el tap - 200/5.

La corriente de secuencia cero, para esta falla, que pasa por el relé es 89 amp.

De donde:

$$I \text{ relé} = \frac{89 \times 3}{40} = 6,66 \text{ amp.}$$

De donde tenemos, que la corriente múltiplo del tap es = 3,33. Este relé, para esta falla, deberá operar en 0,6 sg., para lo cual es necesario fijarlo en el dial # 1.

Con este dial, el tiempo de operación de este relé, para los restantes puntos de falla es:

<u>Falla en:</u>	<u>I en el primario</u>		<u>I múltiplo del tap</u>		<u>Tiempo de operación</u>	
	<u>Máx.gen.</u>	<u>Mín.gen.</u>	<u>Máx.gen.</u>	<u>Mín.gen.</u>	<u>Máx.gen.</u>	<u>Mín.gen.</u>
a						Para este punto de falla el relé no opera.
c						Para este punto de falla el relé no opera.
d	259	232	9,70	8,70	0,00	0,00 (seg)
e	89	40	3,33	1,50	0,60	4,00
g	71	73	2,66	2,74	0,90	0,80

Relé # 2

Este relé debe ser similar al tipo IRP-11 fabricado por la Westinghouse y debe estar en el tap 2, con la unidad instantánea para 320 amp.

Los transformadores de corriente deben tener los siguientes taps, 50-100-150-200-250-300 a 5 y deben estar fijados en el tap - 200/5.

La corriente de secuencia cero, para esta falla, que pasa por el relé es 89 amp.

De donde :

$$I \text{ relé} = \frac{89 \times 3}{40} = 6,66 \text{ amp.}$$

De donde tenemos, que la corriente múltiplo de tap es = 3,33.

Este relé, para esta falla, deberá operar en 1,2 seg., para lo cual es necesario fijarlo en el dial 2,5.

Con este dial, el tiempo de operación de este relé, para los restantes puntos de falla es:

<u>Falla en:</u>	<u>I en el primario</u>		<u>I múltiplo del tap</u>		<u>Tiempo de operación</u>	
	<u>Máx.gen.</u>	<u>Mín.gen.</u>	<u>Máx.gen.</u>	<u>Mín.gen.</u>	<u>Máx.gen.</u>	<u>Mín.gen.</u>
a						Para este punto de falla el relé no opera.
c	531	342	19,00	12,80	0,00	0,00 (seg)
d	259	232	9,70	8,70	0,24	0,27
e	89	40	3,33	1,50	1,20	12,00
g	71	73	2,66	2,74	2,40	2,00

Relé # 11

Para proceder a coordinar este relé, vamos a tomar en consideración el punto de falla d.

Este relé debe ser similar al tipo CRP-11 fabricado por la Westinghouse y debe estar en el tap 2.

Los transformadores de corriente deben tener los siguientes taps, 50-100-150-200-250-300 a 5 y deben estar fijados en el tap - 200/5.

La corriente de secuencia cero, para esta falla, que pasa por el relé es 259 amp.

De donde:

$$I_{\text{relé}} = \frac{259 \times 3}{40} = 19,4 \text{ amp.}$$

De donde tenemos, que la corriente múltiplo del tap es = 9,7.

Este relé, para esta falla, deberá operar en 0,64 seg., para lo cual es necesario fijarlo en el dial # 7,5.

Con este dial, el tiempo de operación de este relé, para los restantes puntos de falla es:

<u>Falla en:</u>	<u>I en el primario</u>		<u>I múltiplo del tap</u>		<u>Tiempo de operación</u>	
	<u>Máx.gen.</u>	<u>Mín.gen.</u>	<u>Máx.gen.</u>	<u>Mín.gen.</u>	<u>Máx.gen.</u>	<u>Mín.gen.</u>
a	669	576	25,00	21,60	0,27	0,28 (seg)
c	531	342	19,00	12,80	0,32	0,44
d	259	232	9,70	8,70	0,64	0,72
e	89	40	3,33	1,50	4,10	35,00
g	71	73	2,66	2,74	7,50	6,50

SELECCION DE LOS INTERRUPTORES DE POTENCIA

Como el tiempo de operación de los interruptores debe ser escogido bajo un estudio de la estabilidad del sistema, en el presente tema vamos a seleccionar los interruptores por la corriente y potencia máxima de falla que pasa por cada uno de ellos.

a.- Interruptores de 69 Kv.

Interruptor # 1

De los valores obtenidos para las corrientes de falla, en el punto c, nos damos cuenta que la de mayor magnitud es la de la falla de línea a tierra durante la generación máxima, por lo tanto:

$$\begin{aligned} \text{Corriente máxima de falla} &= (456 + 74,5) 2 + 384 + 147 = \\ &= 1.592 \text{ amp.} \end{aligned}$$

$$\text{Potencia máxima de falla} = \frac{I}{I \text{ base}} \times \text{Kva. base} =$$

$$= \frac{1.592}{106} \times 12.500 = 187,5 \text{ Mva.}$$

Interruptor # 2

$$\text{Corriente máxima de falla} = 1.592 \text{ amp.}$$

$$\text{Potencia máxima de falla} = 187,5 \text{ Mva.}$$

Interruptor # 3

$$\text{Corriente máxima de falla} = 1.370 \text{ amp.}$$

Potencia máxima de falla = 162 Mva.

Interruptor # 4

Corriente máxima de falla = 1.370 amp.

Potencia máxima de falla = 162 Mva.

Interruptor # 5

Corriente máxima de falla = 2.200 amp.

Potencia máxima de falla = 260 Mva.

Interruptor # 6

Corriente máxima de falla = 1.780 amp.

Potencia máxima de falla = 210 Mva.

Interruptor # 7

Corriente máxima de falla = 1.410 amp.

Potencia máxima de falla = 167 Mva.

Interruptor # 8

Corriente máxima de falla = 1.410 amp.

Potencia máxima de falla = 167 Mva.

Interruptor # 9

Corriente máxima de falla = 1.410 amp.

Potencia máxima de falla = 167 Mva.

Interruptor # 10

Corriente máxima de falla = 1.840 amp.

Potencia máxima de falla = 217 Mva.

Interruptor # 11

Corriente máxima de falla = 2.240 amp.

Potencia máxima de falla = 265 Mva.

Interruptor # 12

Corriente máxima de falla = 1.500 amp.

Potencia máxima de falla = 177 Mva.

Interruptor # 13

Corriente máxima de falla = 2.460 amp.

Potencia máxima de falla = 290 Mva.

Interruptor # 14

Corriente máxima de falla = 2.235 amp.

Potencia máxima de falla = 264 Mva.



Interruptor # 15

Corriente máxima de falla = 2.150 amp.

Potencia máxima de falla = 254 Mva.

Interruptor # 16

Corriente máxima de falla = 2.460 amp.

Potencia máxima de falla = 290 Mva.

Interruptor # 18

Corriente máxima de falla = 2.150 amp.

Potencia máxima de falla = 254 Mva.

b.- Interruptor de 4,16 Kv.

Interruptor # 19

Como en el cálculo de fallas no se ha determinado la corriente de falla para un punto en el lado de bajo voltaje, de cada subestación, para de esta manera seleccionar los interruptores, vamos, como un ejemplo, a calcular la corriente de falla al final de la subestación de 67/4,16 Kv.

1.- Falla trifásica (máx. gen.)

Asumiendo que la reactancia del transformador es =  $X_1 = X_2 = X_0 =$   
= 6%, tenemos:

$$X1 \text{ pu.} = X2 \text{ pu.} = X0 \text{ pu.} = 0,06 \times \frac{12,5 \times 67^2}{5 \times 70^2} = 0,15 \text{ pu.}$$

Reemplazando en las fórmulas obtenidas en el tema de cálculo de fallas, tenemos:

$$Z_{eq} = 150 \cdot 10^{-3} \text{ (ya que la impedancia de la línea es muy pequeña comparada con la impedancia del transf.)}$$

$$Z_{a1} + Z_{s1} + Z_{eq} = j236,2 \cdot 10^{-3} \text{ pu.}$$

$$Z_{r1}^2 - (Z_{c1} + Z_{r1} + Z_{eq}) (Z_{b1} + Z_{r1} + Z_{s1}) = -j^2 6.946 \cdot 10^{-6} \text{ pu.}$$

$$Z_{eq} (Z_{s1} \times Z_{r1} + Z_{eq} (Z_{b1} + Z_{r1} + Z_{s1})) = j^3 580 \cdot 10^{-6} \text{ pu.}$$

$$Z_{s1} (Z_{s1} (Z_{c1} + Z_{r1} + Z_{eq}) + Z_{eq} \times Z_{r1}) = j^3 14,1 \cdot 10^{-6} \text{ pu.}$$

De donde:

$$\angle = -j^3 1.045,9 \cdot 10^{-6} \text{ pu.}$$

$$I_{x1} = \frac{3.070}{j1045,9} = 2,92 \angle -90^\circ \text{ pu.}$$

$$I_{y1} = \frac{2.118}{j1045,9} = 2,02 \angle -90^\circ \text{ pu.}$$

$$I_a = 4,94 \text{ pu.}$$

2.- Falla de línea a tierra ( Máx. gen.)

Reemplazando en las fórmulas obtenidas en el tema de cálculo de fallas, tenemos:

$$Z_{eq} = Z_2 + Z_0 + 3X \text{ transf.} = j501,4 \cdot 10^{-3} \text{ pu.}$$

$$Z_{a1} + Z_{s1} + Z_{eq} = j587,6 \cdot 10^{-3} \text{ pu.}$$

$$Z_{r1}^2 - (Z_{c1} + Z_{r1} + Z_{eq}) (Z_{b1} + Z_{r1} + Z_{s1}) = -j^2 15.946 \cdot 10^{-6} \text{ pu.}$$

$$Z_{eq} (Z_{s1} \times Z_{r1} + Z_{eq} (Z_{b1} + Z_{r1} + Z_{s1})) = j^3 6.450 \cdot 10^{-6} \text{ pu.}$$

$$Z_{s1} (Z_{s1} (Z_{c1} + Z_{r1} + Z_{eq}) + Z_{eq} \times Z_{r1}) = j^3 41 \cdot 10^{-6} \text{ pu.}$$

De donde:

$$\underline{Z} = -j^3 2.879 \cdot 10^{-6} \text{ pu.}$$

$$I_{x1} = 1,08 \angle -90^\circ \text{ pu.}$$

$$I_{y1} = 0,74 \angle -90^\circ \text{ pu.}$$

$$I_{a1} = I_{x1} + I_{y1} = 1,82 \text{ pu.}$$

Pero,  $I_{a1} = I_{a2} = I_{a0}$ .

De donde:

$$I_a = 3 \times I_{a1} = 5,46 \text{ pu.}$$

De estas dos fallas, vemos que la que produce mayor corriente es la falla de línea a tierra, por lo tanto para seleccionar el interruptor debemos tomar en cuenta esta falla.

$$Kv \text{ base} = 70 \times \frac{4,16}{67} = 4,35 \text{ Kv.}$$

$$I \text{ base} = \frac{12.500}{1,73 \times 4,35} = 1.660 \text{ amp.}$$

De donde:

$$\text{Corriente máxima de falla} = 5,46 \times 1.660 = 9.100 \text{ amp.}$$

$$\text{Potencia máxima de falla} = 5,46 \times 12.500 = 68,5 \text{ Mva.}$$

c.- Interruptores de 13,8 Kv.

Interruptor # 17

Este interruptor existe en el sistema actual .

Interruptor # 20

$$\text{Corriente máxima de falla} = 6.200 \text{ amp.}$$

$$\text{Potencia máxima de falla} = 148 \text{ Mva.}$$

Interruptor # 21

$$\text{Corriente máxima de falla} = 10.600 \text{ amp.}$$

$$\text{Potencia máxima de falla} = 264 \text{ Mva.}$$

Interruptor # 22

Este interruptor existe en el sistema actual.

ASPECTO ECONOMICO DEL SISTEMA DE PROTECCION A SER UTILIZADO

En el presente tema vamos a proceder a elaborar un presupuesto - aproximado sobre la protección a ser utilizada, sin tomar en cuenta los interruptores ya que para proceder a determinar su costo es necesario - saber el tiempo de operación de los mismos, que no ha sido determinado en la presente tesis.

Para el costo de los transformadores de corriente y potencial se ha preferido proceder a elaborar un precio unitario promedio para las - diferentes relaciones.

Protección de Generadores.

<u>Tipo de relé</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Precio unitario</u>	<u>Total</u>
HA	1	\$/ 7.800,00	\$/ 7.800,00
DT-3	1	2.500,00	2.500,00
DGF	1	4.000,00	4.000,00
KLF-1	1	8.000,00	8.000,00
COQ	1	2.400,00	2.400,00
CRN-1	1	2.000,00	<u>2.000,00</u>
			\$/26.700,00 (1)

Transformadores

corriente	9	2.000,00	18.000,00
Potencial	3	3.000,00	<u>9.000,00</u>
			\$/ 27.000,00 (2)

$$(3) = (1) + (2) = \$/ 53.700,00$$

Protección de las barras.

<u>Tipo de relé</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Precio unitario</u>	<u>Total</u>
CA-6	9	S/ 3.800,00	S/34.200,00 (4)

Transformadores

Corriente	27	2.000,00	<u>54.000,00</u> (5)
			(6) = (4) + (5) = S/ 88.200,00

Protección de los transformadores.

<u>Tipo de relé</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Precio unitario</u>	<u>Total</u>
HU	9	S/ 8.000,00	S/ 72.000,00 (7)

Transformadores

Corriente	18	2.000,00	<u>36.000,00</u> (8)
			(9) = (7) + (8) = S/ 108.000,00

Protección de las líneas.

<u>Tipo de relé</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Precio unitario</u>	<u>Total</u>
KB-4 y KB-4-1	36	S/ 8.000,00	S/ 288.000,00
TB-2	12	1.000,00	12.000,00
IRP-11	6	3.000,00	18.000,00
CRP-11	4	2.000,00	8.000,00
CO-11	2	1.600,00	<u>3.200,00</u>
			S/ 329.200,00 (10)

Transformadores

Corriente	84	S/ 2.000,00	S/ 168.000,00
Potencial	36	3.000,00	<u>108.000,00</u>
			S/ 276.000,00 (11)

$$(12) = (10) + (11) = \text{S/ } 605.200,00$$

$$(3) + (6) + (9) + (12) = \text{S/ } 855.100,00$$

$$10\% \text{ de Recargo} = \text{S/ } \underline{85.510,00}$$

$$\underline{\text{TOTAL}} \quad \text{S/ } \underline{940.610,00}$$



CONCLUSIONES

Como resultado de lo calculado en los temas anteriores, podemos llegar a la conclusión que las protecciones, para los diversos componentes del sistema de potencia, son:

Protección de los generadores.

<u>Protección para:</u>	<u>Relé similar al tipo</u> <u>Westinghouse</u>	<u>Fijamiento:</u>
Cortocircuitos en los embobinados del estator.	HA	No necesita.
Sobrecalentamiento del estator.	DT-3	Según especificaciones.
Fallas a tierra del campo.	DGF	No necesita.
Pérdida de campo.	KLF-1	Sa = 2      Sc = 1 Ta = 11,5    Tc = 2,55 Ma = -0,09   Mc = -0,15
Motorización	CRN-1	Tap 6
Corrientes desbalanceadas.	COQ	Según especificaciones.

Los transformadores de corriente para los relés HA deben tener una relación de 1.000/5. Los transformadores de corriente para el tipo - KLF-1 deben tener la misma relación que los transformadores para el tipo HA, estos transformadores de corriente también van a servir para el relé COQ.

Los transformadores de potencial para el relé tipo KLF-1 deben tener una relación de 13.800/120 V., los demás relés no necesitan transformadores de potencial.

#### Protección de las barras.

Para las barras solamente se necesitan la protección diferencial, por medio de relés tipo similar al CA-6 fabricado por la Westinghouse.

Los transformadores de corriente para estos relés, no han sido determinados, ya que para éllo es necesario saber el número de alimentadoras que va a alimentar cada subestación o generador.

Estos relés no necesitan transformadores de potencial.

#### Protección de los transformadores.

Para las fallas detectables por medio de una elevación de temperatura se debe utilizar un relé de presión repentina (S.P.R.) .

Para las fallas detectables por medio de un desbalance de corriente deben utilizarse relés similares al tipo HU de la Westinghouse, cuyos transformadores de corriente y cuyo fijamiento es de la siguiente manera:

<u>Subestación.</u>	<u>Relación de los C.T.</u>		<u>Fijamiento (tap)</u>	
	<u>Alta</u>	<u>Baja</u>	<u>Alta</u>	<u>Baja</u>
12 Mva. 67/13,8 Kv.	100/5	500/5	5	8,7
25 Mva. 13,2/67 Kv.	250/5	1200/5	8,7	5
5 Mva. 67/4,16 Kv.	50/5	800/5	5	8,7

Se recomienda que los transformadores de corriente, para los relés tipo HU, tengan taps. Estos relés no necesitan transformadores de potencial.

Protección de las líneas.

Relé # 1

<u>Fase</u>			
<u>Zona</u>	<u>Tipo de relé</u>	<u>Relación de los CT.</u>	<u>Fijamiento.</u>
Zona #1	KD-4	300/5	S = 1 T = 0,383 M = 0,06
Zona #2	KD-4	300/5	S = 1 T = 0,537 M = 0,12
Zona #3	KD-4-1	300/5	S = 1 T = 0,69 M = -0,03
<u>Tierra</u>	IRP-11	200/5	tap 2,5 dial 3,1

Además se debe instalar unos transformadores de corriente auxiliares con una relación de 10/5.

Los transformadores de potencial deben tener una relación de 69000/120V.

Relé # 2

<u>Fase</u>			
<u>Zona</u>	<u>Tipo de relé</u>	<u>Relación de los CT.</u>	<u>Fijamiento</u>
Zona #1	KD-4	300/5	S = 1 T = 0,307 M = 0,12
Zona #2	KD-4	300/5	S = 1 T = 0,383 M = -0,09
Zona #3	KD-4-1	300/5	S = 1 T = 0,69 M = 0,09
<u>Tierra</u>	IRP-11	200/5	tap 2 dial 2,5

Los transformadores de potencial deben tener una relación de 69000/120 V.

Relé # 3

Fase

<u>Zona</u>	<u>Tipo de relé</u>	<u>Relación de los CT.</u>	<u>Fijamiento</u>
Zona #1	KD-4	300/5	S = 1, T = 0,307, M = 0,12
Zona #2	KD-4	300/5	S = 1, T = 0,383, M = -0,06
Zona #3	KD-4-1	300/5	S = 1, T = 0,537, M = 0,03
<u>Tierra</u>	IRP-11	200/5	tap 2,5 dial 4,5

Los transformadores de potencial para este relé pueden estar conectados en el lado de baja tensión de la subestación, por lo tanto la relación de éstos debe ser 13.800/120 V.

Relé # 4

Fase

<u>Zona</u>	<u>Tipo de relé</u>	<u>Relación de los Ct.</u>	<u>Fijamiento</u>
Zona #1	KD-4	300/5	S = 1, T = 0,23, M = 0,03
Zona #2	KD-4	300/5	S = 1, T = 0,383, M = -0,03
Zona #3	KD-4-1	300/5	S = 1, T = 0,537, M = -0,03
<u>Tierra</u>	IRP-11	200/5	tap 2 dial 1

Los transformadores de potencial para este relé deben ser los mismos que para el relé # 3.

Relé # 5

Fase

<u>Zona</u>	<u>Tipo de relé</u>	<u>Relación de los CT.</u>	<u>Fijamiento.</u>
Zona #1	KD-4	300/5	S = 1, T = 0,23, M = 0,03
Zona #2	KD-4	300/5	S = 1, T = 0,383, M = -0,03
Zona #3	KD-4-1	300/5	S = 1, T = 0,537, M = -0,12
<u>Tierra</u>	GRP-11	200/5	tap 2,5 dial 6

Los transformadores de potencial para este relé deben tener una relación de 13.800/120 V. por estar en el lado de baja de la subestación.

Relé # 6

Fase

<u>Zona</u>	<u>Tipo de relé</u>	<u>Relación de los CT.</u>	<u>Fijamiento.</u>
Zona #1	KD-4	300/5	S = 1, T = 0,307, M = 0,15
Zona #2	KD-4	300/5	S = 1, T = 0,383, M = 0,15
Zona #3	KD-4-1	300/5	S = 1, T = 0,383, M = -0,09
<u>Tierra</u>	IRP-11	200/5	tap 2,5 dial 11

Los transformadores de potencial para este relé deben ser los mismos que para el relé # 5

Relé # 7

Fase

<u>Zona</u>	<u>Tipo de relé</u>	<u>Relación de los CT.</u>	<u>Fijamiento.</u>
Zona #1	KD-4-1	900/5	S = 1, T = 0,92, M = 0,03
Zona #2	KD-41	900/5	S = 1, T = 0,92, M = -0,09
<u>Tierra</u>	CO-11	350/5	tap 3,5 dial 8

Los transformadores de potencial para este relé deben ser los mismos que para el relé # 5.

Relé # 8

Fase

<u>Zona</u>	<u>Tipo de relé</u>	<u>Relación de los CT.</u>	<u>Fijamiento</u>
Zona #1	KD-4	300/5	S = 1, T = 0,307, M = 0,15
Zona #2	KD-4	300/5	S = 1, T = 0,383, M = -0,09
<u>Tierra</u>	CRP-11	200/5	tap 2,5 dial 4,2

Los transformadores de potencial para este relé deben tener una relación de 69.000/120 V.

Relé # 9

Fase

<u>Zona</u>	<u>Tipo de relé</u>	<u>Relación de los CT.</u>	<u>Fijamiento.</u>
Zona #1	KD-4	300/5	S = 1, T = 0,307, M = 0,09
Zona #2	KD-4	300/5	S = 1, T = 0,69, M = -0,03
Zona #3	KD-4-1	300/5	S = 1, T = 1,23, M = -0,12
<u>Tierra</u>	IRP-11	200/5	tap 2,5 dial 10

Además se debe instalar unos transformadores de corriente auxiliares con una relación de 20/5.

Los transformadores de potencial para este relé deben ser los mismos que para el relé # 8.

Relé # 10

Fase

<u>Zona</u>	<u>Tipo de relé</u>	<u>Relación de los CT.</u>	<u>Fijamiento.</u>
Zona #1	KD-4	300/5	S = 1, T = 0,307, M = 0,09
Zona #2	KD-4	300/5	S = 1, T = 0,92, M = 0,03
Zona #3	KD-4-1	300/5	S = 2, T = 0,92, M = 0,06
<u>Tierra</u>	CRP-11	200/5	tap 2,5 dial 7

Los transformadores de potencial para este relé pueden estar conectados en el lado de baja tensión de la subestación, por lo tanto la relación de estos debe ser 13.800/120 V.

Además se debe instalar unos transformadores de corriente auxiliares con una relación de 20/5.

Relé # 11

Fase

<u>Zona</u>	<u>Tipo de relé</u>	<u>Relación de los CT.</u>	<u>Fijamiento.</u>
Zona #1	KD-4	300/5	S = 1, T = 0,383, M = 0,06
Zona #2	KD-4	300/5	S = 1, T = 0,69, M = -0,03
Zona #3	KD-4-1	300/5	S = 1, T = 1,23, M = 0,09
<u>Tierra</u>	CRP-11	200/5	Tap 2 dial 7,5

Los transformadores de potencial para este relé deben ser los mismos que para el relé # 10.

Además se deben instalar unos transformadores de corriente auxiliares con una relación de 10/5.

Relé # 12

Fase

<u>Zona</u>	<u>Tipo de relé</u>	<u>Relación de los CT.</u>	<u>Fijamiento.</u>
Zona #1	KD-4-1	300/5	S = 1, T = 0,307, M = -0,03
Zona #2	KD-4-1	300/5	S = 2, T = 0,69, M = -0,06
<u>Tierra</u>	CO-11	350/5	tap 3,5 dial 3

Los transformadores de potencial para este relé deben ser los mismos que para el relé # 10.

Además se deben instalar unos transformadores de corriente auxiliares con una relación de 20/5.

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- Clarke, E., CIRCUIT ANALYSIS OF A-C POWER SYSTEMS, Volumen I, 7<sup>ma</sup> edición, pág. 418, WILEY, New York (1.961).
- 2.- Westinghouse, ELECTRICAL TRANSMISSION AND DISTRIBUTION REFERENCE BOOK, 4<sup>a</sup> edición, pág. 50, WESTINGHOUSE (1.964).
- 3.- Clarke E., Referencia # 1, pág. 369.
- 4.- Ibid, pág. 393.
- 5.- Clarke, E., CIRCUIT ANALYSIS OF A-C POWER SYSTEMS, Volumen II, 4<sup>a</sup> edición, WILEY, New York (1.963).
- 6.- Stevenson, W., ELEMENTS OF POWER SYSTEM ANALYSIS, 2<sup>a</sup> edición. - Mc. GRAW HILL, Tokyo (1.962).
- 7.- Woodruff, L.F., PRINCIPLES OF ELECTRIC POWER TRANSMISSION, 2<sup>a</sup> edición, WILEY, New York (1.962).
- 8.- Rothe, F., POWER SYSTEM ANALYSIS, WILEY, New York (1.953).
- 9.- Mason, C.R., THE ART AND SCIENCE OF PROTECTIVE RELAYING, 3<sup>a</sup> edición., WILEY, New York (1.962).
- 10.- Warrington, A.R., PROTECTIVE RELAYS, Volumen I, WILEY, New York.
- 11.- Westinghouse, SILENT SENTINELS PUBLICATION, 5<sup>a</sup> edición, WESTINGHOUSE ( 1.964).
- 12.- Kimbark, E.D., POWER SYSTEM STABILITY, Volumen II, 4<sup>a</sup> edición, WILEY, New York (1.964).