APLICACION DE LOS RELES PILOTOS EN LA PROTECCION DE LA BARRA ESTE NUMERO 2 DE LA EMPRESA ELECTRICA QUITO S.A.

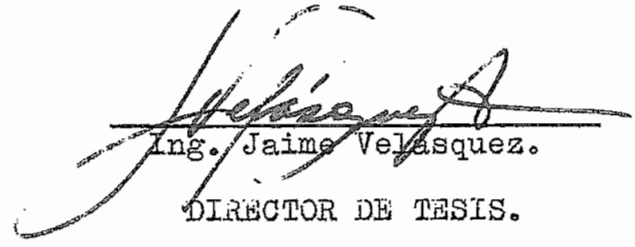
ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
QUITO
ECUADOR
BIBLIOTECA

Tesis previa a la obtención del Título de Ingeniero en la especialización de Electrotecnia de la Escuela Politécnica Nacional.

MARCO ANTONIO CEVALLOS ROMAN.

Quito Diciembre de 1.971.

CERTIFICO, que el presente trabajo fué realizado por el Sr. Marco Antonio Cevallos Román.



Ing. Jaime Velásquez.

DIRECTOR DE TESIS.

INDICE GENERAL.

		Pág.
CAPITULO I:	LOS RELES PILOTOS EN LOS SISTEMAS DE PROTECCION.	1
1-1:	Introducción.	1
1-2:	Funcionamiento de los diversos tipos de Relés Pilotos.	5
1-21:	Relés de Hilo Piloto.	7
1-22:	Relés de Onda Portadora o "Carrier".	11
1-3:	Ventajas del uso de los Relés Pilotos.	13
CAPITULO II:	SELECCION Y ESTUDIO DEL RELE A EMPLEARSE EN LA PROTECCION DE LA BARRA ESTE #2 DE LA EMPRESA - ELECTRICA QUITO S.A.	16
2-1:	Breve descripción del sistema de Transmisión y Subtransmisión de la E.E.Q.	16
2-2:	Alternativas que podrían utilizarse en la protección del sistema.	24
2-3:	Selección del Relé a utilizarse.	30
2-31:	Generalidades.	30
2-32:	Cálculo de fallas en el sistema de la E.E.Q.	31
A:	Diagrama unifilar del sistema.	32
B:	Circuitos secuenciales.	32
C:	Falla Fase-Tierra.	36
D:	Falla Fase-Fase.	43
E:	Falla Bifasica-Tierra.	44

		Pág.
F:	Falla Trifásica.	45
2-33:	Selección del Relé.	46
A:	Aspectos Técnicos.	47
B:	Aspectos Económicos.	57
2-3 4:	El Relé de Hilo Piloto tipo HCB.	59
A:	Ventajas del relé HCB.	60
B:	Funcionamiento del relé HCB.	61
C:	Calibración del relé HCB.	65
D:	Equipos auxiliares del relé HCB.	68
2-4:	Selección del Hilo Piloto.	73
2-41:	Generalidades.	73
2-42:	Selección del conductor.	74
2-43:	Distancia mínima entre los Hilos Pilotos y los conductores de fase.	78
2-44:	Cálculo mecánico de los Hilos Piloto.	79
2-45:	Evaluación de alternativas.	83
2-5:	Especificaciones y requerimientos del Relé Transformadores de Corriente. Relé de Su - pervisión, etc.	86
CAPITULO III :	CALIBRACION DEL RELE.	90
3-1:	Introducción.	90
3-2:	Calibración del Relé para las condiciones ac	

		Pág.
	tuales del sistema.	92
3-21:	Tap Rl.	92
3-22:	Tap T.	93
3-23:	Tap RO.	94
3-3:	Calibración del Relé para las condiciones futuras del sistema.	96
3-31:	Cálculo de fallas en el sistema de la E.E. Q.	96
A:	Diagrama unifilar del sistema.	96
B:	Circuitos secuenciales.	96
C:	Falla Fase-Tierra.	99
D:	Falla Fase-Fase.	107
E:	Falla Trifásica.	109
F:	Falla Bifasica-Tierra.	110
3-32:	Calibración del Relé para las condiciones futuras.	113
A:	Tap Rl.	113
B:	Tap T.	113
C:	Tap RO.	114
	BIBLIOGRAFIA	117

INDICE DE CUADROS.

No.		Pág.
2-1 A:	Generación de la E.E.Q.	17
2-1 B:	Líneas de transmisión de la E.E.Q.	18
2-1 C:	Líneas de subtransmisión de la E.E.Q.	19
2-2 A:	Resúmen de las alternativas a utilizarse en la protección del sistema en estudio.	28
2-32A:	Resúmen de la falla Fase-Tierra.	42
2-32B:	Resumen de la falla Fase-Fase.	44
2-32C:	Resumen de la falla Bifásica-Tierra	45
2-32D:	Resumen de la falla Trifásica.	46
2-33A:	Resumen de los aspectos técnicos en los diversos - tipos de relés.	56
2-33B:	Precios de los diversos tipos de relés.	57
3-31A:	Resumen falla Fase-Tierra	107
3-31B:	Resumen falla Fase-Fase	109
3-31C:	Resumen falla Trifásica	110
3-31D:	Resumen falla Bifásica-Tierra.	113

INDICE DE GRAFICOS

Nº		Pág.
1-21A:	Detalle esquemático del relé de hilo piloto por circulación de corrientes.	7A
1-21B:	Detalle esquemático del relé de hilo piloto por voltajes opuestos.	9A
1-22A:	Detalle esquemático del relé de onda portadora o " carrier ".	11A
2-32A:	Diagrama unifilar del sistema.	33
2-32B:	Diagrama simplificado del sistema.	34
2-32C:	Circuitos secuenciales del sistema .	37
2-33A:	Corrientes de fallas.	48
2-33B:	Corrientes de fallas.	50
2-33C:	Calibración del relé de impedancia HZ.	54
2-34A:	Circuito simplificado del relé HCB.	62
2-34B:	Detalle de las conexiones del relé HCB.	64
2-34C:	Detalle de las conexiones del equipo de supervisión del relé HCB.	69
2-34D:	Detalle de las conexiones del equipo de protección del relé HCB.	72
2-42A:	Detalle del conductor cable telefónico autosoportado. Tipo figura 8.	77
3-31A:	Diagrama unifilar del sistema.	97
3-31B:	Diagrama simplificado del sistema.	98

3-31C: Circuitos secuenciales del sistema, secuencias positiva y negativa. 100

3-31D: Circuitos secuenciales del sistema, secuencia cero. 101

3-31E: Circuitos secuenciales. Falla al 90% de la línea. Secuencias positiva y nagativa. 104

3-31F: Secuencia cero. 105

CAPITULO I.

LOS RELES PILOTOS EN LOS SISTEMAS DE PROTECCION.

1-1.- INTRODUCCION.-

La presente tesis no trata en sí de ser un estudio completo sobre la protección de sistemas con relés pilotos; sin embargo, y en una forma muy somera en el primer capítulo, se estudiarán los diversos tipos de relés pilotos, así como también las ventajas que nos ofrece este tipo de protección.

El objetivo principal que se persigue, es el estudiar una aplicación práctica de los relés pilotos, en un problema que en la actualidad existe como es el de la PROTECCION DE LA BARRA ESTE # 2 de la Empresa Eléctrica Quito. Se llama Barra Este #2, a una línea de Subtransmisión que partiendo de la Subestación Norte, en la ciudad de Quito, llega a la Subestación Sur; tiene una longitud aproximada de 9 Km., a una tensión de 46 KV., y utilizando conductores ACSR de 397,5 MCM.

El capítulo segundo trata de la selección y estudio del relé a emplearse en la protección del sistema. Se inicia el estudio con una breve descripción y localización, en el sistema de suministro de la E.E.Q., del sistema a protegerse. A continuación se hace una evaluación de las diferentes alternativas que podrían utilizarse, para llegar finalmente a la selección del relé. Como corolario indispensable se agregan las especificaciones y requerimientos del relé y equipos auxiliares.

El presente estudio concluye, con la calibración del relé para el correcto funcionamiento del sistema de protección, bajo dos condiciones: para la condición actual, esto es, considerando la generación actual, del sistema de la E.E.Q.,; y para la condición futura, esto es, cuando la E.E.Q., haya cumplido sus programas de construcciones de nuevas centrales, que seguún calculos estimativos de dicha empresa será el año de 1.975.

Los relés de protección, se los aplica de acuerdo con la parte del sistema que tratamos de proteger, cada una de las cuales presenta sus propios problemas, sin embargo, en todas ellas, hay principios básicos que deben cumplirse, y aún mas, principios que deben tomarse muy en cuenta tanto en el diseño, como en la selección correcta del relé de protección, entre estos principios podemos anotar los siguientes:

1.- Sensibilidad
2.- Selectividad
3.- Velocidad
4.- Simplificación
5.- Confiabilidad
6.- Economía.

Los tres primeros, son términos que se usan comunmente para describir las características funcionales de los relés de protección.

Cualquier equipo de relés debe ser lo suficientemente Sensible,

para operar rápidamente ante todo tipo de falla. La Selectividad consiste en el accionamiento de los relés que se requieran, y el bloqueo de aquellos que no deban actuar, despejando así, unicamente la sección fallosa.

La Velocidad se la puede definir como el mínimo de tiempo de despeje de falla para garantizar el mínimo de daño en los equipos. La -- Confiabilidad es un requerimiento basico en los relés de protección- cuando los relés no trabajan para la función que fueron colocados, su presencia, no se justifica; por esta razón es escencial, que los relés de protección, deben ser inherentemente confiables, esto es, que su- aplicación, instalación y mantenimiento, es tan bien realizado, que- nos asegura que siempre estará listo a funcionar. La instalación de los equipos debe ser siempre lo mas Simplificada, esto es, tener siempre el mínimo de equipos y circuitos.

Asi como un moderno sistema de potencia, no puede operar sin relés de protección, éstos tampoco se realizan sin considerables inversiones. Como en una buena ingeniería, lo Económico ocupa un lugar - muy importante, el costo de la protección debe justificarse plenamente con los beneficios que representa; como en todas las otras partes del sistema de potencia, los relés de protección deben ser evaluados considerando la mejor economía que puede representar para los consumidores. Esto se consigue cuando con los relés disminuimos los daños en las fallas, pués esto trae consigo la disminución de: costo de reparación de daños; la probabilidad de que el daño pueda extenderse a

otros equipos; el tiempo que los equipos estan fuera de servicio;las pérdidas en ventas y sobre todo las reacciones adversas por parte -- del público, mientras los equipos están fuera de servicio.

Conseguir plenamente la combinación de todos los principios anteriormente enunciados, es en realidad muy teórico, se necesitan muchos y prolongados estudios, y sobre todo una gran experiencia en el ramo para llegar a resultados óptimos en cuestión de relés; sin em-- bargo se puede anotar como norma, que conviene siempre realizar un - acertado balance del costo y del grado de protección proporcionado,- contra el riesgo que se corre si no se aplica la adecuada protección para cierto tipo de fallas. Los aparatos de protección a utilizarse- dependen tambien como es lógico, del tamaño e importancia del equipo a protegerse.

Para concluir recordemos que uno puede tener una gran o pobre - protección, como desee, pero tan mala es una excesiva como una pobre protección, por tanto busquemos siempre el ideal término medio, aunque, para esto hagamos de los relés "mas un arte que una ciencia exacta".

1-2.- FUNCIONAMIENTO DE LOS DIVERSOS TIPOS DE RELES PILOTOS.-

Los relés pilotos, operan en base de los siguientes principios:

1.- Comparación de corrientes: Este método se basa en la comparación de la corriente a los dos extremos de la línea, si la corriente a los dos extremos difiere vectorialmente de cierto valor, o mejor de cierto porcentaje, es evidente que existe una falla en el área protegida, por tanto funcionarán instantáneamente los relés de los extremos, disparando los disyuntores.

2.- Comparación de fases: Este método es similar al anterior, con la diferencia que a los extremos no se compara la magnitud de las corrientes, sino sus ángulos de fase.

3.- Comparación direccional: Se basa este método en el principio de que las corrientes fluyen hacia la falla, por tanto, si a los extremos de la línea colocamos relés direccionales de falla, cuando se detecta la presencia de ésta en el interior del área protegida, los relés funcionarán instantáneamente.

4.- Transferencia de disparo: El principio de funcionamiento de este método es el siguiente, si cualquier relé de protección a uno u otro lado de la línea detecta la presencia de una falla, en el área protegida, funciona disparando el respectivo disyuntor, enviando al mismo tiempo una señalal otro extremo para que funcione el otro disyuntor, eliminando así la falla de una manera casi instantánea. Este método es el menos común y rara vez se lo utiliza.

En el método de comparación de corrientes, se requiere la transmisión exacta de una información de cantidad, usualmente corriente alterna a la frecuencia de la fuente. En cambio los métodos de comparación direccional y de transferencia de disparo, requieren unicamente la transmisión de una señal de estado, esto es una señal de disparo o no.

El término "piloto" significa que los dos extremos de la línea protegida están interconectados por un canal para la transmisión de las señales. Existen tres tipos de relés pilotos de acuerdo al canal que utilicen: Relés de Hilo Piloto, Relés de Onda Portadora o "Carrier-Current" y Relés Pilotos a Microondas.

Los hilos pilotos son circuitos de dos alambres tipo telefónico, ya sea con cable o conductor desnudo. Se utiliza este tipo de relés en cortas pero importantes líneas, resultan ser económicamente aceptables para distancias comprendidas entre 8 y 16 Km.; mas allá de estas longitudes se utilizan ya los relés de onda portadora. Los relés de onda portadora utilizan como canal los mismos conductores de transporte de energía, y la tierra o el conductor de tierra como conductor de retorno, las señales que se envían son de alta frecuencia (30 Kc. a 200 Kc.) Los Relés de microondas, son sistemas que utilizan la radio ultra-alta frecuencia en la transmisión de las señales (900 Mc.o más). Este tipo de relés se utiliza cuando el número de servicios requeridos en el canal piloto, es tal que técnica y económicamente ya no resulta en los relés de onda portadora.

Pasamos a continuación a examinar los principios fundamentales - del funcionamiento de los relés pilotos anteriormente enunciados.

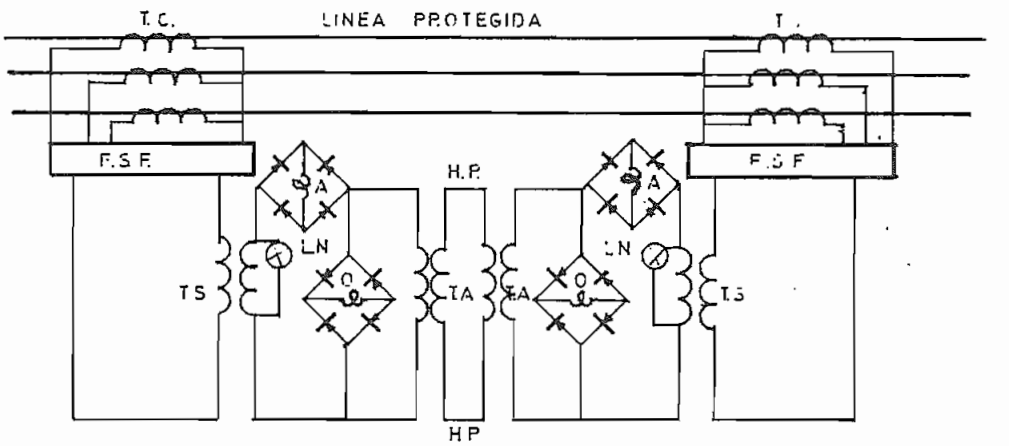
1-21.- RELES DE HILO PILOTO.-

Los relés de hilo piloto utilizan el método de comparación de corrientes para la detección de fallas, esta comparación se la hace por dos métodos: por Circulación de Corrientes y por Voltajes Opuestos.

a) Relés de Hilo Piloto, Por Circulación de Corrientes.- El gráfico 1-21 A, nos muestra esquematicamente un ejemplo práctico del relé de este tipo.

Basicamente en este método bajo condiciones normales y en fallas esternas, la corriente circula por los hilos pilotos sin accionar el relé, en cambio al presentarse una falla en el área protegida, las - corrientes circulan por el relé, causando su funcionamiento.

El relé a cada extremo del hilo, piloto es del tipo direccional a corriente directa con magnetización permanente y polarizada; la bobina "O" es la bobina de operación y la "A" es la bobina de amortiguamiento, ambas actúan en oposición en la armadura del relé, para energizar las bobinas utilizamos un sistema de rectificación de onda completa, con lo cual se consigue una mayor sensibilidad; el conjunto en total viene a ser un relé de corriente balanceada muy sensible. Los - filtros de secuencia de fase, convierten las corrientes de las tres - fases y la de tierra, en una sola magnitud. Los transformadores de - saturación limitan la magnitud del voltaje eficáz presente en el cir-



T.C. : TRANSFORMADOR DE CORRIENTE

T.S. : TRANSFORMADOR DE SATURACION

T.A. : TRANSFORMADOR DE AISLAMIENTO

F.S.F. : FILTRO DE SECUENCIA DE FASE

A : BOBINA DE AMORTIGUAMIENTO

O : BOBINA DE OPERACION

H.P. : HILO PILOTO

L.N. : LAMPARA DE NEON

GRFICO 1-21A : DETALLE ESQUEMATICO DEL RELE DEL HILO PILOTO POR CIRCULACION DE CORRIENTE

cuito piloto, mientras que las lámparas de neón, limitan los voltajes de pico. Los transformadores de aislamiento a los extremos de los hilos pilotos aislan el equipo terminal.

En condiciones normales de carga o al presentarse una falla externa, como se indicó, las corrientes provenientes de los respectivos transformadores de corriente, circulan por los hilos, sin actuar en las bobinas de operación; en cambio al presentarse una falla interna las corrientes circulan por los relés, ocacionando el disparo a los dos extremos, este disparo lógicamente depende de la magnitud de la corriente de corto-circuito y de la impedancia del circuito piloto. Esto se evidencia examinando el gráfico 1-21 A, en el extremo en el cual circulan las corrientes de falla, la corriente proveniente del filtro de secuencia de fase se divide entre las dos bobinas de operación, la mayor parte va por la bobina local; si la impedancia del hilo piloto es alta, circulará por la bobina del otro extremo muy poca corriente, causando el disparo del respectivo disyuntor.

Cabe anotar aquí que el rango de variación de la corriente en los relés debe ser lo suficientemente alto, para evitar falsos funcionamientos durante fallas externas, ya que cuando esto sucede, existe un desequilibrio de la relación de corriente en los transformadores.

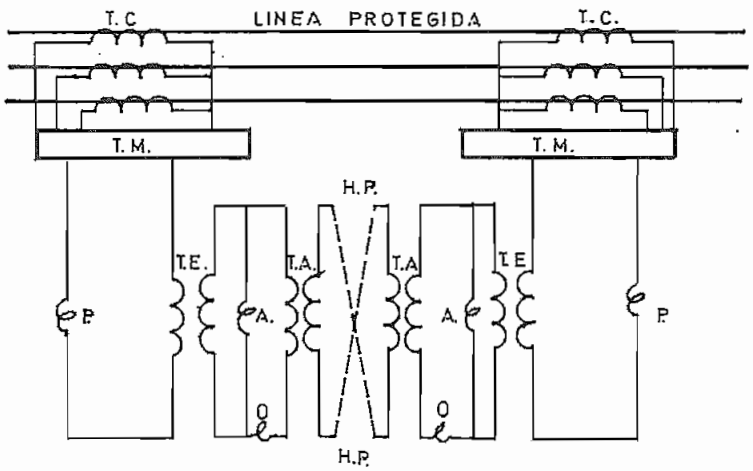
Las fallas en los hilos pilotos, deben tomarse muy en cuenta, para evitarse problemas posteriores, ya que un corto circuito en los hilos, bloquea la señal de disparo en una eventual falla que se presente en el área protegida; mientras que una línea abierta en los hi-

los, hace que los relés funcionen en condiciones normales. Hay varios métodos para evitarse este problema uno de ellos es el uso de relés - auxiliares, que nos indican permanentemente ya sean con señales opticas o acústicas el estado de los hilos pilotos, y así tomar las providencias necesarias.

b) Relés de Hilo Piloto. Por Voltajes Opuestos.- Un ejemplo de- este tipo de relés se muestra en el gráfico 1-21 B.

Basicamente en este tipo de relés, en condiciones normales y durante fallas externas, las corrientes no circulan por los hilos pilotos, pero al presentarse una falla interna, circulan por ellos y consecuentemente por los relés, ya que éstos se hallan conectados en serie con los hilos pilotos, haciendo que funcionen.

El relé a cada extremo de la línea, es del tipo direccional a - corriente alterna, cuyos dos elementos direccionales operan en oposición y tienen una fuente común polarizada. Exceptuando el efecto de- los ángulas de fase, este relé es equivalente a uno de corrientes balanceadas muy sensible. Los transformadores que podríamos llamarlos de mezcla, colocados a cada extremo, proveen el valor del ángulo de - fase, para todo tipo de fallas. La saturación en los transformadores de mezcla, limitan los valores de los voltajes eficaces presentes en- los hilos pilotos; además la impedancia de estos transformadores de- be ser lo suficientemente baja para reducir la magnitud de los voltajes de pico a valores aceptables.



T.C : TRANSF. DE CORRIENTE
T.A : TRANSF. DE AISLAMIENTO
T.E. : TRANSF. DE ENTRADA
T.M. : TRANSF. DE MEZCLA
A : BOBINA DE AMORTIGUAMIENTO
O : BOBINA DE OPERACION
P : BOBINA DE CORRIENTE POLARIZADA
H.P : HILO PILOTO.

GRAFICO 1-21B. DETALLE ESQUEMATICO DEL RELE DE HILO PILOTO POR VOLTAJES OPUESTOS.

El equipo requiere además el suficiente rango de variación de - la corriente para evitar falsos disparos por la presencia de corrientes inducidas en los hilos pilotos; también el ángulo de máximo torque de los elementos direccionales es tal, que disminuye esta tendencia a falsos disparos.

El problema de falla en los hilos pilotos, se presenta también- aquí, pués un corto circuito en los hilos, ocaciona un falso funcionamiento de los relés en condiciones normales, mientras que un - circuito abierto, evita que los relés funcionen al presentarse una falla en el área protegida.

Hay que anotar que los dos métodos anteriormente explicados , - son completamente opuestos, sin embargo, deben cumplir requisitos - comúnes, como los que a continuación se detallan:

Los transformadores de corriente a los extremos de la línea protegida deben tener, como en la mayoría de los relés, igual relación de transformación, para todos los valores de corriente.

Comunmente, como se observa en los gráficos, se utilizan devanados de amortiguamiento, para evitar falsos disparos durante fallas - externas. El relé operará cuando la relación de corriente entre los devanados propios del relé y la de los devanados de amortiguamiento, excede de cierto valor.

Se utilizan los transformadores de aislamiento, conectados entre los equipos terminales y los hilos pilotos por las siguientes ---

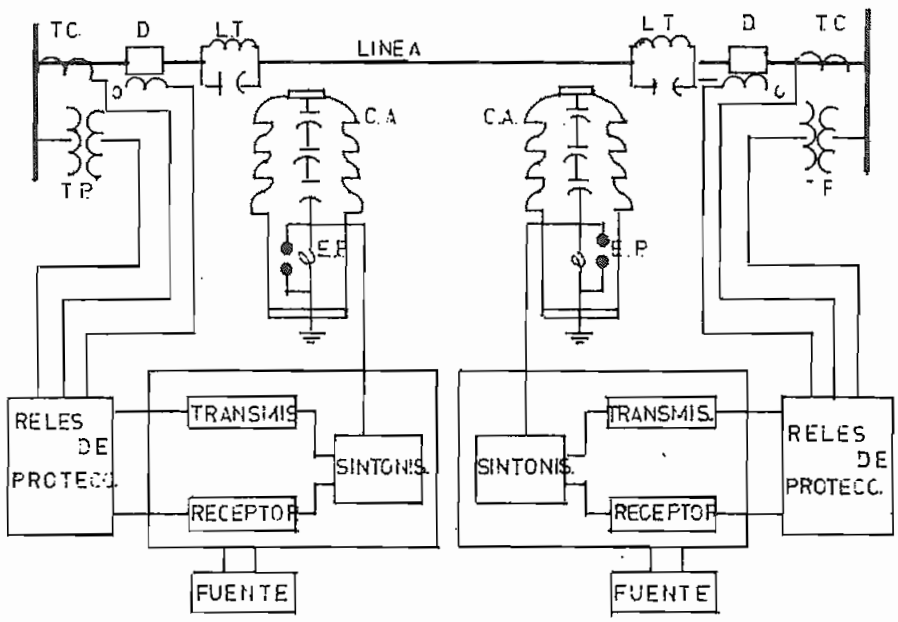
razones: primero, permiten que los devanados secundarios de los transformadores de corriente, están solidamente a tierra, para su plena seguridad; segundo, protegen el equipo terminal de los altos voltajes que a veces se inducen en los hilos pilotos, especialmente cuando estos son aereos, durante fallas en la línea protegida; y tercero, permiten usar altos voltajes y bajas corriente en los hilos pilotos, disminuyendo así la sobrecarga en los transformadores principales.

1-22.- RELES DE ONDA PORTADORA O "CARRIER".-

Funcionan en forma similar que la protección con los hilos pilótos, según el método de comparación de corrientes, con la diferencia- que para transmitir las señales entre los extremos, se emplean los mismos conductores de la línea de transporte de enrgía. Fuera de las señales de control, se pueden transmitir valores de medida, comunicaciones, etc. Para la detección de fallas se emplean relés direccionales de impedancia o reactancia, junto con varios dispositivos auxiliares que controlan la transmisión de la onda portadora o "carrier" en- las líneas de alta tensión.

Los relés de Onda Portadora, se utilizan especialmente en líneas largas, ya que en este caso resultan más baratos y funcionales que los hilos pilotos. El gráfico 1-22 A, nos muestra esquematicamente las partes principales de éste tipo de relés.

Basicamente el sistema de Ondas Portadoras, se compone de las siguientes partes: a) Una fuente de enrgía segura, por ejemplo un



T.C.:TRANSF. DE CORRIENTE

T.P :TRANSF. DE POTENCIAL

L.T.:TRAMPA

O :BOBINA DE OPERACION

C.A :CONDENSADOR DE ACOPLAMIENTO

E.P :EXPLOSORES DE PROTECCION

D :DISYUNTOR

GRAFICO 1-22 A: DETALLE ESQUEMATICO DEL RELE DE ONDA PORTADORA O CARRIER.

banco de baterías en la central. b) Una unidad transmisor-receptor,- normalmente a frecuencias ajustables entre 30 y 200 Kc.p.s., con una potencia de salida de 5 a 40 watts. El transmisor es un oscilador de potencia, el receptor tiene un detector y a veces un relé de tubo.c) Una unidad de sintonización de la línea, para sintonizar la línea a- la frecuencia deseada. d) Un condensador de acoplamiento de alta tensión, para introducir en la línea la onda portadora. e) Una unidad denominada Trampa"(line trap)", y consiste de una combinación en paralelo de una capacitancia y una inductancia, conectada en serie con la línea, y cuyo objeto es el de confinar la frecuencia transmisora- dentro de la sección de la línea protegida, evita también que señales exteriores puedan afectar el normal funcionamiento del sistema de protección. f) Explosores de protección, para evitar daños debido a sobretensiones en las líneas. g)Relés de protección que, como se indicó al comienzo, son relés de alta velocidad (direccionales de impedancia), conectados a los extremos y pueden ser separados para cada fase y tierra.

Debido a que la protección con Ondas Portadoras, no ofrece protección de retaguardia, para fallas en secciones adyacentes de los - alimentadores, es necesario la instalación de otras protecciones - para este fin; esto se consigue con relés de impedancia o reactancia.

Hay que destacar que no se a profundizado mayormente este tipo- de protección, a pesar de ser muy interesante, por cuanto nos estaríamos saliendo del tema central que nos ocupa.

1-3.- VENTAJAS DEL USO DE LOS RELES PILOTOS.-

A pesar de que el principio fundamental de todos los relés de protección es el de mantener la continuidad de servicio, protegiendo vidas y aparatos, en su área de observación, existen una serie de ventajas de los relés pilotos, que destacan sobre el resto de relés de protección, las cuales trataremos de enunciarlas a continuación:

1.- Estabilidad.- Como se ha explicado ya, los relés pilotos proveen substancialmente un disparo rápido y simultáneo a los dos extremos de la línea, lo cual trae como resultado un notorio incremento de la estabilidad del sistema.

2.- Rápida reconexión.- El rápido disparo de los relés pilotos, es fundamental para tener también una rápida reconexión, combinación ésta que viene a ser muy efectiva en el mejoramiento de la estabilidad del sistema; especialmente en líneas en forma de lazo.

3.- Daños en las líneas.- El rápido despeje de las fallas, disminuyen la posibilidad de quemazón de los conductores, debido a las sobreintensidades que se presentan en las fallas, y en general disminuyen los daños en el equipo general de las líneas.

4.- Choques en los sistemas.- Los choques violentos en el sistema debido a variaciones de voltaje y entradas bruscas de cargas sincrónicas, se disminuyen por los rápidos despejes, ya que éstos disminuyen las condiciones de bajo voltaje y tiempos de salida.

5.- Flexibilidad en el diseño del sistema.- Con los relés pilo

tos se consiguen diseños bastante flexibles, lo cual no se consigue - con los otros relés, por su velocidad; aún mas los relés pilotos simplifican grandemente la coordinación con otros relés de protección.

6.- Relés de tierra mejorados.- En los sistemas en los cuales - la alta velocidad no permite el uso de los relés de tierra, los relés pilotos vienen a ser la solución ideal.

7.- Salidas del sincronismo.- Los relés pilotos proveen la so-- lución ideal para evitar falsas operaciones de los relés de protección por oscilaciones de potencia o condiciones de salida de sincronismo, y aún mas despejan las fallas en esas condiciones.

8.- Crecimiento de fallas.- Con el rápido despeje de las fallas se reduce enormemente la propagación a otras fases, durante las más - críticas fallas fase-fase o fase-tierra.

9.- 9.- Fallas simultáneas.- La facilidad que presentan los relés - pilotos para la discriminación de fallas, hace posible que los relés- funcionen mejor bajo condiciones de fallas simultáneas.

Las ventajas anteriormente enunciadas son indudablemente las que más destacan en este tipo de relés, sin embargo existen otras que a - pesar de no ser tan importantes, merecen enunciarse.

En líneas cortas pero de altos voltajes, la detección de fallas- es a veces casi imposible con los relés de distancia, por esta razón- los relés pilotos vienen a constituirse en el único medio de detección sin basarse en tiempos de retardo.

El costo de la protección con Ondas Portadoras o"Carrier", practicamente no afecta mucho cuando la longitud de la línea y la importancia, sin grandes; si bien es cierto que los equipos para protección - "Carrier", cuestan más que los hilos pilotos, éstos aumentan notoriamente de costo con la longitud de la línea, razón por la cual es necesario hacer siempre un meticuloso análisis económico, para decir por- uno de los dos sistemas.

Se indicó que tanto para la protección "Carrier", como para la - protección con hilo piloto, se utilizan las mismas estructuras (tendido del hilo piloto) o las mismas líneas de transporte de energía (carrier), para su funcionamiento, lo cual nos da un servicio seguro y económico. Además el hecho de tener doble ventaja con el sistema de los relés pilotos (protección y comunicaciones) constituye en sí una- economía más.

CAPITULO II.

SELECCION Y ESTUDIO DEL RELE A EMPLEARSE EN LA PROTECCION DE LA BARRA ESTE No. 2 DE LA EMPRESA ELECTRICA QUITO.-

2-1.- BREVE DESCRIPCION DEL SISTEMA DE TRANSMISION Y SUBTRANSMISION DE LA EMPRESA ELECTRICA"QUITO".-

El sistema de transmisión y subtransmisión de la E.E.Q. , ha sido descrito muchas veces, y podría decirse que hasta exhaustivamente, razón por la que la presente descripción será muy rápida, poniendo mayor énfasis unicamente en aquellas partes del sistema que interesan directamente en el presente estudio.

La descripción se hará en base del plano P2-1, en el cual encontraremos no solo equipo que en la actualidad existe, sino también, equipo que se dispondrá hasta fines del año de 1.975 aproximadamente. Se considera que para el año indicado, no se comprará ya energía de la central de Machachi, y tampoco funcionará la central Guapulo, razón por la cual en la descripción no se las toma en cuenta.

Aclarado lo anterior, tenemos que la E.E.Q. tendrá para fines de 1.975 una capacidad instalada de 137.505 Kw., que proviene de las siguientes centrales:

CUADRO No.2-1A :GENERACION DE LA E.E.Q..-

PLANTA	TIPO	CAPACIDAD	COS Ø
NAYON	Hidráulica	30.000 Kw.	0,9
CUMBAYA	"	40.000 Kw.	0,9
GUANGOPOLO	"	9.400 Kw.	0,8
CHILLOS	"	1.700 Kw.	0,8
PASOCHOA	"	4.500 Kw.	0,8
MICA	"	20.000 Kw.	0,9
DIESEL NORTE	Térmica	13.845 Kw.	0,8
DIESEL SUR	"	18.000 Kw.	0,8
T O T A L		137.505 Kw.	

Por concepto se consideran como líneas de Transmisión las - que llevan la energía desde las centrales generadoras hasta una- gran subestación (subestación de llegada), en nuestro caso las - líneas de transmisión llegan a dos subestaciones la Norte y la - Sur. Se consideran también como líneas de transmisión las inter- conexiones entre centrales. A continuación en la tabla 2-1B, - se indica en forma resumida las principales características de - las líneas de transmisión de la E.E.Q.

CUADRO No 2-1B :LINEAS DE TRANSMISION DE LA E.E.Q.

RECORRIDO	VOLTAJE (KV)	No. DE CIRCUITOS	LONGITUD (Km.)	CONDUCTOR Material	Diámetro
NAYON-CUMBAYA	46	1	2,8	ACSR	477 MCM.
CUMBAYA-QUITO I	46	2	6,2	"	"
CUMBAYA-QUITO II	46	2	6,2	"	"
GUANGOPOLO-QUITO I	46	1	6,9	"	1/0
GUANGOPOLO-QUITO II	46	1	6,8	"	3/0
GUANGOPOLO-PASOCHOA	46	1	25,0	"	"
GUANGOPOLO-CHILLOS	46	1	17,0	"	2
GUANGOPOLO-MICA	46	1	25,0	"	477 MCM.
CHILLOS-QUITO.	22	1	19,0	Cu.	2

Las centrales Diesel merecen comentario aparte; la central-Diesel Norte, no alimenta a ninguna de las dos grandes subestaciones sino que, directamente por líneas de subtransmisión alimenta a las subestaciones de distribución 13 y 14, con un voltaje de - 6,3 KV., y usando conductores ACSR de 397 MCM. En cambio la central Diesel Sur, por encontrarse dentro de la subestación Sur, no necesita de líneas de transporte, sino que se conecta a la barra de 46 KV.

Se consideran como líneas de subtransmisión aquellas que - partiendo de las grandes subestaciones, llevan la energía hasta- las subestaciones de distribución. En el cuadro 2-1C se describen las líneas de subtransmisión de la E.E.Q.

CUADRO No. 2-1C :LINEAS DE SUBTRANSMISION DE LA E.E.Q.

NOMBRE O RECORRIDO	VOLTAJE (KV.)	No. DE CIRCUITOS	LONGITUD (Km.)	CONDUCTOR Material	Diámetro
BARRA ESTE # 1	46	1	7,73	ACSR	4/0
BARRA ESTE # 2	46	1	9,00	"	397,5 MCM
BARRA OESTE # 2	46	1	14,53	"	477 MCM
BARRA OESTE # 2 CON:	46	1			
SUBESTACION # 17	46	1	3,5	"	4/0
SUBESTACION # 15	46	1	1,1	"	"
SUBESTACION # 13	46	1	0,9	"	"
SUBESTACION # 11	46	1	1,3	"	"
SUBESTACION # 9	46	1	1,24	"	"
SUBESTACION # 7	46	1	0,7	"	"
SUBESTACION # 5	46	1	1,1	"	"
BARRA ESTE # 2 CON:					
SUBESTACION # 14	46	1	0,9	"	"
SUBESTACION # 12	46	1	0,2	"	"

SUBESTACION # 10	46	1	0,6	ACSR	4/0
SUBESTACION # 8	46	1	0,7	"	"
SUBESTACION # 6	46	1	1,5	"	"
SUBESTACION SUR CON:					
SUBESTACION EL RECREO	22	1	3,2	"	"
SUBESTACION LA ARGELIA	22	1	4,0	"	"
SUBESTACION HOSPITALILLO	22	1	2,7	"	"
SUBESTACION INIAP	22	1	8,1	"	"
SUBESTACION #2 Y #3	22	1	4,5	Cu.	1/0
SUBESTACION LA TOLA	22	1	6,0	"	"

Por ser de importancia para la presente tesis se describirá un poco más la BARRA ESTE # 2, como también las dos subestaciones de llegada Norte y Sur.

Subestación Norte.- Se halla situada detrás del Estadio Olímpico Atahualpa; es una subestación de maniobra, recibe energía de la central de Cumbaya por medio de dos líneas de transmisión, cada una con doble circuito, y la subtransmite atravez de los respectivos disyuntores a dos barras de subtransmisión, al mismo voltaje de llegada, esto es a 46 KV.

Las líneas de transmisión según el proyecto completo que llegan a esta subestación son CUMBAYA-QUITO I y CUMBAYA-QUITO II; las

líneas de subtransmisión que salen son BARRA ESTE # 1, BARRA OESTE #2 y BARRA ESTE # 2.

A manera de corolario anotemos a continuación las características de los disyuntores de esta subestación:

Marca y año : OERLIKON 1.960

Tipo ; En aceite (volúmen reducido), para interperie

Capacidad de desconexión :500 MVA. (trifásica)

Corriente de servicio contínuo : 600 A.

Corriente Instantánea : 12.000 A.

Corriente de 4 segundos : 7.200 A.

Corriente de Máxima interrupción : 7.200 A.

Corriente Normal de interrupción : 6.300 A. (a 46 KV.)

Tiempo de desconexión : 8 ciclos.

Subestación Sur.- Se halla situada en el sector de Luluncoto, es una subestación de maniobras y de reducción. Tiene dos barras denominadas #1 (norte) y #2 (Sur), existen además dos autotransformadores en paralelo para la reducción del voltaje de 46 KV. a 22 KV.

Esta subestación recive energía de la central de Guangopolo por dos líneas a 46 Kv., y de la central de los Chillos por una línea de transmisión a 22 KV. El proyecto contempla también la -

instalación de una central Diesel con una capacidad de 18.000 Kw. a 46 KV. en esta subestación.

De esta subestación salen las siguientes líneas de subtransmisión: Barra Este #2, Barra Oeste #2, a 46 KV.; y una línea que alimenta una serie de subestaciones de distribución al Sur de la ciudad como son Iniap, La Argelia, etc. a 22 KV.

Los disyuntores de esta subestación tienen las siguientes características:

Para las Barras de 22 KV.

Marca	: DELLE
Tipo	: HPGE 7-8, en aceite (vol.reducid.) para interperie.
Corriente	: 600 A.
Voltaje	: 36 KV.
Capacidad de interrupción	: 250 MVA.

Para las Barras de 46 KV.

Marca	: DELLE
Tipo	: HPGE 9-12 en aceite (vol.reducido) para interperie.
Corriente	: 800 A.
Voltaje	: 70 KV.
Capacidad de interrupción	:1.600 MVA.

Barra Este #2.- Como su nombre lo indica, corre a lo largo del lado oriental de la ciudad, y une las subestaciones Norte y -

Sur, con una longitud aproximada de 9 Km.; esta línea de subtransmisión junto con la Barra Oeste #2, completa el primer lazo de distribución en la ciudad de Quito. En su recorrido alimenta las subestaciones de distribución 10, 12 y 14, y una prolongación de esta barra las subestaciones 6 y 8. La barra Este #2 tiene un voltaje de 46 KV. y se utilizan conductores de ACSR de 397,5 MCM.

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL QUITO ECUADOR BIBLIOTECA

2-2.- ALTERNATIVAS QUE PODRIAN UTILIZARSE EN LA PROTECCION DEL SISTEMA.-

Siguiendo un orden ascendente de complegidad y costo, el sistema en estudio puede ser protegido por los siguientes tipos de - Relés :a) Relés de Sobrecorrientes. b) Relés Direccionales. c) Relés de Distancia. y d) Relés Pilotos.

a) Relés de Sobrecorriente.- Indudablemente son los más simples y económicos, sin embargo presentan una dificultad para su - ampliación, y es la de que el Punto de Balance (esto es la localización del punto falloso, tal que produzca un pico en la corriente, para que el relé funcione) varía con el tipo de falla, y con- alteraciones que se produzcan fuera de la zona protegida, como son la apertura o cierre líneas vecinas. Por ejemplo una falla trifásica usualmente resulta tener una corriente de falla mas grande - que una falla fase-fase en el mismo sitio, si quisiéramos tener iguales corrientes en los relés, la falla trifásica debería suce - derse más lejos del relé que una falla fase-fase, lo cual, como - es lógico, no siempre es posible o en otras palabras el punto de- balance para una falla trifásica está mas alejado que el punto de balance de una falla fase-fase. Además el aumento en la capacidad de generación, el cierre o apertura de líneas vecinas, tiende a - disminuir la impedancia entre la fuente y la falla, con el conse

cuente aumento de la corriente de falla; o en otras palabras, el- punto de balance ya determinado, al presentarse las condiciones - indicadas, sufre un desplazamiento que lo aleja del relé.

Si queremos asegurarnos plenamente del correcto funcionamien to del Relé de Sobrecorriente, nunca debemos permitir que el pun- to de balance se mueva tal que, pueda salir del área protegida, a ún en las más severas condiciones de falla; pero esto ha veces no resulta muy fácil de obtenerse, sobre todo cuando tenemos líneas- cortas pero de gran capacidad, como ocurre en el caso que nos ocu pa.

El análisis anterior nos pone en evidencia la poca confianza que inspira este tipo de relés, sobre todo en sistemas en los cuá les las condiciones externas, no siempre permanecerán constantes.

Los relés de Sobrecorrientes se usan generalmente para la - protección fase-fase y fase-tierra en subestaciones pequeñas, cir cuitos de distribución, plantas industriales y, en una que otra - línea de subtransmición, en las cuáles el uso de otros sistemas - de protección no se justifica ya sea por su importancia o por su- longitud. Sin embargo hay que destacar que los relés de Distan - cia, usados para la protección de fallas a tierra y protección de retaguardia, en líneas de transmisión, actualmente están siendo - reemplazados por relés de Sobrecorriente.

b) Relés Direccionales.- A excepción de los casos en los - cuales la potencia de falla fluye en una sola dirección, los relés de Sobrecorriente pueden reemplazarse por relés Direccionales. Estos relés deben saber de acuerdo al flujo de la potencia de falla cuando deben o no actuar, para nuestro caso, la dirección de disparo debe ser siempre de la barra hacia afuera.

El relé direccional generalmente se halla combinado con un elemento de Sobrecorriente, dando resultado un Relé Direccional de Sobrecorriente. En este tipo de relés se presentan dos problemas en la coordinación de los contactos, para evitarse falsos disparos primero, cuando se presenta una falla fuera del área protegida, los contactos direccionales deben abrirse antes de que los contactos del elemento de sobrecorriente se cierren; segundo, en el despeje de una falla externa, los contactos de sobrecorriente deben- abrirse antes que los contactos del elemento direccional se cierra, disparando falsamente el relé. El problema enunciado, se - constituye en un gran contratiempo para la coordinación del sistema, sobre todo en sistemas multiterminales.

Los relés direccionales se utilizan para dar protección fase fase y polifásica en alimentadores y líneas de transmisión, en los cuales importa mas la selectividad que la velocidad de despeje de fallas.

c) Relés de Distancia.- Se utiliza este tipo de relés, cuando los de sobrecorriente resultan demasiado lentos o por no haber la suficiente selectividad. Estos relés dan alta velocidad de - despeje de fallas hasta longitudes del 80 o 90% de la línea, y - despejes secuenciales hasta el 1/10 de los extremos de la línea.- Los relés de Distancia se prefieren a los de Sobrecorriente, a - más de las razones indicadas, porque en estos relés el inconveniente de la variación del punto de Balance, prácticamente se elimina ya que el principio de funcionamiento se hace en base de la impedancia y no de la corriente.

Los relés de Distancia se utilizan para la protección fase - fase, fase-tierra, y protección de retaguardia en líneas de sub-- transmición o transmisión, en las cuáles no es necesaria la alta-velocidad en el despeje de fallas, por la estabilidad del sistema o también sistemas en los cuáles cortos retardos de tiempo para - las zonas terminales, pueden tolerarse.

d) Relés Pilotos.- Indudablemente la mejor manera de proteger una línea de transmisión o subtransmisión, es con relés Pilotos,- los cuales dan protección contra todo tipo de fallas y de una manera instantánea. No se profundizará más en el detalle de su funcionamiento ni de sus ventajas, pués creo que en el primer Capítulo, quedó ya lo suficientemente estudiado.

Para concluir el presente análisis de las alternativas que podrían utilizarse en la protección del sistema en estudio hagamos un resúmen de los diversos relés.

CUADRO No2-2A :RESUMEN DE LAS ALTERNATIVAS A UTILIZARSE EN LA PROTECCION DEL SISTEMA EN ESTUDIO.-

RELE	APLICACION	INCONVENIENTES.
Sobrecorriente	Protección fase-fase y fase-tierra en subestaciones pequeñas, circuitos de distribución, plantas industriales y líneas de subtransmisión de poca importancia y longitud.	Variación del Punto de Balance con el tipo de Falla.
Direccional de Sobrecorriente	Protección fase-fase y polifásica en alimentadores y líneas de transmisión, líneas de subtransmisión en las cuales importa más la-	Coordinación de contactos para evitarse falsos disparos, y si las corrientes de falla no son lo suficientemente grandes, el relé no opera en fallas a tie-

	selectividad que la velocidad de despeje de-fallas.	rra.
De Distancia	Protección fase-fase,-fase-tierra y, protección de retaguardia - en líneas de transmisión o subtransmisión, en las cuáles no es necesario alta velocidad de despeje de fallas - o sistemas en los cuales cortos retardos de tiempo para zonas terminales, pueden tolerarse.	Existen retardos de tiempo para la protección de zonas terminales. Existen - límites en las corrientes de corto circuito para asegurar el correcto funcionamiento del Relé.
Pilotos	Protección fase-fase,y fase-tierra en líneas-de transmisión y sub - transmisión, líneas - cortas pero de gran importancia y voltaje.	El único incoveniente de-de este tipo de relés es-el costo, ya que son los-que más cuestan de todos-los indicados.

2-3.- SELECCION DEL RELE A UTILIZARSE.-

2-31.- GENERALIDADES.-

Una vez estudiadas las diferentes alternativas que podrían utilizarse en la protección de nuestro sistema, pasemos a la selección definitiva del relé que se utilizará en la protección del sistema.

Una correcta evaluación de las alternativas no sólo debe hacérsela mirando la aplicación específica del relé, sino también de acuerdo a si funcionará o no, en las condiciones de cortocircuito del sistema; por esta razón se hace necesario primero el cálculo de las corrientes de cortocircuito para los diversos tipos de fallas.

Existen dos métodos para obtener las corrientes de cortocircuito: el método analítico de cálculo, y usando un analizador de redes.

El método analítico consiste en el cálculo de las magnitudes de voltaje y corriente y, a veces cuando se requiera, el valor de los ángulos de fase para las condiciones de cortocircuito. En sistemas algo complicados lo mas laborioso y difícil de este método estriba en la cantidad de operaciones a realizarse, por esto q'

la introducción del Método de las Componentes Simétricas ha venido a simplificar grandemente las operaciones en el proceso de cálculo Este método es muy utilizado sobretodo en sistemas poco complica - dos y, en los cuales sean conocidos o puedan calcularse los valo - res de las impedancias equivalentes, necesarias en este método de- cálculo.

Basicamente el método de las Componentes Simétricas consiste- en la reducción de un sistema trifásico desequilibrado, en tres - sistemas de fasores simétricos y equilibrados, los cuales se cono- cen como componentes de secuencia positiva, negativa y cero. Pro - fundizar mas en la explicación de este método, creo no convendría- pues en cualquier texto se hallará suficiente información al res - pecto, y por tanto la repetición, no aportaría nada nuevo; por es- ta razón pasemos directamente al cálculo de fallas en nuestro sis- tema.

2-32.- CALCULO DE FALLAS EN EL SISTEMA DE LA E.E.Q..-

Al hacer un estudio completo de fallas, es necesario primero- escoger cuáles fallas ocurrirán, para que, en base a este criterio escoger adecuadamente los equipos de protección. Asumir que se su cederán fallas trifásicas (que es la condición mas severa) nos da- rá de hecho resultados muy conservadores, por la razón de que este tipo de falla muy poco sucede, especialmente en líneas aéreas que-

vayan sobre torres metálicas, como es el caso nuestro. Por esta - razón es práctica común asumir que la condición mas crítica es la- falla bifásica a tierra; en nuestro estudio asumiremos el criterio enunciado; se analizarán también las fallas fase-fase, fase-tierra, para tener un punto de referencia, se analizará la falla trifásica.

2-32 A.- Diagrama Unifilar Del Sistema.- El presente estudio de - fallas lo haremos en base del Gráfico 2-32 A, el cual nos presenta el Sistema Quito en las condiciones actuales. Los datos para la - elaboración del referido gráfico, fueron proporcionados por el Departamento de Generación de la E.E.Q. El gráfico 2-32 B, nos muestra el sistema original en una forma más simplificada y, considerando, como es usual en ingeniería, despreciables los valores de - resistencia, consideración ésta que no introduce errores grandes - en los cálculos.

2-32 B.- Circuitos Secuenciales.- Para la elaboración de los circuitos secuenciales, debemos hacer las siguientes consideraciones- en virtud de que las impedancias varían de acuerdo al tipo de equipo que se utilice.

Máquinas Sincrónicas.- En la secuencia positiva encontramos - tres valores de reactancia: Xd= reactancia sincrónica, X'd= reac - tancia transitoria y X"d= reactancia subtransitoria. Para el cálculo de cortocircuitos, cuando se consideran relés y disyuntores -

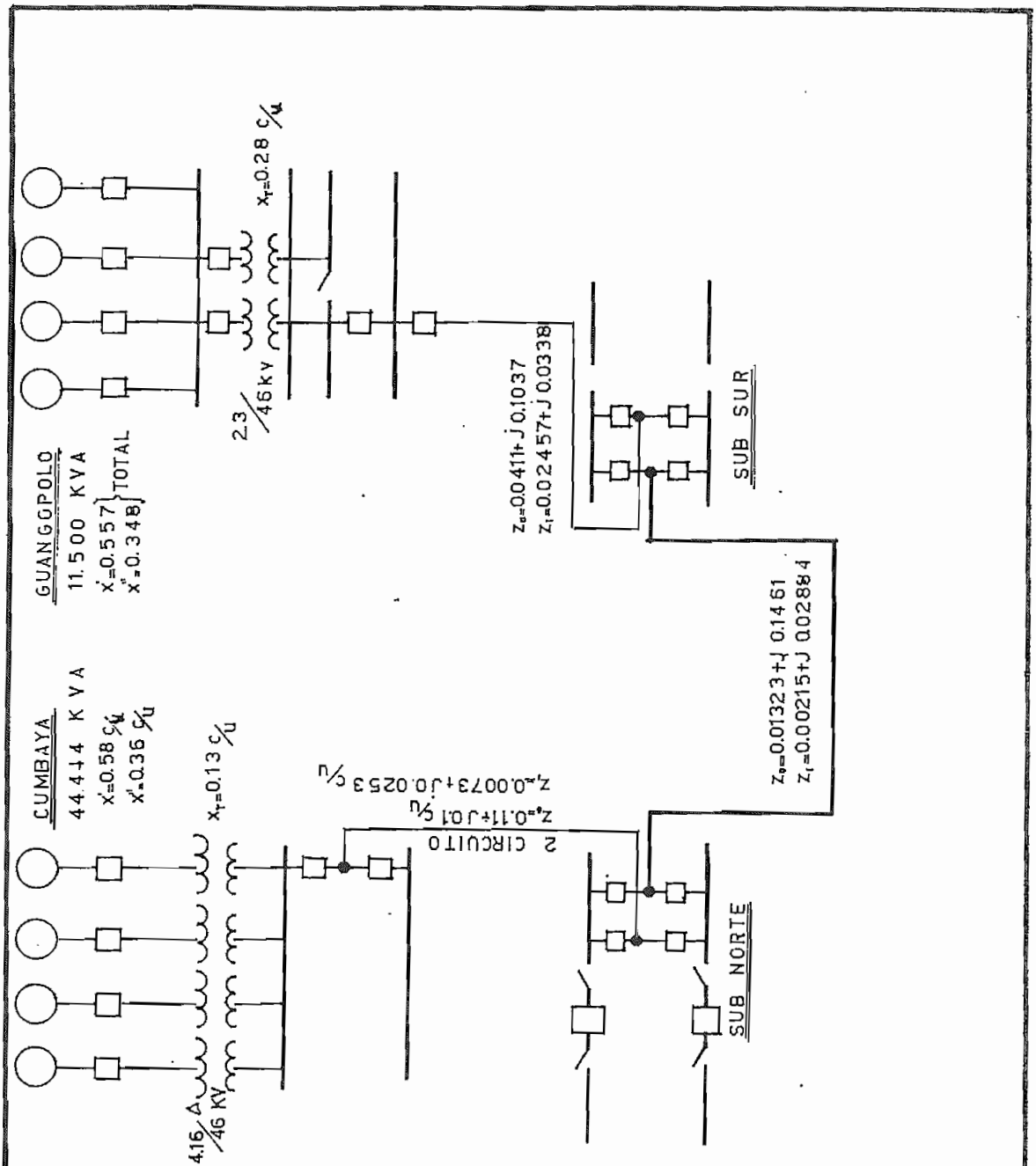


GRAFICO 2 32 A :DIAGRAMA UNIFILAR DEL SISTEMA

NOTA :LOS VALORES ESTAN EXPRESADOS EN MAGNITUDES DE TANTO POR UNO (pu) .BASES 20 KVA y KV nominales

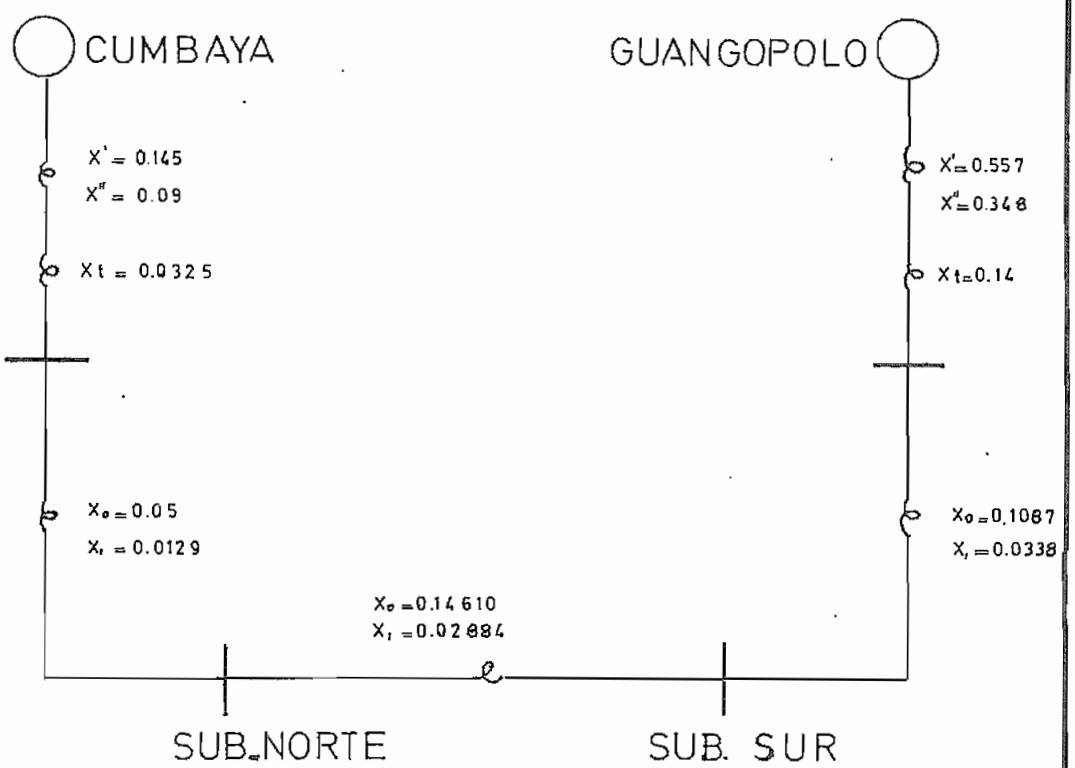


GRAFICO 2-32B : DIAGRAMA SIMPLIFICADO DEL SISTEMA

NOTA : LOS VALORES ESTAN EXPRESADOS EN MAGNITUDES DE TANTO POR UNO (PU)

BASES: 20.000 KVA. Y KV. NOMINALES.

de alta velocidad, como es el caso nuestro, el valor que se usa es el de $X''d$, porque este nos da el valor inicial de corriente más grande. La reactancia de secuencia negativa, en general es igual a la reactancia subtransitoria, excepto en generadores hidráulicos sin debanados de amortiguamiento, que no es el caso nuestro. La reactancia de secuencia cero es menor que las anteriores, y según la conexión del transformador de salida, interviene o no en el cálculo; en el caso nuestro, por la conexión del transformador de salida en los patios de maniobra de las centrales en estudio (Δ-Y_1), no interviene en el cálculo.

La resistencia de los devanados de la armadura, es tan pequeña, que se desprecia en el cálculo de las corrientes de cortocircuitos.

Transformadores.- Las reactancias de secuencia positiva y negativa en los transformadores son iguales. La reactancia de secuencia cero, también es igual, excepto en diseños especiales.

La resistencia de los devanados se desprecia en el cálculo de las corrientes de cortocircuito.

Líneas.- Las rectancias de secuencia positiva y negativa son iguales, la reactancia de secuencia cero, es necesariamente diferente, porque las corrientes de esta secuencia deben retornar ya sea por aire o por tierra, y por tanto encontrarán diferente resisten-

cia en el camino de retorno.

Las resistencias en las tres secuencias, generalmente por ser pequeñas se desprecian.

En base a las consideraciones anteriores se elavoraron los - circuitos secuenciales del sistema en estudio, los cuales se muestran el gráfico 2-32 C.

Una vez elavorados los circuitos secuenciales estamos ya en - capacidad de calcular las corrientes de falla. Como se indicó anteriormente, analizaremos los siguientes tipos de fallas: Falla Bifásica a tierra, fase-fase, fase-tierra y trifásica; las fallas se simularán al 10, 20, 40, 50, 60, 80, y 90% de la longitud de la línea, partiendo de la subestación Norte hacia la subestación Sur; - la variación del punto falloso, nos dará una idea cabal y completa para llegar a la selección del relé, y posteriormente a su calibración.

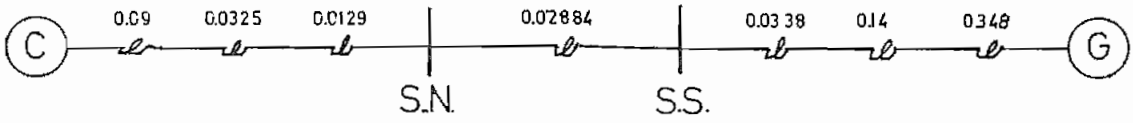
2-32 C.- Falla Fase-Tierra.- Asumiremos que la fase fallosa será,- la Fase A, por lo tanto, y por el conocimiento de las componentes- Simétricas para este tipo de falla podemos escribir que:

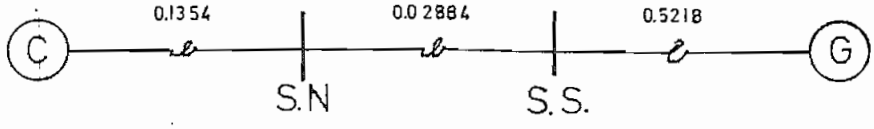
$$I_A = I_{A1} + I_{A2} + I_{AO}$$

$$I_B = I_C = 0$$

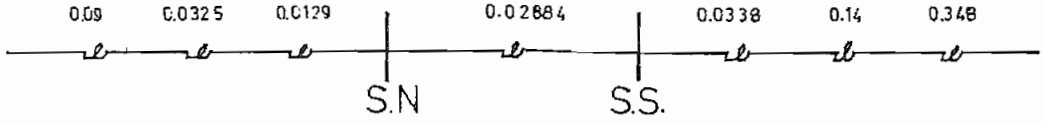
$$I_{A1} = I_{A2} = I_{AO}$$

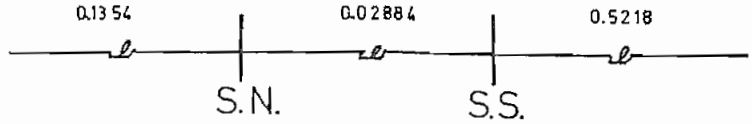
ⓐ SECUENCIA POSITIVA



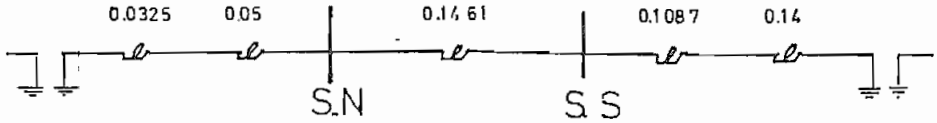


ⓑ SECUENCIA NEGATIVA





ⓒ SECUENCIA CERO



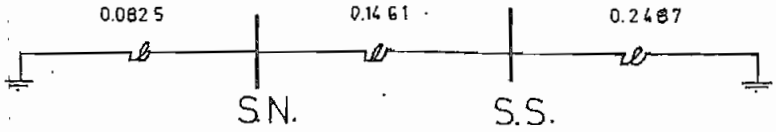
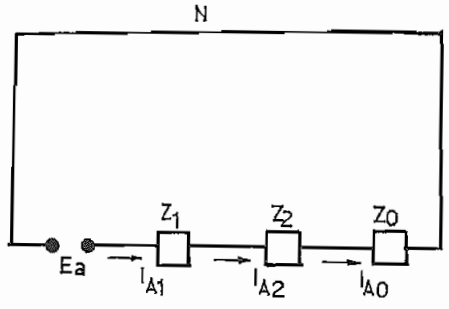


GRAFICO 2-32C : CIRCUITOS SECUENCIALES DEL SISTEMA

$$I_A = 3\, I_{A1} = 3\, I_{A2} = 3\, I_{A0}$$

$$I_{A1} = \frac{Ea}{Z_1 + Z_2 + Z0}$$

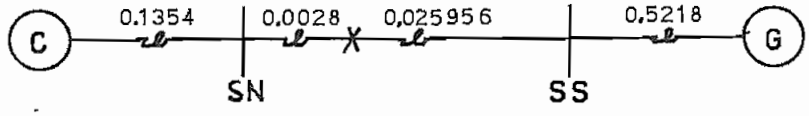
Circuito Equivalente de Impedancias.



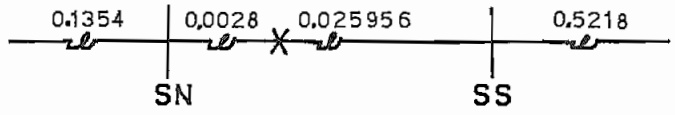
Falla al 10% de la longitud de la línea.-

Los circuitos secuenciales serán:

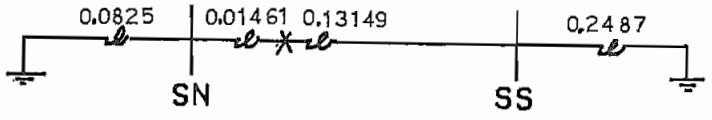
a) Secuencias Positiva.-



b) Secuencia Negativa.-



c) Secuencia Cero.-



Por lo tanto tendremos:

Para el lado Cumbaya: $Z_1 = 0{,}138284$ pu.

$Z_2 = 0.138284$ pu.

$Z_0 = 0.09711$ pu.

Ea = 1 pu.

Por lo tanto $I_{A1} = \frac{1}{0,373678} = 2,68$ pu.

$I_A = 3 \times 2,68 = 8,04$ pu.

Calculando la corriente base:

$$I_B = \frac{KVA_B}{\sqrt{3}\, KV_B} = \frac{20.000}{\sqrt{3}\, 46} = 252 \text{ Amperios}$$

Luego: $I_A = 8,04 \times 252 = 2.026$ Amperios.

Para el lado Guangopolo: $Z_1 = 0,547756$ pu.

$Z_2 = 0,547756$ pu.

$Z_0 = 0,38019$ pu.

$Ea = 1$ pu.

Por lo tanto $I_{A1} = \frac{1}{1,475702} = 0,68$ pu.

$I_A = 0,68 \times 3 = 2,04$ pu.

$I_A = 2,04 \times 252 = 514,08$ Amperios.

Para el resto de porcentajes el procedimiento será el mismo.

Falla al 20% de la longitud de la línea.-

Para el lado Cumbayá: $Z_1 = 0,141168$ pu.

$Z_2 = 0,141168$ pu.

$Z_0 = 0,11172$ pu.

$I_{A1} = 2,51$ pu.

$I_A = 7,53$ pu. = 1.900 Amperios.

Para el lado Guangopolo:

Z_1 = 0,544872 pu.

Z_2 = 0,544872 pu.

Z_0 = 0,36558 pu.

I_{A1} = 0,69 pu.

I_A = 2,07 pu. = 520 Amperios

Falla al 40% de la longitud de la línea.-

Para el lado Cumbaya: Z_1 = 0,146936 pu.

Z_2 = 0,146936 pu.

Z_0 = 0,14094 pu.

I_{A1} = 2,3 pu.

I_A = 6,9 pu. = 1.740 Amperios.

Para el lado Guangopolo: Z_1 = 0,539104 pu.

Z_2 = 0,539104 pu.

Z_0 = 0,33636 pu.

I_{A1} = 0,71 pu.

I_A = 2,13 pu. = 533 Amperios.

Falla al 50% de la longitud de la línea.-

Para el lado Cumbaya: Z_1 = 0,14982 pu.

Z_2 = 0,14982 pu.

Z_0 = 0,1555 pu.

I_{A1} = 2,2 pu.

I_A = 6,6 pu. = 1.662 Amperios.

Para el lado Guangopolo: Z_1 = 0,53622 pu.

Z_2 = 0,53622 pu.

Z_0 = 0,32175 pu.

I_{Al} = 0,72 pu.

I_A = 2,16 pu. = 542 Amperios.

Falla al 60% de la longitud de la línea.-

Para el lado Cumbaya: Z_1 = 0,152704 pu.

Z_2 = 0,152704 pu.

Z_0 = 0,17016 pu.

I_{Al} = 2,1 pu.

I_A = 6,3 pu. = 1.585 Amperios.

Para el lado Guangopolo: Z_1 = 0,533336 pu.

Z_2 = 0,533336 pu.

Z_0 = 0,30714 pu.

I_{Al} = 0,73 pu.

I_A = 2,19 pu. = 551 Amperios.

Falla al 80% de la longitud de la línea.-

Para el lado Cumbaya: Z_1 = 0,158472 pu.

Z_2 = 0,158472 pu.

Z_0 = 0,19938 pu.

I_{Al} = 1,94 pu.

I_A = 5,82 pu. = 1.462 Amperios.

Para el lado Guangopolo: Z_1 = 0,527568 pu.

Z_2 = 0,527568 pu.

Z_0 = 0,27792 pu.

I_{A1} = 0,75 pu.

I_A = 2,25 pu. = 568 Amperios.

Falla al 90% de la longitud de la línea.-

Para el lado Cumbaya: Z_1 = 0,161356 pu.

Z_2 = 0,161356 pu.

Z_0 = 0,21399 pu.

I_{A1} = 1,87 pu.

I_A = 5,61 pu. = 1.420 Amperios.

Para el lado Guangopolo: Z_1 = 0,524684 pu.

Z_2 = 0,524684 pu.

Z_0 = 0,26331 pu.

I_{A1} = 0,762 pu.

I_A = 2,286 pu. = 572 Amperios.

CUADRO No. 2-32 A: RESUMEN FALLA FASE-TIERRA.-

	CORRIENTE (AMPERIOS)						
Long. de la Línea	10%	20%	40%	50%	60%	80%	90%
Subestación Norte	2.026	1.900	1.740	1.662	1.585	1.462	1.420
Subestación Sur	514	520	533	542	551	568	572

2-32.- D.- Falla Fase-Fase.- Asumiremos que las fases fallosas - son la Fase B y la Fase C, por lo tanto por Componentes Simétricas, podemos escribir que:

$I_A = \emptyset$

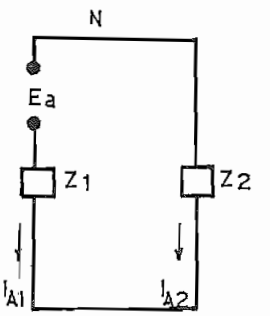
$I_B = -I_C = a^2 I_{A1} + a I_{A2} + I_{A0}$

Pero en este caso $I_{A0} = 0$ e $I_{A1} = -I_{A2}$

Tenemos que: $I_B = (a^2 - a) I_{A1}$

$$I_{A1} = \frac{Ea}{Z_1 + Z_2}$$

Circuito Equivalente de Impedancias.



Los circuitos secuenciales no hace falta dibujarlos por cuanto nos sirven los mismos que para la falla Fase-Tierra, por lo - tanto pasemos al cálculo directamente.

Falla al 10% de la longitud de la línea.-

Para el lado Cumbaya:	Para el lado Guangopolo
Z_1 = 0,138284 pu.	Z_1 = 0,547756 pu.
Z_2 = 0,138284 pu.	Z_2 = 0,547756 pu.
Z_0 = no interviene	
I_{A1} = 3,6 pu.	I_{A1} = 0,915 pu.
I_B = 6,21 pu. = 1.562 Amperios	I_B = 1,58 pu. = 400 Amperios.

El resto del cálculo se lo hace en igual forma, por lo que- no se repetirá. A continuación presentamos un cuadro de resúmen.

CUADRO No. 2-32 B: RESUMEN FALLA FASE-FASE

	CORRIENTE (AMPERIOS).						
Long. de la línea	10%	20%	40%	50%	60%	80%	90%
SUbestación Norte	1.562	1.540	1.492	1.460	1.422	1.365	1.342
Subestación Sur	400	403	406	410	413	416	418

2-32 E.- Falla Bifásica-Tierra.- En este caso asumiremos que las fases fallosas son B y C, por tanto y en base al conocimiento de las Componentes Simétricas para este tipo de falla podemos escribir que:

$I_A = 0$

$I_B = I_{A0} + I_{A1}\, a^2 + I_{A2}\, a$

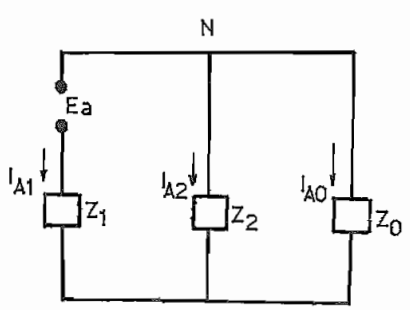
$I_C = I_{A0} + I_{A1}\, a + I_{A2}\, a^2$

$I_{A1} \quad \frac{Ea}{Z_1 +}$

$I_{A2} = - I_{A1}$

$I_{A0} = - I_{A1}$

Circuito Equivalente de Impedancias.



Los circuitos secuenciales como en el caso anterior no hace falta dibujarlos, luego:

Falla al 10% de la longitud de la línea.-

Para el lado Cumbaya:

$I_{A1} = -j\ 5{,}11$ pu.

$I_{A2} = j\ 2{,}2180$ pu.

$I_{AO} = j\ 3{,}05$ pu.

$I_B = I_C = 7{,}6$ pu. = 1.919 Amperios.

Para el lado Guangopolo:

$I_{A1} = -j\ 1{,}299$ pu.

$I_{A2} = j\ 0{,}53$ pu.

$I_{AO} = j\ 0{,}76$ pu.

$I_B = I_C = 1{,}95$ pu.= 490 Amp.

El cálculo no se lo hará por ser semejante, por lo tanto presentamos solo el resúmen.

CUADRO No. 2-32C.- RESUMEN FALLA BIFASICA-TIERRA.-

	CORRIENTE (AMPERIOS).						
Long. de la línea.	10%	20%	40%	50%	60%	80%	90%
Subestación Norte.	1.919	1.850	1.720	1.650	1.560	1.530	1.500
Subestación Sur.	490	500	509	529	535	542	551

2-32 F.- Falla Trifásica.- Por el conocimiento de las Componentes Simétricas podemos escribir que:

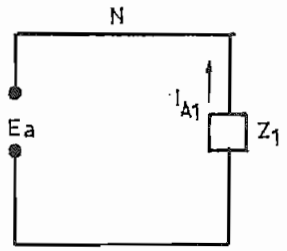
$I_{A2} = I_{AO} = 0$

$I_A = I_{A1} = \frac{Ea}{Z_1}$

$I_B = a^2 I_A$

$I_C = a I_A$

Circuito Equivalente de Impedancias.



Falla al 10% de la longitud de la línea.-

Lado Cumbaya:

I_{A1} = 7,2 pu.

I_A = 1.820 Amperios

Lado Guangopolo:

I_{A1} = 1,839 pu.

I_A = 461 Amperios.

CUADRO No. 2-32 D: RESUMEN FALLA TRIFASICA.-

	CORRIENTE (AMPERIOS).						
Long. de la línea	10%	20%	40%	50%	60%	80%	90%
Subestación Norte	1.820	1.780	1.710	1.680	1.640	1.580	1.560
Subestación Sur.	461	463	467	470	473	476	480

2-33.- SELECCION DEL RELE.-

A pesar de que, con el resumen de las alternativas que po - drían utilizarse en la protección del sistema, tenemos ya una idea -

de cuál relé nos conviene, discutiremos un poco más cada tipo de relé, sobre todo analizando su comportamiento en el sistema bajo condiciones de falla.

2-33 A.- Aspectos Técnicos.-

Relé de Sobrecorriente.- Con los datos resumidos de las corrientes de falla para los diferentes casos, elaboramos el gráfico 2-33 A, el cuál nos servirá para la presente discución.

Si calibramos el relé con la condición mas crítica, esto es con la condición falla bifásica-tierra, en la subestación Norte-tendremos que la línea queda protegida así: para fallas bifásica tierra hasta el 90% de la longitud de la línea; para fallas fase-tierra hasta el 75% de la longitud de la línea; y pra fallas-fase-fase, hasta el 27,5% de la longitud de la línea. Es notorio que el extremo de la línea queda sin protección. Ahora si miramos desde la subestación Sur, cuya característica de falla bifásica-tierra se dibuja en rayas, notamos que el relé no tendrá -- pico (esto se debe a que el Punto de Balance) sale fuera de la - línea protegida, y por tantoel relé no operará.

Además del problema anterior, debe pensarse que el sistema-en estudio duplicará en corto tiempo su capacidad de generación-lo cual traerá consigo una nueva variación del Punto de Balance, y por lo tanto el relé utilizado tendrá que ser cambiado por otro

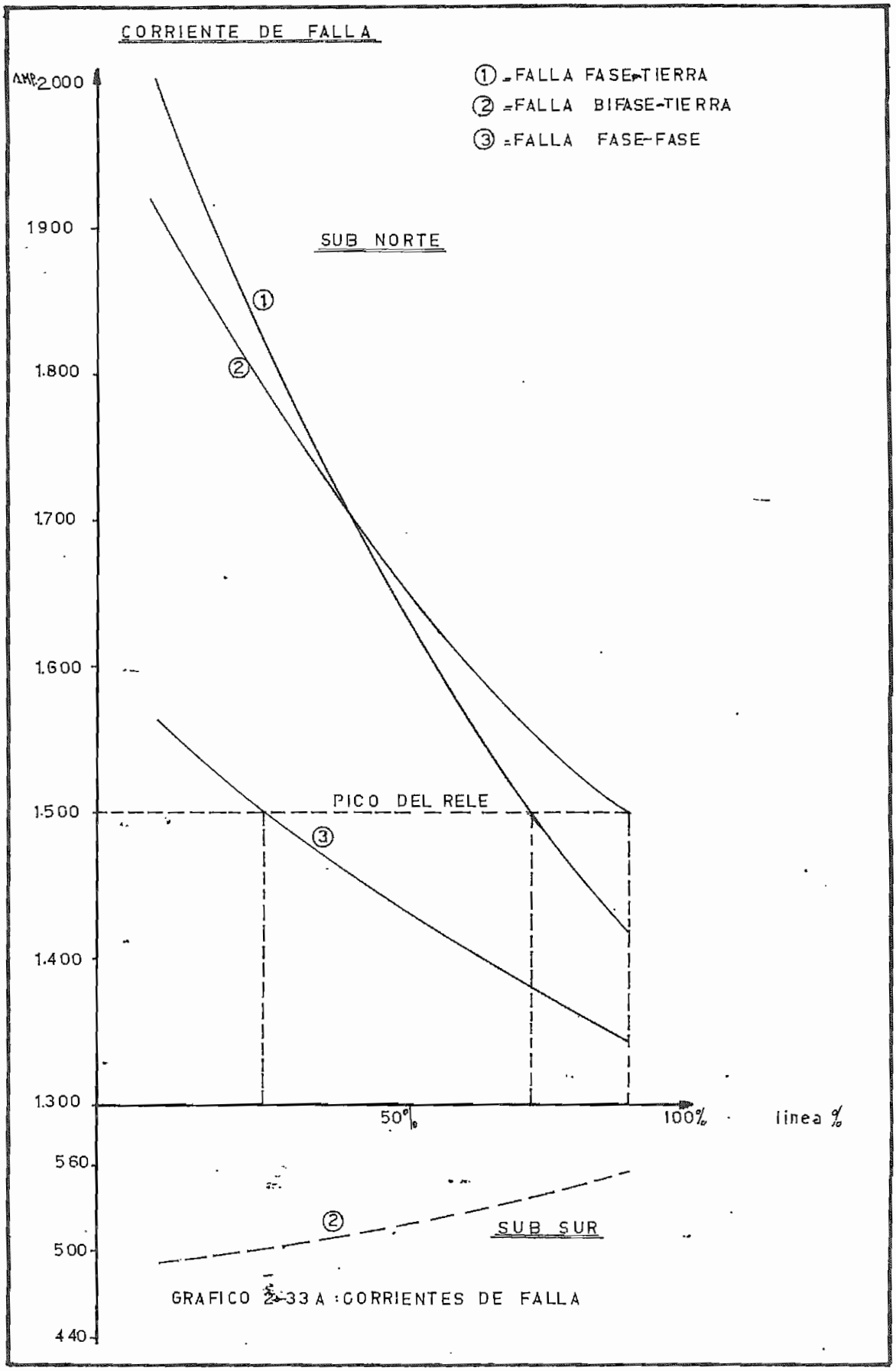


GRAFICO 2-33 A : CORRIENTES DE FALLA

de características diferentes.

Por las razones expuestas, el relé de Sobrecorriente, es el que menos confianza nos inspira para utilizarlo en la protección de nuestro sistema, por lo que técnicamente no conviene este relé

Relé Direccional.- En el resúmen de las alternativas tenemos que el incoveniente de este relé es el de que si las corrientes de falla a tierra no son lo suficientemente grandes, el relé no opera para este tipo de fallas. Esta es la razón por la cual el relé direccional se lo utiliza más para la protección fase-fase y polifásica, y no para protección contra fallas a tierra.

Lo anterior se confirma en nuestro sistema si observamos el gráfico 2-33 B (elaborado con los datos del resúmen de fallas, en el cual tenemos que al extremo de la línea, las corrientes de falla a tierra disminuyen notablemente; y si el relé está calibrado para fallas trifásicas, en fallas a tierra no funcionará. Este inconveniente se solucionaría si a los relés direccionales de fase se agregarían relés direccionales de tierra, pero esto, traería consigo la duplicación del costo del equipo de protección y la consecuente complicación de los circuitos, haciendo difícil la calibración y la selectividad.

Relé de Distancia.- El tipo de relé de distancia que va a ser aplicado depende de la longitud del circuito y de las cargas

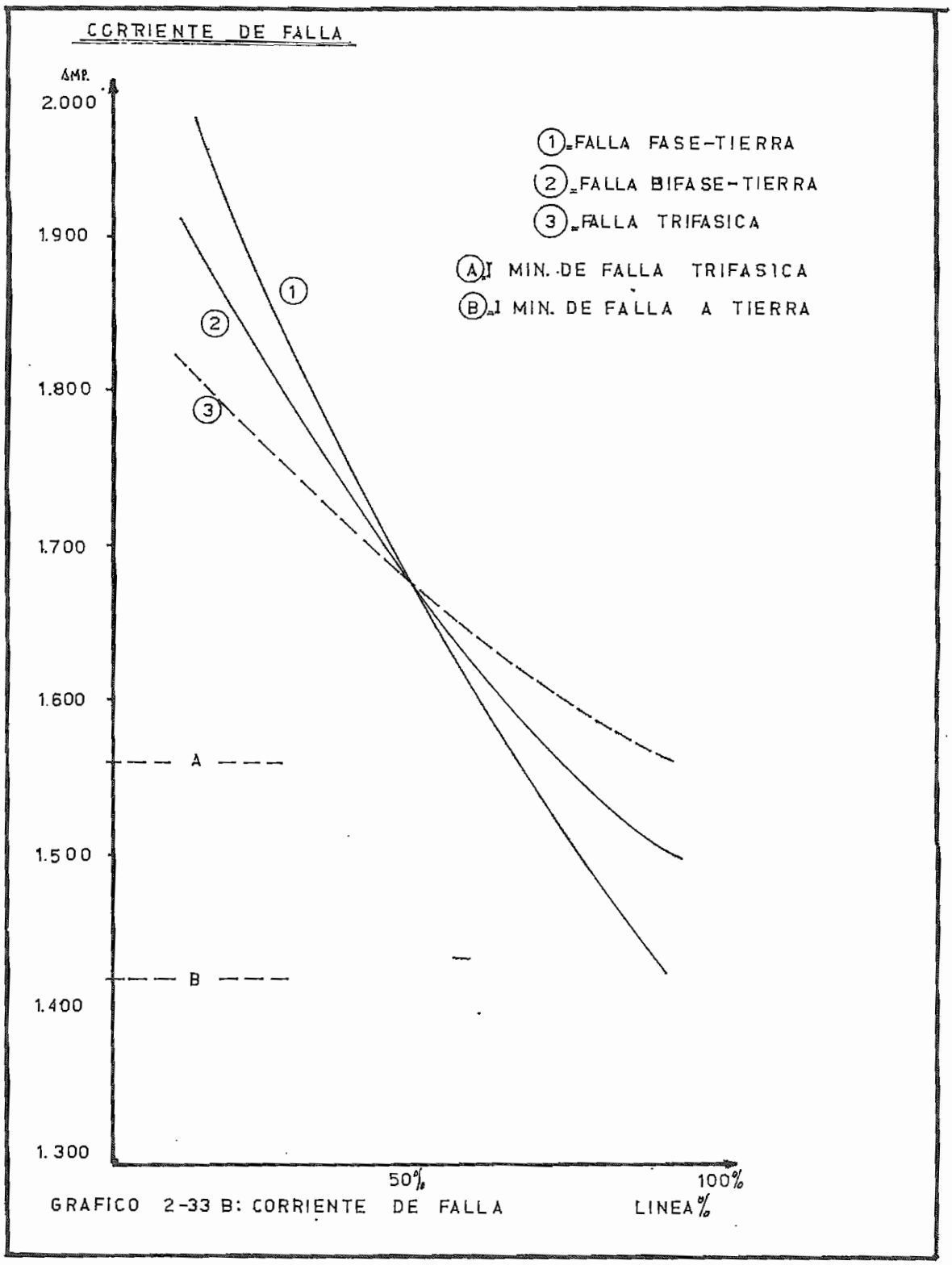


GRAFICO 2-33 B: CORRIENTE DE FALLA

que este lleve. En líneas relativamente cortas, con cargas modera - das, como es el caso nuestro, los tipos más utilizados son los de - Reactancia e Impedancia y, será en base de estos dos tipos que se - hará la discusión. Los relés tipo Mho y de Impedancia Modificada,- se usan exclusivamente en líneas largas y de grandes cargas.

"Existen dos factores que deben tomarse muy en cuenta para el- correcto funcionamiento del Relé de Impedancia: con la corriente mí nima de corto circuito debe existir una diferencia de potencial en= tre los extremos del circuito de por lo menos 4,2 voltios, en 110 - voltios base; y la mínima corriente de corto circuito no debe ser - menor que el 200% de la corriente del "tap" del relé. El relé de - Reactancia en cambio está sujeto a errores, cuando la corriente fa- llosa, se alimenta por los dos extremos de la línea. No existe error alguno cuando toda la potencia procede de una sola fuente y en un - solo sentido de la línea". Ref.1

Como el caso nuestro son dos las fuentes que alimentan la Barra el relé de Reactancia, como se explicó, introducirá un error, que - afecta notoriamente en la correcta calibración del relé, razón por- la cual no se tomará en cuenta para la discusión este tipo de relé.

Ref.1: GENERATING STATIONS por ALFRED LOVELL. Págs. 396 y 397.

Por tanto queda por comprobar si el relé de impedancia cumplirá los requerimientos para el correcto funcionamiento bajo las condiciones que impone nuestro circuito.

En la barra ESTE # 2 tenemos que:

$Z = 0{,}03753 + j\ 0{,}20378$ pu.

$R\Omega = Z$ pu. x Zb $= 0{,}03753 \ \frac{(46)^2 \times 10^3}{20.000} = 3{,}98\ \Omega$

$X\Omega = j\ 21{,}41$

$Z\Omega = 3{,}98 + j\ 21{,}41 = Z = 21{,}8\ \Omega$

En la Subestación Norte:

I mín. de cortocircuito = 1.342 Amperios (falla fase-fase).

luego: V = 1.342 x 21,8 = 29.200 Voltios (en base 46 KV).

V = 70 Voltios (en base 110 volt.)

Por lo tanto y en base a lo anterior concluimos que el relé Impedancia colocado en la subestación norte si funcionará.

En la Subestación Sur:

I mín. de cortocircuito = 400 Amperios (falla fase-fase).

luego: V = 400 x 21,8 = 8.700 Voltios (en base 46 KV.)

V = 20,8 Voltios (en base 110 volt.)

Luego el relé de Imp. colocado en la subestación Sur, también funcionaría.

El relé de Impedancia que se utiliza en líneas de transmi-

sión y, en base al cual discutiremos, es el Tipo HZ de la Westinghouse (21 AIEENEMA). Este relé se llama de tres unidades, que- se denominan Z_1 , Z_2 y Z_3. Las unidades Z_1 y parte de Z_2, dan - protección primaria al circuito, mientras que parte de Z_2 y Z_3 - dan protección de retaguardia. Para un mejor entendimiento del- funcionamiento de este relé tenemos en un diagrama R-X sus características, gráfico 2-33 C.

En el gráfico mencionado la calibración del relé será en la siguiente forma:

Zona 1.- En esta zona el disparo es prácticamente instantáneo, la unidad de distancia debe ajustarse un poco más abajo que el - extremo de la línea protegida, se recomienda del 85 al 90% de la longitud de la línea para fallas de fase (en nuestro caso, según el resúmen de las diversas fallas, para 1.342 Amperios = falla - al 90% de la longitud de la línea para falla fase-fase), y para- el 75% de la longitud de la línea para fallas a tierra(en el caso nuestro 1.545 Amperios = falla al 75% de la longitud de la línea en falla bifase-tierra).

Zona 2.- La unidad de distancia actúa al instante, pero el disparo sufre un retardo debido al contacto temporizador. La principal función de esta unidad es la de proteger el extremo de la línea que no quedó protegido por la unidad Z_1; el intervalo de tiempo T2 debe ser tal que pueda coordinarse con los relés de la -

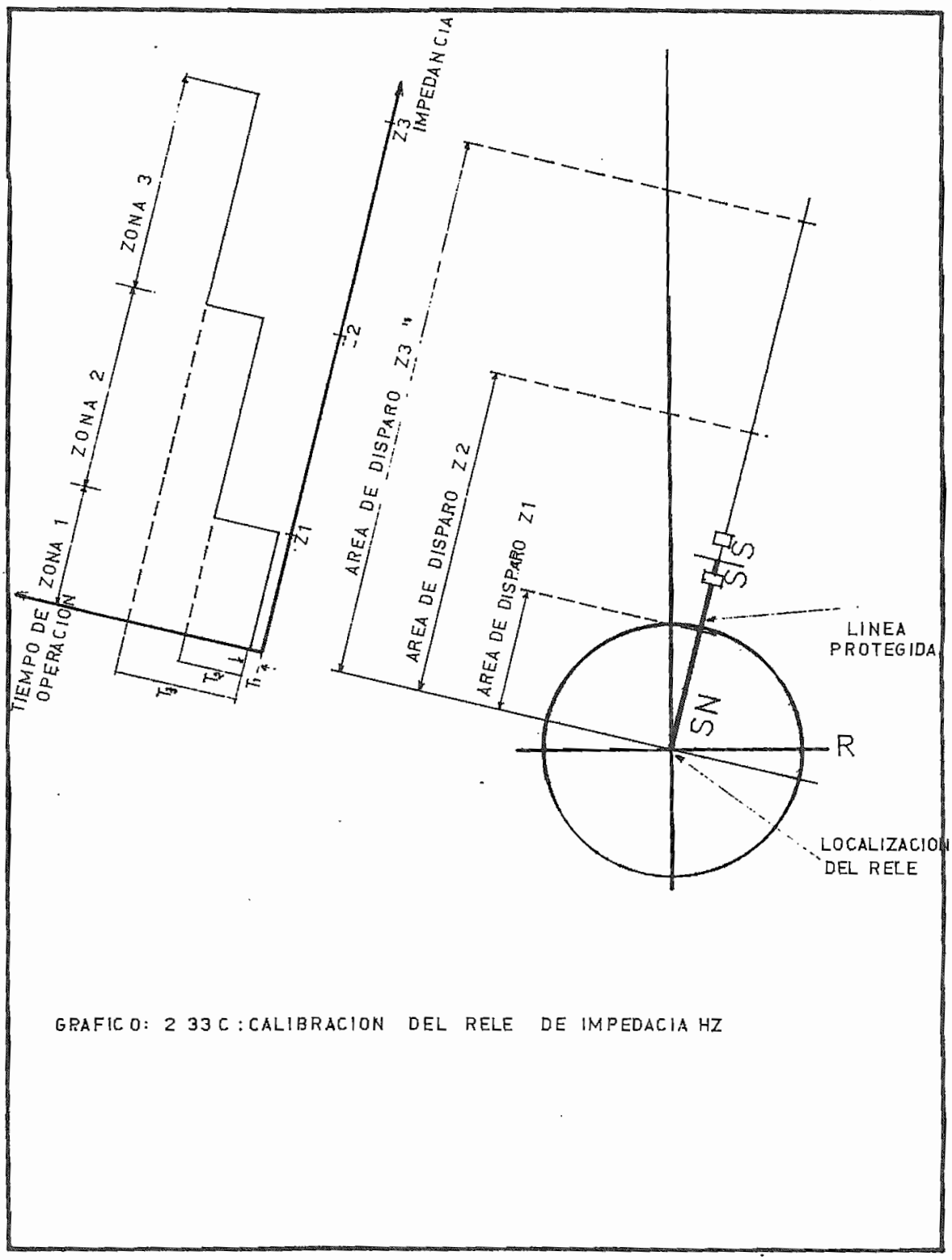


GRAFICO: 2 33 C : CALIBRACION DEL RELE DE IMPEDACIA HZ

barra adyacente (ver gráfico), sin embargo esto se hace difícil si la otra barra está protegida con relés de Sobrecorriente (como sucede en nuestro caso, pués las líneas de transmisión desde las Centrales a Quito, están protegidas por relés de Sobrecorrientes). T2 normalmente es 0,2 seg. más que el tiempo de operación de los disyuntores y, aumenta para coordinarse, como se indicó, con los relés de Sobrecorriente.

Para completar la zona de protección, Z_2 debe cubrir alrededor del 120% de la longitud protegida.

Zona 3.- Como se dijo anteriormente la función primordial de esta unidad es la de dar protección de retaguardia; normalmente el tiempo de operación de esta unidad no es menor que 1seg.,mas bien está cerca de los 2 segs.

Concluyendo, el Relé de Impedancia nos dará protección instantánea hasta el 90% de la longitud de la línea en fallas de fases, hasta el 75% en fallas a tierra, y protección con retardo de tiempo para toda la longitud. Como se indicó, el problema que se presentará con este relé será la coordinación de la unidad Z_2 con los relés de Sobrecorriente de las líneas de Transmisión, esto traerá como consecuencia que el intervalo de tiempo T2 aumente notoriamente, y por lo tanto el equipo, cuando se sucedan fallas al extremo de la línea, estará sujeto por más tiempo a condiciones críticas. Es esta la razón por la cual, prefe

rible sería usar en la protección relés que nos den despejes instantáneos en toda la línea, como ocurre con los Relés Pilotos.

Relé Piloto.- Como se indicó en el resúmen de las alternativas, la mejor manera de proteger una línea de transmisión o subtransmisión, es con Relés Pilotos, ya que estos nos ofrecen protección instantánea para cualquier tipo de falla, en cualquier sitio de la línea. Otras ventajas fueron ya enunciadas en el Cap. I, por lo que no se las repetirá. Se podría, además, indicar como otra ventaja el hecho de este tipo de relé no tendrá que ser cambiado cuando la Empresa cumpla su plan de duplicar la capacidad de generación actual, pues lo único que variará será la relación de transformación en los transformadores de corriente y algo de la calibración. Esto sin lugar a dudas significará una gran economía para la E.E.Q., pues el equipo de protección podrá usarlo en las condiciones actuales o futuras.

CUADRO No. 2-33 A: RESUMEN DE LOS ASPECTOS TECNICOS EN LOS DIVERSOS TIPOS DE RELES.

Relé de Sobrecorriente: El punto de balance sale fuera de la zona protegida y, además no ofrece protección en toda la línea.

Relé Direccional: No ofrece protección contra falla a tierra, el problema se resolvería agregando a los relés de fase, relés de tierra.

Relé de Distancia: Técnicamente, funcionaría en nuestro sistema, sin embargo, presenta el problema de la coordinación con los relés de Sobrecorriente de las líneas de Transmisión.

Relé Piloto: Ofrece una completa y segura protección en nuestro sistema. Técnicamente, es el sistema más conveniente.

2-33 B.- Aspectos Económicos.- En la actualidad se construye tal cantidad de relés y a precios tan variados, que resulta bastante complicado seleccionar el relé más conveniente tanto en lo técnico, como en lo económico; sin embargo, el siguiente análisis se lo hará en base a los relés más representativos, y sobre todo en base a los relés que técnicamente son los más adecuados para nuestro sistema. Con la aclaración anterior y, según el Catálogo de la Westinghouse International de 1.970, tenemos el siguiente cuadro:

CUADRO No. 2-33 B: PRECIOS DE LOS DIVERSOS TIPOS DE RELES.-

RELE	TIPO	PROTECCION	CARACTERISTICA	COSTO.
DE SOBRECORRIENTE	SC	Trifásica	Tres unidades en un bloque	$ 282.
DIRECCIONAL	CR-2	Monofásica	Protección entre fases	$ 291.
DIRECCIONAL	CR-P2	Monofásica	Protección de tierra.	$ 291.

DE DISTANCIA	KD-41	Trifásica	Protección de tres zonas.	$ 972
PILOTO	HCB	Trifásica	Protección total -	1.435

ANALISIS FINAL.- El Relé de Sobrecorriente, a pesar de ser el - más barato, técnicamente no conviene, por lo que lo eliminamos - de la discusión.

El Relé Direccional.- técnicamente convendría a nuestro sistema, siempre que se utilicen, como se indicó, relés de fase y - relés de tierra; pero esto, desde el punto de vista económico,no conviene, pues en total el costo se eleva a tal punto que resulta ser el sistema más caro, pués costaría $ 1.746 la protección- de las tres fases, por lo tanto este tipo de relé no nos conviene.

El Relé de Distancia.- Es sin lugar a dudas el sistema que más economicamente nos conviene, sin embargo presenta el inconveniente de la coordinación con los relés de sobrecorriente de las líneas de transmisión y, esto podría traer conflictos, en lo que respecta a generación y estabilidadpor lo que no conviene este - tipo de relé.

El Relé Piloto.- Como se indicó con anterioridad, es el más caro, sin embargo las ventajas técnicas que ofrece son tales, que justifican plenamente la inversión un poco mayor que se realiza.

CONCLUYENDO.- Luego de este análisis, que hasta puede pare

cer un poco exhaustivo de las diversas alternativas que podrían utilizarse en la protección del sistema, concluimos que la mejor manera de proteger el sistema Barra Este # 2 es utilizando Relés-Pilotos. La discusión que quedaría, auque breve es la de decidir entre el Hilo Piloto o el Sistema de Onda Portadora o "Carrier"; indudablemente que, por la pequeña longitud de la línea (9 Km.), el segundo método no se justificaría, pues "mas simple y económico resulta la protección con Hilo Piloto para líneas menores de los 37 Km." Ref.2.

Por lo tanto el sistema Barra Este #2 de la E.E.Q., se protegerá con Relés de Hilo Piloto.

Se han construido muchos tipos de relés de Hilo Piloto, para protección trifásica contra cualquier tipo de falla, usando unicamente dos hilos pilotos (que es el sistema más económico), sin embargo los más conocidos y sobre todo en los que más se ha experimentado ultimamente, son dos tipos semejantes: el tipo HCB construido por la Westinhouse y, el tipo CPD de la General Electric. Ha continuación se estudiará con más detalle el relé HCB ya que el CPD es basicamente igual.

2-34.- EL RELE DE HILO PILOTO TIPO HCB.-

Basicamente su funcionamiento quedó explicado ya en el Cap.I (1-21) al tratar del funcionamiento de los relés pilotos por compa

Ref.2: THE ART AND SCIENCE OF PROTECTIVE RELAYING por G.RUSSELL MASON. Págs.373 y 374.

ración de corrientes, por lo tanto el estudio que ha continuación se hará, está mas encaminado a detallar las partes constitutivas- del relé HCB.

Con el objeto de ordenar un tanto el presente estudio, se - analizarán primero las ventajas del relé, luego el funcionamiento y características para finalmente concluir con el estudio de los- equipos auxiliares.

2-34 A.- Ventajas del Relé HCB.- Sin lugar a dudas, el relé HCB - es el más utilizado en los sistemas de protección con hilos pilotos, y esto se justifica por la serie de ventajas que este relé - nos ofrece, entre las que podemos señalar:

a) Completa protección. El relé HCB ofrece una segura y completa protección en toda la línea para fallas entre fases y fase-tierra.

b) Alta velocidad. El tiempo de operación del relé es de - 1/60 de seg.

c) Para la transmisión de la señal de disparo se requiere unicamente de dos hilos pilotos.

d) Se utiliza unicamente un relé a cada extremo para toda la protección del sistema.

e) No se necesita aplicar voltaje de baterias en los hilos - pilotos para su funcionamiento.

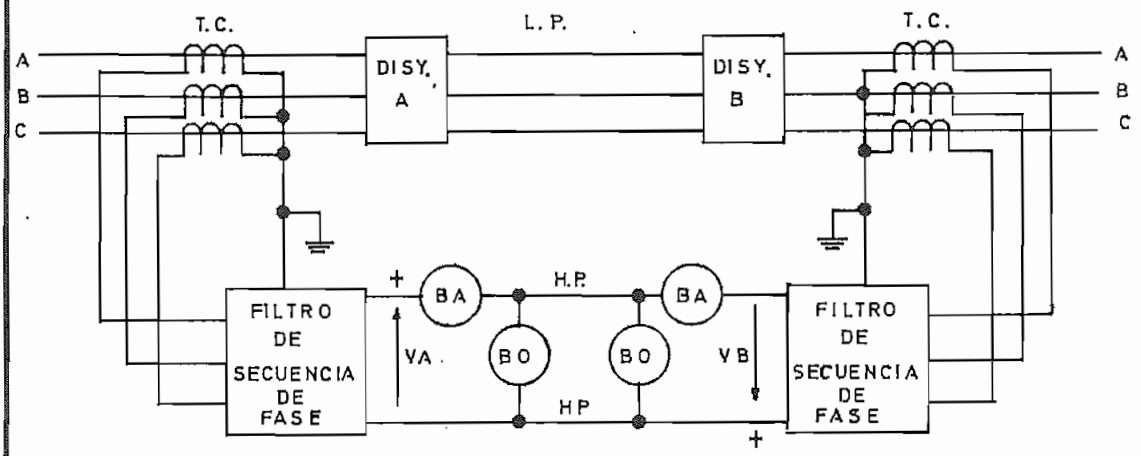
f) El relé HCB no necesita de transformadores de potencial, - pués trabaja unicamente con valores de corriente.

g) Los relés HCB permiten una amplia variación en las características de los transformadores de corriente, razón por la cual es posible utilizarlos en transformadores existentes, sin recurrir al cambio o construcción de nuevos transformadores.

h) La corriente, voltaje permiten usarse como hilos pilotos- líneas telefónicas ya sean propias o arrendadas a la compañía de- teléfonos local.

La construcción del relé HCB, permite usarlo en sistema que- tengan hasta 1/10 de relación entre la corriente mínima de falla- de fase y la corriente mínima de falla a tierra, o lo que es lo - mismo, la corriente de secuencia cero puede ser el 1/30 de la co- rriente de secuencia positiva.

2-34 B.- Funcionamiento del Relé HCB.- En el gráfico 2-34 A, se- muestra un circuito simplificado del relé HCB para una línea de - dos terminales. Las corrientes provenientes de las tres fases, - son convertidas por un filtro compuesto de secuencia de fase a un solo voltaje de fase. El filtro consiste de tres debanados en un reactor de núcleo de hierro y, dos resistencias R1 (secuencia po- sitiva) y RO (secuencia cero). Este voltaje se compara a los ex- tremos mediante el Hilo Piloto (dos conductores), para determinar



L. P. : LINEA PROTEGIDA.

T. C. : TRANSFORMADOR DE CORRIENTE

B. A. : BOBINA DE AMORTIGUAMIENTO

B. O. : BOBINA DE OPERACION

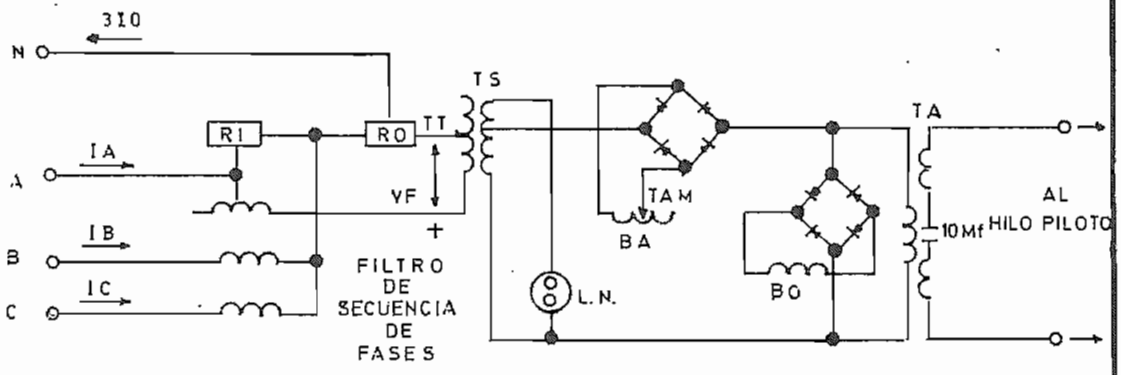
H. P. : HILO PILOTO

GRAFICO 2-34A : CIRCUITO SIMPLIFICADO DEL RELE HCB

si la falla está dentro de la zona protegida o no. Para condiciones normales de corriente, el voltaje de salida del filtro Vs., tiene la polaridad indicada en la figura (VA y VB), esta polaridad es tal que la mayor parte de la corriente circula por los hilos pilotos y, consecuentemente por la bobina de amortiguamiento, y un mínimo de corriente por la bobina de operación, por tanto el relé no opera. Al presentarse una falla interna, la polaridad de los voltajes se invierte oponiéndose uno a otro, para enviar mayor cantidad de corriente por la bobina de operación y no por los hilos pilotos, en estas condiciones el torque de operación es más grande que el de amortiguamiento, por lo tanto el relé operará.

Las bobinas de operación y amortiguamiento se hallan debanadas en el brazo central de una unidad polar de corriente contínua y se energizan por circuitos separados de rectificación de onda completa.

En el gráfico 2-34 B, se muestran las conexiones detalladas del relé HCB. El voltaje Vf a la salida del filtro está fijado por la capacidad del transformador de Saturación, el cual con la lámpara de Neón, limitan la energía en el hilo piloto a un máximo de 60 vol. y 100 miliamperios. Este límite proyectado tiene por objeto proveer al relé suficiente sensibilidad para que funcione tanto en las condiciones de generación mínima como en las de máxima, sin excederse de los valores permisibles tanto de corriente -



T. S : TRANSFORMADOR DE SATURACION

T. A. : TRANSFORMADOR DE AISLAMIENTO

L. N. : LAMPARA DE NEON

V. F : VOLTAJE A LA SALIDA DEL FILTRO

B A : BOBINA DE AMORTIGUAMIENTO

B O : BOBINA DE OPERACION

T T TAP T (DEL TRANSFORMADOR DE SATURACION)

T. AM. : TAP. DE AMORTIGUAMIENTO

RL. : RESISTENCIA DEL FILTRO

R O : RESISTENCIA DEL FILTRO

N : NEUTRO

A. B. C. : FASES. SENTIDO DE ROTACION A. B. C.

GRAFICO 2-34 B. DETALLE DE LAS CONEXIONES DEL RELE HCB

como de voltaje.

Para corrientes relativamente pequeñas el relé opera como elemento diferencial en porcentaje. Para corrientes grandes en cambio, el transformador de saturación se satura y el relé se extiende hasta alcanzar sus verdaderas características direccionales. - Esta combinación de porcentaje diferencial y características direccionales, hace posible el uso del relé HCB con transformadores de corriente existentes y de características considerablemente diferentes.

2-34 C: Calibración del Relé HCB.- La siguiente discusión tiene - por objeto, analizar los límites de variación de los diversos - "taps", para luego en el Cap.3, llegar a la calibración correcta - del Relé para las condiciones de nuestro sistema.

El Relé HCB, tiene tres taps principales, los cuáles por su amplio rango de variación están previstos para darnos gran flexibilidad en la protección, según las características que presente el sistema a protegerse.

TAP R1.- (Resistencia del filtro). Se denomina: TAP DE SECUENCIA POSITIVA DEL FILTRO; tiene tres posiciones: 0,07 0,1 y0,15 Estas posiciones permiten la compensación en los transformadores de corriente en el caso de tener diferente relación de transformación, el valor de R1 debe ser el mismo para todos los relés, cuán

do los transformadores tienen la misma relación de transformación se recomienda normalmente el valor 0,1. Cuándo la relación es diferente, se selecciona el valor de Rl que más cercanamente sea proporcionado a la relación de transformación, por ejemplo: sea la relación de transformación en un lado 300/5 y por el otro 600/5, los valores de Rl serán:

Para 300/5 = 60 0,06 y el valor más cercano Rl = 0,07.

Para 600/5 = 120 0,120 y el valor más cercano Rl= 0,15

TAP T.- (En el transformador de saturación). Se denomina:- TAP DE CORRIENTE DE SECUENCIA POSITIVA; tiene los siguientes valores: 4, 5, 6 , 8, 10, 12, y 15. Este "tap" tiene por objeto asegurar la operación del Relé con la mínima corriente de falla-fase-fase. El valor se halla por la ecuación: $T = 5,7\ I_{ll}\ Rl$.

En donde: I_{ll} es la mínima corriente total de falla fase-fase en el secundario, dividida para el número de relés. El valor 5,7 significa que el rango de disparo de una falla trifásica será el 57% del rango deseado para una falla fase-fase.

Existe otra ecuación para hallar T, cuando no se conoce el valor de la corriente fase-fase: $T = 5,7\ (0,86)\ I_{3\,\emptyset}\ Rl$.

En donde: $I_{3\,\emptyset}$ es la corriente de falla 3 Ø total en el secundario dividida para el número de relés. El va

lor 0,86, significa que la corriente de falla fase fase es el 86% de la corriente de falla trifásica- cuando las impedancias de secuencia positiva y negativa, son iguales.

El valor T debe ser el mismo para todos los relés, aún en el caso de que la relación de transformación sea diferente.

TAP RO.- (Resistencia del filtro). Se llama TAP DE SECUENCIA CERO: tiene los siguientes valores: 0,39 0,51 0,68 0,90 1,2 y 1,6.

La máxima sensitividad para fallas a tierra se obtiene con RO = 1,6 este rango se recomienda cuando los transformadores tengan- la misma relación de transformación; cuando la relación es dife-- rente se procede en forma semejante que para el cálculo de Rl.

El Tap para operar con la mínima corriente de falla está dado por el valor: $RO = \frac{0,2T.}{Ig}$

En donde Ig, es la corriente total mínima de falla a tierra- en el secundario dividida para el número de relés. Se prefiere - también hallar RO con el método que se siguió para hallar Rl.

Capacidad de los CONTACTOS.- El contacto principal del Relé HCB, puede funcionar hasta con 30 amperios y 250 voltios de co -- rriente contínua, y el contacto auxiliar del interruptor, puede - llevar la corriente suficiente para disparar los disyuntores.

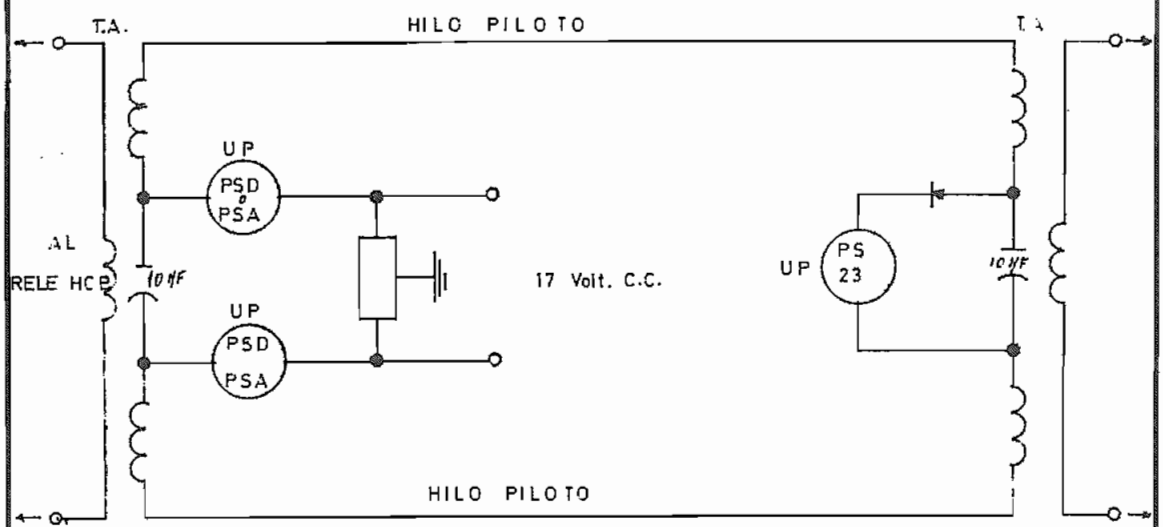
Carga.- Las cargas del Relé HCB, prácticamente son independientes de la resistencia del hilo piloto y de la corriente del Tap-T. La máxima carga se obtiene con R1 = 0,15 y RO = 1,6; la mínima con R1 = 0,075 y RO = 0,39; las cargas se calculan con una corriente balanceada de 5 amperios a travez del Relé.

2-34 D: Equipos Auxiliares del Relé HCB.- El Relé Piloto, como se indicó en el Cap. I, necesita de equipos auxiliares para evitarse problemas con los hilos pilotos. Estos equipos se resúmen en dos clases: Equipo de Supervisión y Equipo de Protección, del Hilo Piloto. A continuación se analizarán brevemente estos equipos.

a) Equipo de Supervisión.- Se indicó ya en el Cap. I que los hilos pilotos presentan problemas al quedar en cortocircuito o al abrirse; para evitarnos estos contratiempos, es usual utilizar el equipo que ha continuación se datalla. El gráfico 2- 34 C nos muestra el esquema típico.

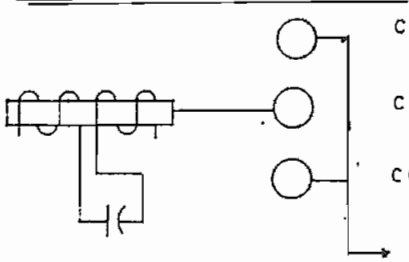
Los relés que se utilizan son del tipo PSA o PSD (Relés de corriente contínua para supervisión en hilos pilotos) y PS-23 (Relé de corriente contínua para supervisión y disparo a distancia en hilos pilotos).

Un voltaje contínuo de 17 voltios se aplica a travez de un capacitor de 10 microfaradios, el cual se halla conectado en el "tap" central del transformador de aislamiento del relé HCB y su función



T. A. : TRANSFORMADOR DE AISLAMIENTO
U. P. : UNIDAD POLAR DEL RELE

RELE PSA o PSD



RELE PS 23

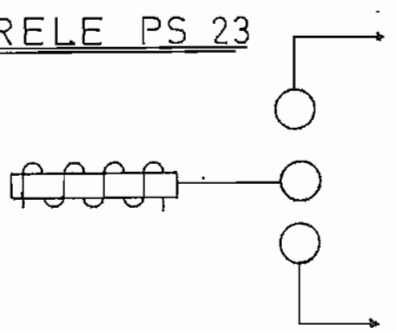


GRAFICO 2-34C : DETALLE DE LAS CONEXIONES DEL EQUIPO DE SUPERVISION DEL RELE HCB. DETALLE DE LOS RELES PSA PSD Y PS-23

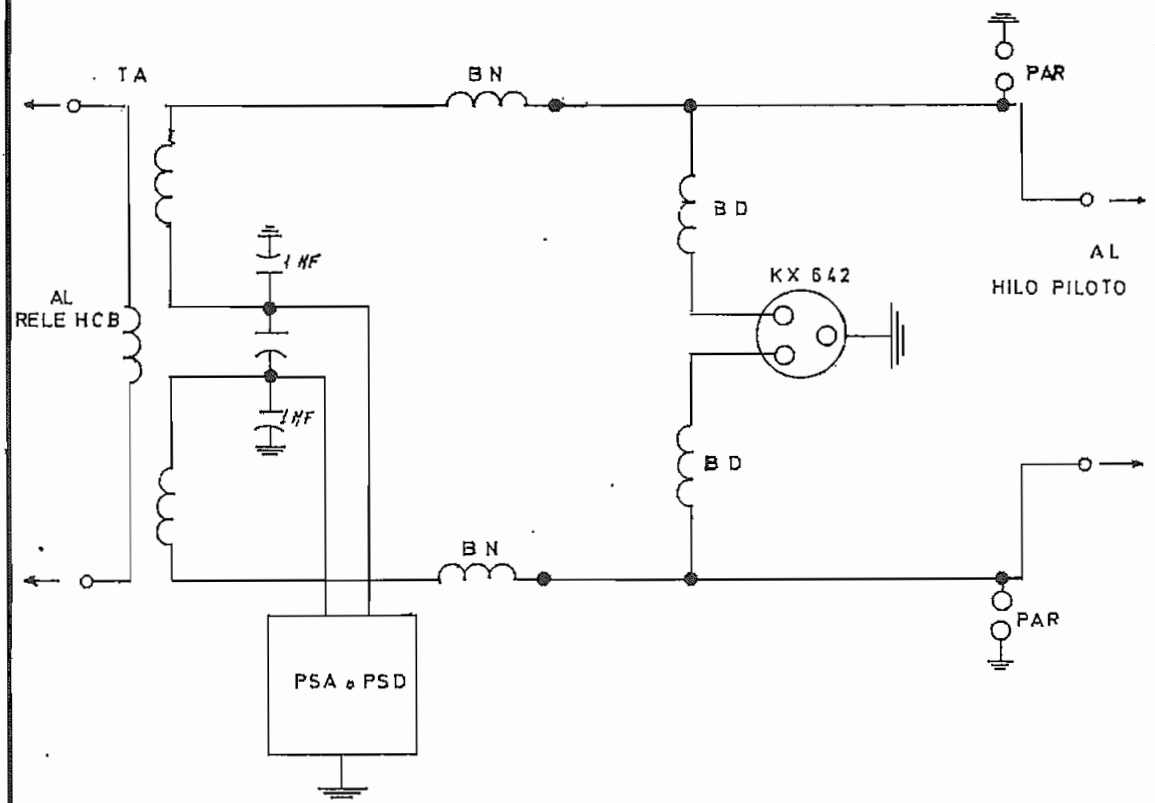
es la de proveer una pequeña impedancia para que la corriente del - relé fluya a los relés de supervición. El voltaje aplicado es tal- que en condiciones normales cicula aproximadamente 1 miliamperio, - corriente esta, que es suficiente para detener el contacto móvil de la unidad polar en ambos relés, flotando entre los contactos de baja y alta corriente. Al ponerse los hilos pilotos en cortocircuito el relé PSA o PSD, cierra su contacto a la posición alta corriente, mientras que el relé PS-23 a la posición baja corriente. Si los hilos se abren, ambos relés cierran sus contactos a la posición baja- corriente. Si un hilo hace Tierra (500 ohmios o menos) el relé PSA- o PSD cierra sus contactos a la posición alta corriente. Todas las- fallas indicadas que se suceden en los Hilos Pilotos, causan el incorrecto funcionamiento del Relé HCB ya sea en condiciones normales o durante fallas en el sistema protegido.

b) Equipo de Protección.- Este equipo tiene una serie de razones por las cuales su instalación es imprescindible, entre las - cuales podemos señalar: protección del personal; protección del equipo terminal; protección del Hilo Piloto; evitar que el Relé opere - falsamente al presentarse voltajes extraños, que facilmente pueden- ser eliminados por otros medios, como son voltajes inducidos por otros circuitos de potencia, elevación del potencial de tierra en las subestaciones, etc. Además por ser los hilos pilotos aéreos, debe - mos protegerlos contra contactos con otros sistemas y rayos.

Como equipo de protección se utilizan generalmente los si -- guientes aparatos: a) Pararrayos de entre hierro múltiple, general mente de 3 KV., protegen al sistema de altos voltajes que podrían dañar el aislamiento. b) Transformadores de Aislamiento, normal- mente de 15 KV. y baja impedancia, para separar el Relé de protec- ción de los hilos pilotos. c) Bobinas de Neutralización, que eli minan potenciales inducidos y de tierra; estas bobinas se conectan a un Relé de Supervición (PSA o PSD), los capacitores del microfa radio se utilizan para dar una baja impedancia que permita fluir- las corrientes extrañas a tierra. d) y el un tubo de protección - lleno de gas del tipo KX-642, y un Bobinado de Drenage, para pro- teger al relé de voltajes inducidos en los hilos.

En el gráfico 2-34 D, se muestra esquemáticamente la conexión de todo el equipo de protección.

El plano P2-2, nos muestra en forma completa las conexiones- externas tanto del relé, del equipo de supervisión y del equipo de protección, en nuestro sistema a protegerse.



T. A. : TRANSFORMADOR DE AISLAMIENTO

B. N : BOBINA DE NEUTRALIZACION

B. D : BOBINAS DE DRENAJE

T G : TUBO DE GAS TIPO KX 642

PAR : PARARRAYOS

PSA o PSD : RELE DE SUPERVISION

GRAFICO: 2-34D: DETALLE DE CONEXIONES DEL EQUIPO DE PROTECCION DEL RELE HCB

SIMBOLOS USADOS EN EL PLANO P2-2

Al = Alarma

B = Bobina

B.D. = Bobina de disparo

B.A. = Bobina de Amortiguamiento

B.O. = Bobina de Operación

B.Dr. = Bobina de Drenage

B N = Bobina de Neutralización

B p = Botón de prueba

C_1 = Capacitor de 10 Microfaradios

C_2 = Capacitor de 1 Microfaradios

C.e. = Contactos estacionarios

C.m. = Contactos móviles

I.O. = Indicador de Operación

L N = Lámpara Neón

m A. = Miliamperímetro

P = Pararrayos 3 KV. tipo L.V.

R = Resistencia

R a = Resistencia de 1.060 ohmios

R r = Rectificador

T.A. = Transformador de Aislamiento

T.S. = Transformador de Saturación

T.C. = Transformador de Corriente

T p = Tubo protector

l = Terminal

2-4.- SELECCION DEL HILO PILOTO.-

2-41.- GENERALIDADES.-

Como se indicó al hablar de las ventajas del relé HCB, por la cantidad de corriente y, el voltaje, se pueden usar como Hilos Pilotos conductores teléfonicos, que bien pueden ser propios o arrendados a la Compañía local de Teléfonos, como es usual en otros países. La probabilidad de que sea la Empresa de Teléfonos la que arriende un canal, en la actualidad no puede considerarse, ya que por información de dicha empresa, el sector de Luluncoto (donde se halla la Subestación Sur) está completamente copado hasta fines de año de 1.972. Sin embargo por ser esta una alternativa que debe tomarse muy en cuenta, al final del presente apartado, se hará una evaluación económica, para ver cuál de las dos alternativas conviene.

La resistencia total de los Hilos Pilotos, en los relés HCB estandar no debe exceder de 2.000 ohmios, sin embargo existen tipos especiales que pueden usarse cuando la resistencia es mayor. Los valores que más se usan son 1.000 a 500 ohmios; los valores de resistencia incluyen los transformadores de neutralización y, cualquier otro equipo que pueda hallarse instalado en el circuito. Por la pequeña longitud de nuestro circuito (9 Km.), el efecto capacitivo

de las líneas no va ha ser notorio, sin embargo se especifica que- la capacidad efectiva en los Hilos no debe exceder de 3/4 de micro faradio por terminal, o sea para los dos terminales 1,5 microfaradios. Para prevenir la inducción en los hilos, se recomienda queéstos vayan cruzándose en su recorrido, o utilizar conductores con funda de plomo.

2-42.- SELECCION DEL CONDUCTOR.-

Para el cálculo de la sección del conductor, tenemos los si-- guientes datos:

Resistencia del circuito: 500 ohmios.

Resistencia por conductor:250 ohmios.

Material; Cu. suave (los conductores telefónicos se hacen de este- material)

Resistividad volumétrica Cu. suave ρ = 0,017654 Ref.1

Como $R = \rho \frac{L}{S} \Rightarrow S = \frac{L}{R}\rho$ $S = 0,017654 \frac{9.000}{250} = 0,63554 \text{ mm}^2$.

El conductor que más se aproxima a la sección encontrada es el # 19 AWG., cuya sección es 0,65 mm^2.

Por lo tanto como Hilo Piloto se utilizarán dos conductores - de Cu. suave # 19 AWG.

Ref.1: SEGUN ESPECIFICACIONES ASTM B1-47, B2-47 y B3-64 para Cu.suave.

Para confirmar la selección anterior, anotemos el siguiente párrafo: "La protección con Relés Pilotos está limitada por el - costo y la resistencia del circuito de los conductores pilotos,- sin embargo debido al actual perfeccionamiento, es posible aplicarla en circuitos de hasta 37 Km. con DOS CONDUCTORES TELEFONICOS #19 AWG.(sección 0,65 mm.)" Ref.2

El conductor seleccionado, electricamente satisface los requerimientos pués, como se indicó, en condiciones normales la - tensión entre los hilos es del orden de 5 voltios, y en condiciones de cortocircuito la tensión llega máximo a 60 voltios y 0,1- amperios. Sin embargo el problema que se presenta y, el que más preocupa es el mecánico, pues los Hilos Pilotos irán tendidos en las mismas torres de transporte de energía eléctrica, cuyo vano-promedio es de 100 m.; la solución a este problema la tenemos - utilizando cables telefónicos autotransportados (mensajero).

Revizando diversos catálogos de conductores de cobre, se encontró un tipo que, por las características que presenta, será - el conductor que se utilizará en el proyecto. A continuación se detallará el conductor mencionado: CABLE TELEFONICO AUTOSOPORTADO (mensajero) TIPO FIGURA 8. SEGUN NORMAS REA/10.7 Ref.3.

Ref.2: MANUAL KNOWLTON TOMO I Pág. 1335.

Ref.3: CATALOGO GENERAL FACOMEC (Fábricas Colombianas de Material Eléctrico S.A.).

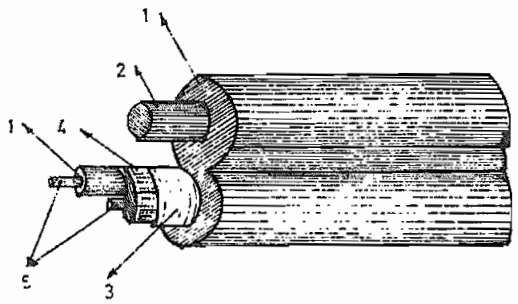
USOS.- Este cable se usa en instalaciones telefónicas permanentes a la interperie.

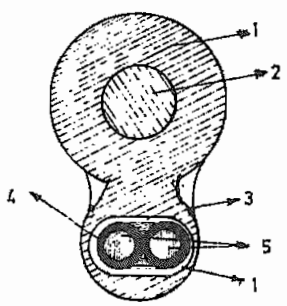
CONSTRUCCION.- Los conductores son sólidos, de Cu. suave. Aislamiento de polietileno. Los conductores van torcidos con pasos - simétricamente variables para reducir la interferencia. Sobre esta unidad va aplicada una cinta plástica, absorvente de humedad,- corrugada, (cinta mylar) de 0,22 mm. de espesor para proveer alta protección dieléctrica entre los conductores, y una pantalla de - Al. de 0,08 mm. de espesor, las dos cintas van aplicadas helicoidalmente.

Paralelo a la unidad apantallada va, el alambre de autosoporte (mensajero) de acero galvanizado EHS de alto carbono grado 190 de 3,76 mm. de diámetro (0,148) y de resistencia a la ruptura de- 1.478 Kg., gráfico 2-42 A.

CARACTERISTICAS.- El polietileno del aislamiento presenta características inmejorables mecánicas y dieléctricas, así como - resistencia a grasas, ácidos, humedad y calor; el polietileno de- la cubierta exterior presenta las mismas características. El - alambre de autosoporte es de acero galvanizado de alto carbono y- con una alta resistencia a la ruptura, dando al conjunto plena seguridad en instalaciones aéreas.

ESPECIFICACION DEL CONDUCTOR.-





1 : AISLAMIENTO POLIETILENO

2 : ALAMBRE DE AUTOSOPORTE

3 : PANTALLA DE ALUMINIO

4 : CINTA MILAR

5 : HILOS PILOTOS

GRAFICO 2-42A : DETALLE DEL CONDUCTOR CABLE TELEFONICO AUTO SOPORTADO TIPO FIGURA 8

Calibre AWG: 2 x 19

Espesor del Aislamiento: 0,365 mm.

Diámetro del Alambre Mensajero: 3,76 mm.

Diámetro exterior del conductor: 0,01 m.

Espesor de la cubierta exterior: 1,27 mm.

Peso neto: 22,5 Kg/Km.

Capacitancia mutua: 0,052 microfaradios/Km.

Máxima resistencia del conductor a 20°C: 29 ohmios/Km.

Mínima resistencia de aislamiento a 15°C: 1.600 megaohms/Km.

Resistencia Dieléctrica. Mínimo potencial a DC.: 4.500 voltios (conductor a conductor). 10.000 voltios (conductor a pantalla).

Tipo: Figura 8 (según catálogo).

2-43.- DISTANCIA MINIMA ENTRE LOS HILOS PILOTOS Y LOS CONDUCTORES DE FASE.-

No existe cálculo alguno para determinar la distancia mínima entre los Hilos Pilotos y los conductores de fase, ésta queda determinada en la mayoría de los casos por la experiencia que se tenga en este tipo de instalaciones, de acuerdo a esto el investigador americano J. Lewis a desarrolado una fórmula empírica y que dice: dh = 2 dm.

Donde; dh: distancia mínima del hilo piloto a la fase mas -

cercana.

dm: distancia mínima entre el conductor y el soporte- Como la distancia dm. es de 0,6 m (dato obtenido en la Empresa - Eléctrica).

Tendremos: dh = 2 x 0,6 = 1,2 m.

Luego la separación mínima entre los hilos y el conductor de fase más cercano debe ser 1,2 m que, será la distancia que se tomará en este proyecto.

2-44.- CALCULO MECANICO DE LOS HILOS PILOTOS.-

El presente cálculo tiene por objeto principal, comprobar - que el conductor utilizado soportará satisfactoriamente, sin sufrir deterioro alguno, los esfuerzos a los que estará sometido cuando esté tendido en las torres de transmisión.

Para el cálculo seguiremos un método similar al que se aplica para los conductores de fase, pero sin profundizar mucho en las discuciones porque indudablemente esta cuestión en los Hilos Pilotos no es de vital importancia, como lo es en los conductores de- fase.

Se tiene como dato para este cálculo la velocidad del viento 100 Km/h. (dato tomado de la Dirección de Aviación Civil registrado en el Aeropuerto Mariscal Sucre). Velocidad máxima registrada-

por el Observatorio Astronómico de Quito = 96 Km/h.

Para el cálculo tomemos como velocidad máxima del viento registrada en Quito = 100 Km/h = 28 m/seg.

Luego $Pv = \frac{c.K}{16} V \ (Kg/m^2)$ Ref.1

En donde: Pv = presión del viento

c = 0,85 para velocidades del viento menores que 30,5 m/seg.

k = 1,2 para conductores menores que 12,5 mm. de diámetro

V = Velocidad del viento en m/seg. = 28 m/seg.

Luego: $Pv = \frac{0,85 \times 1,2}{16} (28)^2 = 50 \ Kg/m^2$

Presión del viento por metro de conductor Pv' = Pv x d(Kg/m)

En donde: Pv' = presión del viento por metro de conductor.

Pv = presión del viento = 50 Kg/m^2

d = diámetro exterior del conductor = 0,01m.

Luego: Pv' = 50 x 0,01 = 0,5 Kg/m

Por dato de tablas el peso del conductor es 0,0225 Kg/m.

Luego la presión resultante de viento y peso será:

$$Pr = \sqrt{Pv'^2 + Pc^2} = \sqrt{0,5^2 + 0,025^2} = 0,5 \ Kg/m.$$

Ref.1: NORMA FIJADA POR INECEL PARA EL CALCULO DE LA PRESION --- DEL VIENTO.

Se notará que el peso del conductor practicamente no interviene o mejor dicho no afecta en el cálculo, la única presión que deben soportar los conductores es la del viento.

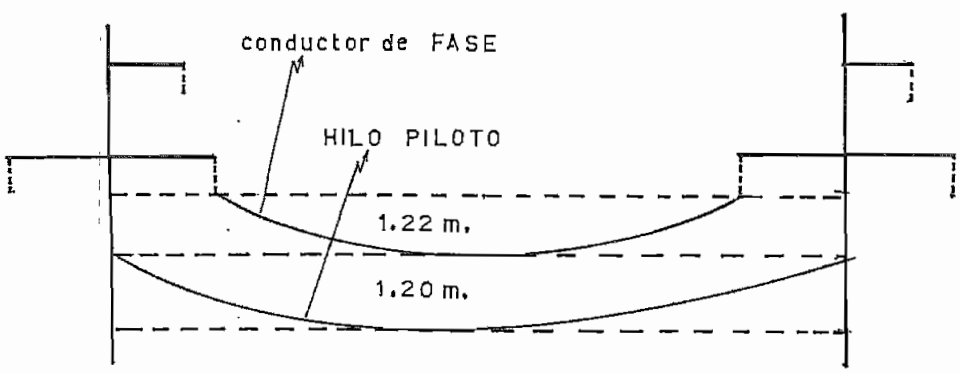
Para cargas livianas el NECS (National Electric Safety Code-5ta. Ed.) sugiere aumentar la carga en 0,074 Kg/m, por lo tanto:

Pr = 0,5 + 0,074 = 0,574 Kg/m.

Con esto el coeficiente de sobrecarga m, será:

$$m = \frac{0,574}{0,5} = 1,148$$

De acuerdo a las plantillas de tendido, proporcionadas por la E.E.Q., tenemos que la flecha máxima, en las condiciones más adversas, y en un vano promedio de 100 Km. es de 1,22, para los conductores de transporte de energía; por lo tanto la flecha máxima para nuestros hilos pilotos será:



$$Fm = 2,42 - 1,20 = 1,22m$$

La tensión específica correspondiente a ésta flecha será por tanto:

$$T = \frac{a^2 Pr\ m}{8\ s\ f} \quad (Kg/mm^2)$$

En donde:

a = longitud del vano = 100 m.

Pr = presión resultante= 0,574 Kg/m.

s = sección = $\frac{D^2}{4} = \frac{3,72^2}{4} = 11,2\ mm^2$.

f = flecha = 1,22 m.

m = coeficiente de sobrecarga = 1,148

Luego: $T = \frac{100^2 \times 0,574 \times 1,148}{8 \times 11,2 \times 1,22} = 60,3\ Kg/mm^2$

La tensión de rotura del conductor según especificaciones del constructor es Tr = 1,478 Kg.

Luego tensión específica $T = \frac{1.478}{11,2}\ Kg/mm^2 = 132\ Kg/mm^2$

Por lo tanto, el factor de seguridad que tenemos con el conductor seleccionado será:

$$Fs = \frac{132}{60,3} = 2,18$$

Los cálculos anteriores nos demuestran que la selección del conductor TIPO FIGURA 8, es correcta, pués satisface plenamente-tanto los requerimientos eléctricos como los mecánicos.

A pesar de que el efecto capasitivo en líneas cortas no es notorio, comprobemos por último si la capacitancia entre los hilos pilotos, no sobrepasa los 1,5 microfaradios fijados como límite en el circuito.

Según especificaciones del conductor tenemos que:

Capacitancia mutua = 0,052 microfaradios /Km.

Por lo tanto: Capacitancia en el circuito = 0,052 x 9=0,468 microfaradios.

2-45.- EVALUACION DE ALTERNATIVAS.-

Al iniciar la Selección del Hilo Piloto, se indicó que los Hilos bien podían ser propios o arrendados a la Empresa de Teléfonos; en este apartado, trataremos de encontrar cual de las dos alternativas nos conviene más.

Arrendamiento.-

Costo inicial de la instalación: S/ 15.000,oo

Arrendamiento mensual : " 800,oo

Por lo tanto sacando el costo Anual:

Inversión	S/ 15.000,oo
Interés 10% anual	S/ 1.500,oo
Depreciación (1)	S/ 1.000,oo
Arrendamiento	S/ 9.600,oo
TOTAL Costo Anual....	S/ 12.100,oo

(1) Método Lineal. Vida media de la línea 15 años. Valor residual 0.

Instalación Propia.-

Costo del conductor: S/ 5.820,oo/Km.

Costo Total	:	S/ 52.382,oo
Instalación	:	S/ 10.000,oo
Total Inversión		S/ 62.856,oo.

Interés 10% anual:	S/	6.285,60
Depreciación (1)	S/	4.123,73
Imp. y Seg. 2%	S/	1.257,12
Total Cargos Fijos	S/	11.666,45
Cargos Variables		0,00 (2).
Total Costo Anual	S/	11.666,45

(1) Método Lineal. Vida media de la línea 15 años. Valor residual S/ 1.000,oo.

(2) Los Cargos Variables(operación y mantenimiento) por se pequeños, los agregamos a los cargos de mantenimiento de las líneas de transporte de energía.

Concluyendo: Se observa claramente que en los referente a los hilos pilotos conviene más la alternativa de que sea la Empresa Eléctrica la que por sus propios medios instale los Hilos, y no, el - arrendamiento de la Empresa de Teléfonos; la conveniencia indicada

no solo se refiere a lo económico, como quedó demostrado, sino - también por otras razones, entre las que podemos señalar: El mantenimiento de los Hilos será más rápido, si son los empleados de-la E.E.Q., los que lo realicen, y no los de otra empresa; el costo de los equipos, según el cálculo realizado, al cabo de los 15-años se recupera si la instalación es propia, no así, si es arrendado.

2-5.- ESPECIFICACIONES Y REQUERIMIENTOS DEL RELE, TRANSFORMADORES DE CORRIENTE, RELES DE SUPERVISION, ETC.

El presente apartado tiene por objeto presentar en una forma resumida las especificaciones y requerimientos del equipo mínimo-necesario para la protección con relés de Hilo Piloto del sistema Barra Este #2 de la E.E. Q. S.A. En este punto cabe bien hacer una aclaración, y es la de que de ninguna manera puede decirse que el presente resúmen es del todo completo, y esto se debe a dos razónes: primero, no existe ninguna experiencia en el país sobre este tipo de construcciones, que pueda servirnos de pauta en la selección de nuestro equipo; y segundo, la poca o casi ninguna información técnica que sobre este relé se puede encontrar en nuestro-medio. Sin embargo, el resúmen presentado nos dará la información básica, para especificar el relé y el equipo auxiliar que se utilizará en la protección del sistema en estudio.

ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO PARA LA PROTECCION DEL SISTEMA BARRA ESTE #2 DE LA EMPRESA ELECTRICA QUITO S.A.

Item	Cantd.	Descripción.-
1	2	Relés de Hilo Piloto. Serán de corriente alterna y que funcionen por el método de comparación de corriente;- alta velocidad, similares al Tipo HCB de la Westinghouse(87 AIEE-NEMA)o CPD de la General Electric.Estos relés

deben estar previstos para dar completa protección a - toda la línea, contra fallas entre fases y fase-tierra. Cada relé debe tener los respectivos"taps", que permitan una adecuada calibración del relé, esto es: "tap"- de secuencia positiva del filtro para permitir la compensación en los transformadores de corriente en caso- de tener diferente relación de transformación; "tap" ÷ de secuencia cero para fallas a tierra; y "tap" de secuencia positiva en el transformador de saturación para las fallas entre fases.

El rango de los relés es de 5 amperios, 60 ciclos, con una capacidad térmica de 10 Amp. continuos, 200 Amperios por segundo de corriente de fase; y 150 Amp. por Seg. de corriente de tierra.

Cada relé debe completarse con su respectivo transformador de aislamiento (preferiblemente de 15 KV.)y,- un miliamperímetro.(1)

2 1 Equipo de Supervisión de los Hilos Pilotos. Consiste en un ser de relés supervisión y disparo, semejante al del gráfico 2-34 C pág.69. Este equipo está destinado a dar

(1) EL EQUIPO COMPLETO, AL ESPECIFICAR UN RELE COMPRENDE:EL- RELE (HCB),EL TRANSFORMADOR DE SATURACION,Y EL MILIAMPERIMETRO;POR ESTA RAZON NO HACE FALTA ESPECIFICAR CON DETALLE EL TRANSFORMADOR DE SATURACION Y EL MILIAMPERIMETRO.

Este equipo está destinado a dar un control automático y contínuo para cortocircuitos, apertura de circuitos- y contactos a tierra, de los Hilos Pilotos. Los relés deben tener indicadores de falla y alarma en cada terminal, para el caso de presentarse problemas en los canales pilotos. El set debe constar de relés de control similares al Tipo PSD o PSA (74 AIEE-NEMA), relé de - control y disparo similar al tipo PS-23 (85 AIEE-NEMA) y de cualquier otro equipo o instrumento necesario para el cabal cumplimiento de la función de supervisión de- los Hilos.

Los relés de control serán del rango 17 voltios a C.D. El set de relés deberán ser probados satisfacto-- riamente para soportar hasta 10 KV.

3 1 Equipo de Protección de los Hilos Pilotos. Este equipo está destinado a proteger a más de los canales pilotos el equipo terminal y el personal de operación; este e- quipo será similar al del gráfico 2-34 D Pág. 72. Básicamente debe tener un relé de supervisión similar al tipo PSA o PSD (74 AIEE-NEMA); bobina de neutralización- para eliminar voltajes inducidos y de tierra; bobinas- de drenage y tubo de protección (tipo KX-642), para - proteger al relé de voltajes inducidos en las líneas;y

pararrayos de 3 KV. del tipo de entre hierro múltiple.

4 6 *Transformadores de corriente. Serán para servicio a la interperie, momofásicos, con los siguientes rangos: voltaje 46 KV., frecuencia 60 ciclos, aislamiento para 46 KV., relación de transformación: 3 de 600/5 (para la subestación Norte y 3 de 200/5 (para la subestación - Sur) corriente nominal en el secundario 5 Amperios, - precisión según normas ASA para transformadores de corriente 10L100.

Los transformadores irán conectados en Y.

5 Hilo Piloto. Será el tipo telefónico autosoportado(mensajero), similar al tipo figura 8 según catálogo de - FACOMEC(Fábricas Colombianas de Material Eléctrico)sección de cada hilo piloto Nº.19 AWG, sección del alambre mensajero 0,148. "Los hilos serán de cobre suave, y el mensajero de acero galvanizado EHS de alto carbono.Los conductores serán hechos según y conforme con los requerimientos de las normas REA/10,7. La longitud de los - hilos es de 9 Km., y se instalarán en las torres de - transmisión de energía de la Barra Este #2, entre las- subestaciones Norte y Sur de la E.E.Q.

*Condiciones Actuales. Para condicones futuras, la relación de - transformación será: 3 de 1.000/5 (para la subestación Norte) y,

CAPITULO III.

CALIBRACION DEL RELE.-

3-1 INTRODUCCION.-

Siendo la calibración del relé, el factor más importante para el correcto funcionamiento del sistema de protección, este capítulo merece gran atención y cuidado. El capítulo se dividirá - en dos partes: primero, calibración del relé para las condiciones actuales, esto es considerando al sistema de suministro de energía eléctrica de Quito en estos momentos; y segundo, la calibración del relé para las condiciones futuras, esto es cuando la E. E.Q. haya cumplido sus programas de construcción de las nuevas-- Centrales.

Es necesaria esta división por cuanto, en cada caso, las - condiciones de falla del sistema, variarán notablemente, lo cual traerá como es lógico, variaciones en la calibración del relé. - Sin embargo cabe aclarar nuevamente, que el equipo de protección para las dos condiciones es el mismo, lo que variará será la calibración y la relación de transformación de los transformadores de corriente.

Para la primera parte, las condiciones de falla del sistema fueron ya calculadas en el Cap. II (2-32), por lo que para la calibración se utilizarán los valores calculados. En cambio para -

la segunda parte, esto es para la calibración del relé en condiciones futuras, debemos previamente hacer el cálculo para las diversas condiciones de falla, para que, con los resultados obtenidos proceder a la correcta calibración del relé.

Para la calibración, cada equipo, cada fabricante, tiene sus métodos; en nuestro caso seguiremos el método indicado por la Westinghouse para la calibración del relé HCB. Sobre este punto se habló ya en forma general, al hacer el estudio del relé HCB Cap.- II (2-34); lo que se trata en el presente capítulo es hallar los valores específicos de los taps de regulación, impuestos por las condiciones de nuestro sistema.

3-2.- CALIBRACION DEL RELE PARA LAS CONDICIONES ACTUALES DEL SISTEMA.

3-21.- TAP R1.- Como se explicó anteriormente (2-32), este tap nos permite la compensación en los transformadores de corriente, para el caso de tener diferente relación de transformación en los terminales de la línea.

En el caso nuestro las relaciones son: en la subestación Norte 600/5 y, en la subestación Sur 200/5, por lo tanto R1 valdrá:

R1 = 600/5 = 0,120, el valor más cercano R1 = 0,15.

R1 = 200/5 = 0,040, el valor más cercano R1 = 0,07

Por lo tanto el relé en la Subestación Norte R1 = 0,15 y, en

la Subestación Sur R1 = 0,07.

3-22.- TAP T.- Este tap tiene por objeto asegurar la operación del relé con la mínima corriente de falla entre fases y, su valor se halla con la ecuación: T = 5,77 III R1

Según los cálculos realizados para hallar las corrientes de corto circuito, tenemos el siguiente cuadro de valores, que nos permitirá hallar el valor de la corriente mínima de falla entre fases:

a) Falla FASE-FASE.-

Subest.Norte: I mín. = 1.342 Amp. (falla al 90% de la Long. de la línea).

Subest. Sur : I mín. = 400 Amp. (falla al 10% de la longitud de la línea).

b) Falla TRIFASICA.-

Subest.Norte: I mín. = 1.560 Amp. (falla al 90% de la long. de la línea).

Subest. Sur : I mín. = 461 Amp. (falla al 10% de la long. de la línea).

Por lo tanto las corrientes mínimas de falla entre fase serán: en la Subestación Norte 1.342 Amperios y, en la Subestación Sur 400 Amperios.

Luego, en la Subestación Norte:

$$111 = 1.342 \times \frac{5}{600} \times \frac{1}{2} = 5,6$$

T = 5,7 (5,6) 0,15 = 4,8 por seguridad tomamos T = 6.

En la Subestación Sur:

$$111 = 400 \times \frac{5}{200} \times \frac{1}{2} = 5$$

T = 5,7 (5) 0,07 = 2 el valor más cercano T = 4.

Por lo tanto el relé en la Subestación Norte T= 6 y, en la Subestación Sur T = 4.

3-23 TAP RO.- El valor de RO está dado por la ecuación:

$$RO = \frac{0,2\ T}{Ig}$$

Según los cálculos realizados, el siguiente cuadro de valores, nos permitirá hallar el valor de la corriente mínima de falla a tierra:

a) Falla FASE-TIERRA.-

Subest.Norte = I mín. = 1.420 Amp.(falla al 90% de la long. de-la línea).

Subest. Sur = I mín. = 514 Amp. (falla al 10% de la long. de la línea).

b) Falla BIFASE-TIERRA.-

Subest. Norte = I mín. = 1.500 Amp. (falla al 90% de la long. de la línea).

Por lo tanto las corrientes mínimas de falla serán:1.420 - Amperios en la Subestación Norte, y 400 Amperios en la Subestación Sur.

Luego en la Subestación Norte:

$$Ig = 1.420 \times \frac{5}{600} \times \frac{1}{2} = 5,91$$

$$RO = \frac{0,2\ (6)}{5,91} = 0,203, \text{ el valor más cercano } RO = 0,39$$

En la Subestación Sur:

$$Ig = 490 \times \frac{5}{200} \times \frac{1}{2} = 6,15$$

$$RO = \frac{0,2\ (4)}{6,15} = 0,13 \text{ el valor más cercano } RO = 0,39$$

Resumiendo.- El relé para las condiciones actuales del sistema- quedará calibrado así:

En la Subestación Norte: R1 = 0,15

T = 4

RO = 0,39

Factor de Seguridad en fallas entre fases $= \frac{6}{4,8} = 125\%$

Factor de Seguridad en fallas a tierra $= \frac{0,39}{0,203} = 192\%$

En la Subestación Sur: R1 = 0,07

T = 4

RO = 0,39

Factor de seguridad en fallas entre fases = $\frac{4}{2}$ = 200%

Factor de seguridad en fallas a tierra = $\frac{0,39}{0,13}$ = 300%

3-3 CALIBRACION DEL RELE PARA LAS CONDICIONES FUTURAS DEL SISTEMA.-

Como se indicó anteriormente, para la calibración del relé bajo estas condiciones, se hace necesario primero calcular las corrientes de falla en las diversas condiciones de cortocircuito.

El método que se seguirá, será similar al que se empleó para calcular las fallas en el Cap. II (2-32).

3-31.- CALCULO DE FALLAS EN EL SISTEMA DE LA E.E.Q. Condiciones Futuras.

3-31 A.- Diagrama Unifilar del Sistema.- El presente estudio se hará en base al gráfico 3-31 A, el cual nos presenta el Sistema Quito, cuando el de la E.E.Q., haya cumplido sus proyectos de nuevas centrales. El gráfico se elaboró en base a los datos proporcionados por el Departamento de Generación de dicha empresa. El gráfico 3-31 B, nos muestra el gráfico original, pero en una forma mas resumida.

3-31 B.- Circuitos Secuenciales.- Para la elavoración de los Circuitos Secuenciales, se hacen las mismas consideraciones

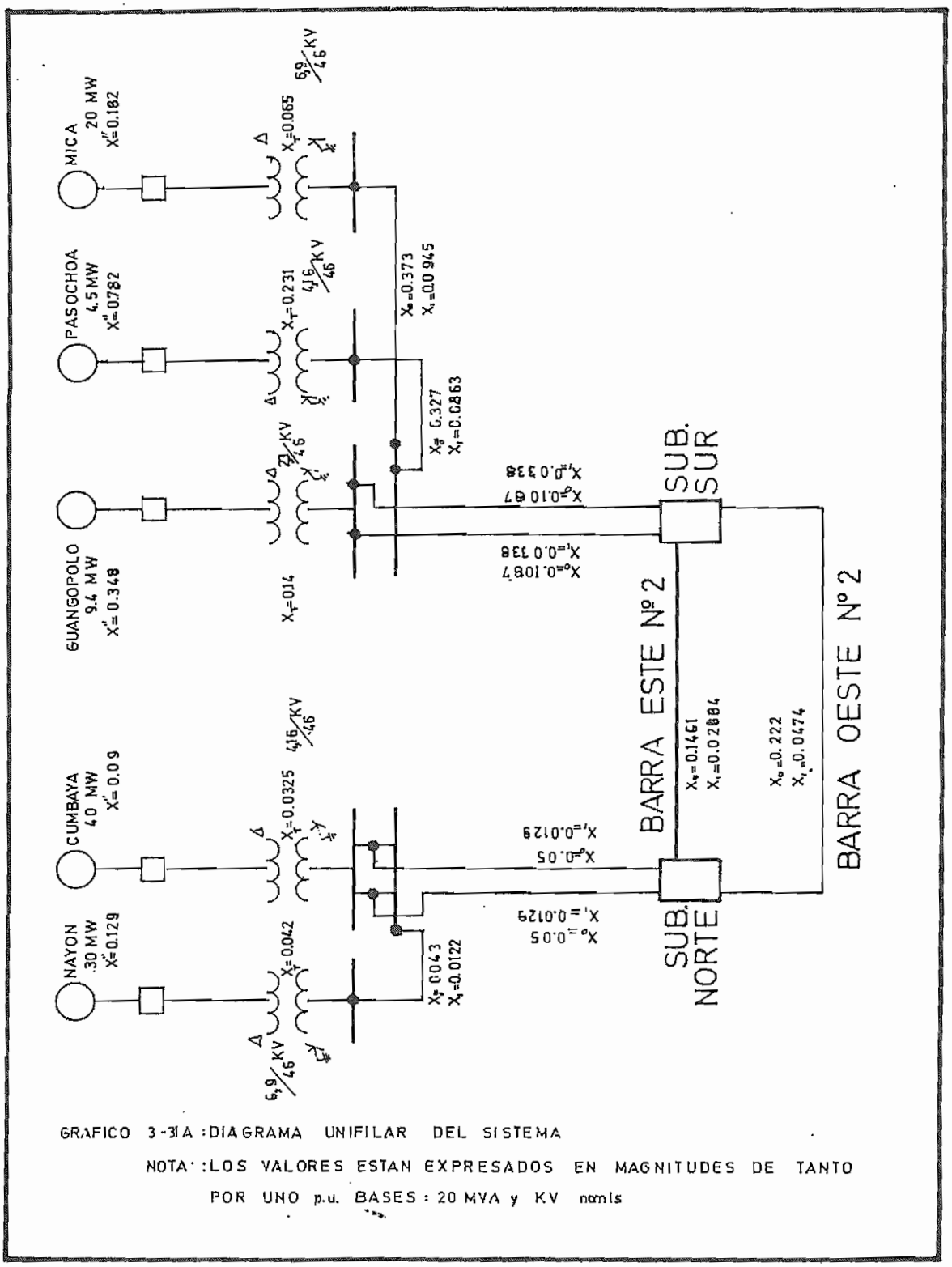


GRAFICO 3-3IA : DIAGRAMA UNIFILAR DEL SISTEMA

NOTA : LOS VALORES ESTAN EXPRESADOS EN MAGNITUDES DE TANTO POR UNO p.u. BASES : 20 MVA y KV nomls

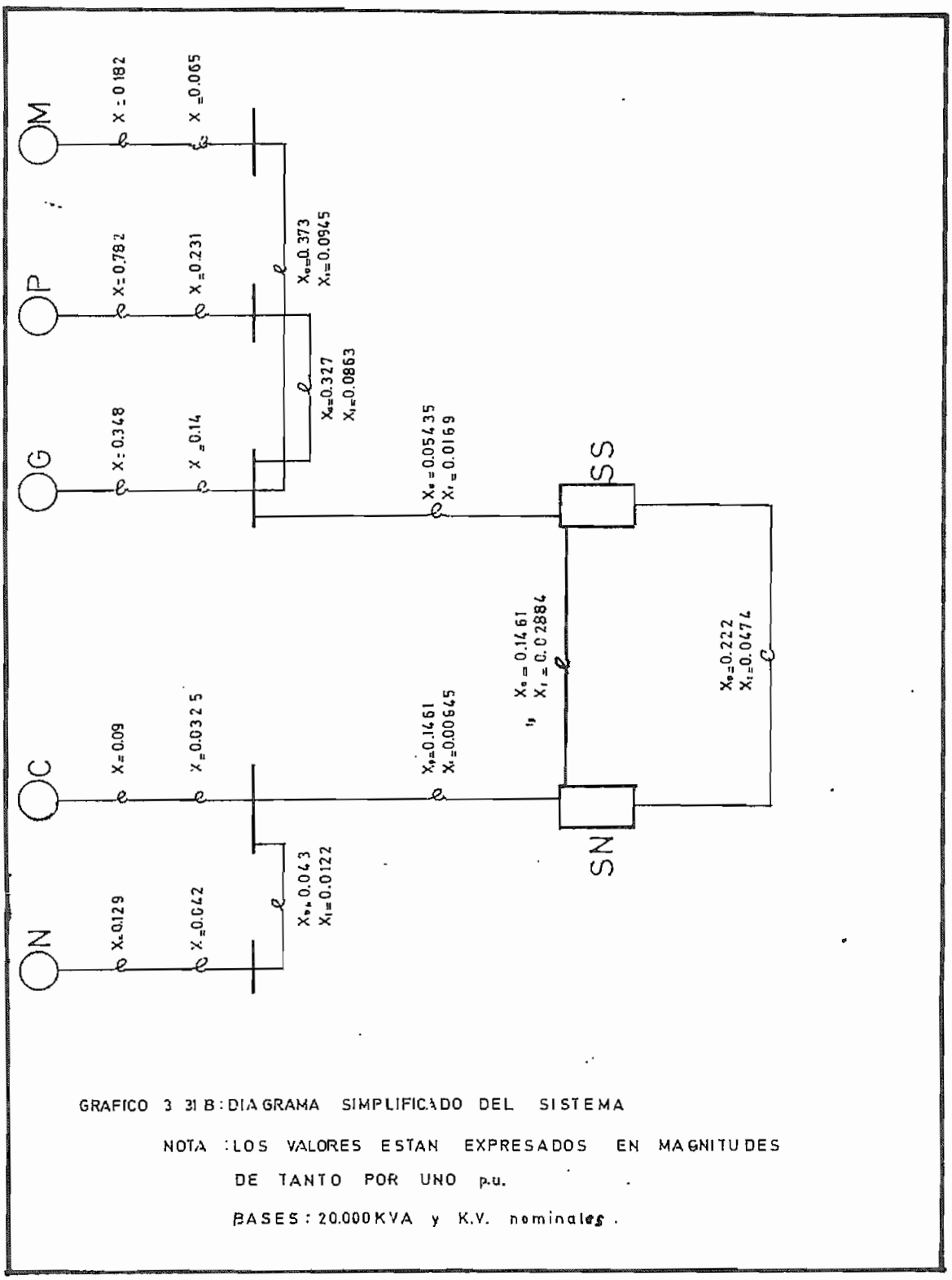


GRAFICO 3 31 B : DIAGRAMA SIMPLIFICADO DEL SISTEMA

NOTA : LOS VALORES ESTAN EXPRESADOS EN MAGNITUDES DE TANTO POR UNO p.u.

BASES : 20.000 KVA y K.V. nominales .

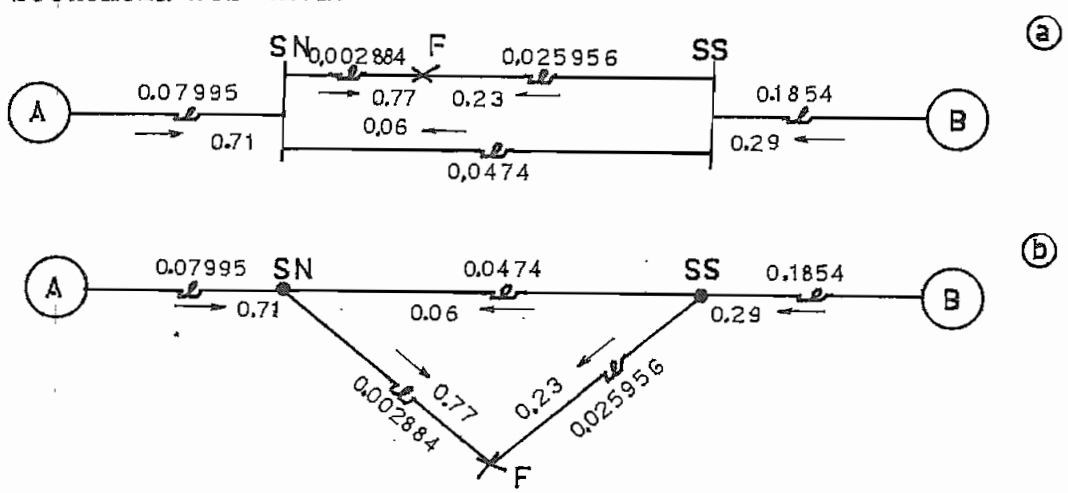
que se hicieron para el cálculo del Cap. II (2-32) y, se muestran en los gráficos 3-31 C y 3-31 D.

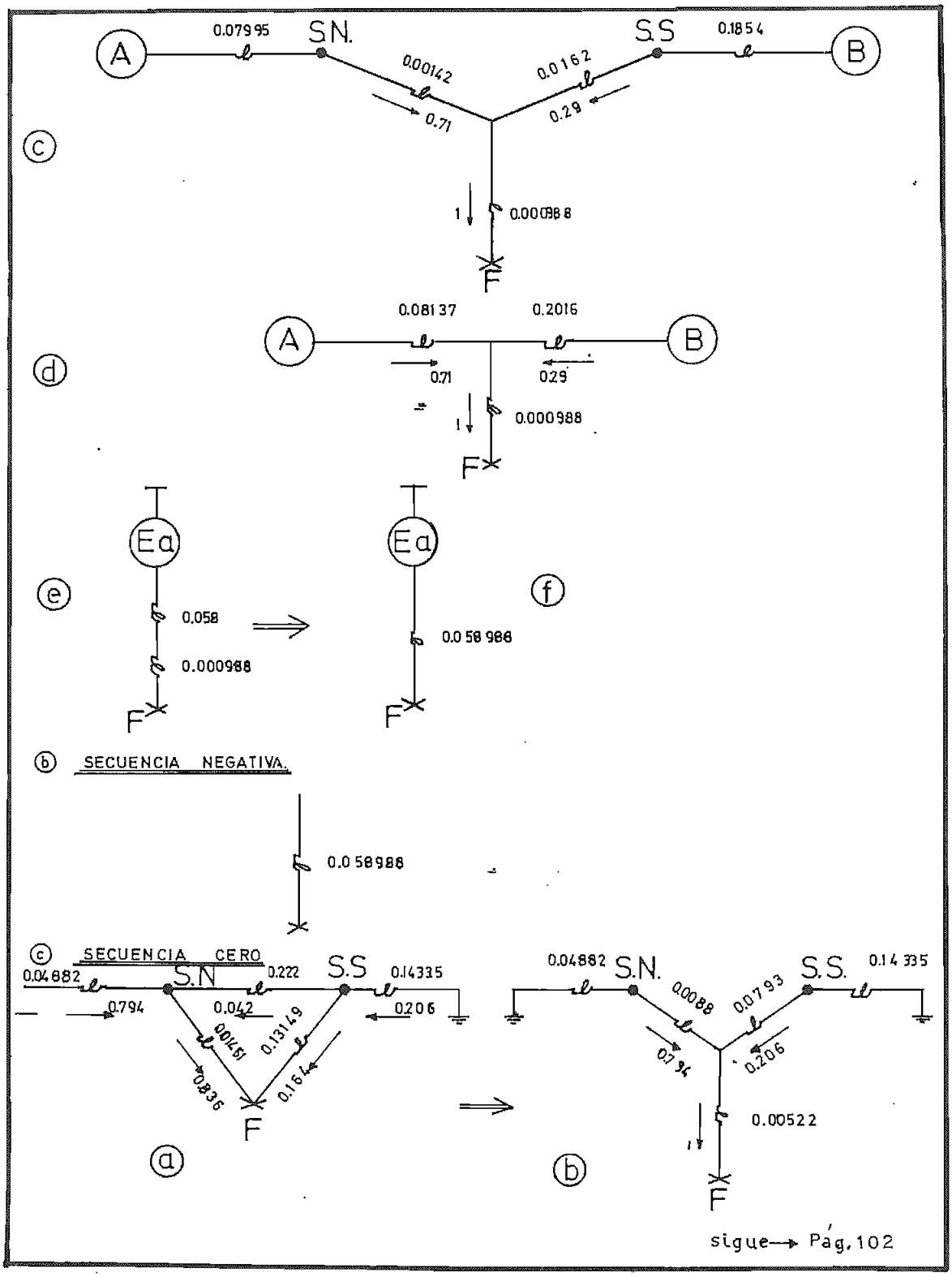
Una vez obtenidos los circuitos secuenciales, estamos en capacidad de calcular las corrientes de falla. Las fallas se simularán al 10% y al 90% de la longitud de la línea, pués son estos dos puntos, los que nos dan los valores I máx. e I mín., necesarios en la calibración del relé.

3-31C.- Falla FASE-TIERRA.- Se asumirá que la fase fallosa es la A. no hará falta explicación mayor pues esto quedó ya explicado en el Cap. II (2-32C) por lo tanto:

Circuitos Secuenciales.- Falla al 10% de la longitud de la línea:

a) Secuencia Positiva:




A
0.07995
S.N.
0.00142
0.71
0.0162
S.S
0.1854
B
0.29
c
1
0.000988
F
0.08137
0.2016
A
B
d
0.71
0.29
1
0.000988
F
Ea
e
0.058
0.000988
F
Ea
f
0.058988
F
b SECUENCIA NEGATIVA.
0.058988
c SECUENCIA CERO
0.04882
S.N
0.222
S.S
0.14335
0.794
0.042
0.206
0.01451
0.13149
0.836
0.164
F
a
0.04882
S.N.
0.0088
0.0793
S.S.
0.14335
0.794
0.206
0.00522
F
b
sigue→ Pág. 102

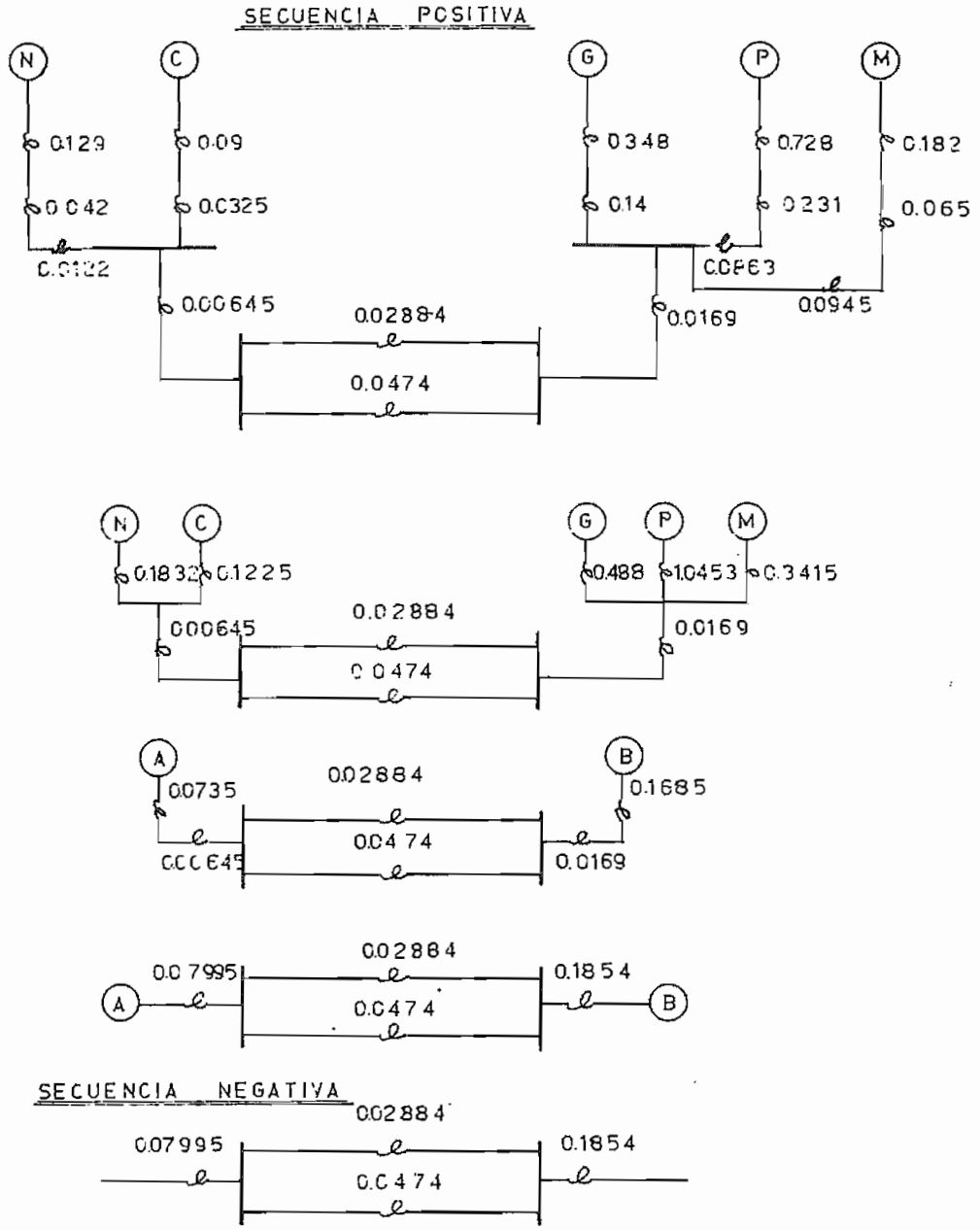


GRAFICO 3-31 C: CIRCUITOS SECUENCIALES DEL SISTEMA

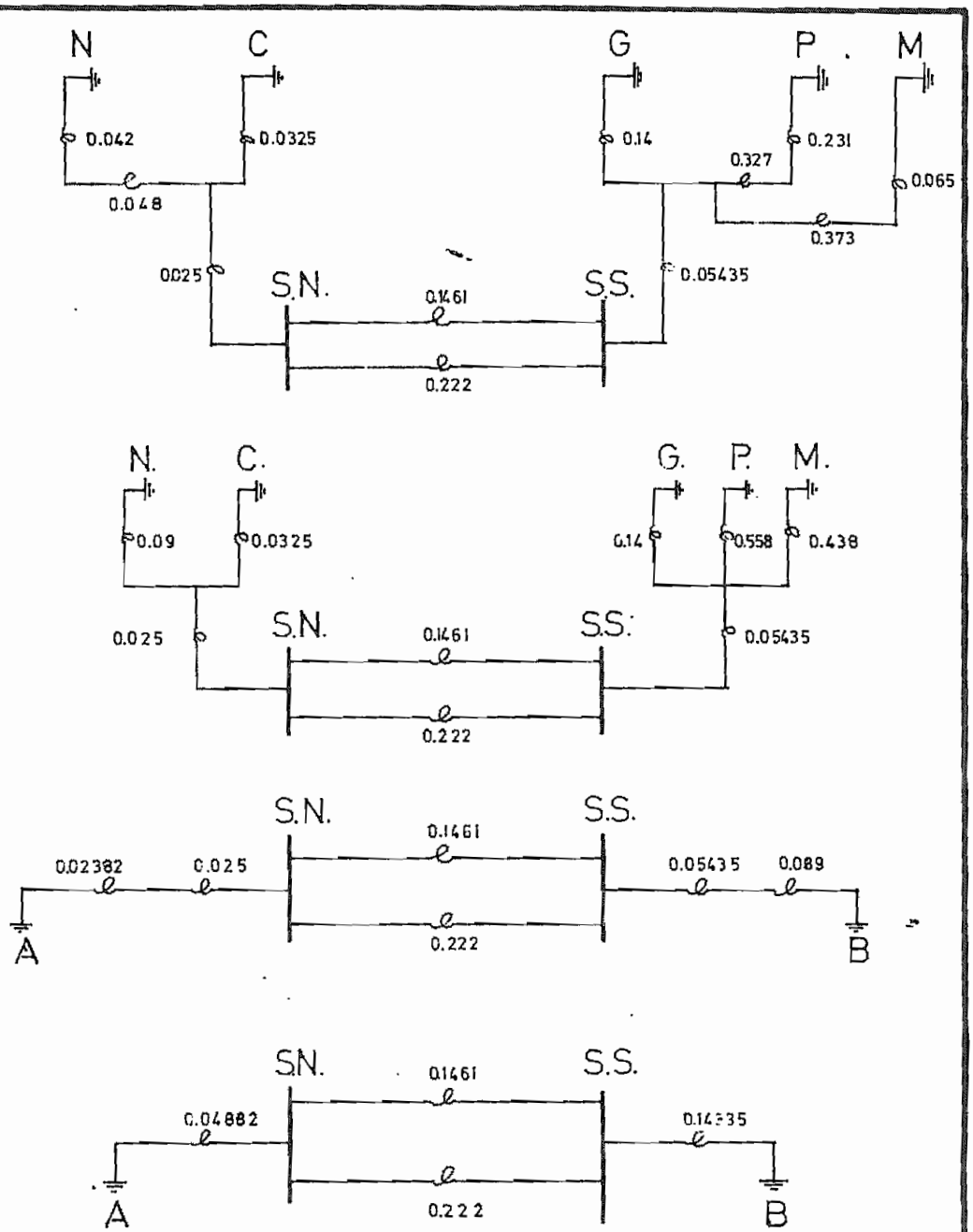
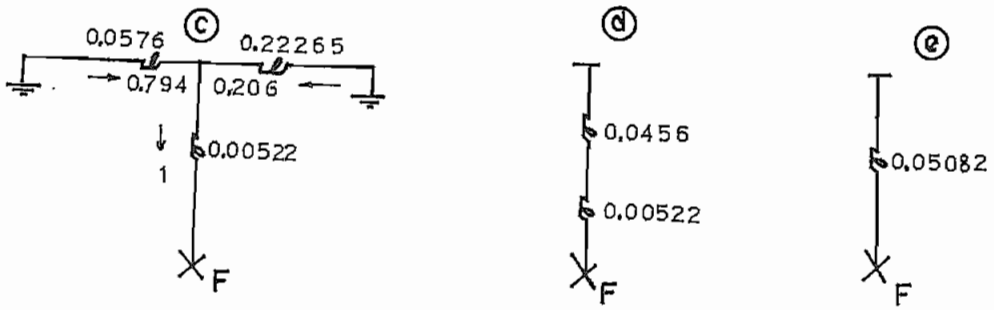


GRAFICO 3-31 D : CIRCUITOS SECUENCIALES DEL SISTEMA SECUENCIA CERO



En falla FASE-TIERRA:

$$I_{A1} = \frac{Ea}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

$$I_A = 3\ I_{A1}$$

Para nuestro caso: $Z_1 = 0,058988$

$Z_2 = 0,058988$

$Z_0 = 0,05082$

Luego $I\ A1 = 5,94$ pu.

Calcularemos ahora los Factores de Distribución de Corrientes:

Asumiremos que $I_{A1} = 1$.

Por lo tanto en la sec. posit. d) tendremos:

$$I_1 = 1 \times \frac{0,2016}{0,28297} = 0,71$$

$$I_2 = 1 \times \frac{0,08137}{0,28297} = 0,29$$

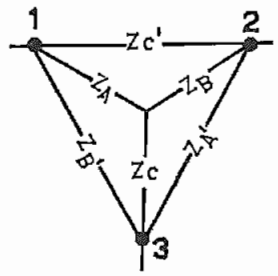
Estos factores los indicamos en los gráficos con flecha; en c) tenemos los mismos valores que en d) a la b) se pasa reducien

do los valores en Y a Triángulo, en la siguiente forma:

$$I_{1-2} = \frac{I_A Z_A - I_B Z_B}{Z_{C'}}$$

$$I_{1-3} = \frac{I_A Z_A + I_C Z_C}{Z_{B'}}$$

$$I_{2-3} = \frac{I_B Z_B + I_C Z_C}{Z_{A'}}$$



Por lo tanto $I_{1-3} = 0,77$ (I desde SN a F en la gráfica).

$I_{2-3} = 0,23$ (I desde SS a F en la gráfica).

$I_{1-2} = 0,06$ (I desde SS a SN en la gráfica).

Una vez obtenidos los factores de distribución, podemos calcular las corrientes en las subestaciones:

En la Subestación Norte:

$I_{Al} = 5,94 \times 0,77 = 4,56$ pu.

$I_A = 3 \times 4,56 = 13,68$ pu.

Como I base = 252 Amperios,

$I_A = 3,440$ Amperios.

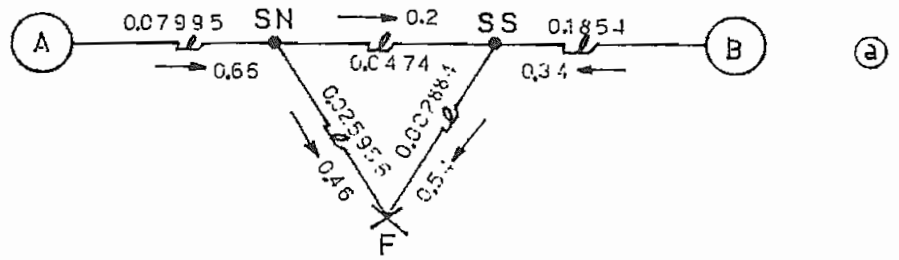
En la Subestación Sur:

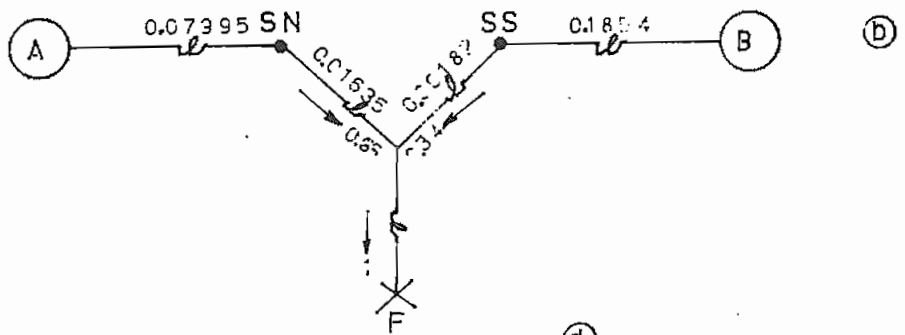
$I_{Al} = 5,94 \times 0,23 = 1,36$ pu.

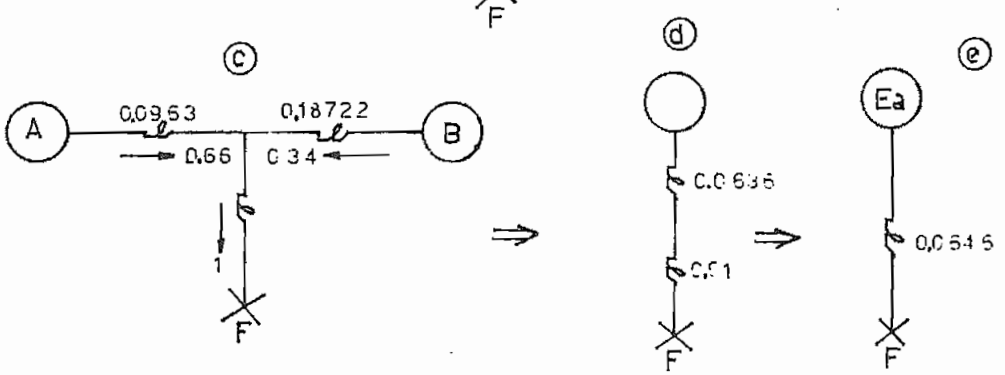
$I_A = 3 \times 1,36 = 4,08$ pu.

$I_A = 1.030$ Amperios.

a) SECUENCIA POSITIVA







b) SECUENCIA NEGATIVA

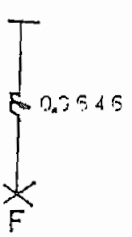
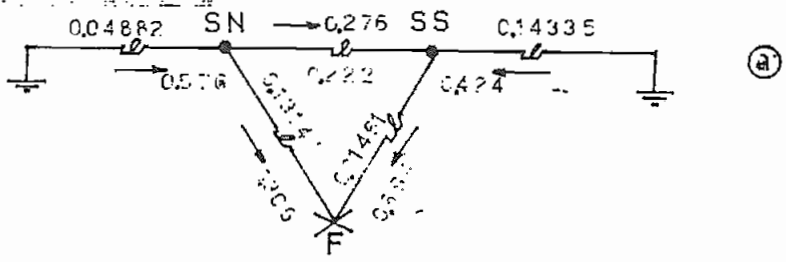
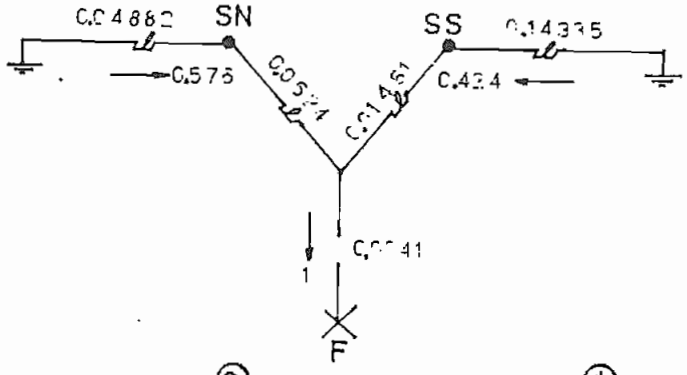


GRAFICO 3-31E : CIRCUITOS SECUENCIALES

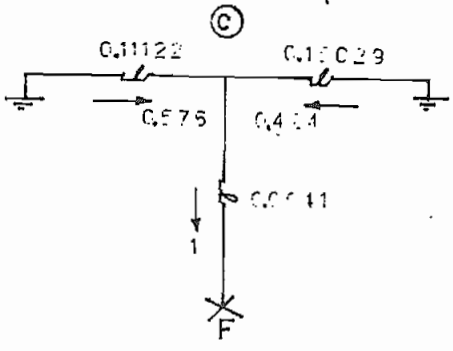
c) SECUENCIA CERO



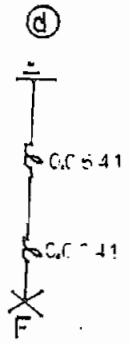
a



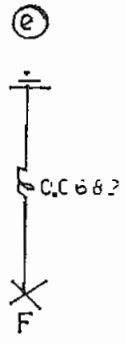
b



c



d



e

GRAFICO 3-31 F : CIRCUITOS SECUENCIALES

Para este caso: $Z_1 = 0,0646$

$Z_2 = 0,0646$

$Z_0 = 0,0682$

Por lo tanto: $I_{A1} = 5,06$ pu.

Calculando los factores de distribución de corrientes, asumiendo que $I_{A1} = 1$.

En la secuencia positiva: Fig. c)

$$I_1 = 1 \times \frac{0,18722}{0,28352} = 0,66$$

$I_2 = 0,34$

En la Fig.a): $I_{1-2} = 0,2$ (I desde SN a SS)

$I_{1-3} = 0,46$ (I desde SN a F)

$I_{2-3} = 0,54$ (I desde SS a F)

Con los factores de distribución calculados, podemos hallar - las corrientes en las subestaciones:

En la subestación Norte:	En la subestación Sur:
$I_{A1} = 5,06 \times 0,46 = 2,33$ pu.	$I_{A1} = 5,06 \times 0,54 = 2,74$ pu.
$I_A = 2,33 \times 3 = 6,99$ pu.	$I_A = 2,74 \times 3 = 8,22$ pu.
$I_A = 1.760$ Amperios.	$I_A = 2.070$ Amperios.

CUADRO No. 3- 31 A: RESUMEN FALLA FASE-TIERRA.-

	CORRIENTE (AMPERIOS).	
Longitud de la Línea	10%	90%
Subestación Norte	3.440	1.760
Subestación Sur	1.030	2.070

3-31 D.- Falla FASE-FASE: Asumiremos que las fases fallosas son la B y la C.

En este tipo de falla:

$$I_{A1} = - I_{A2}$$

$$I_{A1} = \frac{Ea}{Z_1 + Z_2}$$

$$I_B = - I_C = I_{A1} (a^2 - a).$$

Por lo tanto:

Falla al 10% de la longitud de la línea:

$$Z_1 = 0,058988$$

$$Z_2 = 0,058988$$

$$I_{A1} = 8,49 \text{ pu.}$$

En la Subestación Norte:

I_{Al} = 8,49 x 0,77 = 6,54 pu.

$I_B = -I_C$ = 11,31 pu = 2.860 Amperios.

En la Subestación Sur:

I_{Al} = 8,49 x 0,23 = 1,95 pu.

$I_B = -I_C$ = 3,38 pu = 850 Amperios.

Falla al 90% de la longitud de la línea:

Z_1 = 0,0646

Z_2 = 0,0646

I_{Al} = 7,725 pu.

En la Subestación Norte:

I_{Al} = 7,725 x 0,46 = 3,56 pu.

$I_B = -I_C$ = 6,16 pu. = 1.550 Amperios

En la Subestación Sur:

I_{Al} = 7,725 x 0,54 = 4,16 pu.

$I_B = -I_C$ = 7,21 pu. = 1.820 Amperios.

CUADRO No. 3-31 B: RESUMEN FALLA FASE-FASE.-

	CORRIENTE (AMPERIOS).	
Longitud de la línea	10%	90%
Subestación Norte	2.860	1.550
Subestación Sur.	850	1.820

3-31 E: Falla TRIFASICA.-

En este tipo de falla:

$$I_{A1} = \frac{Ea}{Z1}$$

$$I_{A2} = I_{A0}$$

Por lo tanto:

Falla al 10% de la longitud de la línea:

$$Z_1 = 0,058988$$

$$I_{A1} = 17 \text{ pu.}$$

En la Subestación Norte:

$I_{A1} = 17 \times 0,77 = 13,1$ pu.

$I_A = 3.300$ Amperios.

En la Subestación Sur:

$I_{A1} = 17 \times 0,23 = 3,9$ pu.

$I_A = 980$ Amperios.

Falla al 90% de la longitud de la línea:

$$Z_1 = 0,0646$$

$I_{A1} = 15,5$ pu.

En la Subestación Norte:

$I_{A1} = 15,5 \times 0,46$ 7,125 pu.

$I_A = 1.800$ Amperios.

En la Subestación Sur:

$I_{A1} = 15,5 \times 0,54 = 3,35$ pu.

$I_A = 2.102$ Amperios.

CUADRO No. 3-31 C: RESUMEN FALLA TRIFASICA.-

	CORRIENTE (AMPERIOS).	
Longitud de la línea	10%	90%
Subestación Norte	3.300	1.800
Subestación Sur	980	2.102

3-31 F: Falla BIFASICA-TIERRA.- Asumiremos que las fases fallosas son la B y la C.

En este tipo de falla:

$$I_A = 0$$

$$IA1 = \frac{Ea}{Z_1 +}$$

$$I_{A2} = - I_{A1}$$

$$I_{AO} = - I_{A1}$$

$$I_B = I_{AO} + I_{A1}\, a^2 + I_{A2}\, a$$

$$I_C = I_{A0} + I_{A1}\, a + I_{A2}\, a^2$$

$$|I_B| = |I_C|$$

Por lo tanto:

Falla al 10% de la longitud de la línea.-

$$Z_1 = 0{,}058988$$

$$Z_2 = 0{,}058988$$

$$Z_0 = 0{,}05082$$

$$I_{A1} = -\,j\ 11{,}7 \text{ pu.}$$

$$I_{A2} = j\ 5{,}42 \text{ pu.}$$

$$I_{A0} = j\ 6{,}29 \text{ pu.}$$

En la Subestación Norte:

$I_{A1} = -\,j\ 11{,}7 \times 0{,}77 = -\,j\ 9$ pu.

$I_{A2} = j\ 5{,}42 \times 0{,}77 = j\ 4{,}17$ pu.

$I_{A0} = j\ 6{,}29 \times 0{,}836 = j\ 5{,}25$ pu.

$|I_B| = |I_C| = 13{,}7$ pu. = 3.440 Amperios.

En la Subestación Sur:

$I_{A1} = -\,j\ 11{,}7 \times 0{,}23 = -\,j\ 2{,}7$ pu.

$I_{A2} = j\ 5{,}42 \times 0{,}23 = j\ 1{,}25$ pu.

$I_{A0} = j\ 6{,}29 \times 0{,}164 = j\ 1{,}03$ pu.

$|I_B| = |I_C| = 3{,}84$ pu. = 965 Amperios.

Falla al 90% de la longitud de la línea.-

$Z_1 = 0,0646$

$Z_2 = 0,0646$

$Z_0 = 0,0682$

$I_{A1} = - j\ 10,22$ pu.

$I_{A2} = \quad j\ 5,25$ pu.

$I_{A0} = \quad j\ 5$ pu.

En la Subestación Norte:

$I_{A1} = - j\ 10,22 \times 0,46 = - j\ 4,7$ pu.

$I_{A2} = \quad j\ 5,25 \times 0,46 = \quad j\ 2,42$ pu.

$I_{A0} = \quad j\ 5 \times 0,306 = j\ 1,53$ pu.

$|I_B| = |I_C| = 6,71$ pu. = 1.690 Amperios.

En la Subestación Sur:

$I_{A1} = -j\ 10,22 \times 0,54 = - j\ 5,54$ pu.

$I_{A2} = j\ 5,25 \times 0,54 = \quad j\ 2,84$ pu.

$I_{A0} = j\ 5 \times 0,694 = j\ 3,47$ pu.

$|I_B| = |I_C| = 8,74$ pu. 2.200 Amperios.

CUADRO No. 3-31 D : RESUMEN FALLA BIFASICA-TIERRA.-

	CORRIENTE (AMPERIOS).	
Longitud de la línea	10%	90%
Subestación Norte	3.440	1.690
Subestación Sur	965	2.200

3-32.- CALIBRACION DEL RELE PARA LAS CONDICIONES FUTURAS.-

Una vez calculadas las corrientes de cortocircuito, para las diversas condiciones, podemos pasar ya a la calibración del relé.

3-32 A.- TAP R1.- Las relaciones de transformación, en este caso son : en la Subestación Norte 1.000/5, y en la Subestación Sur - 800/5; por lo tanto R1 valdrá:

R1 = 1.000/5 = 0,2 el valor máscercano R1 = 0,15

R1 = 800/5 = 0,16 el valor mas cercano R1 = 0,15

Luego el relé en las subestaciones Norte y Sur, R1 = 0,15

3-32 B.- TAP T.- Según los cálculos realizados tenemos que:

a) Falla FASE-FASE.-

Subestación Norte: I mín. = 1.550 Amp. (falla al 90% de la long.- de la línea.

Subestación Sur: I mín = 850 Amp. (falla al 10% de la long. de la - línea.

b) Falla Trifásica.-

Subestación Norte: I mín. = 1.800 Amp. (falla al 90% de la long. de la línea.

Subestación Sur : I mín. = 980 Amp. (falla al 10% de la long. de- la línea.

Por lo tanto las corrientes mínimas de falla entre fases serán: en la Subestación Norte 1.550 Amperios y, en la Subestación Sur 850 Amperios.

Por lo tanto, en la Subestación Norte:

$$I\ 11 = 1.550 \times \frac{5}{1.000} \times \frac{1}{2} = 3,875$$

$T = 5,7\ (3,875)\ 0,15 = 3,3$, el valor mas cercano $T = 4$

En la Subestación Sur:

$$I\ 11 = 980 \times \frac{5}{800} \times \frac{1}{2} = 3,06$$ el valor mas cercano $T = 4$

Luego el relé en las subestaciones Norte y Sur $T = 4$.

3-32 C.- TAP RO.- Según los cálculos realizados, se tiene que:

a) Falla FASE-TIERRA.-

Subestación Norte: I mín. 1.760 Amp. (falla al 90% de la long. de la línea.

Subestación Sur : I mín. = 1.030 Amp.(falla al 10% de la long. de

la línea.

b) Falla BIFASICA-TIERRA.-

Subestación Norte: I mín. = 1.690 Amp. (falla al 90% de la long. de la línea.

Subestación Sur : I mín. = 965 Amp. (falla al 10% de la long. de la línea.

Por lo tanto las corrientes mínimas falla a tierra serán: en la Subestación Norte 1.690 Amperios y, en la Subestación Sur 965 Amperios.

Por lo tanto, en la Subestación Norte:

$$Ig = 1.690 \times \frac{5}{1.000} \times \frac{1}{2} = 4,2250$$

$$R_0 = \frac{0,2\ (4)}{4,225} = 0,189, \text{ el valor más cercano RO} = 0,39$$

En la Subestación Sur:

$$Ig = 965 \times \frac{5}{800} \times \frac{1}{2} = 3,02$$

$$RO = \frac{0,2\ (4)}{3,02} = 0,264, \text{ el valor mas cercano RO} = 0,39$$

Resumiendo.- El Relé para las condiciones futuras del sistema, quedará calibrado así:

En la Subestación Norte: Rl = 0,15

T = 4

RO = 0,39

Factor de seguridad en fallas entre fases $= \frac{4}{3,3} = 122\%$

Factor de seguridad en fallas a tierra $= \frac{0,39}{0,189} = 206\%$

En la Subestación Sur: R1 = 0,15

T = 4

RO = 0,39

Factor de seguridad en fallas entre fases $= \frac{4}{3,06} = 130\%$

Factor de seguridad en fallas a tierra $= \frac{0,39}{0,264} = 148\%$.

ANEXO N°1

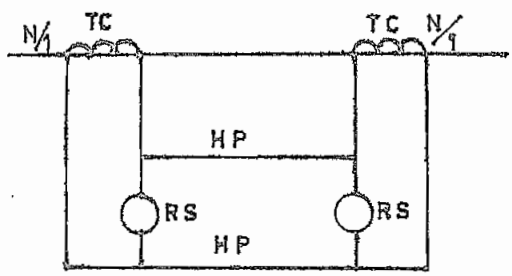
COMPROBACION DEL FUNCIONAMIENTO DEL RELE DE HILO PILOTO EN LA PROTECCION DE LA BARRA ESTE N°2.

El objeto del presente anexo es el de aclarar en primer término el funcionamiento del relé,y luego la comprobación - del correcto funcionamiento en diferentes condiciones de carga,alimentación y cortocircuitos en las derivaciones.

1.-FUNCIONAMIENTO DEL RELE.-

Como se indicó anteriormente el relé aplicado en la protección de nuestro sistema,utiliza para su funcionamiento el método de circulación de corrientes.

Básicamente el relé de hilo piloto,por circulación de - corrientes consta de los siguientes elementos:



TC = Transformador de corriente.

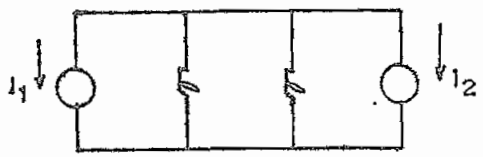
RS = Relé de sobrecorriente.

HP = Hilo piloto.

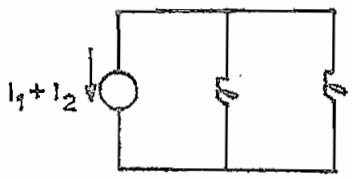
Para el análisis del funcionamiento haremos las siguientes consideraciones:a)Se asume que la impedancia de los hilos pilotos es despreciable comparada con la impedancia de los - debanados del relé.b)Los debanados secundarios de los transformadores pueden reemplazarse por una fuente de corriente - constante,y c)La corriente proveniente de cada transformador puede considerarse separadamente,y las corrientes provenientes de los dos transformadores se la halla por superposición.

En base a las consideraciones anteriores tendremos que-

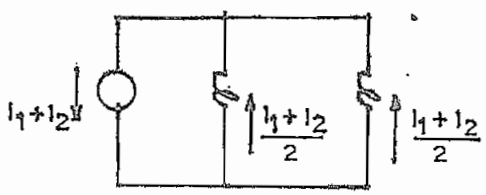
el sistema se reduce al siguiente circuito.



El circuito anterior puede reemplasarse por:



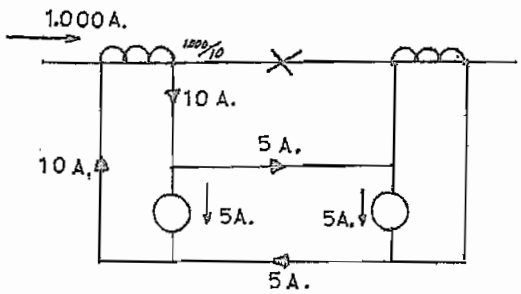
Por lo tanto y por ser los dos relés iguales, por cada - uno de ellos circulará siempre igual corriente:



Concluyendo, las corrientes provenientes de los transformadores de corriente se divide siempre por igual en los dos- relés, por esto se habla que el conjunto en total viene a ser un relé de corriente balanceada muy sensible. Ahora bien, el - relé funcionará única y exclusivamente cuando por él circule una cantidad de corriente determinada lógicamente por la calibración. Como la calibración se hace para el mínimo valor - de corriente de cortocircuito, el relé funcionará para este - valor o valores mayores de corriente, en cambio para corrientes menores, como es lógico, no funcionará.

Para que el funcionamiento quede completamente claro, pongamos un ejemplo:

Falla interna,alimentación sólo por el extremo izquierdo,calibración del relé 4 Amp. :



FUNCIONA

Los elementos considerados en la explicación del funcionamiento del relé constituyen,como se aclaró,lo básico para la discución.Es claro que el relé,ya en su parteconstructiva, consta también de otros elementos que vienen a complementar el funcionamiento básico;por lo que a continuación analizaremos brevemente estos elementos:

Los transformadores de saturación limitan la magnitud del voltaje eficáz presente en el circuito piloto,mientras que las lámparas de neón,limitan los voltajes de pico.

Los transformadores de aislamiento,a los extremos de los hilos piloto,aislan el equipo terminal.

El relé consta de dos bobinas: la bobina "O" que es la de operación y la bobina "A" de amortiguamiento,ambas actúan en oposición en la armadura del relé.Para energizar las bobinas utilizamos un sistema de rectificación de onda completa, con lo cual se consigue mayor sensibilidad.La bobina de amortiguamiento tiene como función evitar que el relé opere falsamente durante fallas externas ya que éstas alteran grande-

mente la relación de transformación en los transformadores de corriente, además por hallarse esta bobina en serie con los hilos piloto, evita falsos disparos por la presencia de corrientes inducidas en éstos.

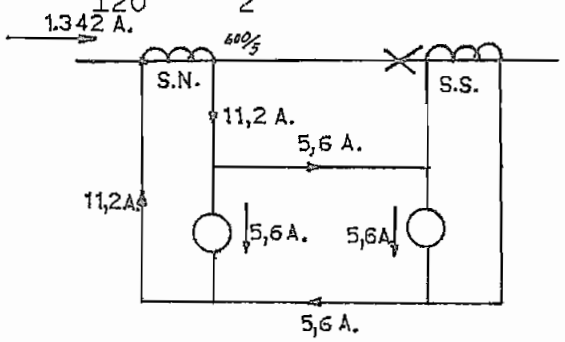
Finalmente los filtros de secuencia de fase, convierten las corrientes de las tres fases y la de tierra, en una sola magnitud.

El esquema completo del relé de hilo piloto por circulación de corrientes lo tenemos en la página 7A.

Una vez aclarado el funcionamiento de nuestro relé, pasemos a su calibración, detalle este que se hace imprescindible, para la comprobación del correcto funcionamiento.

Subestación Norte.-El relé se calibra para la mínima corriente de falla entre fases. Imín.=1.342 Amp.(falla al 90% de la longitud de la línea, de la subestación Norte a la Sur), por lo tanto el relé se calibrará para el valor:

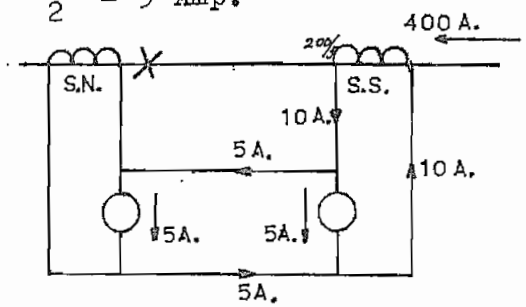
$$C = \frac{1.342}{120} = \frac{11,2}{2} = 5,6 \text{ Amp.}$$



Subestación Sur.-Imín.= 400 Amp.(falla al 10% de la longitud de la línea, de la subestación Norte a la Sur), por lo-

tanto el relé se calibrará para el valor:

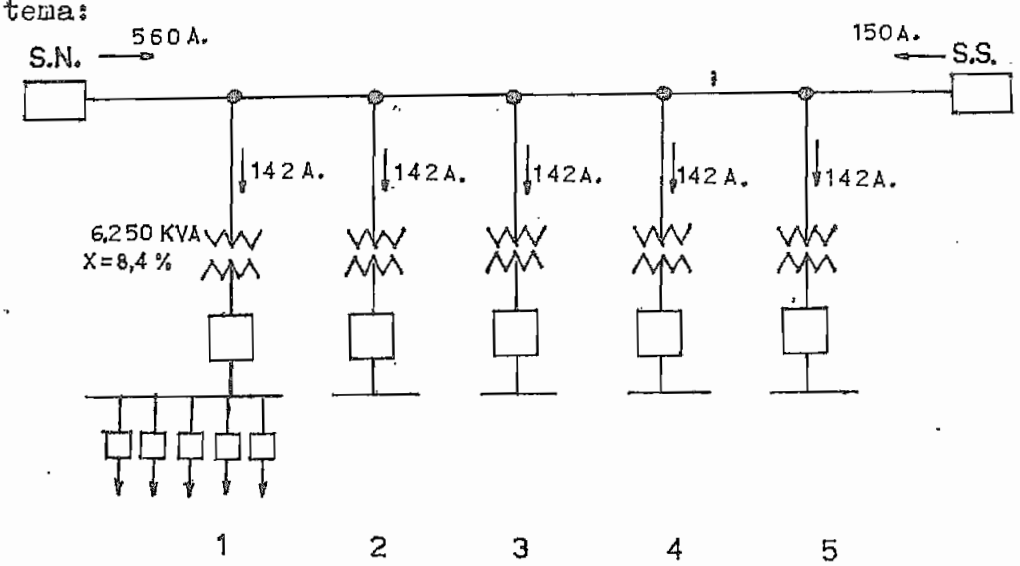
$$C = \frac{400}{40} = \frac{10}{2} = 5 \text{ Amp.}$$



Por lo tanto por la calibración nuestro sistema funcionará unicamente cuando por el relé de la subestación Norte circulen mínimo 5,6 Amp.,y por el relé de la subestación Sur mínimo 5 Amp.

2.-COMPROBACION DEL FUNCIONAMIENTO.-

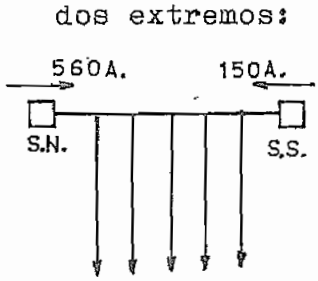
Para esto hagamos primero un diagrama unifilar del sistema:

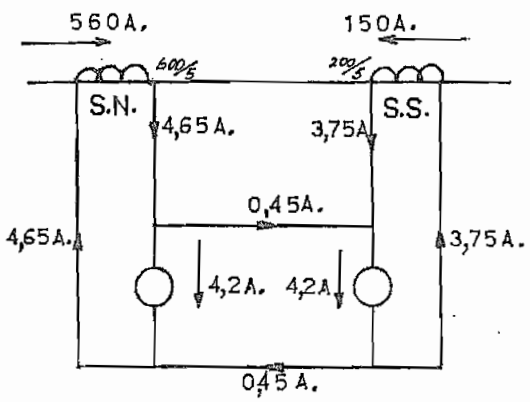


Nota: Todas las subestaciones son iguales.El valor de la reactancia de los transformadores está en bases 46Kv. y 6.250 KVA.

a) Comprobación para diversos casos de desequilibrio.-

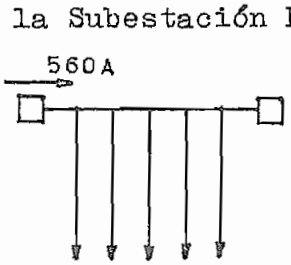
1) Todas las subestaciones funcionando, alimentación por los dos extremos:

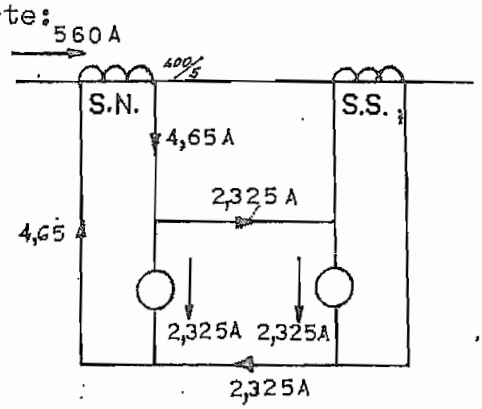




NO FUNCIONA

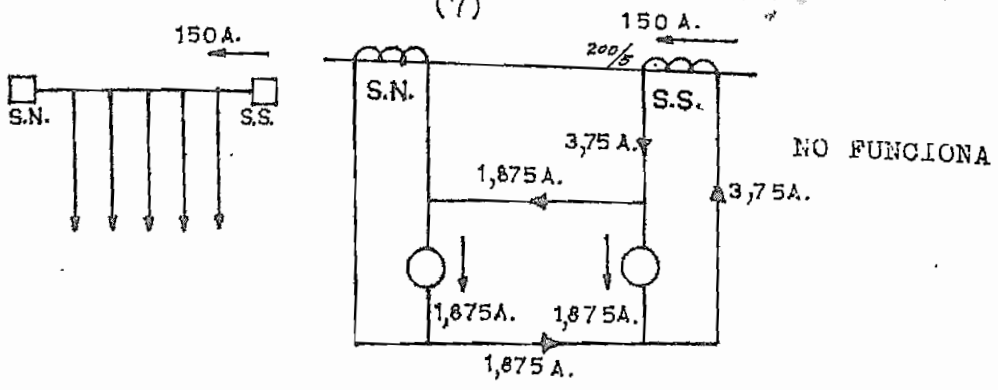
2) Todas las subestaciones funcionando, alimentación sólo por la Subestación Norte:





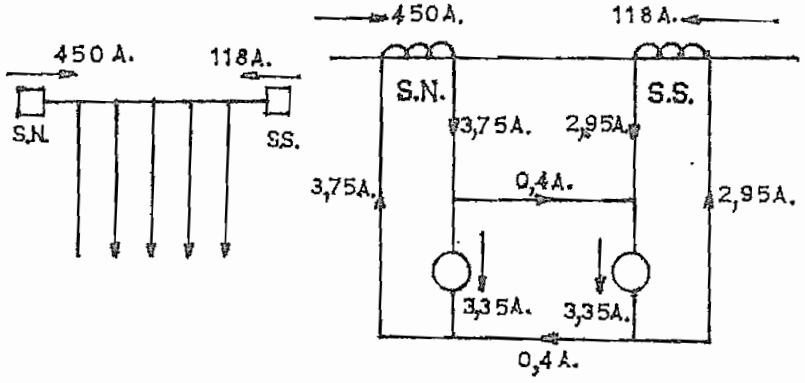
NO FUNCIONA

3) Todas las subestaciones funcionando, alimentación sólo por la Subestación Sur:



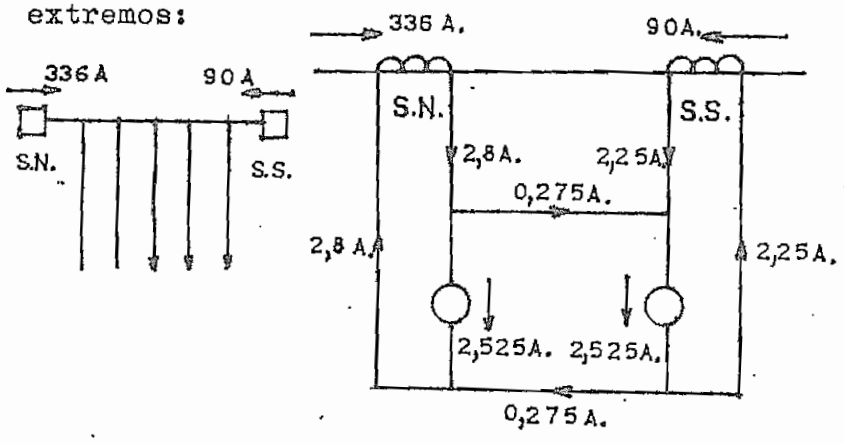
NO FUNCIONA

4) La subestación 1 fuera, alimentación por los dos extremos:



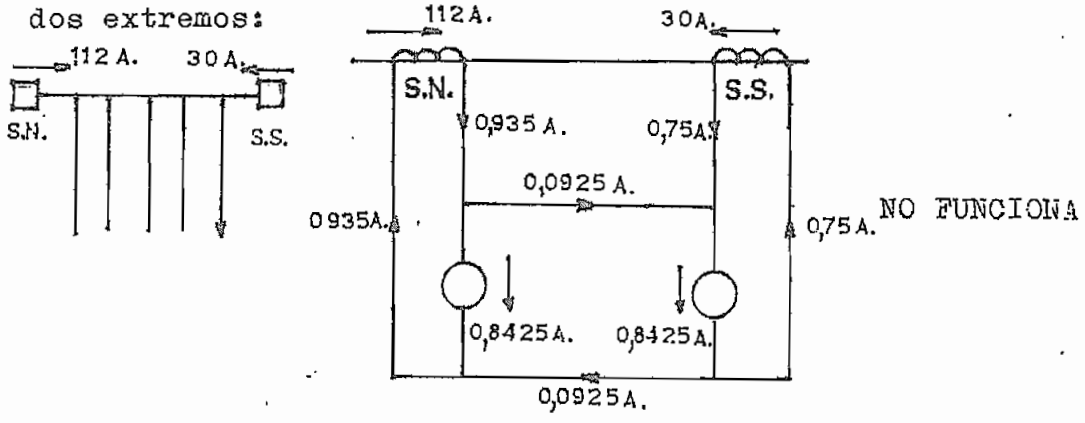
NO FUNCIONA

5) Las subestaciones 1 y 2 fuera, alimentación por los dos-extremos:



NO FUNCIONA

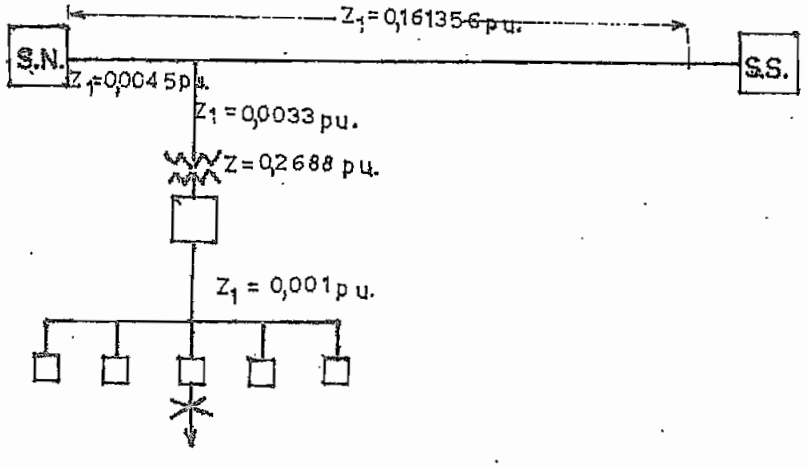
6) Las subestaciones 1,2,3 y 4 fuera, alimentación por los dos extremos:



b) Comprobación al existir un cortocircuito en diversas partes de las derivaciones.-

Para esta discución hay que calcular las corrientes de cortocircuito que se sucederán. Para evitarnos la cantidad de operaciones y números que lo anterior significaría, el análisis lo haremos únicamente en cortocircuitos trifásicos (ya que es el más simple para el cálculo). Con esta aclaración, pasemos a la discución:

1) Cortocircuito en un alimentador:



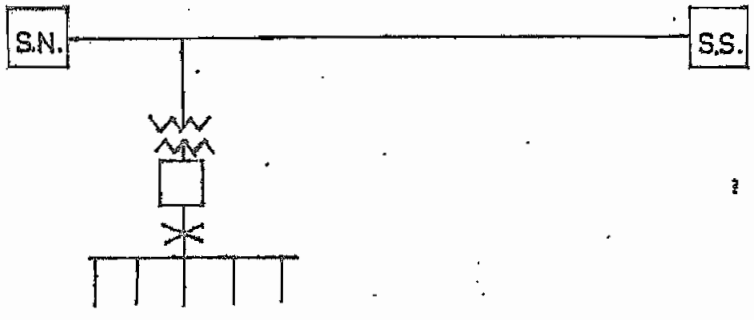
La corriente de cortocircuito a la que se calibra el relé es: $I_{cc} = \frac{1}{0,161356} = 6,2$ pu.

La corriente de cortocircuito en el punto falloso será:

$$I_{cc} = \frac{1}{0,2776} \cong 3,6 \text{ pu.}$$

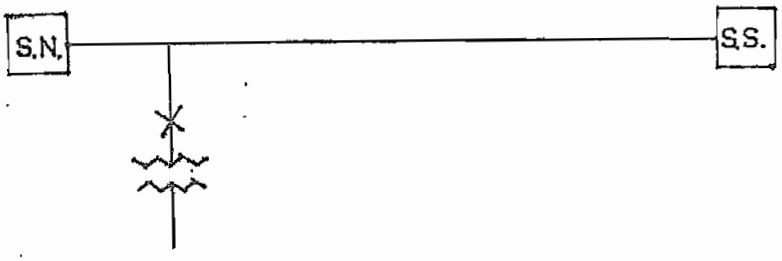
Por lo tanto si nuestro relé funciona con Imín=6,2 pu. se concluye que con la corriente de cortocircuito en el punto indicado, el relé no funcionará, pues el valor de la corriente es menor. Para despejar la falla será el respectivo reconectador del alimentador, el que funcione.

2) Cortocircuito en la subestación:



Para esta discución, nos sirven los razonamientos del caso anterior. El relé en esta falla tampoco funcionará, ya que la corriente de cortocircuito, es también menor que la de calibración, por lo tanto para el despeje de la falla el que debe actuar es el disyuntor de la subestación.

3) Cortocircuito en la derivación:



Para esta falla la corriente de cortocircuito,ahora sí, es mayor por lo tanto el sistema de protección actúa.Este - funcionamiento en ningún momento podemos decir que sea erra do,porque la falla es casi en la línea,y por lo tanto el re lé debe operar.

CONCLUSIONES.-1) El sistema así diseñado,no funciona - en condiciones normales a pesar,como quedó analizado,que - existan condiciones diversas de carga y aún de alimentación.

2) Cuando existen cortocircuitos en los alimentadores, funciona el reconectador respectivo;si el cortocircuito es en la subestación,funciona el disyuntor de la subestación.

Lo que sí debe existir es la adecuada coordinación entre estos elementos,esto es el reconectador debe funcionar con un menor valor de corriente de falla que el disyuntor - de la subestación,y éste con un menor valor que el relé de- protección de la línea;esta coordinación en realidad existe sin embargo lo aclaramos.

3) El sistema está diseñado para funcionar ante cualqui er tipo de falla en la línea y en las derivaciones antes de llegar a las subestaciones de distribución.

BIBLIOGRAFIA.

TEXTOS.-

Mazza Enrico. "El Relé en la Industria". Ediciones Técnicas Marcombo S.A. Barcelona (1.962).

Mason C. Russell. "The Art and Science of Protective Relaying". General Electric Company. U.S.A. (1.956).

Peek R.L. "Switching Relay Desing". D. Van Nostrand Company Inc. U.S.A. (1.955).

Kimbarck Edward W. "Power Sistem Stability". Tomo II. John Wiley-Sons Inc. New York (1.967).

Westhinghouse. "Applied Protective Relaying". Westhinghouse Electric Corporation. U.S.A. (1.967).

Westhinghouse. "Electrical Transmission and Distribution Reference Book". Westhinghouse Electric Corporation USA. (1.964).

De la Chard F. "Power System Engineering". Cleaver-Hume Press - Ltd.LOndon (1.962).

Warrington A.R. Van C. "Protective Relays. Teory and Practice". Vol. I. John Wiley Company.U.S.A. (1.962).

Lovell Alfred H. "Generating Stations. Economic Elements of - Electrical Desing". Mc. Graw Hill Book Co. New York (1.958).

TESIS.-

Romero Eduardo. "Barra Oeste Nº. 2". Tesis previa a la obtención del título de Ing. Electricista. Escuela Politécnica Nacional". Quito. 1.968.

Sanchez Luis Gerardo. "Estudio de Fallas en el Sistema de Transmisión y Subtransmisión de la E.E.Q." Tesis previa a la obtención del título de Ing. - Electricista. Escuela Politécnica Nacional Quito. 1.967.