

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

***TESIS PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE INGENIERO
ELECTRICO EN SISTEMAS DE POTENCIA***

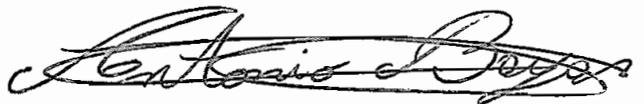
***COORDINACION GRAFICA DE PROTECCION DE
DISTANCIA EN SISTEMAS DE TRANSMISION
Y SUBTRANSMISION***

GALO SANTIAGO SILVA ARTEAGA

MAYO - 1.994

CERTIFICACION

Certifico que el presente trabajo ha sido realizado en su totalidad por el Sr. Galo Santiago Silva Arteaga, bajo mi dirección.

A handwritten signature in cursive script, appearing to read "Antonio Bayas". The signature is written in dark ink and is positioned above a dashed horizontal line.

Ing. Antonio Bayas
Director de Tesis

AGRADECIMIENTO:

A todas aquellas personas que en forma desinteresada colaboraron de una forma directa o indirecta durante el desarrollo de este trabajo; en especial al Ing. Antonio Bayas, por su ayuda incondicional en la conducción y desarrollo de la misma, al Ing. Raúl Ruíz e Ing. Manuel Rueda por su ayuda técnica, al Sr. Patricio Toalongo por sus sugerencias técnicas y a mi familia por su tesonero apoyo.

DEDICATORIA:

A mis queridos padres

A SANDY

A mi hermano

INDICE

Página

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1.- Antecedentes.	1
1.2.- Características Generales.	1
1.3.- Alcance del trabajo.	4

CAPITULO II

DESCRIPCION TEORICA DE LA PROTECCION DE DISTANCIA

2.1.- Generalidades del Sistema de Transmisión y Subtransmisión.	5
2.1.1.- Niveles de voltaje utilizados.	7
2.1.2.- Esquemas utilizados de protección de distancia.	7
2.1.2.1.- Protección de distancia por zonas.	
2.1.2.2.- Protección mediante canales pilotos.	7
2.2.- Generalidades de los equipos de protección de distancia.	9
2.2.1.- Principio de Funcionamiento de los relés de distancia.	9
2.2.2.- Efecto de la impedancia mútua.	15
2.3.- Uso del Diagrama R-X en el trabajo de Relés.	16
2.3.1.- Elementos de impedancia en el diagrama R-X.	17
2.3.2.- Características de los relés de distancia sobre el diagrama R-X.	22
2.3.3.- Efecto de la resistencia de falla en el diagrama R-X.	26
2.4.- Filosofía de coordinación y Esquemas de Protección.	28
2.4.1.- Algoritmo para encontrar el Conjunto de Pares de Relés.	28

2.4.2.-	Coordinación de los relés de distancia.	30
2.4.2.1.-	Localización de la Zona 1 para Líneas de 3-Terminales.	30
2.4.2.2.-	Algoritmo de Coordinación de la zona sucesiva.	31
2.4.2.2.1.-	Coordinación de la Zona 2.	32
2.4.2.2.2.-	Coordinación de la Zona 3.	36

CAPITULO III

DESCRIPCION GENERAL DEL PROGRAMA

3.1.-	Objetivo del programa.	40
3.2.-	Restricciones del programa.	40
3.3.-	Forma de uso, parámetros e información complementaria.	40
3.3.1.-	Características del hardware.	41
3.3.2.-	Instalación y descripción del software.	42
3.3.3.-	Datos, parámetros y variables del paquete.	45

CAPITULO IV

APLICACIONES

4.1.-	Protección de distancia en la E.E.Q.S.A.	48
4.1.1.-	Descripción General del Sistema de la E.E.Q.	48
4.1.2.-	Equipo de Protección de Distancia utilizado por la E.E.Q.	48
4.2.-	Ejemplos de aplicación utilizando líneas asociadas a la S/E Selva Alegre.	54
4.2.1.-	Primer ejemplo de aplicación.	54
4.2.2.-	Sistema de la Empresa Eléctrica Quito de 46 [kV], con líneas asociadas a la S/E Selva Alegre.	64
4.3.-	Análisis y evaluación de resultados.	92

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.-	Conclusiones	94
-------	--------------	----

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

ANEXO A: Manual de Uso del Programa

ANEXO B: Esquema del Programa y Subrutinas.

ANEXO C: Varios (Otros).

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1.- Antecedentes.

Uno de los parámetros fundamentales para la operación confiable de los Sistemas Eléctricos de Potencia, es el adecuado funcionamiento de su sistema de protecciones. En este campo han incursionado tanto la Escuela Politécnica Nacional como la Empresa Eléctrica Quito S.A., pero no en la magnitud ni con la profundidad necesarias, debido entre otras causas a la falta de herramientas que permitan realizar las pruebas y la calibración de dispositivos de protección, la definición de esquemas de protección, entre otros estudios, de una manera precisa, ágil y eficiente.

Actualmente la coordinación de los relés de distancia en la Empresa Eléctrica Quito se realiza manualmente y los datos y resultados se guardan en carpetas, por lo que la idea principal de este proyecto es la de producir una herramienta computacional que aproveche al máximo las posibilidades de trabajo que nos ofrece la tecnología moderna como son velocidad, versatilidad y confiabilidad y que puede ser utilizada con facilidad y seguridad por los estudiantes y profesores de la E.P.N. y del personal de la E.E.Q.S.A..

1.2.- Características Generales.

Luego de conocer los antecedentes y debido a que siempre, en todo trabajo de investigación científica existen ciertas condiciones de partida, en este caso, para el desarrollo de este paquete computacional es necesario delinear las condiciones que se asumen previamente conocidas, es decir, cual es la información y las herramientas con que debe contar el usuario para utilizar este paquete.

tiempo de retardo de la primera zona es cero, por tanto, la operación es instantánea.

Las herramientas básicas con las que debe contar el usuario para usar este paquete son:

- El diagrama unifilar completo del sistema de transmisión o subtransmisión, con las impedancias de secuencia positiva y secuencia cero de las líneas y las impedancias de los transformadores.
- El equipo computacional debe reunir las siguientes características:
 - * Un computador personal AT-386 o superior con 25 MHz..
 - * Un disco duro de 80 Mega Bytes o superior.
 - * Una memoria RAM de 4 Mega Bytes o superior.

Este paquete realiza la coordinación de los relés de distancia tanto de redes radiales como de redes malladas, utilizando como base el sistema de la Empresa Eléctrica Quito, por lo que se ha implementado los algoritmos de coordinación que más se asemejan a este sistema.

Los algoritmos implementados se obtuvieron de la referencia [8], los cuales fueron desarrollados en la Universidad de Washington para coordinar relés direccionales de distancia de un típico sistema de transmisión/sub-transmisión.

El proceso de coordinar un sistema de relés direccionales (ya sea distancia o sobrecorriente) involucra el colocar los relés uno a lado del otro de tal manera que en cada etapa, el relé que es colocado se coordine con todos sus relés primarios. La inherente estructura multi-lazo de un típico sistema de transmisión ocasiona un gran número de cálculos para poder coordinar el relé, cuyos cálculos son realizados iterativamente alrededor de todos los lazos del sistema hasta obtener la coordinación de todo-el-sistema.

CAPITULO II

DESCRIPCION TEORICA DE LA PROTECCION DE DISTANCIA

2.1.- Generalidades del Sistema de Transmisión y

Subtransmisión.

Los sistemas eléctricos de potencia modernos deben ser muy confiables, estar listos día y noche para entregar la energía sin interrupciones. Las protecciones tienen un rol muy importante en asegurar este servicio continuo. Los relés deben funcionar instantáneamente para proteger el sistema de daños y para minimizar cualquier interrupción de servicio.

Un sistema de potencia está diseñado para generar potencia eléctrica en cantidad y calidad suficiente, estimando futuras demandas de los usuarios en áreas particulares, para luego transmitir a esa área y finalmente distribuirla dentro de ella.

Los relés de protección son aparatos los cuales operan para desconectar una parte de la falla del sistema de potencia, protegiendo de daños al resto del sistema.

Hay varias causas para el mal funcionamiento de los diferentes componentes del sistema de potencia. Las fallas o cortocircuitos pueden ocurrir entre conductores individuales de fase, entre un conductor a tierra o varios conductores a tierra.

El arco eléctrico resultante, usualmente contiene considerable potencia que puede causar daños terribles en muy corto tiempo, no sólo poniendo los componentes del sistema fuera de servicio sino también haciéndolos inoperables durante largo tiempo.

Por lo tanto, alternar más continuamente las líneas de transmisión del sistema de potencia puede ser económicamente más justificado que alternar los transformadores de potencia [12].

2.1.1.- Niveles de voltaje utilizados.

En el Ecuador se tiene básicamente los siguientes niveles de voltaje:

- En generación: 13.8 [kv]
- En transmisión y subtransmisión: 46 [kv], 69 [kv], 138 [kv], 230 [kv].
- En distribución: 2.4 [kv], 6.3 [kv], 13.2 [kv], 13.8 [kv], 22 [kv], 34.5 [kv].

2.1.2.- Esquemas utilizados de protección de distancia.

2.1.2.1.- Protección de distancia por zonas.

- Este esquema no requiere canales de señal.
- Una desventaja es que no todas las fallas dentro de la sección protegida pueden ser despejadas instantáneamente por los relés de distancia en ambos terminales.
- Este esquema es funcional para una línea radial de circuito simple donde un relé de distancia sería usado sólo en el terminal de la fuente.

Este criterio se lo explicará detalladamente más adelante.

2.1.2.2.- Protección mediante canales pilotos.

Este esquema de protección emplea un canal de comunicación junto a los relés de protección a fin de asegurar en el menor tiempo posible si una falla esta dentro o nó de la zona protegida. La localización rápida de la falla permite el disparo simultáneo de alta velocidad en los terminales que alimentan a la falla. Esto disminuye el daño en el punto de falla y usualmente permite el recierre automático de alta velocidad a fin de poner a la línea nuevamente en servicio.

El disparo y recierre automático de alta velocidad mejoran la estabilidad del sistema.

Canales de comunicación.

Hay 3 tipos de canales que actualmente se usan para protección:

- Conductores auxiliares (hilos piloto).
- Conductores de fase de la línea (cable de guardia).
- Transmisión aérea (micro-onda).

Estos canales aunque diferentes cumplen la misma función, es decir, proveen o dejan de proveer la señal de protección. La presencia o ausencia de la señal piloto es para determinar si la falla fue interna o externa con relación a la línea protegida.

Para escoger el tipo de canal a usarse se deben considerar aspectos tales como economía, disponibilidad de canales, tipo y longitud de la línea y otros usos para el canal, tales como envío de información para operación y control.

- Hilo piloto.- Normalmente lo constituyen líneas telefónicas arrendadas o existen compañías encargadas de dar este servicio. Se utilizan para líneas pequeñas principalmente debido a que su capacitancia y resistencia no permiten su utilización en líneas largas.

- Conductor de fase u Onda portadora.- Utiliza los conductores de fase para establecer comunicación entre 2 subestaciones, este sistema es utilizado por el S.N.I.. La frecuencia de la señal está en el rango de 30 kHz. a 200 kHz.

- Microondas.- Se lo realiza por medio de un canal de radio, tiene ventajas particulares cuando se requiere gran cantidad de información para control, protección y comunicación [5].

Por lo tanto, nosotros podemos escribir una ecuación general del torque para un elemento de impedancia.

$$\text{Torque} = \pm K_1 V^2 \pm K_2 I^2 \pm K_3 V I f(\tau, \theta) \pm K_4$$

donde: τ = ángulo de máximo torque.

θ = ángulo con que I retrasa a V .

Las convenciones que hemos adoptado para esta ecuación son:

- (a) El torque de cierre de contactos es positivo,
- (b) K_1 , K_2 , K_3 son constantes diseñadas independientemente las cuales pueden ser usadas con cualquier signo y variedad en magnitud para los propósitos requeridos,
- (c) K_4 representa el voltaje del torque, que suponemos es constante,
- (d) τ es el ángulo diseñado de máximo torque,
- (e) E , I y θ son las cantidades conocidas de operación suministradas al relé (τ y θ son ángulos por los cuales I retrasa a E).

A continuación, para un relé con $\tau = 60^\circ$ diseñaremos elementos de impedancia, por lo tanto, se realizará suposiciones con diferentes valores de las constantes para obtener las características de los relés de distancia:

- **Primer Caso.**- En la ecuación del torque, definimos: $K_1 = K_2 = 0$, K_4 despreciable, K_3 positiva y $f(\tau, \theta) = \text{sen}(90^\circ + \tau - \theta)$. La ecuación del torque será:

$$T = +K_3 E I \text{sen}(90^\circ + \tau - \theta) = +K_3 V I \text{sen}(150^\circ - \theta)$$

Esta es la ecuación para un elemento direccional, en el cual es positivo, los contactos cerrados, el torque se realiza para valores de θ entre 330° y 150° con el máximo torque positivo en $\theta = 30^\circ$.

El límite de operación está dado por el ángulo de máximo torque.

"Lo que no debería hacer:"

- 1.- No se deberá hacer apertura de las fallas fuera de la zona de protección excepto cuando es respaldo de algún relé que está en falla.
- 2.- No se deberá hacer aperturas bajo condiciones de carga pesada aunque sus bobinados lleven mucha corriente.
- 3.- No se deberá hacer aperturas durante oscilaciones de potencia negando siempre las fuentes tentativas de corriente y voltaje.

Por lo tanto, cualquier relé tendrá dificultades en mantener estas normas. De hecho, esos requerimientos hacen que se eliminen a los relés de sobrecorriente en líneas importantes. Los severos requerimientos de estas normas tienen forzado el desarrollo y la utilización de los relés de impedancia.

2.3.1.- Elementos de impedancia en el diagrama R-X.

Se tiene ampliamente justificado el nombre "impedancia", por la afirmación que estos relés operan en respuesta a tres variables: voltaje, corriente y ángulo de fase.

A fin de comprender este nombre y a fin de entender la operación de estos relés nosotros consideraremos los elementos del relé individualmente.

En general, estos elementos responden a por lo menos 3 de los 4 componentes del torque producidos por:

- 1.- La componente de voltaje [Torque proporcional a V^2].
- 2.- La componente de corriente [Torque proporcional a I^2].
- 3.- La componente del producto [Torque proporcional a $V_x I_x f(\theta)$].
- 4.- El Torque de Control de Voltaje.

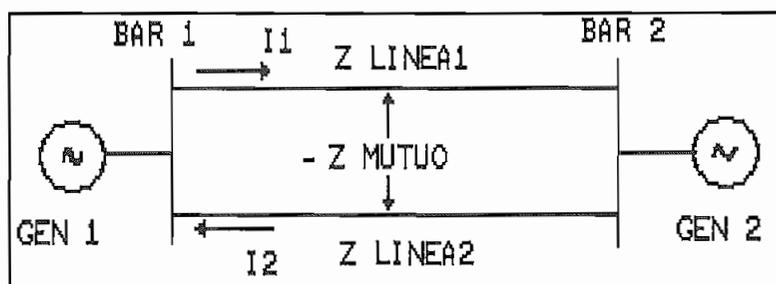


Figura 2.6

$$Z_{TOTAL LINEA} = Z_{LINEA} - Z_{MUTUA}$$

2.3.- Uso del Diagrama R-X en el trabajo de Relés.

Antiguas aplicaciones técnicas de los relés basadas en el concepto de sobrecorriente son gradualmente reemplazadas por nuevas técnicas mediante las complejas relaciones entre voltaje y corriente. La herramienta de aplicación para aquellos relés de impedancia es el diagrama R-X.

Antes de examinar esta herramienta es deseable una breve revisión de los requerimientos y de las características del relé.

Los relés tienen la responsabilidad primaria de cerrar los circuitos de apertura de la línea y despejar rápidamente el circuito para cualquier falla dentro de los límites de la línea.

A continuación daré las principales normas que gobiernan un relé ideal. Tendremos básicamente 2 condiciones:

"Lo que debería hacer:"

- 1.- Debería abrir el circuito para todas las fallas que están dentro de la zona de protección independientemente de los cambios en generación.
- 2.- Debería abrir el circuito para todas las fallas a las más altas velocidades; se deberían hacer estas decisiones de apertura en términos de la mitad de un segundo dividida entre cientos de partes (es decir, en milésimas de segundo).

Con esto, la expresión (2.11) se escribirá de la siguiente manera:

$$- 90^\circ \leq (\alpha - \beta) \leq + 90^\circ \quad (2.13)$$

Con la expresión (2.13) se llega a demostrar que las señales a ser comparadas por amplitud, pueden ser convertidas para ser comparadas por fase [17].

2.2.2.- Efecto de la impedancia mutua.

Debido a la presencia de dos líneas paralelas entre 2 barras va a existir una impedancia mutua Z_m , debido al efecto inductivo de las líneas.

La impedancia tendrá un efecto aditivo o sustractivo sobre las impedancias propias de las líneas de acuerdo a los sentidos de corriente de cortocircuito [14], por lo tanto tendremos 2 casos:

a.- **Efecto Aditivo.**- La impedancia mutua se añadirá a la impedancia propia de la línea siempre que las corrientes de cortocircuito de cada línea tengan el mismo sentido como se puede ver en la Figura 2.5.

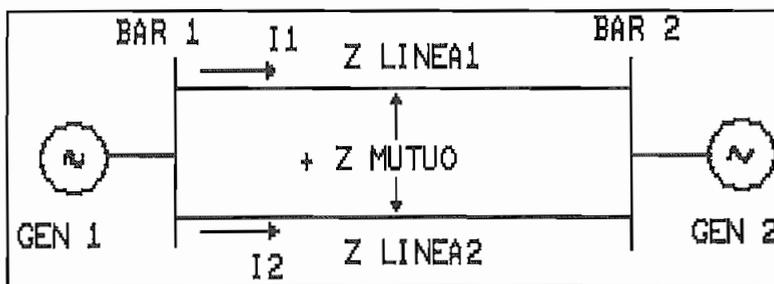


Figura 2.5

$$Z_{TOTAL LINEA} = Z_{LINEA} + Z_{MUTUA}$$

b.- **Efecto Sustractivo.**- La impedancia mutua se restará a la impedancia propia de la línea siempre que las corrientes de cortocircuito de cada línea tengan sentidos contrarios como se muestra en la Figura 2.6.

$$\text{Definiendo: } C = \frac{S1}{S2}$$

donde C es un número complejo, y reemplazando en (2.9) se tiene:

$$|C + 1| \geq |C - 1| \quad (2.10)$$

Dibujando C en el plano Z (Figura 2.4), puede notarse que la inecuación (2.10) se cumple en la mitad derecha del plano Z .

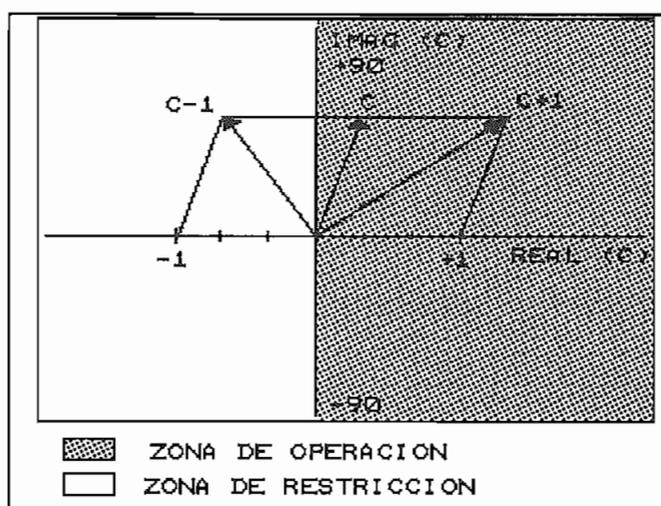


Figura 2.4

Puesto que C es un número complejo, puede ser escrito en forma polar como $|C| \angle \theta$ y con ello definir la mitad derecha del plano Z , que es donde se cumple la inecuación (2.10) como:

$$-90^\circ \leq \theta \leq +90^\circ \quad (2.11)$$

donde θ es el ángulo del complejo C .

Así mismo se definió $C = S1 / S2$, expresión que en forma polar se puede escribir como:

$$|C| \angle \theta = \frac{|S1| \angle \alpha}{|S2| \angle \beta} = \frac{|S1|}{|S2|} \angle (\alpha - \beta) \quad (2.12)$$

Se había mencionado anteriormente que el relé de distancia mide impedancia en base a señales de voltaje y corriente, esto es:

$$Z = \frac{V}{I} \quad (2.1)$$

Además el relé tiene un punto de calibración, el cual por lo general es un porcentaje de la impedancia de la línea a proteger. En condiciones normales el relé estará censando una impedancia que lógicamente será mayor al valor de la impedancia de ajuste en el relé; para que exista operación del relé, debe presentarse una falla dentro de su zona de operación esto es, el relé censará una impedancia (Z) que será menor o igual a la impedancia de ajuste (Z_r). Matemáticamente se puede expresar:

$$Z \leq Z_r \quad (2.2)$$

en donde: Z_r = Impedancia de ajuste en el relé.

Z = Impedancia que censa el relé.

Remplazando (2.1) en (2.2) se tiene

$$V \leq I * Z_r \quad (2.3)$$

Como se tiene comparación por amplitud, se tiene:

$$| S_o | \geq | S_r | \quad (2.4)$$

Con las siguientes relaciones, la comparación por amplitud es sustituida en comparación por fase:

$$S_o = S_1 + S_2 \quad (2.5)$$

$$S_r = S_1 - S_2 \quad (2.6)$$

de donde se obtiene luego de sumar y restar estas 2 ecuaciones:

$$S_1 = \frac{S_o + S_r}{2} \quad (2.7)$$

$$S_2 = \frac{S_o - S_r}{2} \quad (2.8)$$

La expresión (2.4) puede ser escrita como:

$$| S_1 + S_2 | \geq | S_1 - S_2 | \quad (2.9)$$

- Las señales de voltaje y corriente son valores RMS; para el caso de fallas, por lo general existe la presencia de transitorios lo que ocasiona operaciones deficientes; es decir los comparadores de amplitud tienen una deficiente operación ante transitorios.
- En lo que se refiere al aspecto constructivo, las bobinas de corriente deben ser de espiras gruesas por lo que el espacio que ocupan será relativamente grande.

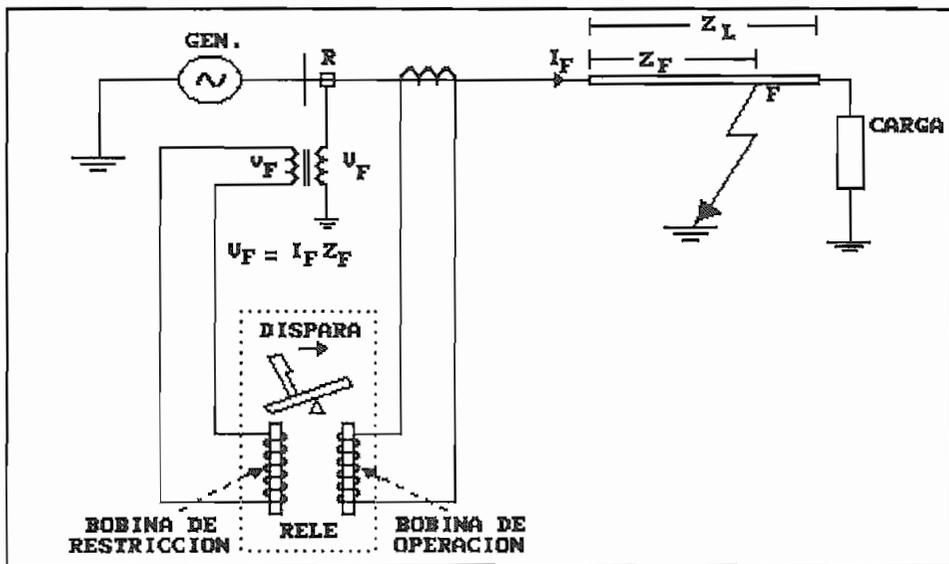


Figura 2.3

b.- A través de un comparador de fase.- Todas las desventajas de los comparadores de amplitud pueden ser eliminadas utilizando relés de estado sólido, los cuales utilizan Comparadores de Fase.

El siguiente análisis permite comprender que para dos señales S_o y S_r las cuales son comparadas en amplitud, existen dos señales S_1 y S_2 las cuales son comparadas en fase.

Donde: S_r = Magnitud de restricción e igual a V ($S_r = V$);

S_o = Magnitud de operación e igual $I * Z_r$ ($S_o = I * Z_r$)

$$\Rightarrow S_r \leq S_o$$

Un simple ejemplo de como se puede realizar esta comparación se indica la figura 2.3 , en donde se usa un relé Comparador de Amplitud tipo Balanza. El relé es conectado en la posición R y recibe una corriente secundaria proporcional a la corriente primaria de falla y un voltaje secundario proporcional al producto de la corriente de falla y la impedancia de la línea hasta el punto de falla.

Si se diseña el relé de modo que el torque de operación sea proporcional a la corriente y el torque de restricción proporcional al voltaje, entonces según el número relativo de amperios - vueltas en cada bobina, se podría conseguir una relación en la cual los torques sean iguales y el relé quede balanceado con una relación V/I definida. En base a este arreglo, cualquier incremento en la corriente sin un correspondiente incremento de voltaje hará que el relé quede desbalanceado de modo que por debajo de la relación dada de V/I el torque de operación podría llegar a ser mas grande que el torque de restricción y el relé cerraría sus contactos.

Por otro lado, por encima de la relación dada de V/I , el torque de restricción podría llegar a ser más grande que el torque de operación con lo cual los contactos del relé quedarían abiertos.

Como el relé ha sido diseñado de modo que sea posible ajustar la Calibración Ohmica variando la relación amperios - vuelta de la bobina de corriente con respecto a la bobina de tensión; al variar la relación de ohmios del relé, se cambia el punto de equilibrio y esto permite ajustar el relé a las características de la línea a protegerse.

Los comparadores por amplitud presentan varias desventajas, entre las que se enumera:

- Todos los relés de balanza son electromecánicos con lo cual se tiene una respuesta relativamente lenta.

La Protección de Distancia es no unitaria, en el sentido que puede dar protección no sólo a un elemento del sistema eléctrico; y su uso principal es para proteger a Líneas de Transmisión, Subtransmisión y Distribución. El funcionamiento del relé está definido en términos del alcance, la exactitud y el tiempo de operación.

Considerando el sistema de la figura 2.2 se puede notar que durante la operación normal del relé de distancia, este medirá una impedancia equivalente a la línea ABC más la impedancia de la carga. Cuando ocurre una falla, la carga es cortocircuitada y el relé medirá solamente la impedancia de la línea hasta el punto de falla; esto será Z_{AF1} para una falla en el punto F_1 y $Z_{AB} + Z_{BF2}$ para una falla en F_2 .

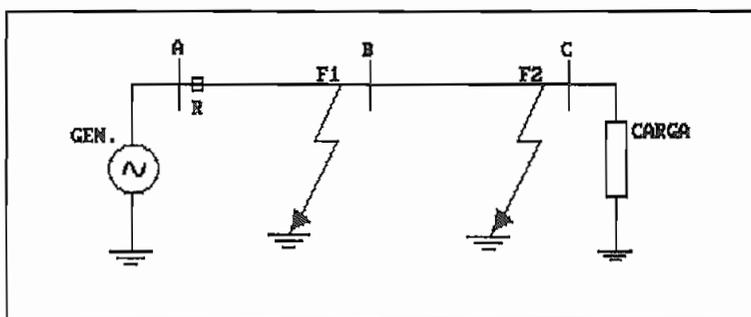


Figura 2.2

El relé necesitará señales de corriente y voltaje para evaluar la impedancia ($Z = V/I$), que pueden ser obtenidas de dos formas:

- a.- A través de un comparador de amplitud o,
- b.- A través de un comparador de fase.

a.- A través de un comparador de amplitud.- El principio básico de medición involucra la comparación del voltaje en los terminales del relé con la corriente de falla "vista" por el relé; por comparación de estas dos cantidades es posible medir la impedancia de la línea hasta el punto de falla.

2.2.- Generalidades de los equipos de protección de distancia.

Cuando los relés de sobrecorriente son demasiado lentos o pierden selectividad, aún en el caso de redes radiales surge la necesidad de tener sistemas de protección más exactos, de alta velocidad y que sean accesibles a ser usados con recierre automático de los disyuntores.

Para solucionar este problema un principio diferente puede ser utilizado, la relación de las magnitudes de voltaje a corriente de la línea. Un relé que opera en base a la relación de voltaje a corriente es conocido como relé de impedancia ó relé de relación ó relé de distancia [3].

Dentro de las cualidades de los esquemas de distancia tenemos que son sistemas de protección no unitarios los cuales ofrecen considerables ventajas técnicas y económicas. Además, ésta forma de protección es comparativamente simple de aplicar, es de la clase de alta velocidad y provee igualmente facilidades primarias y de respaldo en un simple esquema. Ello puede fácilmente ser modificado en un sistema unitario de protección por combinación con un canal de señales; en esta forma ello es eminentemente conveniente para usar en asociación con auto-recierre de alta velocidad para la protección de importantes líneas de transmisión.

2.2.1.- Principio de Funcionamiento de los relés de distancia.

Debido a que la impedancia de una línea de transmisión es proporcional a su longitud, para la medición de distancia es apropiado usar un relé capaz de medir la impedancia de una determinada línea para un punto dado. El relé que cumple con estas características se denomina relé de distancia y está diseñado a operar sólo para fallas que ocurren entre la localización del relé y el punto seleccionado de la línea, dando así discriminación a fallas que pueden ocurrir en diferentes secciones de la línea.

+ **Segundo Caso.**- En la ecuación del torque, definimos: $K_1 = 0$, K_2 positiva, K_4 despreciable, $f(\tau, \theta) = \text{sen}\theta$, y K_3 tiene signo menos. La ecuación del torque será:

$$T = +K_2 I^2 - K_3 E I \text{sen}\theta$$

A fin de analizar esta ecuación rápidamente, nosotros sustituiremos $(V/I)\text{sen}\theta = X$, entonces:

$$T = +K_2 I^2 - K_3 I^2 X$$

Esta es la ecuación para un elemento de reactancia el cual operará cerrando sus contactos siempre que X sea menor a un valor determinado por la proporción de K_2 a K_3 .

La condición de equilibrio o el límite de operación de los relés se define por $T = 0$, es decir, cuando el torque de operación (positivo) es igual al torque de restricción (negativo).

$$K_2 I^2 = K_3 I^2 X$$

Por simplificaciones y sustituciones obtenemos:

$$X = K_2 / K_3 = \text{constante}$$

- **Tercer Caso.**- Para este caso el elemento diseñado, tiene las constantes K_1 negativa, K_2 positiva, K_3 es cero y K_4 es insignificante. La ecuación del torque es:

$$T = -K_1 V^2 + K_2 I^2$$

Una vez que volvemos a sustituir para analizar otras relaciones, $V/I = Z$. Arreglando la ecuación anterior:

$$T = +K_2 I^2 - K_1 I^2 Z^2.$$

Esta es la ecuación para un elemento de impedancia el cual operará cerrando sus contactos cada vez que Z sea menor a un valor determinado por K_2 y K_1 .

La condición de equilibrio se obtiene cuando $T = 0$, por lo tanto:

$$+K_2 I^2 = K_1 I^2 Z^2$$

Por simplificaciones y sustituciones obtenemos:

$$Z = (K_2 / K_1)^{1/2} = \text{constante}$$

La raíz cuadrada de la división de 2 constantes es constante, por tanto Z también es una constante.

- **Cuarto Caso.**- El último elemento a discutir es llamado un elemento direccional con restricción de voltaje. Seleccionando $K_2 = 0$, K_4 despreciable, un signo menos para K_1 y $f(\tau, \theta) = \text{sen}(90^\circ + \tau - \theta)$, con K_3 positiva, nosotros tenemos una ecuación:

$$T = K_3 V I \text{sen}(90^\circ + \tau - \theta) - K_1 V^2.$$

Si usamos la relación $V/I = Z$ para simplificar esta ecuación nosotros encontramos:

$$T = K_3 I^2 Z \text{sen}(90^\circ + \tau - \theta) - K_1 I^2 Z^2$$

Este relé operará cada vez que $K_1 Z^2$ es menor que $K_3 Z \text{sen}(90^\circ + \tau - \theta)$.

Esta es la ecuación para un elemento de admitancia o elemento mho el cual operará cerrando sus contactos cada vez que Z sea menor a un valor determinado por K_3 y K_1 .

La condición de equilibrio o el límite de operación de los relés se define por $T = 0$, es decir, cuando el torque de operación (positivo) es igual al torque de restricción (negativo).

$$K_3 I^2 Z \text{sen}(90^\circ + \tau - \theta) = K_1 I^2 Z^2$$

Por simplificaciones y sustituciones obtenemos:

$$Z = K_3 * \text{sen}(90^\circ + \tau - \theta) / K_1$$

Sacando la inversa a los 2 lados obtenemos la admitancia:

$$Y = K_1 / [K_3 * \text{sen}(90^\circ + \tau - \theta)]$$

$$Y * \text{sen}(90^\circ + \tau - \theta) = K_1 / K_3$$

donde $\text{sen}(90^\circ + \tau - \theta)$ le da la característica direccional.

Todos estos casos se encuentran resumidos en la Figura 2.7.:

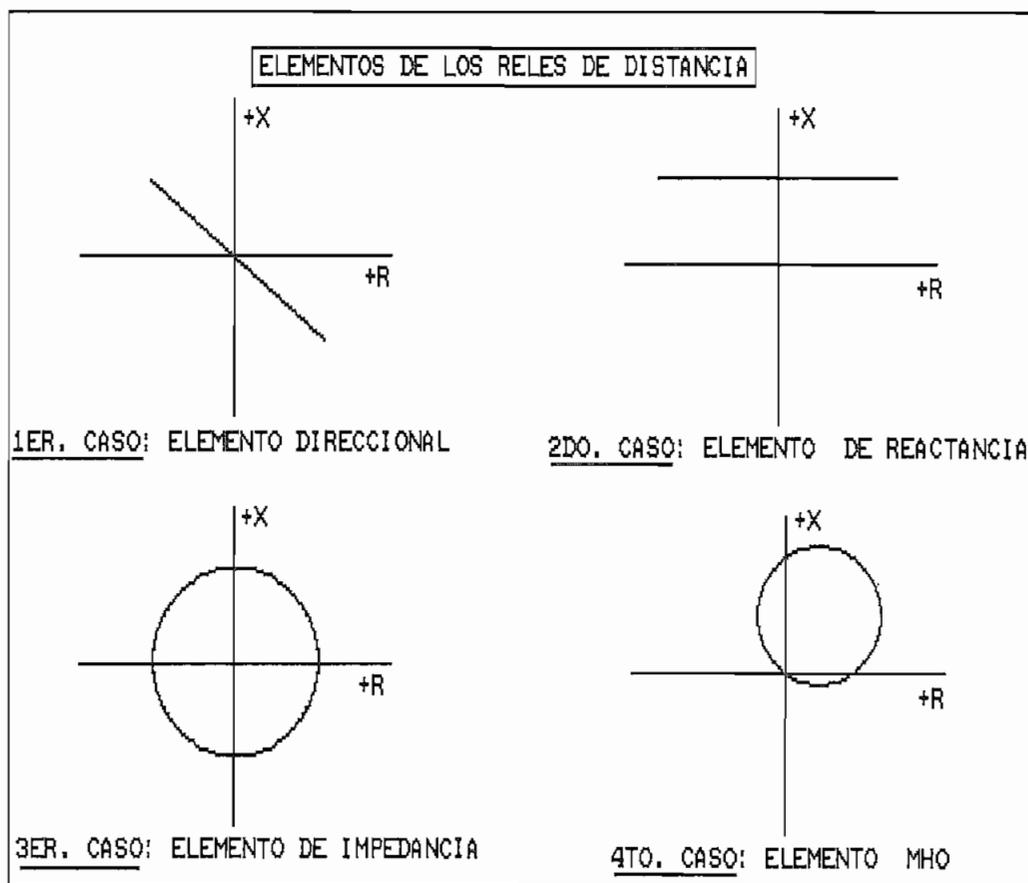


Figura 2.7

Si consideramos que el efecto del resorte K_4 es despreciable, por tanto $K_4 = 0$, en resumen tenemos los siguientes casos:

CASO	K_1	K_2	K_3	T	OBSERVACIONES
1	0	0	+	$K_3 V I \text{sen}(90+\tau-\theta)$	R. Direccional
2	0	+	-	$K_2 I^2 - K_3 V I \text{sen}\theta$	R. de Reactancia
3	-	+	0	$-K_1 V^2 + K_2 I^2$	R. de Impedancia
4	-	0	+	$-K_1 V^2 + K_3 V I \text{sen}(90+\tau-\theta)$	R. de Admitancia ó Mho

Finalmente podemos decir que la aplicación de cada relé es diferente para cada tipo de falla del sistema, y para diferentes condiciones del sistema, por lo tanto en el diagrama R-X vamos a encontrar dos cosas importantes:

1. Las características de impedancia del relé pueden ser mostradas en una forma sencilla debido a que dichas características son dibujadas en términos de sólo 2 variables R y X (ó en forma polar Z y θ), antes que de las 3 variables, V, I, y θ .
2. Las condiciones del sistema que afectan la operación de esos relés pueden ser mostrados sobre el mismo diagrama R-X. Esos puntos serán cubiertos posteriormente y luego trataré de considerarlos conjuntamente.

Como conclusión el lugar geométrico de los puntos de equilibrio (e.d. el torque de operación igual al torque de restricción), dan el límite de la característica del relé, y como el punto de equilibrio depende del voltaje, de la corriente y del ángulo de fase entre estas magnitudes (factor de potencia) puede ser dibujado en un diagrama R - X (3). Además en el diagrama R - X se pueden representar impedancias de falla, oscilaciones de potencia, cargas del sistema, con lo que de esta manera se puede analizar el comportamiento del Relé de Distancia frente a disturbios del sistema.

2.3.2.- Características de los relés de distancia sobre el diagrama R-X.

El siguiente paso es la combinación de los elementos mencionados en el literal anterior para formar un relé de distancia. Esta discusión la centraremos a los 3 tipos básicos de relés de distancia.

Los 3 relés de distancia supuestamente tendrán una característica ideal de tiempo vs. distancia como se muestra en la Figura 2.8.

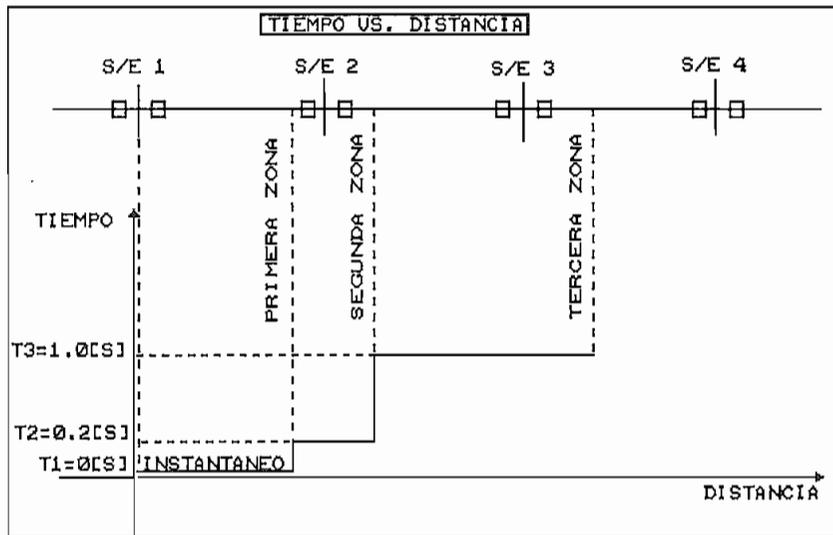


Figura 2.8

La primera zona da operación instantánea mientras la segunda y tercera zonas completan el recorrido del circuito sólo a través de los contactos de un timer para dar tiempo de retraso.

1. **El relé de impedancia.**.- Está compuesto de 3 elementos de impedancia, cada uno ajustado para un alcance diferente. El elemento direccional controla el sentido de operación de los circuitos para los 3 elementos así impiden la operación del relé para fallas en la dirección hacia atrás.

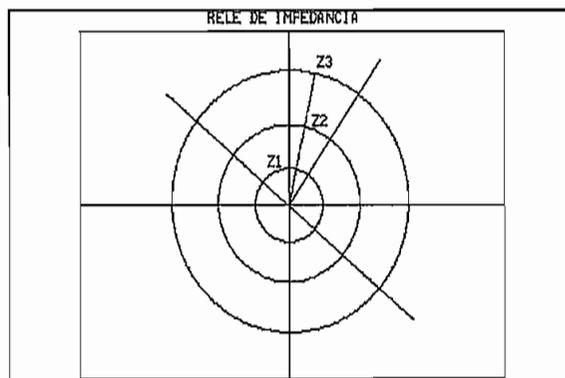


Figura 2.9

Podemos ver de la ecuaciones que el relé de impedancia por si sólo no tiene un elemento direccional, por lo que puede operar para fallas detrás del relé, entonces se le añade una unidad direccional.

2. **El relé de reactancia.**- Está compuesto de un elemento de reactancia, el cual da primera y segunda zonas de protección, y un elemento mho el cual da protección a la tercera zona. Los contactos de disparo del elemento mho y del elemento de reactancia están en serie así que el disparo del relé está confinado para aquellas áreas dentro del límite mostrado por la Figura 2.10.

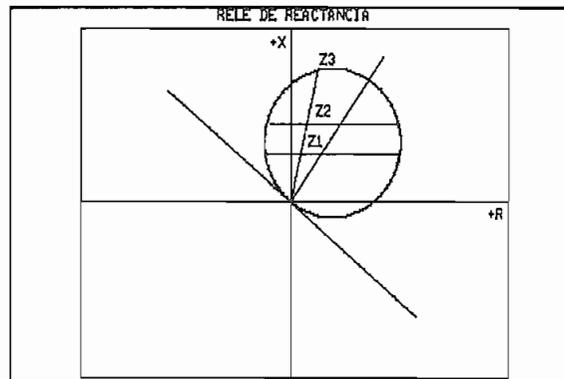


Figura 2.10

Mediante la ecuación que define la característica del elemento de reactancia podemos ver que no tiene un elemento direccional, entonces le añadimos un elemento direccional para impedir la operación del relé para fallas en la dirección inversa o sobre corrientes de carga.

3. **El relé mho.**- Está compuesto de tres elementos mho, cada uno ajustado para un diferente alcance. En este relé no hay necesidad para un elemento direccional adicional tal como se requiere en los otros 2 relés, porque este relé tiene una característica direccional inherente.

En su característica podemos ver que su zona de operación es reducida. Por lo tanto en el caso de líneas cortas podría ser un problema cuando se produce una falla con resistencia.

Una de las principales desventajas de este relé es que bajo una falla en la localización del relé causaría colapso de voltaje [10].

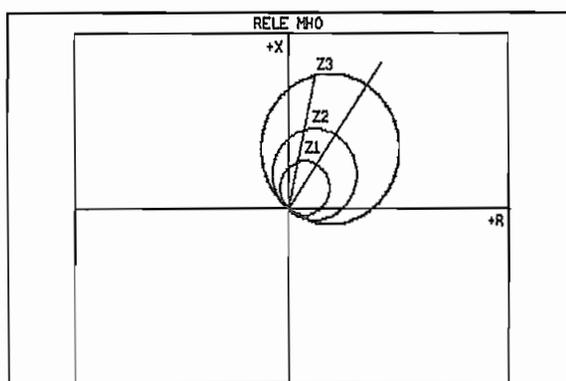


Figura 2.11

3.1. El relé offset mho.- Otra característica útil es encontrada en el elemento "offset mho".

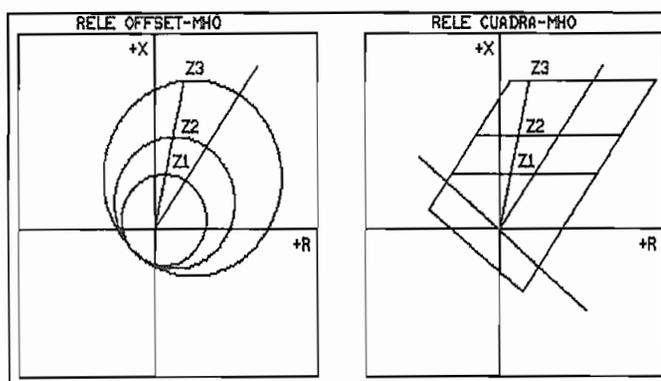


Figura 2.12

Este elemento es similar al elemento mho pero tiene una porción de la corriente de operación introducida en el voltaje de la ecuación.

Cambiando la fracción de la corriente de operación así usada cambiará el offset (compensación) (En el relé práctico, este offset es determinado por los taps).

Este relé da un rango muy flexible de operación y podría ser modificado para resolver algunos problemas particulares debido a oscilaciones de potencia o a elevadas corrientes de carga.

Además de esta lista de elementos óhmicos los cuales han sido descritos, hay muchas otras interesantes y útiles variaciones de los principios vistos anteriormente, adicionalmente existen otras características las cuales se pueden obtener con relés del estado sólido como son características cuadriláteras, lenticulares, elípticas, poligonal, etc. [5].

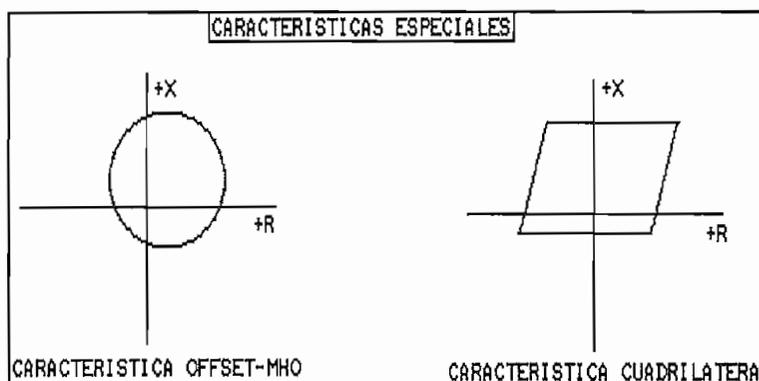


Figura 2.13

2.3.3.- Efecto de la resistencia de falla en el diagrama R-X.

Bajo ciertas circunstancias la corriente de falla sigue un camino resistivo. Por lo tanto bajo una falla, el relé no mide sólo la impedancia de la línea de transmisión desde la localización del relé al punto de falla sino que mide la

impedancia de la línea incluyendo la resistencia de falla.

La resistencia de falla tiene dos componentes, la resistencia de arco y la resistencia a tierra. Para fallas entre fases, la única componente es la del arco envuelto [18].

Generalmente en líneas largas la resistencia de arco es despreciable con relación a la impedancia existente entre el punto de localización del relé y el punto de falla.

En el caso de líneas cortas debe usarse un relé de reactancia, el que por su diseño es prácticamente inmune a la resistencia de falla.

La resistencia de falla varía de acuerdo a la longitud del arco, el mismo que puede alargarse por efecto del viento.

Con relación a la resistencia de arco no existen datos muy concretos pero se puede decir que la resistencia del arco Ref. [18], viene dada por:

$$R_a = \frac{2667 * L}{I^{1.4}} \quad [\Omega]$$

donde:

R_a = resistencia del arco $[\Omega]$

L = longitud del arco en metros $[m]$

I = corriente en amperios $[A]$

El alargamiento del arco por efecto del viento se puede calcular mediante la relación.

$$L = 3 * v * t + L_0$$

donde:

L = Longitud del arco $[m]$

v = velocidad del viento $[m/s]$

t = tiempo luego de la iniciación del arco $[s]$

L_0 = Longitud inicial del arco, por ejemplo la distancia entre los conductores o a través de los aisladores.

El efecto de la resistencia de falla es introducir un error en la medida de la distancia al punto de falla, es decir, produce una disminución en el alcance de la protección,

puesto que añade una caída de voltaje producida en la falla, lo que ocasiona una diferencia entre el voltaje real y el esperado y una disminución en el alcance del relé [Ref. 18].

Considerando las características de los elementos de impedancia revisados anteriormente tenemos que bajo condiciones de falla con resistencia:

- El mejor funcionamiento se obtiene con relés de reactancia
- En el caso del relé mho y de impedancia, tenemos un buen alcance.
- Para el caso de los relés mho y offset mho, bajo una falla con resistencia dependiendo del porcentaje de la resistencia de falla el punto de la característica vista por el relé puede caer fuera del rango de operación.

2.4.- Filosofía de coordinación y Esquemas de Protección.

El proceso de coordinar un sistema de relés direccionales (ya sea distancia o sobrecorriente) involucra el colocar los relés uno a continuación del otro de tal manera que en cada etapa, el relé que es colocado se coordine con todos sus relés primarios.

Antes de realizar la coordinación de los relés de distancia se debe obtener primeramente el conjunto de pares de relés.

El algoritmo para obtener los pares de relés no fue implementado por lo que el usuario puede obtener este conjunto de pares mediante el procedimiento sugerido en el literal 2.4.1 ó utilizando un programa de la Empresa Eléctrica Quito realizado por el Ing. Manuel Rueda [20].

2.4.1.- Algoritmo para encontrar el Conjunto de Pares de Relés.

La práctica más usual para realizar una protección es la de proveer una protección de alta velocidad, llamada protección primaria seguida de una lenta protección de respaldo la cual dispara sólo si el instrumento de protección primario falla.

Para determinar un par de relés, nosotros debemos ubicar primeramente un relé y luego buscar todos los relés para los cuales este es respaldo. "Nos ubicamos en un relé (respaldo) vamos a la barra opuesta y nos ubicamos en todos los relés adyacentes (relés primarios)" [6].

Para entender mejor el procedimiento, vamos a utilizar el sistema mostrado en la Figura 2.14. Nos ubicamos en el relé R1 (respaldo), luego vamos a la barra opuesta (S/E 2), y seleccionamos a todos los relés adyacentes, en este caso es sólo el relé R3 (relés primario), por lo tanto el relé R1 es respaldo del relé R3.

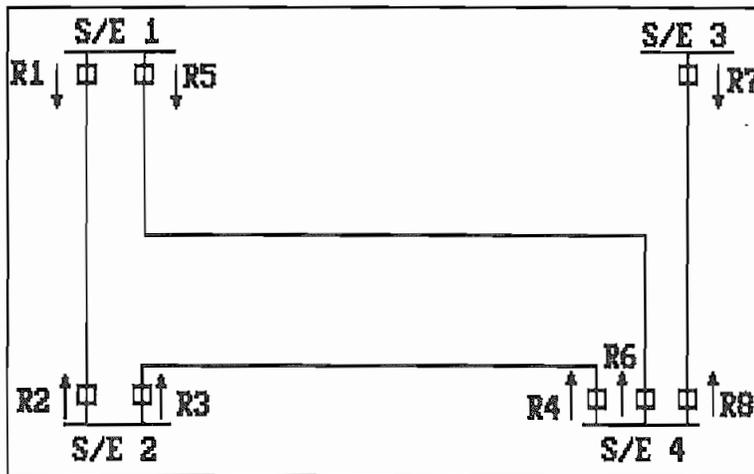


Figura 2.14

Para la coordinación necesitamos todos los pares de relés primario/respaldo encontrados por medio de la ubicación de los relés de respaldo.

A este conjunto le llamamos, el conjunto de pares de secuencia. Para nuestro ejemplo, el conjunto de pares de relés ó pares de secuencia es:

Relé de Respaldo: R1 R2 R3 R3 R4 R5 R5 R6 R7 R7

Relé Primario: R3 R5 R6 R8 R2 R4 R8 R1 R6 R4

2.4.2.- Coordinación de los relés de distancia.

Se considera los relés de distancia con tres zonas de operación.

La primera zona es de operación instantánea que opera en fallas sobre la línea protegida. Las otras 2 zonas protegen la línea principal y la línea adyacente con un tiempo fijo de retardo.

El resultado de la coordinación es que la segunda y tercera zonas de cualquier par de relés Primario/Respaldo nunca se cruzarán o también el tiempo de retardo del relé de respaldo sobrepasará al del relé primario en un intervalo de tiempo de coordinación TDMC. Un valor típico para TDMC es 0.3 seg. Las referencias [3,4] son trabajos previos que incluyen la coordinación y localización de los relés sobre líneas de 2 terminales. Sin embargo, una coordinación completa de la tercera zona en las referencias [3,4] no fue realizada.

Este algoritmo asegura también que el máximo alcance del relé de respaldo para todas las líneas se realice sin sacrificar la coordinación.

2.4.2.1.- Localización de la Zona 1 para Líneas de 3-Terminales.

Consideremos la línea de 3 terminales ABC en la Figura 2.15. Los siguientes criterios deberán ser satisfechos mientras se determina la localización de la zona 1 del relé R1:

1. La zona 1 del relé R1 cubrirá tanto como sea posible la línea de 3 terminales ABC.
2. No deberá sobrealcanzarse más allá de las barras B ó C.
3. Las entradas y salidas de alimentación en el punto de unión J [4] serán tomadas en cuenta.

Siendo:

$Z_n(m)$ = Zona 'n' del ajuste del relé 'm', $n = 1, 2$ y 3
 $Z_A(m,p)$ = Impedancia aparente vista por el relé 'm' para la falla en 'p'

Z_{MN} = Impedancia actual de la línea entre las barras M y N.

Luego nosotros determinamos la zona 1 para ser la mínima de la impedancia actual o aparente para fallas en B o C.

$$Z_1(R1) = (FAZ1) \cdot \text{MIN}[Z_{AB}, Z_{AC}, Z_A(R1, B), Z_A(R1, C)]$$

donde FAZ1 = factor de alcance (típicamente 0.9) para prevenir sobre alcance.

2.4.2.2.- Algoritmo de Coordinación de la zona sucesiva.

El Algoritmo de Coordinación de la Zona Sucesiva (SZCA) ha sido desarrollado para asegurar la coordinación completa de todas las zonas de los relés de distancia. En este algoritmo, los valores límites para la zona 2 de cualquier relé de respaldo es calculado usando la zona 1 de todos sus relés primarios. Similarmente, el límite del valor de la zona 3 de cualquier relé de respaldo se encuentra en base a la zona 2 de todos sus relés primarios. Así las zonas del relé de distancia son determinadas sucesivamente para asegurar coordinación exacta tanto como el alcance máximo existente de las líneas protegidas. Describiré posteriormente un procedimiento de análisis general para calcular esos valores límites de impedancias para las zonas 2 y 3.

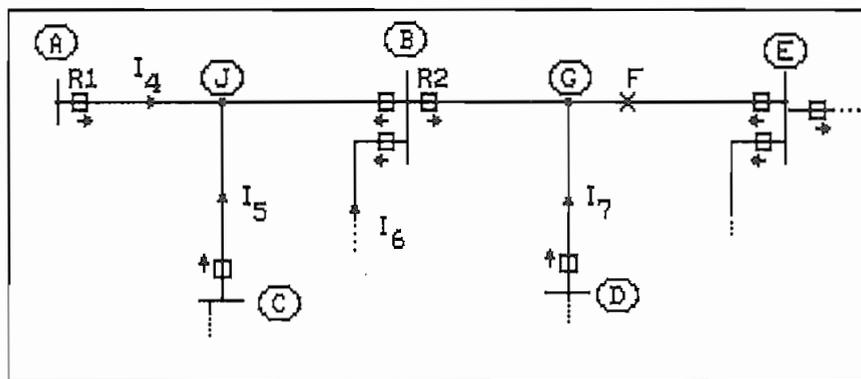


Figura 2.15

Sistema de ejemplo para la coordinación de las Zonas 1 y 2

2.4.2.2.1. Coordinación de la Zona 2.

Considerando el caso general de 2 líneas con tres terminales, colocadas una tras otra como se muestra en la Figura 2.15.

Normalmente los estudios de fallas producen impedancias aparentes vistas por relés para fallas solo en las barras. Nosotros demostraremos más abajo como esos valores de las impedancias aparentes de fallas de las barras en unión con los cálculos de la zona 1 ya situada pueden ser usados para calcular los valores límites para la localización de la zona 2. Considerar localizada la zona 2 del relé R1 y su coordinación con el relé R2. Para el alcance exacto de la coordinación, nosotros debemos verificar si la zona 2 de los relés R1 y R2 se traslapan. Supongamos que F sea el punto de alcance de la zona 1 del relé R2. Luego, debemos asegurar que la zona 2 del relé R1 no exceda del punto F. Nosotros ponemos los valores límites de la zona 2 del relé R1 por el cálculo de la impedancia aparente vista por el relé R1 para una falla en F. Nosotros recordamos que la impedancia aparente vista por un relé es igual al voltaje en el relé dividido por la corriente a través del relé.

$$Z_A(R1, F) = \frac{I_4 \cdot Z_{AJ} + (I_4 + I_5) \cdot Z_{JB} + (I_4 + I_5 + I_6) \cdot Z_{BG} + (I_4 + I_5 + I_6 + I_7) \cdot Z_{GF}}{I_4}$$

$$= Z_{AJ} + Z_{JB} * \left[\frac{I_4 + I_5}{I_4} \right] + Z_{BG} * \left[\frac{I_4 + I_5 + I_6}{I_4} \right] + Z_{GF} * \left[\frac{I_4 + I_5 + I_6 + I_7}{I_4} \right] \quad (2.13)$$

Ahora ya que F es el punto de alcance de la zona 1 del relé R2 y si Z1(R2) es la zona 1 localizada del relé R2 se consigue,

$$Z_1(R2) = Z_A(R2, F)$$

$$= \frac{Z_{BG} * (I_4 + I_5 + I_6) + Z_{GF} * (I_4 + I_5 + I_6 + I_7)}{(I_4 + I_5 + I_6)} \quad (2.14)$$

Las ecuaciones (2.13) y (2.14) producen:

$$Z_A(R1,F) = Z_{AJ} + Z_{JB} * \left[\frac{I_4 + I_5}{I_4} \right] + Z_1(R2) * \left[\frac{I_4 + I_5 + I_6}{I_4} \right] \quad (2.15)$$

Podemos hacer las siguientes observaciones en la ecuación (2.15):

Para una $Z_1(R2)$ dada, la zona 1 del relé primario: $Z_A(R1,F)$ depende solo de la entrada de la alimentación I_5 e I_6 y no depende de la entrada de la alimentación I_7 . El punto de falla F puede ser encualquier punto sobre la línea BDE.

Si sólo las impedancias aparentes son disponibles del estudio de fallas, nosotros podemos expresar el valor de las corrientes en la ecuación (2.15) en términos de la impedancia aparente. Estas simplificaciones suponen que la relación de la corriente de falla no cambia apreciablemente con la localización de la falla.

Ello puede ser visto que, para una falla en la barra B,

$$Z_A(R1,B) = Z_{AJ} + Z_{JB} * \left[\frac{I_4 + I_5}{I_4} \right] \quad (2.16)$$

Además, considerar una falla en la barra G:

$$Z_A(R1,G) = Z_A(R1,B) + Z_{BG} * \left[\frac{I_4 + I_5 + I_6}{I_4} \right] \quad (2.17)$$

Las ecuaciones (2.15), (2.16) y (2.17) producirán:

$$Z_A(R1,F) = Z_A(R1,B) + \frac{Z_1(R2)}{Z_{BG}} * [Z_A(R1,G) - Z_A(R1,B)] \quad (2.18)$$

La ecuación (2.18) expresa la impedancia aparente vista por el relé R1 para una falla en el punto de alcance de la zona 1 del relé R2 (punto F) en términos de las varias impedancias aparentes para una barra fallada (disponible desde un estudio de fallas) y la zona 1 determinada del relé primario R2. $Z_A(R1,F)$ da el valor límite para la zona 2 del relé R1. Nosotros podemos derivar expresiones para otros casos especiales como se demuestra más abajo:

1. El tramo ABC reemplazado por la línea de 2 terminales AB.

$$I_5 = 0; \quad Z_A(R1,B) = Z_{AB}$$

$$Z_A(R1,F) = Z_{AB} + \frac{Z_1(R2)}{Z_{BG}} * [Z_A(R1,G) - Z_{AB}]$$

2. El tramo BDE reemplazado por una línea de 2 terminales BE.

$$I_7 = 0; \quad Z_1(R2) = Z_{BF}$$

Se puede luego escribir la ecuación (2.17) para una falla en la barra E y obtener,

$$Z_A(R1,F) = Z_A(R1,B) + \frac{Z_1(R2)}{Z_{BE}} * [Z_A(R1,E) - Z_A(R1,B)]$$

3. El tramo ABC reemplazado por la línea AB y el tramo BDE por la línea BE.

$$I_5 = I_7 = 0$$

$$Z_A(R1,B) = Z_{AB}; \quad Z_1(R2) = Z_{BF}$$

$$Z_A(R1,F) = Z_{AB} + \frac{Z_1(R2)}{Z_{BE}} * [Z_A(R1,E) - Z_{AB}]$$

se nota además que en este caso,

$$Z_A(R1,F) = Z_{AB} + \left[\frac{Z_{BF}}{Z_{BE}} * Z_{BE} * \left[\frac{I_4 + I_6}{I_4} \right] \right]$$

$$Z_A(R1,F) = Z_{AB} + Z_{BF} * \left[\frac{I_4 + I_6}{I_4} \right]$$

Esta es la expresión que normalmente se encuentra en los libros de protecciones, donde sólo los 2 terminales de línea están involucrados.

El valor límite obtenido en la ecuación (2.18) está basada en las condiciones normales (sin líneas fuera) y para el par de relés R2/R1. Nosotros debemos encontrar el mínimo de cada valor límite para el relé R1 de la siguiente manera:

1. Para el par de relés R2/R1, encontramos $Z_A(R1, F)$ con la línea de la máxima entrada de alimentación con la barra B fuera.
2. Encontrar los valores correspondientes para todos los otros pares de relés P/B donde el relé R1 es el de respaldo. Dejar que el mínimo de esos valores sea Z_{2m} .

Es recomendable que un factor de seguridad FSZ2 sea incluido para informar de errores en los valores de la impedancia de la línea, ó T.C. y T.P.. Un valor típico para FSZ2 es 0.9. Así, nosotros conseguimos el máximo aceptable de la zona 2 determinado como:

$$Z_{2max} = (Z_{2m}) * (FSZ2) \quad (2.19)$$

El valor mínimo de la zona 2 localizado por el relé R1 es obtenido de la consideración del alcance de la barra remota ó barra opuesta.

Así se asegura que la zona 2 de R1 cubra las barras remotas B y C. Además, el mínimo localizado requerido es,

$$Z_{2min} = (FAZ2) * \text{MAX}[Z_{AB}, Z_{AC}, Z_A(R1, B), Z_A(R1, C)]$$

donde, FAZ2 = Factor de alcance de la segunda zona (típicamente 1.2). Si $Z_{2max} \geq Z_{2min}$, la zona Z2 está localizada en $Z_{2máx}$. Si $Z_{2máx} < Z_{2min}$, una de ls 3 siguientes acciones serán tomadas para la coordinación exacta del relé R1 con todos sus relés primarios.

1. Aceptar una reducción del alcance de la barra opuesta ó también llamada barra remota y determinar la zona 2 en Z_{2max} .

2. Ajustar la zona 2 en Z_{2min} e incrementar el tiempo de retardo de la zona 2 del relé R1 un paso de tiempo mayor respecto a la zona 2 de todos sus relés primarios.
 3. Escoger un esquema piloto para el relé primario.
- Finalmente, se tiene la coordinación de sólo un relé de respaldo con todos sus relés primarios.

2.4.2.2.2. Coordinación de la Zona 3.

A continuación se desarrollan expresiones analíticas para los valores límites del ajuste de la zona 3 similares a aquellos de la zona 2 descrita en la sección 2.4.2.2.1. Considerar la estructura general de tres líneas con tres-terminales una tras otra como se indica en la Figura 2.16. Considerar el ajuste de la zona 3 del relé R1 y coordinada con el relé R2. Para la coordinación exacta, nosotros tenemos que asegurar que la zona 3 del relé R1 y R2 no sea traslapada. Permitir que F sea el punto de alcance de la zona 2 del relé R2. Luego se asegurará que la zona 3 del relé R1 no se extienda más allá de F. Nosotros podemos determinar el valor límite de la localización de la zona 3 de R1 por cálculos de la impedancia aparente vista por R1 para una falla en F.

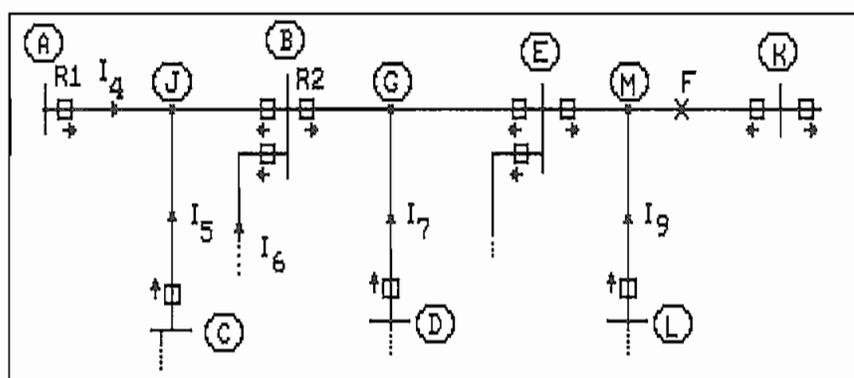


Figura 2.16

Sistema de ejemplo para la Coordinación de la Zona 3

$$\begin{aligned}
 Z_A(R1,F) &= \frac{I4.ZAJ + (I4+I5).ZJB + (I4+I5+I6).ZBG + (I4+I5+I6+I7).ZGE + (I4+I5+I6+I7+I8).ZEF}{I4} \\
 &= ZAJ + ZJB * \frac{I4+I5}{I4} + \frac{1}{I4} * [ZBG.(I4+I5+I6) + ZGE.(I4+I5+I6+I7) + ZEF.(I4+I5+I6+I7+I8)] \quad (2.19)
 \end{aligned}$$

Ahora, además F es el punto de alcance de la zona 2 del relé $R2$ y si $Z2(R2)$ es la zona 2 determinada de $R2$, se consigue que:

$$Z2(R2) = Z_A(R2,F)$$

$$Z_A(R1,F) = \frac{ZBG(I4+I5+I6) + ZGE(I4+I5+I6+I7) + ZEF(I4+I5+I6+I7+I8)}{(I4+I5+I6)} \quad (2.20)$$

El producto de las ecuaciones (2.19) y (2.20) es:

$$Z_A(R1,F) = ZAJ + ZJB * \left[\frac{I4+I5}{I4} \right] + Z2(R2) * \left[\frac{I4+I5+I6}{I4} \right] \quad (2.21)$$

Las siguientes observaciones pueden ser hechas de la ecuación (2.21):

1. Para una $Z2(R2)$ dada, la zona 2 determinada del relé primario. $Z_A(R1,F)$ depende sólo de la entrada de la alimentación $I5$ e $I6$ y no de alguna otra entrada de alimentación.
2. F es un punto móvil dependiendo de varias condiciones de entrada de la alimentación.
3. El resultado es válido para cualquier localización de F sobre la línea EKL ; la entrada de la alimentación desde la barra L no tiene efectos.
4. Las líneas BDE y EKL pueden ser cualquier línea de 2 ó 3 terminales. Además las entradas de alimentación desde la barra D y L no aparece explícitamente en esta ecuación, nosotros no necesitamos estar preocupados del tipo de esas líneas.

5. Sin embargo se puede calcular los valores límites de ajuste de la zona 3 del relé R1 mediante el ajuste de la zona 2 del relé R2 y la entrada de la alimentación en la línea ABC.

Sin embargo, si sólo las impedancias aparentes son disponibles del estudio de fallas, se puede expresar los valores de corriente en la ecuación (2.21) en términos de las impedancias aparentes.

Notar que también las ecuaciones (2.15) y (2.16) son válidas para la Figura 2.16. Las ecuaciones (2.15), (2.16) y (2.21) producen,

$$Z_A(R1,F) = Z_A(R1,B) + \frac{Z_2(R2)}{Z_{BG}} * [Z_A(R1,G) - Z_A(R1,B)] \quad (2.22)$$

Esta ecuación puede ser simplificada en los siguientes 2 casos especiales:

1. Los 3 terminales de línea ABC es reemplazada por una línea de 2 terminales AB

$$I_5 = 0; \quad Z_A(R1,B) = Z_{AB}$$

$$Z_A(R1,F) = Z_{AB} + \frac{Z_2(R2)}{Z_{BG}} * [Z_A(R1,G) - Z_{AB}]$$

2. Los 3 terminales de línea BDE es reemplazada por una línea de 2 terminales BE

$$Z_A(R1,F) = Z_A(R1,B) + \frac{Z_2(R2)}{Z_{BE}} * [Z_A(R1,E) - Z_A(R1,B)]$$

Para determinar el máximo permitido de la zona 3 determinada por el relé R1, los siguientes pasos serán ejecutados:

- 1.- Para el par de relés R2/R1, encontrar $Z_A(R1,F)$ con la máxima entrada de alimentación a la línea para la barra B fuera.

- 2.- Encontrar los valores correspondientes para todos los otros pares de relés P/B donde el relé R1 es respaldo. Hacer que el mínimo de esos valores sea Z3m.

Considerando un factor de seguridad FSZ3 (típicamente 0.9), nosotros conseguimos el máximo aceptable situado de la zona 3,

$$Z3máx = (Z3m) \cdot (FSZ3) \quad (2.23)$$

Es deseable cubrir todas las líneas yendo afuera de las barras B y C en la zona 3 del relé R1. Por lo tanto la localización preferida de la zona 3 es la máxima impedancia aparente vista por R1 para fallas en las segundas barras remotas tales como E y D. Sin embargo para evitar molestias de disparo por sobre corrientes de carga, esta localización será limitada a la peor impedancia de carga [6].

Dejemos que Z3min sea el mínimo deseable del ajuste de la zona 3 de estas 2 consideraciones.

Si $Z3max \geq Z3min$, la zona 3 será localizada en Z3max. Si $Z3max < Z3min$, una de las siguientes 2 acciones se tomarán para la exacta coordinación de la zona 3 del relé R1 con todos sus relés primarios:

- 1.- Aceptar un reducido alcance de la zona 3 y localizar la zona 3 en Z3max.
- 2.- Localizar la zona 3 en Z3min e incrementar el tiempo de retardo de la zona 3 del relé de respaldo un paso de tiempo mayor comparado con todas las zonas 3 de todos sus relés primarios.

Se localizan los relés para la operación de respaldo como se describió anteriormente usando el conjunto de pares de relés obtenido a través del análisis topológico, explicado anteriormente.

CAPITULO III

DESCRIPCION GENERAL DEL PROGRAMA

3.1.- *Objetivos del programa.*

El rol básico de la protección de un sistema de transmisión es sensar fallas sobre líneas o en subestaciones y para rápidamente aislar esas fallas por apertura de todos los caminos entrantes de corriente.

Como resultado de la coordinación se obtendrá suficiente tiempo de retardo entre la operación del relé primario y el de respaldo de tal modo que el relé primario tenga la oportunidad de operar primero para alguna falla en esa zona de protección. Por lo tanto, el número de pares de relés primarios/respaldo (P/B) y las fallas para los cuales estos han de ser coordinados crece con el tamaño del sistema.

Por lo tanto será necesario la ayuda computacional para llevar a cabo el proceso de coordinación de inclusive un sistema de tamaño mediano.

El objetivo principal de este trabajo es realizar la Coordinación Gráfica de Protección de Distancia mediante la implementación de un programa computacional, el cual reúna las características de objetividad, rapidéz y alta confiabilidad.

3.2.- *Restricciones del programa.*

Debido a las características del programa, la única restricción existente se debe al hardware en el que se va a trabajar.

3.3.- *Forma de uso, parámetros e información complementaria.*

Antes de utilizar este software es imprescindible que el usuario previamente obtenga la siguiente información:

1.- El usuario debe realizar un estudio de fallas del S.E.P. con el fin de conocer las Corrientes de Cortocircuito Trifásico en "todos" los elementos (líneas, transformadores, generadores) del Sistema de Potencia haciendo fallar cada una de las barras.

Por lo tanto, el programa de cortocircuitos utilizado debe ser programado para:

- Fallas trifásicas.
- Fallas en todas las barras.

2.- El usuario debe obtener un diagrama unifilar del S.E.P. con los siguientes datos que le va pidiendo el programa en cada ventana, cuyos parámetros se encuentran más adelante.

3.3.1.- Características del hardware.

Para que el programa de "Coordinación Gráfica de Protección de Distancia" pueda ser instalado necesita por lo menos un equipo con las siguientes características:

- * Un computador personal AT-386 o superior con 25 MHz..
- * Un disco duro de 80 Mega Bytes o superior.
- * Una memoria RAM de 4 Mega Bytes o superior.

Básicamente las características del hardware corresponden a las necesidades del compilador de base de datos Foxpro For Windows vs. 2.5. El programa necesariamente debe correr en una máquina AT-386 ó superior porque el compilador Foxpro for Windows lo requiere así, además, se recomienda tener 25 MHz de velocidad de lectura del disco porque de otra manera el administrador de datos puede volverse lento.

Se recomienda un disco duro con 80 Mega Bytes debido a que los programas de base de datos y windows ocupan gran parte del disco, por ejemplo el Foxpro for Windows vs. 2.5 ocupa aproximadamente 9.5 Mb y el programa Windows vs. 3.1 ocupa 6.5 Mb de disco. Debido a que se trabaja con Foxpro for Windows 2.5 se necesita una memoria RAM de por lo menos 4 Mb. como un requerimiento de este paquete.

3.3.2.- Instalación y descripción del software.

Para instalar el programa de Coordinación de Distancia debemos previamente tener instalado los siguientes programas:

* Windows, por lo menos la vs. 3.1.

* Foxpro For Windows vs. 2.5.

Luego de tener instalado estos 2 paquetes podemos instalar el programa de Coordinación de Distancia, el cual ya compilado y enlazado no ocupa más de 1.44 Mb. por lo tanto, el programa de instalación puede ser un diskette pequeño de 3.5" de alta densidad.

Para instalar el programa se realiza el siguiente procedimiento:

- a.- Con el diskette de instalación iniciar el proceso tecleando `INSTALA.BAT` en el caso de que se encuentre en el drive A: ó `INSTALB.BAT` en el caso de que se encuentre en el drive B: presionar la tecla `ENTER`. Este programa se encarga de copiar todos los programas ejecutables y los archivos de bases de datos necesarios.
- b.- Cuando termina de copiar todos los archivos y programas ingresa a windows y dentro de Program Manager nos situamos en File, luego en Properties y aquí realizamos las siguientes modificaciones:
 - 1ro. En Command Line modificar a:
`C:\TOOLS\FOXPROW\FOWPROW.EXE....` el resto dejar igual.
 - 2do. Con el botón Change Icon cambiar el icono el cual se encuentra dentro de windows y el icono para el programa de coordinación de distancia se llama "torre.ico".
- c.- Finalmente en el Program Manager ya podemos ejecutar el programa de Coordinación de distancia, posicionándonos en el icono que representa esta aplicación y presionando dos click's con el mouse en esta posición.

Ahora voy a proceder a describir detenidamente todos los programas ejecutables, bases de datos y archivos del paquete:

1.- CREBDD01.EXE.- Este programa se encuentra elaborado en Turbo C con librerías y funciones de Code-Base 4.2 y del Turbo C.

Este programa siempre se ejecuta al elegir inicialmente el directorio de trabajo del paquete, es decir, cuando se crea un nuevo directorio de trabajo o cuando se elige un directorio ya existente.

Este programa se encarga de crear todas las bases de datos necesarias para que corra el programa y además todos los índices y si ya existen estas bases e índices simplemente los actualiza.

Las bases de datos creadas por este archivo son:

- * SIS001.DBF: Esta base guarda los datos del sistema y tiene un índice de acuerdo a la descripción de sistema llamado DSCSIS.NDX.
- * BAR001.DBF: Esta base guarda los datos de barras y tiene un índice de acuerdo al número de barra llamado BARNUM.NDX.
- * LIN001.DBF: Esta base guarda los datos de líneas y tiene un índice de acuerdo al número de línea llamado LINNUM.NDX.
- * TRF001.DBF: Esta base guarda los datos de transformadores y tiene un índice de acuerdo al número de transformador llamado TRFNUM.NDX.
- * GEN001.DBF: Esta base guarda los datos de generadores y tiene un índice de acuerdo al número de generador llamado GENNUM.NDX.
- * REL001.DBF: Esta base guarda los datos de relés y tiene dos índices, uno de acuerdo al número de relé llamado RELNUM.NDX y el otro de acuerdo a la

marca y el código de descripción del relé llamado RELMCD.NDX.

- * PAR001.DBF: Esta base guarda los datos de pares de relés y tiene un índice de acuerdo al número de los relés de respaldo llamado PARRES.NDX.
- * COR001.DBF: Esta base guarda los datos de corrientes de cortocircuito para fallas trifásicas y tiene un índice de acuerdo al número de barra y al número de línea llamado CORXBL.NDX.

2.- CORDIN01.EXE.- Este programa se encuentra elaborado en Turbo C con librerías y funciones de Code-Base 4.2 y del Turbo C. Este es un programa iterativo el cual se encarga de realizar la coordinación de los relés de distancia, para lo cual utiliza funciones de búsqueda y asignación de valores en todas las bases de datos e índices anteriormente mencionados. Este programa guarda los resultados de coordinación que son las impedancia de la zona 1, zona 2, zona 3, tiempo de retardo de la zona 1, y tiempo de retardo de la zona 2 en la base de datos REL001.DBF explicada anteriormente.

3.- AJUSTE01.EXE.- Este programa se encuentra elaborado en Turbo C con librerías y funciones de Code-Base 4.2 y del Turbo C.

Este es un programa iterativo el cual se encarga de realizar el cálculo de los parámetros de acuerdo a la marca del relé. Este programa utiliza los resultados de coordinación, es decir, las impedancias y tiempo de las zonas, para realizar los ajustes de todos los relés, por lo tanto, el programa se encarga de crear un archivo llamado AJUSTE.TXT y guardar los resultados dentro de éste.

4.- *GRAFICOS.EXE.*- Este programa se encuentra elaborado en Turbo C for Windows y utiliza librerías gráficas.

En este programa se encuentran las ecuaciones que describen las características de los relés y utiliza como parámetros de entrada los resultados del programa de coordinación, es decir, las impedancias para la tres zonas y el ángulo de máximo torque, con esta información puede realizar el gráfico de las características.

Los gráficos de cada relé se realizan de acuerdo al Tipo de Relé de distancia. El programa de gráficos se encuentra implementado para 5 tipos de relés de distancia.

5.- Finalmente todas las validaciones se encuentran implementadas en Foxpro For Windows vs. 2.5, así como también los manejadores de bases de datos y apertura de índices.

3.3.3.- Datos, parámetros y variables del paquete.

Los parámetros y variables utilizadas en el programa son:

Máximo número de Líneas (MAX_LIN) 250.

Máximo número de Barras (MAX_BAR) 200.

Los parámetros y variables por bases de datos son:

- Sistema (SIS001.DBF):

Descripción del sistema (DSCSIS).

Factor de Alcance de la Primera Zona (FAZ1).

Factor de Alcance de la Segunda Zona (FAZ2).

Factor de Alcance de la Tercera Zona (FAZ3).

Factor de Seguridad de la Primera Zona (FS2Z).

Factor de Seguridad de la Segunda Zona (FS3Z).

Tiempo de Retardo de la Segunda Zona (TRZ2).

Tiempo de Retardo de la Tercera Zona (TRZ3).

Potencia Base del Sistema Eléctrico (POTBAS).

Frecuencia del Sistema (FRCSIS).

- Barras (BAR001.DBF):
 - Número de Barra (NUMBAR).
 - Código de la Barra (CODBAR).
 - Descripción de la Barra (DSCBAR).
 - Voltaje de la Barra (VOLBAR).

- Líneas (LIN001.DBF):
 - Número de Línea (NUMLIN).
 - Código de la Línea (CODLIN).
 - Barra de Envío (BARENV).
 - Barra de Recepción (BARREC).
 - Resistencia de Secuencia Positiva (RSPLIN).
 - Reactancia de Secuencia Positiva (XSPLIN).
 - Resistencia de Secuencia Cero (RSOLIN).
 - Reactancia de Secuencia Cero (XSOLIN).
 - Resistencia de Falla 1 (RF1LIN).
 - Resistencia de Falla 2 (RF2LIN).
 - Resistencia de Falla 3 (RF3LIN).
 - Impedancia Mútua de la Línea (ZMULIN).
 - Capacidad de la Línea (CAPLIN).

- Transformadores (TRF001.DBF):
 - Número de Transformador (NUMTRF).
 - Código del Transformador (CODTRF).
 - Reactancia del Transformador (REATRF).

- Generadores (GEN001.DBF):
 - Número del Generador (NUMGEN).
 - Código del Generador (CODGEN).

- Relés (REL001.DBF):
 - Número del Relé (NUMREL).
 - Tipo de Relé (TIPREL).

Marca del Relé (MARREL).
Código del Relé (CODREL).
Impedancia de la Zona 1 (Z1ZREL).
Impedancia de la Zona 2 (Z2ZREL).
Impedancia de la Zona 3 (Z3ZREL).
Angulo de la línea (ANGREL).
Tiempo de Retardo de la Zona 2 (T2ZREL).
Tiempo de Retardo de la Zona 3 (T3ZREL).
Angulo de Máximo Torque (AMTREL).
Corriente en Alta del T.C. (IATREL).
Corriente en Baja del T.C. (IBTREL).
Voltaje en Alta del T.P. (VATREL).
Voltaje en Baja del T.P. (VBTREL).
Resistencia de Falla 1 en el Secundario (RT1LIN).
Resistencia de Falla 2 en el Secundario (RT2LIN).
Resistencia de Falla 3 en el Secundario (RT3LIN).
Factor de Transformación del Relé (FTRREL).

- Pares de relés (PAR001.DBF):

Número del Relé Primario (NUMRE1).
Número del Relé de Respaldo (NUMRE2).

- Corrientes de cortocircuito trifásico (COR001.DBF):

Intensidad de Corriente (INTCOR).
Tipo de Elemento (TIPELE).
Número de elemento (NUMELE).

- Marcas de los relés.

Relé Razona (REL_RAZOA = 1).
Relé KD10/KD11 (REL_WHOUS = 2).
Relé Pits (REL_PITS1 = 3).
Relé Cuadramho (REL_CUMHO = 4).

CAPITULO IV

APLICACIONES

4.1.- Protección de distancia en la E.E.Q.S.A..

4.1.1.- Descripción General del Sistema de la E.E.Q.

Para la elaboración de este paquete de software se tomó como referencia el Sistema de la Empresa Eléctrica Quito pero puede ser aplicado a cualquier Empresa Eléctrica del país, por lo que antes de aplicar el software a Sistema Eléctrico real, se hará una descripción muy general del mismo.

Los niveles de voltaje empleados a nivel de subtrámisión en la Empresa Eléctrica Quito son:

46 [kv]: en su mayor parte y corresponde a lo que es el centro de la ciudad de Quito

138 [kv]: corresponde a los alrededores de Quito.

El sistema alimenta a varias subestaciones de distribución ubicadas estratégicamente en la ciudad de Quito

4.1.2.- Equipo de Protección de Distancia utilizado por la E.E.Q.

La E.E.Q. utiliza los siguientes transformadores:

- Para líneas de 138 [kv].- Se utilizan:

Transformadores de Corriente (T.C.) = 800/5

Transformadores de Voltaje (T.P.) = $\frac{138000\sqrt{3}}{115\sqrt{3}}$

- Para líneas de 46 [kv].- Se utilizan:

Transformadores de Corriente (T.C.) = 600/5

Transformadores de Voltaje (T.P.) = $\frac{46000\sqrt{3}}{115\sqrt{3}}$

Para cambiar la impedancia de [pu] a ohmios en el primario (alta tensión) utilizamos la impedancia base:

$$Z_{BASE} = \frac{KV_{fase-fase}^2}{(MVA_{BASE-trifásica})}$$

$$Z_{prim} = Z_{BASE} * Z_{pu}$$

Para cambiar la impedancia de ohmios del primario a ohmios del secundario utilizamos los transformadores de Corriente y Voltaje:

$$Z_{sec} = T.C. * Z_{prim} / T.P.$$

En la E.E.Q. básicamente se utilizan 4 tipos de relés de distancia:

* RAZOA.- Su fabricante es ASEA, y se encuentra instalado en la S/E Selva Alegre. Tiene las siguientes variables de ajuste:

a: Ajuste del factor de corriente reactivo. Perilla de ajuste entre 5 y 99, en pasos de 1.

b: Ajuste del factor de corriente resistivo. Perilla de ajuste entre 5 y 99, en pasos de 1.

p1: Ajuste del factor de voltaje para la primera zona. Perilla de ajuste entre 5 y 99, en pasos de 1.

p2: Ajuste del factor de voltaje para la segunda zona. Perilla de ajuste entre 5 y 99, en pasos de 1.

p3: Ajuste del factor de voltaje para la tercera zona. Perilla de ajuste entre 5 y 99, en pasos de 1.

E(x1): Porcentaje de error en el ajuste de la Reactancia de Z1.

E(x2): Porcentaje de error en el ajuste de la Reactancia de Z2.

E(x3): Porcentaje de error en el ajuste de la Reactancia de Z3.

E(r1): Porcentaje de error en el ajuste de la Resistencia de Z1.

Y: Factor de compensación homopolar. Perilla de ajuste entre 1 y 15, en pasos de 1.

N2: Ajuste del escalonamiento de tiempo para T2 de la Zona 2. Perilla de ajuste entre 1 y 15, en pasos de 1.

N3: Ajuste del escalonamiento de tiempo para T3 de la Zona 3.
Perilla de ajuste entre 1 y 15, en pasos de 1.

Cada marca de relé tiene sus ecuaciones, las cuales son proporcionadas por el fabricante. Para obtener los parámetros del relé RAZOA se implementó las siguientes ecuaciones:

$$x1 = 3.2 * f * a / (In * 50 * p1)$$

$$x2 = x1 * p1 / p2$$

$$x3 = x1 * p1 / p3$$

$$r1 = 3.2 * b / (In * p1)$$

$$K_N = x0 - xL / (3 * xL)$$

$$Y = K_N / 0.1$$

$$T2 = N2 * 50 \text{ ms.}$$

$$T3 = N3 * 200 \text{ ms.}$$

Donde:

$x1$ = reactancia de la zona 1 en ohmios secundarios.

$x2$ = reactancia de la zona 2 en ohmios secundarios.

$x3$ = reactancia de la zona 3 en ohmios secundarios.

$r1$ = resistencia de la zona 1 en ohmios secundarios.

K_N = factor de compensación homopolar.

xL = reactancia de secuencia positiva de la línea.

$x0$ = reactancia homopolar de la línea.

$T2$ = tiempo de retardo de la zona 2 en [ms.]

$T3$ = tiempo de retardo de la zona 3 en [ms.]

Para mayor información ir a la referencia [2].

Cuando se realiza el Ajuste de los relés, y, no se ha podido ajustar los parámetros de algún relé RAZOA, una posible causa es que las variables descritas anteriormente salen fuera de los rangos dados por el fabricante.

* KD10.- Su fabricante es Westinghouse y se encuentra instalado en la S/E Vicentina, Norte, Sur, Eplacachima. Tiene las siguientes variables de ajuste:

- S: Taps del bobinado principal del auto-transformador.
 T: Compensador para el transformador con doble bobinado con entre-hierro.
 M: Taps para el bobinado terciario que puede ser aditivo o sustractivo.

L-R: Pueden ser positivo o negativo y dan el signo a M

Este relé utiliza el alcance de la primera zona (Z1) en ohmios del secundario para el ajuste. Por lo tanto, sólo se pueden ajustar líneas que se encuentran entre 0.230 y 4.5 ohmios en el secundario como podemos ver en la tabla 1. Una vez que hemos encontrado estos parámetros podemos comprobar que están bien calculados mediante la siguiente expresión:

$$z1 = S * T / (1 + M)$$

Donde :

$z1$ = impedancia de la zona 1 en ohmios secundarios.

Para mayor información ir a la referencia [25].

Cuando se realiza el Ajuste de los relés, y, no se ha podido ajustar los parámetros de algún relé KD10, se debe a que las variables descritas anteriormente salen fuera de los rangos dados por el fabricante en la Tabla 1.

* PYTS101.- Su fabricante es GEC y se encuentra instalado en la S/E Selva Alegre, Santa Rosa, Cumbayá, Guangopolo II, San Rafael. Tiene las siguientes variables de ajuste:

- KD: Switch en el circuito de restricción de voltaje. Este switch tiene los siguientes valores 0.1, 1 ó 2.
 KZ: Ajuste de impedancia. Tiene 7 taps de 0, 1, 2, 3, 5, 10 y 20 para T.C. de 1 [A] en bajo voltaje y tiene 7 taps 0, 0.2, 0.4, 0.6, 1.0, 2.0 y 4.0 para T.C. de 5[A] en bajo voltaje.
 K1: Ajuste del potenciómetro de la zona 1 del circuito de restricción de voltaje. Tiene valores entre 0.5 y 1.

K2: Ajuste del potenciómetro de la zona 2 del circuito de restricción de voltaje.

K3: Ajuste del potenciómetro de la zona 3 del circuito de restricción de voltaje.

KZN: Ajuste para medición de impedancia neutra.

K1N: Ajuste para medición de impedancia a tierra. Tiene valores entre 0.5 y 1.5.

Para obtener estas variables se utilizó e implementó las siguientes ecuaciones:

$$z1 = KZ * K1 * KD$$

$$z2 = K2 * KZ * K1 * KD$$

$$z3 = K3 * KZ * K1 * KD$$

$$KZN = (z0 - zL) * z1 / (3 * zL)$$

$$K1N = KZN / (KD * KZN)$$

Donde:

$z1$ = impedancia de la zona 1 en ohmios secundarios.

$z2$ = impedancia de la zona 2 en ohmios secundarios.

$z3$ = impedancia de la zona 3 en ohmios secundarios.

zL = impedancia de secuencia positiva de la línea.

$z0$ = impedancia de secuencia cero de la línea.

Para mayor información ir a la referencia [23].

Luego de correr el programa iterativo de ajustes, si no se puede ajustar los parámetros del relé PITS, se debe a que las variables descritas anteriormente salen fuera de los rangos dados por el fabricante.

* **QUADRAMHO.** - Su fabricante es GEC y se encuentra instalado en la S/E 7, 3, Selva Alegre. Tiene las siguientes variables de ajuste:

- Factores de ajuste de la primera zona: $k1, k2, k11, k12, k13, k14$.

- Factores de ajuste de la segunda zona: $k21, k22$.

- Factores de ajuste de la tercera zona: k_{31} , k_{32} , k_{33} , k_{34} , k_{35} , k_{36} , k_{37} .

- Factores de compensación para el ajuste de falla a tierra: k_4 , k_5 , k_6 .

Para obtener estas variables se utilizó e implementó las siguientes ecuaciones:

$$z_1 = (k_1 + k_2) / I_{bt}$$

$$z_{1m} = (k_{11} + k_{12} + k_{13}) * k_{14}$$

$$z_{1c} = (k_{11} + k_{12} + k_{13}) * k_{14} * z_1$$

$$z_{2m} = z_2 / z_1$$

$$z_{2m} = (k_{21} + k_{22}) * k_{14}$$

$$z_{2c} = (k_{21} + k_{22}) * k_{14} * z_1$$

$$z_{3m} = z_3 / z_1$$

$$z_{3m} = (k_{31} + k_{32}) * k_{33}$$

$$z_{3i} = 0.25 * z_1$$

$$z_{3im} = z_3 / z_1$$

$$z_{3im} = (k_{35} + k_{36}) * k_{33} * k_{37}$$

$$KN = (z_0 - z_L) / (3 * z_L)$$

$$KN * z_1 = (k_4 + k_5 + k_6) / I_{bt}$$

Donde:

z_1 = impedancia de la zona 1 en ohmios secundarios.

z_{1m} = multiplicador de la zona 1.

z_{1c} = impedancia de la zona 1 en ohmios secundarios.

z_2 = impedancia de la zona 2 en ohmios secundarios.

z_{2m} = multiplicador de la zona 2.

z_{2c} = impedancia de la zona 2 en ohmios secundarios.

z_3 = impedancia de la zona 3 en ohmios secundarios.

z_{3m} = multiplicador de la zona 3.

z_{3c} = impedancia de la zona 3 corregido en ohmios secundarios.

z_{3i} = impedancia inversa de la zona 3 en ohmios secundarios.

z_{3im} = multiplicador de la impedancia inversa de la zona 3.

KN = factor de compensación de falla a tierra.

Para mayor información ir a la referencia [24].

Luego de correr el programa iterativo de ajustes, si no se puede ajustar los parámetros del relé CUADRAMHO, se debe a que las variables descritas anteriormente salen fuera de los rangos dados por el fabricante.

4.2.- Ejemplos de aplicación utilizando líneas asociadas a la S/E

Selva Alegre.

4.2.1.- Primer ejemplo de aplicación.

Para esta aplicación se utiliza un S.E.P. muy simple, con el fin de comprender el funcionamiento del programa, donde se ha procurado tener todos los tipos y marcas de relés de protección de distancia. A continuación se indica el diagrama unifilar para este ejemplo, en la Figura 4.1.

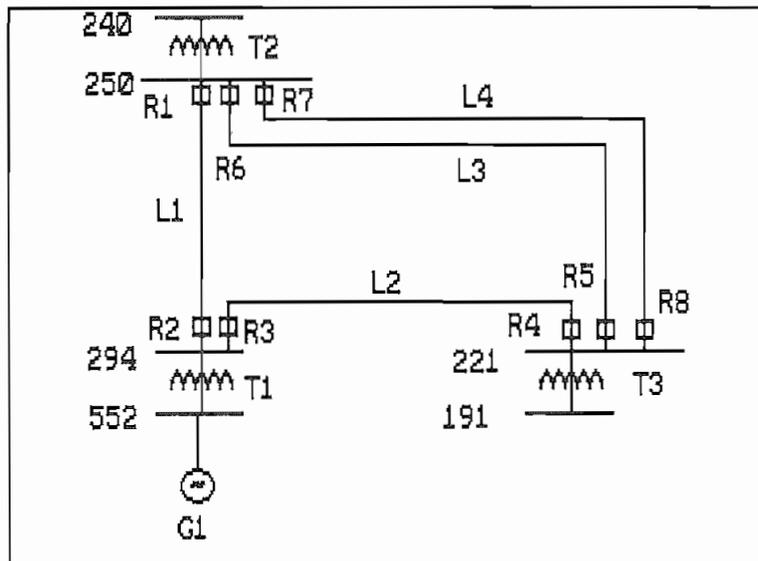


Figura 4.1

Datos de Entrada

Datos del Sistema:

Descripción: EJEMPLO No. 1
 Factor de alcance de la Zona 1: 0.90
 Factor de alcance de la Zona 2: 1.25
 Factor de alcance de la Zona 3: 2.20
 Factor de seguridad de la Zona 2: 0.9
 Factor de seguridad de la Zona 3: 0.9
 Tiempo de retardo de la Zona 2: 0.3 [s.]
 Tiempo de retardo de la Zona 3: 0.6 [s.]
 Potencia Base: 100.0 [MVA]
 Frecuencia del sistema: 60.0 [Hz.]

Datos de Barras:

Número	Código	Descripción	Voltaje [kv]
1	552	S/E ENERO	138.00
2	294	S/E FEBRERO	46.00
3	250	S/E MARZO	46.00
4	240	S/E ABRIL	22.80
5	191	S/E MAYO	22.80
6	221	S/E JUNIO	46.00

Datos de Líneas:

No	Desc.	BE	BR	RS+	XS+	RS0	XS0	ZMU	RF1	RF2	RF3	Im.
1	L1	2	3	0.0116	0.062	0.0458	0.1904	0.0	1.0	0.0	0.0	670
2	L2	2	6	0.0042	0.154	0.1436	0.3871	0.0	2.0	0.0	0.0	670
3	L3/P	3	6	0.0074	0.033	0.0390	0.1539	0.015	1.0	0.0	0.0	670
4	L4/P	3	6	0.00074	0.033	0.0390	0.1539	0.015	3.0	0.0	0.0	670

Donde:

No = Número de la línea.

Desc. = Descripción de la línea

BE = Barra de Envío

BR = Barra de Recepción

RS+ = Resistencia de Secuencia Positiva en p.u.

XS+ = Reactancia de Secuencia Positiva en p.u.

RS0 = Resistencia de Secuencia Cero en p.u.

XS0 = Reactancia de Secuencia Cero en p.u.

ZMU = Impedancia mútua en p.u.

RF1 = Resistencia de Falla 1 en ohmios del primario.

RF2 = Resistencia de Falla 2 en ohmios del primario.

RF3 = Resistencia de Falla 3 en ohmios del primario.

Im = Capacidad máx. del conductor en Amperios Ref. [26].

Datos de Transformadores:

Número	Descripción	Barra envío	Barra recepción	Reactancia [p.u.]
5	T1	1	2	0.35360
6	T2	3	4	1.16070
7	T3	6	5	0.20000

Datos de Generadores:

Número	Descripción	Barra de Recepción
8	G1	1

Datos de Relés:

Número	Tipo	Marca	Descrip.	Barra	Línea	AMTREL [grad]	IAV [A]	IBV [A]	VAP [v]	VBP [kv]
1	1	1	R1	3	1	60.00	600	5.0	46.0	115.
2	2	2	R2	2	1	60.00	600	5.0	46.0	115.
3	3	2	R3	2	2	60.00	600	5.0	46.0	115.
4	4	3	R4	6	2	60.00	600	5.0	46.0	115.
5	5	3	R5	6	3	60.00	600	5.0	46.0	115.
6	1	4	R6	3	3	60.00	600	5.0	46.0	115.
7	2	4	R7	3	4	60.00	600	5.0	46.0	115.
8	3	1	R8	6	4	60.00	600	5.0	46.0	115.

Donde:

AMTREL = Angulo de máximo torque del relé

IAV = Corriente en alto voltaje del transformador de corriente.

IBV = Corriente en bajo voltaje del transformador de corriente.

VAP = Voltaje en alto voltaje del transformador de potencial.

VBP = Voltaje en bajo voltaje del transformador de potencial.

Datos de Pares:

Número de Relé Pimario	Número de Relé de Respaldo
3	1
6	2
7	2
5	3
8	3
2	4
1	5
7	5
4	6
8	6
4	7
5	7
1	8
6	8

Datos de Corrientes de c.c. trifásico:

Barra fallada	Tipo de Elemento	Número de Elemento	Corriente [p.u.]
1	1	1	0.05260
1	1	2	0.02840
1	1	3	0.03140

1	1	4	0.03170
1	2	5	0.07520
1	2	6	0.02150
1	2	7	0.05950
1	3	8	8.40480
2	1	1	0.05300
2	1	2	0.02860
2	1	3	0.03160
2	1	4	0.03120
2	2	5	2.12540
2	2	6	0.02170
2	2	7	0.06000
2	3	8	2.15490
3	1	1	1.44320
3	1	2	0.48050
3	1	3	0.50420
3	1	4	0.63120
3	2	5	1.93470
3	2	6	0.02170
3	2	7	0.05910
3	3	8	1.96560
4	1	1	0.44260
4	1	2	0.14750
4	1	3	0.15470
4	1	4	0.13120
4	2	5	0.60350
4	2	6	0.59740
4	2	7	0.01810
4	3	8	0.63610
5	1	1	0.83760
5	1	2	0.52870
5	1	3	0.84590
5	1	4	0.73120

5	2	5	1.37650
5	2	6	0.01520
5	2	7	1.36930
5	3	8	1.40740
6	1	1	1.15340
6	1	2	0.72790
6	1	3	1.16460
6	1	4	1.20120
6	2	5	1.88990
6	2	6	0.02090
6	2	7	0.06010
6	3	8	1.92090

RESULTADOS

Resultados de la Coordinación

No.	Desc.	Z1	Z2	Z3	T2	T3
		[Ω sec]	[Ω sec]	[Ω sec]	[s]	[s]
1	R1	0.362	2.457	2.647	0.30	0.60
2	R2	0.362	0.857	1.403	0.30	0.60
3	R3	0.882	1.416	2.057	0.30	0.60
4	R4	0.882	2.520	3.225	0.30	0.60
5	R5	0.279	0.603	1.378	0.30	0.90
6	R6	0.279	0.616	1.390	0.30	0.90
7	R7	0.273	0.571	1.384	0.30	0.90
8	R8	0.273	0.603	1.390	0.30	0.90

Donde:

Z1, Z2 y Z3: Impedancia de la zona 1, 2, 3 en ohmios del secundario.

T2, T3: Tiempos de retardo de la zona 2 y 3 en segundos.

Resultados de los Ajustes

AJUSTES PARA EL SISTEMA EJEMPLO No. 1

AJUSTE DE LOS RELES RAZOA

Relé	Ajuste de Corriente y Voltaje					Porcentaje de Error de x_1, x_2, x_3 y r_1				Factor homopolar			Ajuste de tiempo
	a	b	p1	p2	p3	E(x1)	E(x2)	E(x3)	E(r1)	Y	N2	N3	
R1	49	38	97	14	13	-0.00	-0.03	-0.03	-0.00	7	6	2	
R2	38	68	99	45	19	+0.00	+0.01	-0.02	-0.01	12	6	2	

AJUSTE DE LOS RELES KD10/KD11

Relé	S	T	M	L	R
R2	1.00	0.38	0.06	0.06	0.09
R3	1.00	0.92	0.03	0.03	0.00

AJUSTE DE LOS RELES PYTS

Relé	Factores de Ajuste para las Zonas 1, 2, 3					Fallas a tierra	
	KD	KZ	K1	K2	K3	KZN	K1N
R4	1.00	1.00	0.88	2.86	3.66	0.56	0.56
R5	1.00	0.40	0.70	2.16	4.94	0.75	0.75

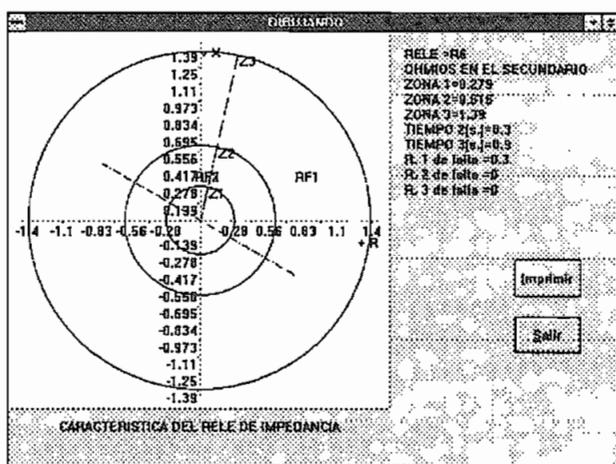
AJUSTE DE LOS RELES QUADRAMHO

Relé	Factores de Ajuste de la Zona 1					Factores de Ajuste de la Zona 2				Factores de Ajuste de la Zona 3				Ajuste de la Compensación Z3 inversa falla tierra					
	k1	k2	k11	k12	k13	k14	k21	k22	k31	k32	k33	k34	k35	k36	k37	k4	k5	k6	
R6	1	3	0.0	0.3	0.04	1	0.0	0.7	1.0	0.7	1.0	0.0	1.0	0.0	0.08	3	0.0	0.0	
R7	1	3	0.0	0.3	0.04	1	0.0	0.7	1.0	0.7	1.0	0.0	1.0	0.0	0.08	3	0.0	0.0	

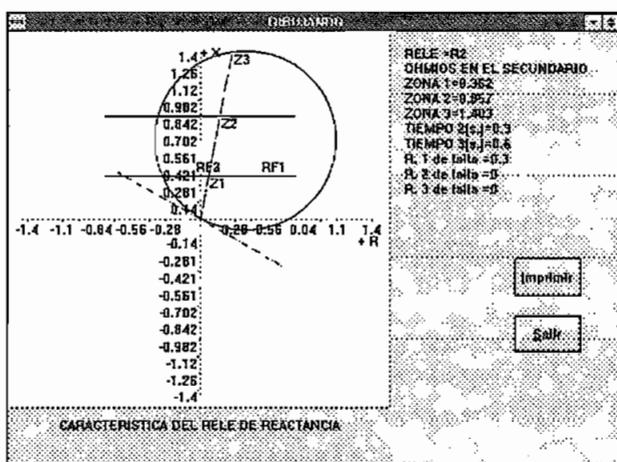
Resultados Gráficos de la Coordinación

En este sistema existen ocho relés, por lo tanto tenemos el mismo número de resultados gráficos. A continuación se puede observar los resultados gráficos para 5 tipos diferentes de características de relés de distancia que son:

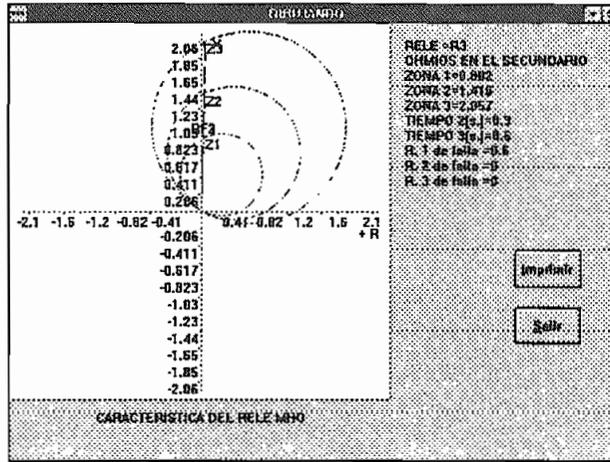
1.- Característica del relé de distancia R6:



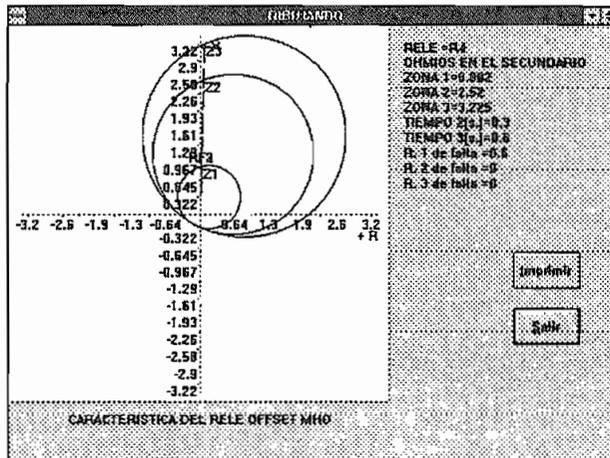
2.- Característica del relé de distancia R2:



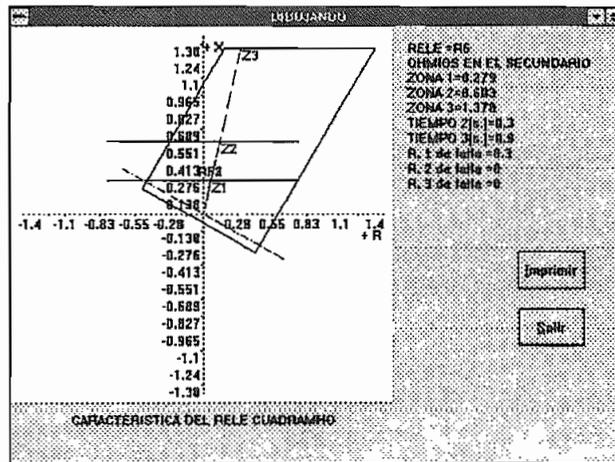
3.- Característica del relé de distancia R3:



4.- Característica del relé de distancia R4:



5.- Característica del relé de distancia R5:



Se ha escogido cinco relés de este sistema, los cuales tienen diferentes tipos de características gráficas. Podemos visualizar las zonas de operación de estos relés y además seleccionar que tipo de relé se va a utilizar de acuerdo al efecto de la resistencia de falla.

Mediante las características gráficas de los relés podemos ver la influencia del efecto de la resistencia de falla. Por ejemplo, para el relé R6 existe un desplazamiento de la impedancia de la línea causada por una resistencia de falla de 5 ohmios en el primario. Si existe una resistencia de falla muy grande, le puede desplazar demasiado a la impedancia de la línea, tal que no aparecerá dentro del pórtico de salida del gráfico.

Dentro de las pantallas de resultados gráficos se puede observar los resultados de las tres zonas de coordinación, por tanto, ahí se despliega la impedancia de la Zona 1, 2 y 3 en ohmios en el secundario de los transformadores de corriente y voltaje y los tiempos de retardo en segundos.

4.2.2.- *Sistema de la Empresa Eléctrica Quito de 46 [kV], con líneas asociadas a la S/E Selva Alegre.*

Como segundo ejemplo de aplicación se utiliza una parte del Sistema de la Empresa Eléctrica Quito, lo que corresponde a una red prácticamente mallada de 46 [KV]. Este sistema también incluye las líneas asociadas a la S/E Selva Alegre.

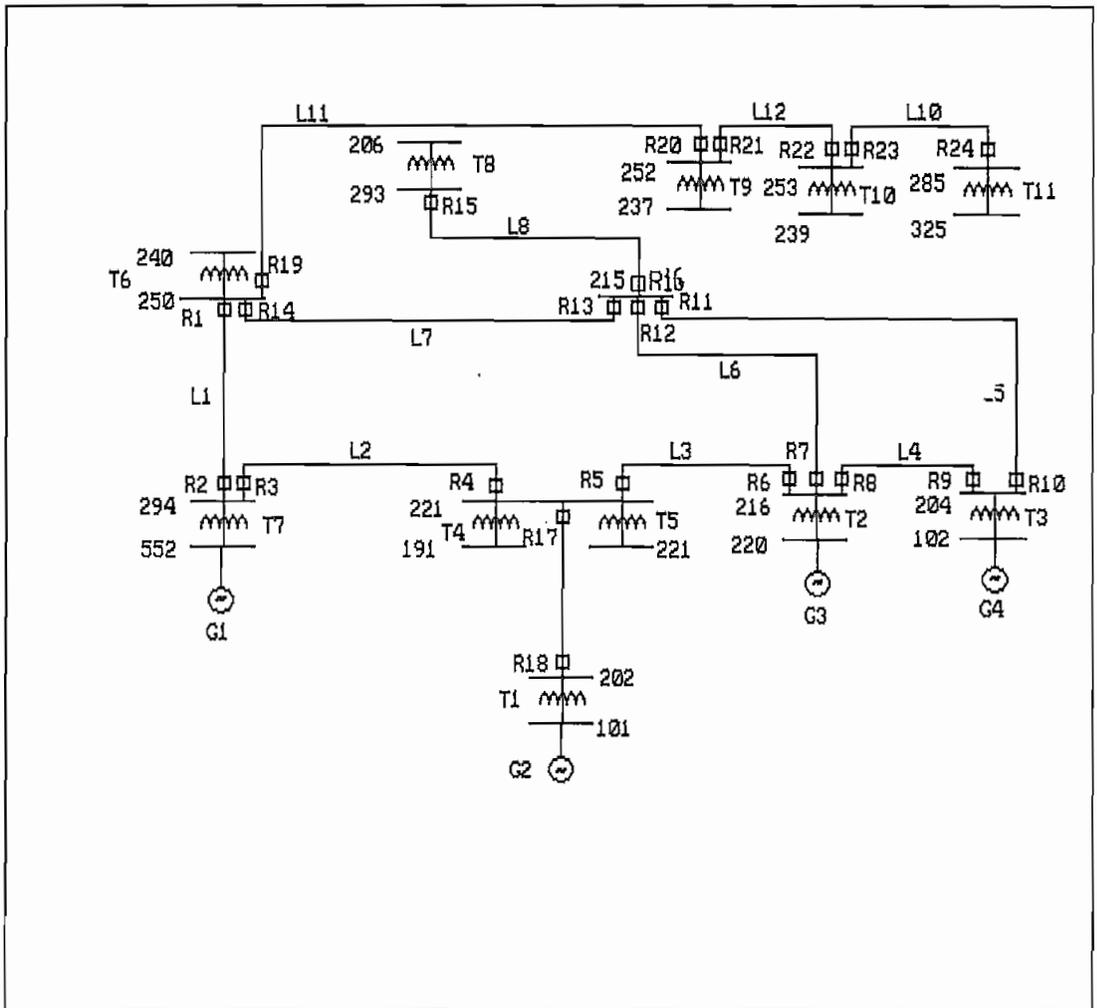


Figura 4.2

Datos de Entrada

Datos del Sistema:

<i>Descripción:</i>	<i>EEQ</i>
<i>Factor de alcance de la Zona 1:</i>	<i>0.80</i>
<i>Factor de alcance de la Zona 2:</i>	<i>1.20</i>
<i>Factor de alcance de la Zona 3:</i>	<i>2.00</i>
<i>Factor de seguridad de la Zona 2:</i>	<i>0.9</i>
<i>Factor de seguridad de la Zona 3:</i>	<i>0.9</i>
<i>Tiempo de retardo de la Zona 2:</i>	<i>0.3 [s]</i>
<i>Tiempo de retardo de la Zona 3:</i>	<i>0.6 [s]</i>
<i>Potencia Base:</i>	<i>100.0 [MVA]</i>
<i>Frecuencia del sistema:</i>	<i>60.0 [Hz]</i>

Datos de Barras:

<i>Número</i>	<i>Código</i>	<i>Descripción</i>	<i>Voltaje</i> <i>[kv]</i>
<i>1</i>	<i>552</i>	<i>S/E STA. ROSA</i>	<i>138.00</i>
<i>2</i>	<i>294</i>	<i>S/E STA. ROSA</i>	<i>46.00</i>
<i>3</i>	<i>291</i>	<i>S/E SAN RAFAEL</i>	<i>46.00</i>
<i>4</i>	<i>191</i>	<i>S/E SAN RAFAEL</i>	<i>46.00</i>
<i>5</i>	<i>221</i>	<i>S/E SAN RAFAEL</i>	<i>46.00</i>
<i>6</i>	<i>202</i>	<i>S/E PASOCHOA</i>	<i>46.00</i>
<i>7</i>	<i>101</i>	<i>S/E PASOCHOA</i>	<i>46.00</i>
<i>8</i>	<i>216</i>	<i>C.T. GUANGOPOLO</i>	<i>46.00</i>
<i>9</i>	<i>220</i>	<i>C.T. GUANGOPOLO</i>	<i>46.00</i>
<i>10</i>	<i>204</i>	<i>C.H. GUANGOPOLO</i>	<i>46.00</i>
<i>11</i>	<i>102</i>	<i>C.H. GUANGOPOLO</i>	<i>46.00</i>
<i>12</i>	<i>215</i>	<i>S/E SUR</i>	<i>46.00</i>
<i>13</i>	<i>293</i>	<i>S/E 4</i>	<i>46.00</i>
<i>14</i>	<i>206</i>	<i>S/E 4</i>	<i>46.00</i>
<i>15</i>	<i>250</i>	<i>S/E EPICLACHIMA</i>	<i>46.00</i>

16	240	S/E EPICLACHIMA	46.00
17	252	S/E 3	46.00
18	237	S/E 3	6.30
19	253	S/E 7	46.00
20	239	S/E 7	6.30
21	285	S/E SELVA ALEGR	46.00
22	325	S/E SELVA ALEGR	138.00

Datos de Líneas:

No	Desc.	BE	BR	RS+	XS+	RS0	XS0	ZMU	RF1	RF2	RF3	Im.
				[p.u.]		[A]						
1	1	2	15	0.0345	0.1245	0.1036	0.4810	0.000	5	10	20	670
2	2	2	3	0.0810	0.2900	0.2490	1.0900	0.000	5	10	20	670
3	3	3	8	0.0023	0.0830	0.0711	0.3114	0.000	5	10	20	670
4	4	8	10	0.0067	0.0244	0.0170	0.0600	0.000	5	10	20	670
5	5	10	12	0.0540	0.1970	0.1450	0.5750	0.000	5	10	20	670
6	6	8	12	0.0477	0.1550	0.1620	0.6349	0.000	5	10	20	670
7	7	15	12	0.0429	0.1164	0.1310	0.4800	0.000	5	10	20	670
8	8	12	13	0.0116	0.0316	0.0228	0.1301	0.000	5	10	20	670
9	9	3	6	0.3289	0.4863	0.5975	1.7267	0.000	5	10	20	670
10	10	19	21	0.0351	0.1734	0.0500	0.2000	0.000	5	10	20	670
11	11	15	17	0.0219	0.0789	0.0400	0.1000	0.000	5	10	20	670
12	12	17	19	0.0420	0.1540	0.1436	0.3871	0.000	5	10	20	670

Datos de Transformadores:

Número	Descripción	Barra envío	Barra recepción	Reactancia
				[p.u.]
13	T1	2	1	0.67950
14	T2	7	6	1.16070
15	T3	3	4	0.82840
16	T4	3	5	0.67950
17	T5	9	8	0.20000
18	T6	11	10	0.48050

19	T7	13	14	0.73740
20	T8	15	16	0.32300
21	T9	17	18	0.68900
22	T10	19	20	0.68550
23	T11	21	22	0.14000

Datos de Generadores:

Número	Descripción	Barra de Recepción
24	G1	1
25	G2	7
26	G3	9
27	G4	11

Datos de Relés:

Número	Tipo	Marca	Descrip.	Barra	Línea	AMTREL	IAV	IBV	VAT	VBT
						[grad]	[A]	[A]	[v]	[kv]
1	1	1	R1	15	1	60.00	600	5.0	46.	115.
2	2	3	R2	2	1	60.00	600	5.0	46.	115.
3	3	3	R3	2	2	60.00	600	5.0	46.	115.
4	4	4	R4	3	2	60.00	600	5.0	46.	115.
5	5	1	R5	3	3	60.00	600	5.0	46.	115.
6	1	2	R6	8	3	60.00	600	5.0	46.	115.
7	1	3	R7	8	6	60.00	600	5.0	46.	115.
8	1	4	R8	8	4	60.00	600	5.0	46.	115.
9	1	1	R9	10	4	60.00	600	5.0	46.	115.
10	1	2	R10	10	5	60.00	600	5.0	46.	115.
11	1	2	R11	12	5	60.00	600	5.0	46.	115.
12	1	2	R12	12	6	60.00	600	5.0	46.	115.
13	1	2	R13	12	7	60.00	600	5.0	46.	115.
14	1	3	R14	15	7	60.00	600	5.0	46.	115.
15	1	3	R15	13	8	60.00	600	5.0	46.	115.
16	1	4	R16	12	8	60.00	600	5.0	46.	115.
17	1	1	R17	3	9	60.00	600	5.0	46.	115.

18	1	2	R18	6	9	60.00	600	5.0	46.	115.
19	1	2	R19	15	11	60.00	600	5.0	46.	115.
20	1	2	R20	17	11	60.00	600	5.0	46.	115.
21	1	2	R21	17	12	60.00	600	5.0	46.	115.
22	1	2	R22	19	12	60.00	600	5.0	46.	115.
23	1	1	R23	19	10	60.00	600	5.0	46.	115.
24	1	1	R24	21	10	60.00	600	5.0	46.	115.

Datos de Pares:

Número de Relé Pimario	Número de Relé de Respaldo
3	1
14	2
19	2
5	3
17	3
2	4
7	5
8	5
4	6
11	7
13	7
16	7
10	8
6	9
7	9
12	10
13	10
16	10
9	11
8	12
6	12
1	13
12	14

11	14
16	14
11	15
12	15
13	15
4	18
5	18
21	19
1	20
14	20
23	21
20	22
22	24

Datos de Corrientes de c.c. trifásico:

Barra fallada	Tipo de Elemento	Número de Elemento	Corriente [p.u.]
1	1	1	0.4790
1	1	2	0.2683
1	1	3	0.1733
1	1	4	0.0605
1	1	5	0.0785
1	1	6	0.0912
1	1	7	0.2192
1	1	8	0.0931
1	1	9	0.0604
1	1	10	0.0000
1	1	11	0.1682
1	1	12	0.0700
1	2	13	0.0604
1	2	14	0.1976
1	2	15	0.1329
1	2	16	0.0837

1	2	17	0.0345
1	2	18	0.1812
1	2	19	0.8095
1	2	20	0.1936
1	2	21	0.0609
1	2	22	0.1238
1	2	23	0.7677
1	3	1	8.5102
1	3	7	0.0746
1	3	9	0.2916
1	3	11	0.1416
2	1	1	0.9531
2	1	2	0.5342
2	1	3	0.3451
2	1	4	0.1204
2	1	5	0.1563
2	1	6	0.1816
2	1	7	0.4364
2	1	8	0.1854
2	1	9	0.1202
2	1	10	0.0000
2	1	11	0.3349
2	1	12	0.1394
2	2	13	0.1202
2	2	14	0.3934
2	2	15	0.2646
2	2	16	0.0918
2	2	17	0.0608
2	2	18	0.3084
2	2	19	1.2595
2	2	20	0.2124
2	2	21	0.1174
2	2	22	0.1946

2	2	23	0.7677
2	3	1	1.4513
2	3	7	0.1402
2	3	9	0.4975
2	3	11	0.2840
16	1	1	0.6974
16	1	2	0.0507
16	1	3	0.0594
16	1	4	0.0350
16	1	5	0.1858
16	1	6	0.2010
16	1	7	0.5046
16	1	8	0.1119
16	1	9	0.0663
16	1	10	0.0000
16	1	11	0.2136
16	1	12	0.0889
16	2	13	0.0663
16	2	14	0.2263
16	2	15	0.1531
16	2	16	0.0894
16	2	17	0.0414
16	2	18	1.5823
16	2	19	0.6054
16	2	20	0.2071
16	2	21	0.0827
16	2	22	0.1527
16	2	23	0.7677
16	3	1	0.8275
16	3	7	0.0861
16	3	9	0.3499
16	3	11	0.1715
3	1	1	0.3093

3	1	2	0.8567
3	1	3	1.3479
3	1	4	0.5320
3	1	5	0.2754
3	1	6	0.4261
3	1	7	0.5295
3	1	8	0.1832
3	1	9	0.1431
3	1	10	0.0000
3	1	11	0.2871
3	1	12	0.1195
3	2	13	0.1431
3	2	14	0.4321
3	2	15	0.2873
3	2	16	0.0957
3	2	17	0.0700
3	2	18	0.2760
3	2	19	0.9377
3	2	20	0.2100
3	2	21	0.1024
3	2	22	0.1763
3	2	23	0.7677
3	3	1	1.1420
3	3	7	0.1631
3	3	9	0.5304
3	3	11	0.3062
4	1	1	0.1080
4	1	2	0.2996
4	1	3	0.4714
4	1	4	0.1860
4	1	5	0.0963
4	1	6	0.1490
4	1	7	0.1852

4	1	8	0.0641
4	1	9	0.0500
4	1	10	0.0000
4	1	11	0.1004
4	1	12	0.0418
4	2	13	0.0500
4	2	14	0.1511
4	2	15	0.1005
4	2	16	0.9338
4	2	17	0.0364
4	2	18	0.2037
4	2	19	0.3313
4	2	20	0.2187
4	2	21	0.0749
4	2	22	0.1431
4	2	23	0.7677
4	3	1	0.6003
4	3	7	0.0693
4	3	9	0.2867
4	3	11	0.1167
5	1	1	0.1195
5	1	2	0.3315
5	1	3	0.5120
5	1	4	0.2058
5	1	5	0.1066
5	1	6	0.1648
5	1	7	0.1090
5	1	8	0.0709
5	1	9	0.0554
5	1	10	0.0000
5	1	11	0.1111
5	1	12	0.0462
5	2	13	0.0554

5	2	14	0.1672
5	2	15	0.1112
5	2	16	0.0893
5	2	17	0.9649
5	2	18	0.2022
5	2	19	0.3660
5	2	20	0.120
5	2	21	0.0735
5	2	22	0.1414
5	2	23	0.7677
5	3	1	0.6215
5	3	7	0.0742
5	3	9	0.2957
5	3	11	0.1268
6	1	1	0.1220
6	1	2	0.3677
6	1	3	0.5785
6	1	4	0.2283
6	1	5	0.1182
6	1	6	0.1829
6	1	7	0.2272
6	1	8	0.0786
6	1	9	0.9835
6	1	10	0.0000
6	1	11	0.1232
6	1	12	0.0513
6	2	13	0.1540
6	2	14	0.1855
6	2	15	0.1233
6	2	16	0.0986
6	2	17	0.0461
6	2	18	0.2374
6	2	19	0.4055

6	2	20	0.2340
6	2	21	0.0885
6	2	22	0.1628
6	2	23	0.7677
6	3	1	0.7398
6	3	7	0.1725
6	3	9	0.3520
6	3	11	0.1510
7	1	1	0.0637
7	1	2	0.1771
7	1	3	0.2786
7	1	4	0.1100
7	1	5	0.0569
7	1	6	0.0881
7	1	7	0.1094
7	1	8	0.0379
7	1	9	0.4737
7	1	10	0.0000
7	1	11	0.0593
7	1	12	0.0247
7	2	13	0.4737
7	2	14	0.0893
7	2	15	0.0594
7	2	16	0.0974
7	2	17	0.0357
7	2	18	0.2199
7	2	19	0.1980
7	2	20	0.2378
7	2	21	0.0849
7	2	22	0.1555
7	2	23	0.7677
7	3	1	0.5542
7	3	7	0.2055

7	3	9	0.2694
7	3	11	0.0834
13	1	1	0.6927
13	1	2	0.2749
13	1	3	0.4538
13	1	4	0.2087
13	1	5	0.4746
13	1	6	0.6299
13	1	7	1.0822
13	1	8	2.1522
13	1	9	0.1132
13	1	10	0.0000
13	1	11	0.2993
13	1	12	0.1246
13	2	13	0.1132
13	2	14	0.4001
13	2	15	0.2718
13	2	16	0.0924
13	2	17	0.0588
13	2	18	0.2933
13	2	19	0.8937
13	2	20	0.2314
13	2	21	0.1102
13	2	22	0.1871
13	2	23	0.7677
13	3	1	1.1138
13	3	7	0.1338
13	3	9	0.5114
13	3	11	0.2929
8	1	1	0.4503
8	1	2	0.6048
8	1	3	0.8165
8	1	4	0.6877

8	1	5	0.4020
8	1	6	0.6101
8	1	7	0.8238
8	1	8	0.2008
8	1	9	0.1340
8	1	10	0.0000
8	1	11	0.3037
8	1	12	0.1264
8	2	13	0.1340
8	2	14	0.4843
8	2	15	0.3213
8	2	16	0.0927
8	2	17	0.0657
8	2	18	0.2886
8	2	19	0.9514
8	2	20	0.2176
8	2	21	0.1082
8	2	22	0.1835
8	2	23	0.7677
8	3	1	1.1542
8	3	7	0.1535
8	3	9	0.5836
8	3	11	0.3412
9	1	1	0.3233
9	1	2	0.4344
9	1	3	0.5864
9	1	4	0.4939
9	1	5	0.2887
9	1	6	0.4382
9	1	7	0.5916
9	1	8	0.1442

9	1	9	0.0962
9	1	10	0.0000
9	1	11	0.2181
9	1	12	0.0908
9	2	13	0.0962
9	2	14	1.5082
9	2	15	0.2307
9	2	16	0.0841
9	2	17	0.0486
9	2	18	0.2229
9	2	19	0.6847
9	2	20	0.1948
9	2	21	0.0785
9	2	22	0.1463
9	2	23	0.7677
9	3	1	0.8730
9	3	7	0.1134
9	3	9	0.6309
9	3	11	0.2463
10	1	1	0.4632
10	1	2	0.5536
10	1	3	0.7571
10	1	4	1.6282
10	1	5	0.5621
10	1	6	0.4615
10	1	7	0.8369
10	1	8	0.1972
10	1	9	0.1288
10	1	10	0.0000
10	1	11	0.2969
10	1	12	0.1236
10	2	13	0.1288
10	2	14	0.4644

10	2	15	0.3270
10	2	16	0.0919
10	2	17	0.0637
10	2	18	0.2843
10	2	19	0.9251
10	2	20	0.2165
10	2	21	0.1062
10	2	22	0.1811
10	2	23	0.7677
10	3	1	1.1296
10	3	7	0.1483
10	3	9	0.5649
10	3	11	0.3469
11	1	1	0.2330
11	1	2	0.2758
11	1	3	0.3772
11	1	4	0.8112
11	1	5	0.2800
11	1	6	0.2299
11	1	7	0.4169
11	1	8	0.0982
11	1	9	0.0642
11	1	10	0.0000
11	1	11	0.1479
11	1	12	0.0616
11	2	13	0.0642
11	2	14	0.2314
11	2	15	1.0872
11	2	16	0.0860
11	2	17	0.0380
11	2	18	0.1987
11	2	19	0.4634
11	2	20	0.2012

11	2	21	0.0697
11	2	22	0.1365
11	2	23	0.7677
11	3	1	0.6777
11	3	7	0.0811
11	3	9	0.3365
11	3	11	0.4074
12	1	1	0.7469
12	1	2	0.2963
12	1	3	0.4892
12	1	4	0.215
12	1	5	0.5117
12	1	6	0.6791
12	1	7	1.1667
12	1	8	0.2215
12	1	9	0.1220
12	1	10	0.0000
12	1	11	0.3227
12	1	12	0.1343
12	2	13	0.1220
12	2	14	0.4313
12	2	15	0.2930
12	2	16	0.0929
12	2	17	0.0620
12	2	18	0.3073
12	2	19	0.9631
12	2	20	0.2300
12	2	21	0.1167
12	2	22	0.1949
12	2	23	0.7677
12	3	1	1.1761
12	3	7	0.1424
12	3	9	0.5388

12	3	11	0.3139
15	1	1	1.2284
15	1	2	0.0892
15	1	3	0.1046
15	1	4	0.0616
15	1	5	0.3271
15	1	6	0.4211
15	1	7	0.8887
15	1	8	0.1971
15	1	9	0.1168
15	1	10	0.0000
15	1	11	0.3762
15	1	12	0.1566
15	2	13	0.1168
15	2	14	0.3985
15	2	15	0.2695
15	2	16	0.0938
15	2	17	0.0607
15	2	18	0.3493
15	2	19	1.0621
15	2	20	0.2249
15	2	21	0.1360
15	2	22	0.2197
15	2	23	0.7677
15	3	1	1.2770
15	3	7	0.1378
15	3	9	0.5117
15	3	11	0.2910
14	1	1	0.2999
14	1	2	0.1191
14	1	3	0.1966
14	1	4	0.0904
14	1	5	0.2057

14	1	6	0.2730
14	1	7	0.4690
14	1	8	0.9327
14	1	9	0.0491
14	1	10	0.0000
14	1	11	0.1297
14	1	12	0.0540
14	2	13	0.0491
14	2	14	0.1734
14	2	15	0.1178
14	2	16	0.0912
14	2	17	0.0367
14	2	18	0.2074
14	2	19	0.3902
14	2	20	1.1928
14	2	21	0.0746
14	2	22	0.1433
14	2	23	0.7677
14	3	1	0.6496
14	3	7	0.0690
14	3	9	0.3081
14	3	11	0.1357
22	1	1	0.5600
22	1	2	0.0407
22	1	3	0.0477
22	1	4	0.0281
22	1	5	0.1492
22	1	6	0.1921
22	1	7	0.4053
22	1	8	0.0899
22	1	9	0.0533
22	1	10	1.2309
22	1	11	1.0556

22	1	12	1.1389
22	2	13	0.0533
22	2	14	0.1818
22	2	15	0.1229
22	2	16	0.0912
22	2	17	0.0382
22	2	18	0.2169
22	2	19	0.4873
22	2	20	0.2126
22	2	21	0.1019
22	2	22	0.1530
22	2	23	0.6687
22	3	1	0.7293
22	3	7	0.0736
22	3	9	0.3171
22	3	11	0.1417
21	1	1	0.5983
21	1	2	0.0435
21	1	3	0.0510
21	1	4	0.0300
21	1	5	0.1594
21	1	6	0.2052
21	1	7	0.4330
21	1	8	0.0961
21	1	9	0.0569
21	1	10	1.3151
21	1	11	1.1277
21	1	12	1.2168
21	2	13	0.0569
21	2	14	0.1942
21	2	15	0.1313
21	2	16	0.0921
21	2	17	0.0402

21	2	18	0.2287
21	2	19	0.5202
21	2	20	0.124
21	2	21	0.1125
21	2	22	0.1623
21	2	23	0.7677
21	3	1	0.7731
21	3	7	0.0783
21	3	9	0.3334
21	3	11	0.1520
19	1	1	0.7750
19	1	2	0.0563
19	1	3	0.0660
19	1	4	0.0389
19	1	5	0.2064
19	1	6	0.2657
19	1	7	0.5607
19	1	8	0.1244
19	1	9	0.0737
19	1	10	0.0000
19	1	11	1.4604
19	1	12	1.5757
19	2	13	0.0737
19	2	14	0.2515
19	2	15	0.1701
19	2	16	0.0917
19	2	17	0.0455
19	2	18	0.2576
19	2	19	0.6721
19	2	20	0.2144
19	2	21	0.1449
19	2	22	0.1861
19	2	23	0.7677

19	3	1	0.9136
19	3	7	0.0952
19	3	9	0.3824
19	3	11	0.1915
17	1	1	1.0330
17	1	2	0.0750
17	1	3	0.0880
17	1	4	0.0518
17	1	5	0.2751
17	1	6	0.3541
17	1	7	0.7473
17	1	8	0.1658
17	1	9	0.0982
17	1	10	0.0000
17	1	11	1.9462
17	1	12	0.1598
17	2	13	0.0982
17	2	14	0.3351
17	2	15	0.2267
17	2	16	0.0924
17	2	17	0.0540
17	2	18	0.3075
17	2	19	0.8940
17	2	20	0.2182
17	2	21	0.1408
17	2	22	0.2266
17	2	23	0.7677
17	3	1	1.1199
17	3	7	0.1195
17	3	9	0.4555
17	3	11	0.2483
18	1	1	0.4388
18	1	2	0.0319

18	1	3	0.0374
18	1	4	0.0220
18	1	5	0.1169
18	1	6	0.1505
18	1	7	0.3177
18	1	8	0.0705
18	1	9	0.0413
18	1	10	0.0000
18	1	11	0.8273
18	1	12	0.0679
18	2	13	0.0418
18	2	14	0.1424
18	2	15	0.0963
18	2	16	0.0928
18	2	17	0.0355
18	2	18	0.2064
18	2	19	0.3830
18	2	20	0.2181
18	2	21	0.0752
18	2	22	1.0498
18	2	23	0.7677
18	3	1	0.6421
18	3	7	0.0623
18	3	9	0.2883
18	3	11	0.1147
20	1	1	0.3790
20	1	2	0.0276
20	1	3	0.0323
20	1	4	0.0190
20	1	5	0.1010
20	1	6	0.1300
20	1	7	0.2744
20	1	8	0.0609

20	1	9	0.0361
20	1	10	0.0000
20	1	11	0.7147
20	1	12	0.7711
20	2	13	0.0361
20	2	14	0.1231
20	2	15	0.0832
20	2	16	0.0942
20	2	17	0.0349
20	2	18	0.2062
20	2	19	0.3316
20	2	20	0.2228
20	2	21	0.8692
20	2	22	0.1435
20	2	23	0.7677
20	3	1	0.6084
20	3	7	0.0573
20	3	9	0.2781
20	3	11	0.1024

RESULTADOS

Resultados de la Coordinación

Número	Descripción	Zona 1 [Ω sec.]	Zona 2 [Ω sec.]	Zona 3 [Ω sec.]	T2 [s.]	T3 [s.]
1	R1	0.654	2.755	3.948	0.30	0.60
2	R2	0.654	1.466	2.336	0.30	0.60
3	R3	1.530	2.438	6.227	0.30	0.90
4	R4	1.530	3.079	4.767	0.30	0.60
5	R5	0.419	0.667	1.796	0.30	0.60

6	R6	0.419	3.752	4.844	0.30	0.60
7	R7	0.825	1.460	5.231	0.30	0.90
8	R8	0.127	2.406	3.212	0.30	0.60
9	R9	0.127	0.876	1.428	0.30	0.60
10	R10	1.035	1.879	4.951	0.30	0.90
11	R11	1.035	1.555	2.520	0.60	0.60
12	R12	0.825	1.244	2.298	0.30	0.60
13	R13	0.628	2.038	2.838	0.30	0.60
14	R14	0.628	1.022	2.571	0.30	0.90
15	R15	0.171	2.907	10.049	0.30	0.90
16	R16	0.171	0.254	0.425	0.30	0.60
17	R17	2.984	4.469	7.453	0.30	0.60
18	R18	2.984	6.596	8.043	0.30	0.60
19	R19	0.419	1.270	2.285	0.30	0.60
20	R20	0.419	2.196	2.571	0.30	0.60
21	R21	0.813	1.835	2.285	0.30	0.90
22	R22	0.813	1.619	4.602	0.30	0.60
23	R23	0.901	1.346	2.012	0.30	0.60
24	R24	0.901	5.472	5.472	0.30	0.60

Resultados de los Ajustes

AJUSTES PARA EL SISTEMA EEQ

AJUSTE DE LOS RELES RAZOA

Relé	Ajuste de Corriente y Voltaje					Porcentaje de Error de x_1, x_2, x_3 y r_1				Factor homopolar Y	Ajuste de tiempo N2 N3	
	a	b	p1	p2	p3	E(x1)	E(x2)	E(x3)	E(r1)		N2	N3
R1	57	99	69	16	12	-0.01	-0.03	+0.04	-0.00	10	6	2
R5	40	97	73	46	17	-0.00	-0.00	-0.01	-0.00	9	6	2
R9	9	91	56	8	5	-0.01	-0.02	-0.00	+0.00	5	6	2
R17	97	92	30	20	12	-0.00	-0.01	-0.01	-0.00	9	6	2
R23	45	99	39	26	18	-0.00	-0.01	+0.03	-0.00	1	6	2
R24	45	99	39	6	6	-0.00	-0.07	-0.07	-0.00	1	6	2

AJUSTE DE LOS RELES KD10/KD11

Relé	S	T	M	L	R
R6	1.00	0.38	-0.09	0.03	0.09
R10	1.00	0.92	-0.12	0.00	0.09
R11	1.00	0.92	-0.12	0.00	0.09
R12	1.00	0.92	0.09	0.09	0.03
R13	1.00	0.69	0.09	0.09	0.03
R18	2.00	1.23	-0.18	0.00	0.06
R19	1.00	0.38	-0.09	0.03	0.09
R20	1.00	0.38	-0.09	0.03	0.09
R21	1.00	0.92	0.09	0.09	0.03
R22	1.00	0.92	0.09	0.09	0.03

AJUSTE DE LOS RELES PYTS

Relé	Factores de Ajuste para las Zonas 1, 2, 3					Fallas a tierra	
	KD	KZ	K1	K2	K3	KZN	K1N
R2	1.00	1.00	0.65	2.24	3.57	0.94	0.94
R3	1.00	2.00	0.77	1.59	4.07	0.90	0.90
R7	1.00	1.00	0.82	1.77	6.34	1.01	1.01
R14	1.00	1.00	0.63	1.63	4.09	1.01	1.01
R15	1.00	0.20	0.85	17.00	58.77	0.97	0.97

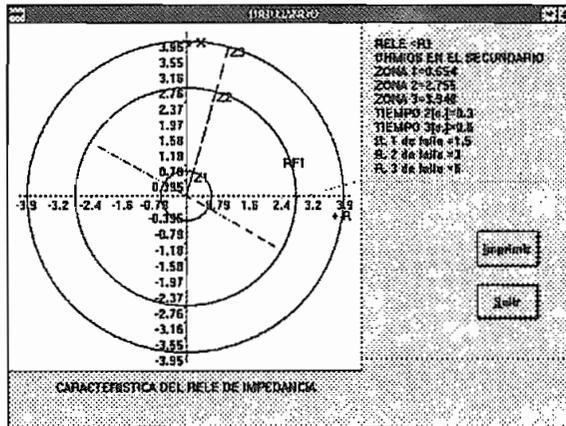
AJUSTE DE LOS RELES QUADRAMHO

Relé	Factores de Ajuste de la Zona 1						Ajuste Zona 2			Factores de Ajuste de la Zona 3				Ajuste de la Compensación Z3 inversa			falla tierra		
	k1	k2	k11	k12	k13	k14	k21	k22	k31	k32	k33	k34	k35	k36	k37	k4	k5	k6	
R4	7	6.00	0.0	0.50	0.08	1.0	1.0	0.10	1.0	0.80	1.0	0.00	1.0	0.00	0.14	11	0.70	0.70	
R8	0	6.00	0.0	0.10	0.00	1.0	2.0	0.00	2.0	0.60	1.0	0.00	1.0	0.00	0.02	2	0.90	0.90	
R16	0	8.00	0.0	0.10	0.00	1.0	0.0	0.10	0.0	0.20	1.0	0.00	1.0	0.00	0.02	7	0.70	0.70	

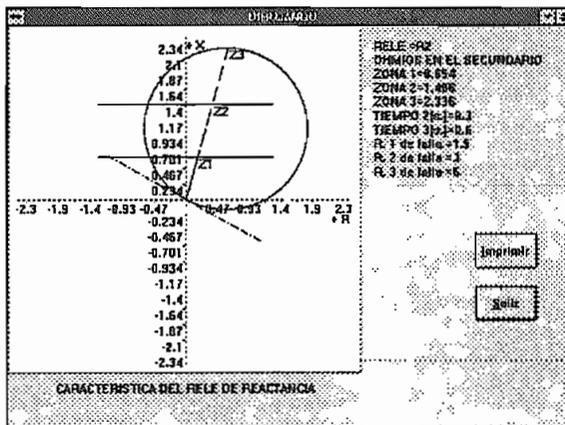
Resultados Gráficos de la Coordinación

En este sistema existen 24 relés de distancia, por lo tanto, se tienen 24 características gráficas para este sistema. A continuación se presenta las características de los 5 primeros relés de distancia.

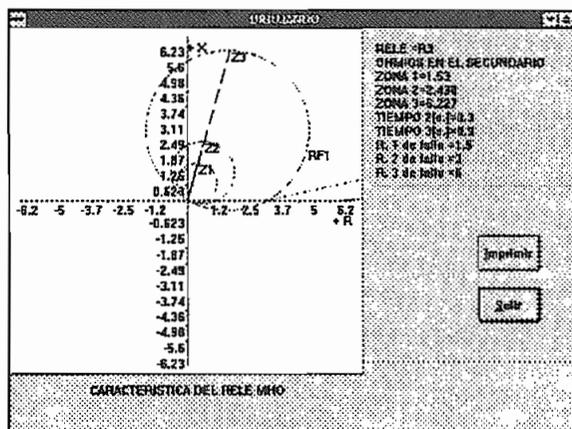
1.- Característica del relé de distancia R1:



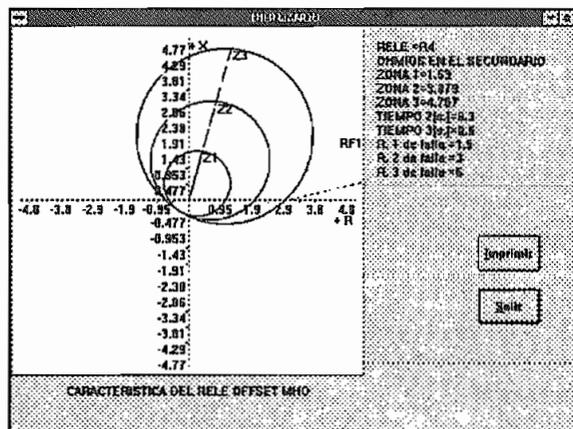
2.- Característica del relé de distancia R2:



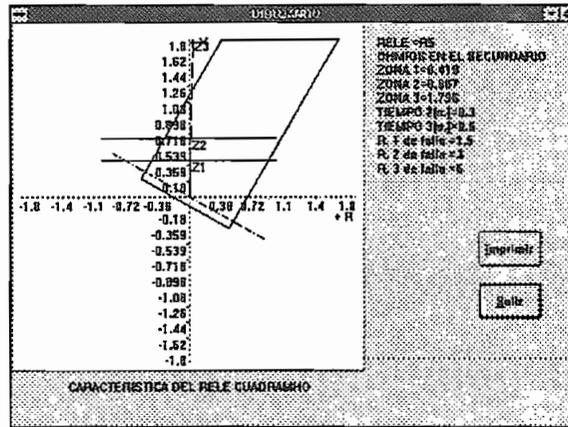
3.- Característica del relé de distancia R3:



4.- Característica del relé de distancia R4:



5.- Característica del relé de distancia R5:



4.3.- Análisis y evaluación de resultados.

Al comprobar manualmente los resultados de coordinación para los dos ejemplos, utilizando el algoritmo de coordinación explicado en el capítulo II, se comprueba la exactitud de los resultados y además, al hacer una evaluación de los mismos se puede observar que realmente se encuentran dentro de los rangos adecuados de los valores de impedancia.

A partir de los resultados de coordinación se realiza los ajustes de los relés dependiendo de la marca, por tanto, los resultados de coordinación pasan a ser datos para el cálculo de ajustes de los relés de distancia.

Al analizar los ajustes para los dos S.E.P. de ejemplo, se puede comprobar que estos se encuentran dentro de los rangos permitidos por el fabricante. Por tanto el Ingeniero de protecciones puede proceder a realizar el ajuste físico del equipo de protección de distancia.

La representación gráfica de los resultados de cada uno de los relés de distancia, dependiendo del y tipo, se refleja fielmente en el diagrama R-X.

Al analizar la representación gráfica de los resultados de coordinación se puede concluir que cada tipo de relé tiene su aplicación. Por ejemplo, el relé de reactancia es apropiado para líneas cortas donde el efecto de la resistencia de la línea es grande, puesto que dicho relé es inmune a las variaciones de resistencia y su funcionamiento se basa en la reactancia de la línea.

En los Anexos se presenta la comprobación de los resultados de este programa de tesis con los resultados que se obtiene del programa de la E.E.Q.S.A..

Los resultados del programa se pueden describir de acuerdo a las etapas de ejecución, así:

- La primera etapa corresponde al ingreso y organización de todos los datos del S.E.P..
- La segunda etapa consiste en realizar la coordinación de los relés de distancia. Se puede pasar a la siguiente etapa siempre que no haya existido algún problema en la coordinación de relés. En el caso de que no se obtenga los resultados de coordinación se debe revisar los datos del S.E.P..
- La tercera etapa consiste en realizar los ajustes de los relés de distancia.
- La cuarta y última etapa consiste en representar los resultados gráficos de los relés y si el usuario desea puede enviar los reportes gráficos a la impresora.

El Ingeniero de protecciones tiene la libertad de elegir otro tipo o marca de relé si observa que la característica de operación no es la adecuada, por lo tanto, deberá regresar a los datos de entrada y modificar dentro del submenú de Relés las opciones de Tipo y Marca, y, nuevamente realizar la coordinación y los ajustes.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.- Conclusiones.

- 1.- A través de una herramienta computacional se ha obtenido una gran ayuda en el diseño de la coordinación de los relés de distancia, esto es de gran utilidad para los Ingenieros de protecciones tanto de E.E.Q.S.A. como de la E.P.N., debido a que se le releva de la tediosa tarea de manejar una gran cantidad de datos, los cuales se requieren para realizar la coordinación de relés de distancia.
- 2.- Los esfuerzos por automatizar el proceso de coordinación de relés son fructíferos y en la práctica animarán el desarrollo comercial de estas técnicas para ayudar a los Ingenieros de protecciones de la pesada tarea asociada con el problema de la localización de las zonas de protección y el cálculo de las impedancias.
- 3.- Se comprueba que tanto del paquete desarrollado como el marco teórico expuesto en el Capítulo II al mostrar las características de los relés en el diagrama R-X es muy conveniente desde el punto de vista de trazar en el plano su campo de operación mediante la utilización de curvas muy simples, pero adicionalmente se justifica la utilización del diagrama R-X puesto que podemos representar varias condiciones del sistema en el mismo plano, como es el efecto de la resistencia de falla en la línea, el cual produce un desplazamiento de la impedancia de la línea, inclusive haciendo que falle la protección, puesto que le puede desplazar fuera de la zona protegida, excepto para los relés de reactancia.

- 4.- El programa de coordinación de protección de distancia se ha diseñado de la forma más flexible ante los requerimientos del usuario. Además, el programa permite que el usuario tenga control sobre su desarrollo a través de la información de entrada. Es así como se pueden establecer condiciones o compromisos previos a su ejecución y mediante el programa establecer sus efectos en el resto del sistema.
- 6.- Con la ejecución del programa se consigue unificar el criterio de aplicación de los relés de distancia. Sin embargo, el programa no es una cadena rigurosa de decisiones lógicas puesto que da la oportunidad al Ingeniero de hacer consideraciones especiales y transmitir las al programa.
- 7.- El usuario puede considerar un mayor número de posibilidades para escoger los tipos de relés y utilizando la velocidad del programa lograr ajustes más óptimos.
- 8.- Debido a que el paquete está hecho por módulos, a medida que avanza la tecnología el programa puede ser actualizado mediante nuevos módulos que permita realizar los ajustes para nuevas marcas de relés. Aunque el programa está implementado y probado en la actualidad, es necesario su constante revisión para cumplir con los requerimientos de la experiencia en su uso.
- 9.- Una de las principales dificultades que se encuentra en su ejecución es la necesidad de salir del programa para considerar nuevas condiciones de cortocircuito del sistema. Por lo que se recomienda el desarrollo de programas de cálculo de cortocircuito de rápida ejecución y que consideren puntos de fallas y configuración del sistema.

- 10.- *Es necesario recalcar, que la experiencia e ingenio del Ingeniero es la base de un buen sistema de protección. Por lo que aún con un programa de mayor volumen de decisiones lógicas no se puede conseguir reemplazar estas características únicas. Sin embargo, se logra con su ayuda la disminución del personal encargado de estos trabajos y se consigue una mayor velocidad, y con la implementación de un completo sistema interactivo en el computador se logrará ajustes más óptimos.*
- 11.- *Se ha verificado que este paquete obtiene resultados que son mejores en exactitud que los obtenidos a través de cálculos manuales.*
- 12.- *Se obtiene un detallado diálogo interactivo hombre-máquina que ha sido desarrollado con la ayuda de gráficos computacionales para ayudar al Ingeniero a obtener resultados del proceso de coordinación y comparar el alcance de los diferentes tipos de relés.*
- 13.- *Este paquete será utilizado por los estudiantes de la Facultad de Ingeniería Eléctrica en el Laboratorio de Protecciones, en lo que se refiere a la Protección de Relés de Distancia y adicionalmente por los Ingenieros y técnicos de la E.E.Q.S.A. encargados del buen funcionamiento del Sistema de Transmisión.*
- 14.- *Finalmente se puede concluir que mediante la utilización de este paquete se puede realizar la coordinación completa de las tres zonas de relés de distancia usando el Algoritmos de Coordinación de Zonas Sucesivas [8] y por tanto se ha cumplido con el objetivo de la tesis. Las ecuaciones teóricas requeridas para un sistema general han sido desarrolladas y el proceso de coordinación ha sido descrito en el Capítulo II.*

5.2.- Recomendaciones.

1. - Debido a que el programa de coordinación de distancia necesita las corrientes de cortocircuito trifásico, existe la necesidad de implementar un programa para estudio de cortocircuitos el cual obtenga como resultado un archivo ASCII con el formato necesario para el paquete de coordinación de distancia o en el mejor de los casos, se podría añadir un módulo con el cual se realice el estudio de cortocircuitos y que con esos resultados internamente el programa permita hacer la coordinación y ajuste de los relés de distancia, mediante un solo ingreso de los datos.
- 2.- Entre las nuevas perspectivas planteadas sobre este tema están el desarrollo de un programa que obtenga los pares de relés, cuyo algoritmo se encuentra en la validación de pares de relés y el programa de corriente de cortocircuito.
- 3.- Una mejora en el algoritmo de operación para este paquete será incluir la técnica de matrices dispersas para incrementar la eficiencia de este paquete de software cuando se usa un sistema de gran escala cuyo algoritmo se encuentra implementado en forma parcial en la referencia [8]. Otra mejora en el algoritmo de operación para este paquete es implementar el efecto de las barras fantasmas, pero si se implementó el efecto de todas las entradas de alimentación de corriente de c.c. a la la barra.
- 4.- Debido a que el paquete es de tipo modular, se puede ampliar y obtener un paquete mucho más completo, tal que a más de coordinación de protecciones de distancia realice estudios de flujos de carga, estudios de cortocircuito e inclusive análisis de estabilidad. Cada uno de estos módulos podrían ser tomados como posibles temas de tesis debido al trabajo en su implementación.

- 5.- Este paquete fue implementado para realizar la coordinación de relés de distancia para el caso de fallas fase-fase ó fallas trifásicas, pero para completar la utilidad de los gráficos en este programa se deberá implementar una comprobación, tal que permita verificar que los relés de falla a tierra no interfieran en la operación de los relés para fallas fase-fase ó fallas trifásicas.

BIBLIOGRAFIA:

- 1.- ASEA BROWN BOVERI, AST - Advanced Systems Technology, Pennsylvania.
- 2.- ASEA RELAY DIVISION, Ajustes y cálculos para la protección de distancia RAZOA, Edición 2, Octubre 1980.
- 3.- BERGEN A. R., "Power Systems Analysis", Prentice-Hall, Inc., New Jersey-USA, 1986.
- 4.- COOK V., Analysis of Distance Protection, Department of Electrical and Electronic Engineering University College, Cardiff, Wales, Research studies press ltd., England, 1985.
- 5.- CADENA M.ING., "Protecciones Eléctricas I - Protección de Distancia", E.P.N., F.I.E., 1991.
- 6.- DAMBORG M.J., et al., "Computer Aided Transmission Protection System Design, Part I: Algorithms", IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-103, No. 1, January, 1984.
- 7.- DAMBORG M.J., RAMASWAMI R., et al., "Computer Aided Transmission Protection System Design, Part II: Implementation and Results", IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-103, No. 1, January, 1984.
- 8.- DAMBORG M., RAMASWAMI R., VENKATA S., JAMPALA A., Enhanced Algorithms for Transmission Protective Relay Coordination, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. PWRD-1, No.1, Enero, 1986, Pag. 280 - 287.
- 9.- ERAZO PAEZ M., Comportamiento de las protecciones de distancia de las líneas de 230 KV del Sistema Nacional Interconectado, JIEE, Vol. 8, 1987.
- 10.- GENERAL ELECTRIC, "Use of the R-X Diagram in Relay Work", General Electric Co., Power Systems Management Dept., Philadelphia, 1966.

- 11.- GENERAL ELECTRIC CO., *Power System Management Business Dept. Philadelphia, 1966.*
- 12.- GENERAL ELECTRIC CO., *The Art of Protective Relaying, 1966.*
- 13.- HERBERT SHCHILDT, C *Manual de Referencia, McGraw-Hill/Interamericanos de España S.A., Segunda Edición, España, 1990.*
- 14.- HUMPAGE W.D., KANDIL M., *Distance-protection performance under conditions of single-circuit working in double-circuit transmission lines, IEE, Vol. 117, No. 4, Abril, 1970, Pág. 766-770.*
- 15.- JURADO J.ING., *"Apuntes de Protecciones", E.P.N., F.I.E., Quito-Ecuador.*
- 16.- KERNIGHAM B., RITCHIE D., *El Lenguaje de Programación C, Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A., Segunda Edición, México, 1992.*
- 17.- LOPEZ V., *"Protección de Distancia", E.P.N., 1992.*
- 18.- MONCAYO R., *"Programa Digital de Coordinación de Protecciones de Distancia", Tesis, E.P.N., F.I.E., 1982.*
- 19.- RUIZ R. ING., *"Distance Protection - MSc. Lab. Project", Empresa Eléctrica Quito S.A..*
- 20.- RUEDA M.ING., *"Algoritmo para la Determinación de la Secuencia de Pares de Relés Direccionales de Sobrecorriente a Coordinarse Usando un Computador Personal", JIEE, Vol. 13, 1992.*
- 21.- RUEDA M.ING., ALBUJA M.ING., *"Coordinación de Relés en Sistemas de Subtransmisión con Ayuda de un Computador", E.E.Q.S.A..*
- 22.- SEQUITER SOFTWARE INC., *"Code Base 4.2 - User's Guide", 1990.*
- 23.- Type PITS & PITSC, *"Commissioning instructions for static switched distance protection type PYTS 101".*

- 24.- Type QUADRAMHO, "Application notes modular distance protection scheme with microprocessor based sheme logic type SHPM 101", May 1985.
- 25.- WESTINGHOUSE, "Type KD-10 And KD-11 Compensator Distance Relay", October, 1975.
- 26.- C.S.E. OF THE WESTINGHOUSE ELECTRIC CORPORATION, *Electrical Transmission and Distribution, Pennsylvania, Cuarta Edición, Septiembre 1, 1950.*

ANEXOS

ANEXO A: MANUAL DE USO DEL PROGRAMA

ANEXO B: ESQUEMA DEL PROGRAMA Y SUBROUTINAS

ANEXO C: VARIOS (OTROS)

***C1: CAUSAS POR LAS QUE EL PROGRAMA NO PODRIA
OBTENER RESULTADOS DE COORDINACION Y AJUSTES***

***C2: COMPROBACION Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS DEL
PROGRAMA DE COORDINACION DE DISTANCIA***

Anexo A: Manual de Uso del Programa

Para arrancar con este programa, se debe seleccionar el icono (gráfico) que representa a la aplicación y presionar Enter o dar dos clicks con el mouse sobre el gráfico correspondiente. Seguidamente aparecerá el submenú de la Coordinación Gráfica de Distancia.

Opciones del submenú.

Datos

Características

Coordinación

Para posicionarse en cualquiera de las opciones que presenta el menú, puede optarse por teclear F10 y las letras subrayadas del menú, o sencillamente posicionarse utilizando el mouse y dar un click en cualquiera de las opciones. Para activar el menú usando el teclado seguir los estándares de windows.

Datos

Las opciones de este submenú permiten crear, elegir o editar las bases de datos de un Sistema Eléctrico de Potencia.

Posee las siguientes opciones:

Directorio de trabajo

Sistemas

Barras

Líneas

Transformadores

Generadores

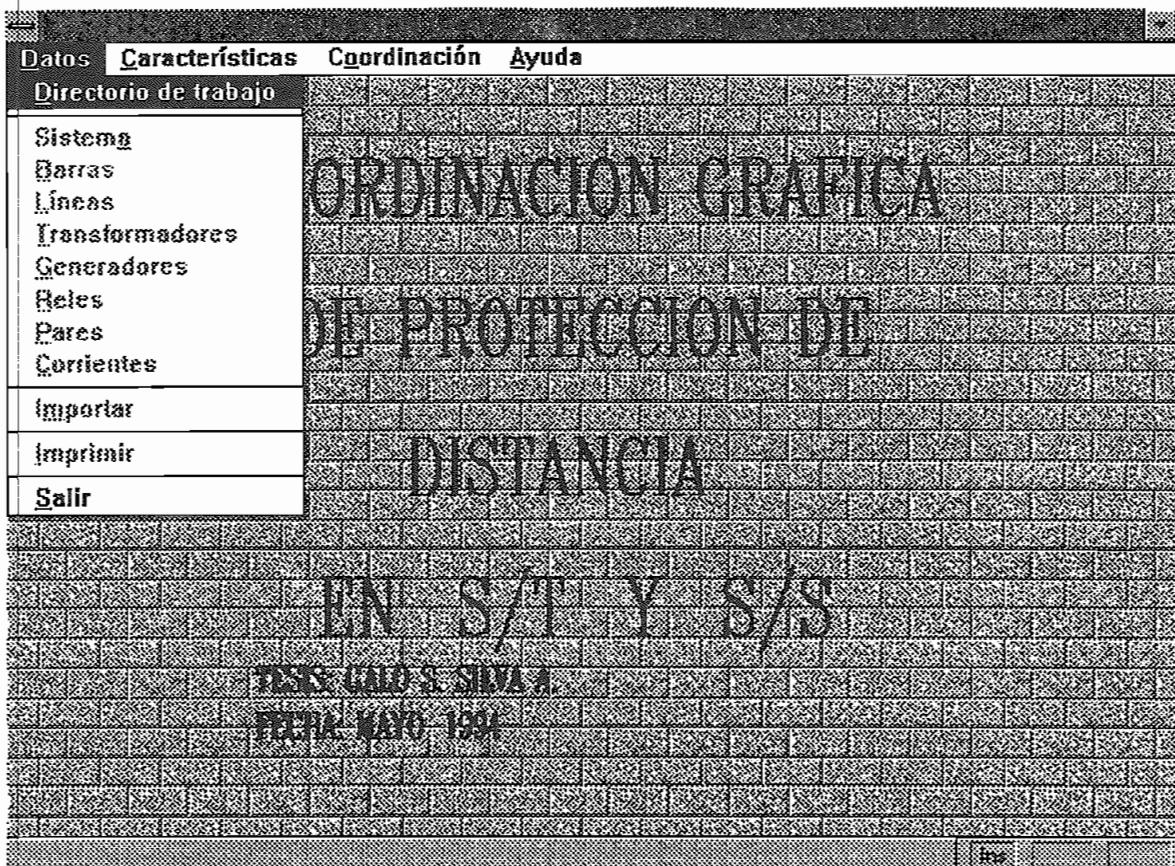
Corrientes

Pares

Relés

Importar

Salir



Directorio de trabajo

Primeramente se debe seleccionar un directorio de trabajo para correr el programa. El Directorio de Trabajo realmente es un catálogo en donde se almacenan los nombres de los sistemas eléctricos que se ingresan (es decir crea directorios en los cuales se trabajará).

Para seleccionar un directorio de trabajo se debe ingresar el nombre del directorio o simplemente elegir un directorio de la lista inferior y seleccionar un botón. Además se debe colocar el camino en donde se creará el directorio, de otra manera lo creará dentro del directorio del programa.

Sistema

Permite ingresar los datos que corresponden a ese nuevo sistema o editar en caso de que el sistema haya sido creado anteriormente.

Datos Características Cordinación Ayuda

COORDINACION GRAFICA

Nombre del sistema:

Factor de alcance		Factor de Seguridad	
Zona 1:	<input type="text" value="0.80"/>	Zona 2:	<input type="text" value="0.90"/>
Zona 2:	<input type="text" value="1.20"/>	Zona 3:	<input type="text" value="0.90"/>
Zona 3:	<input type="text" value="2.00"/>		

Tiempo (Seg.)		Frecuencia (Hz)	
Zona 2:	<input type="text" value="0.3"/>		<input type="text" value="50.0"/>
Zona 3:	<input type="text" value="0.5"/>	Potencia base (kVA):	<input type="text" value="100.0"/>

Programa desarrollado por: ALVARO A. PÉREZ MATEO - 1994

Sis001
Record 1/3
Exclusivo
Im
Escr

Se debe ingresar:

- 1 Nombre del Sistema Eléctrico, que puede ser de máximo "20" caracteres alfanuméricos. (Presionar Enter después de cada ingreso o mediate el Tab para ir al siguiente campo).
- 2 Factor de Alcance de la Primera Zona, que puede estar entre 0.80 a 0.90 (típico es 0.8).
- 3 Factor de Alcance de la Segunda Zona, que puede estar entre 1.20 a 1.50 (típico es 1.2).
- 4 Factor de Alcance de la Tercera Zona, que puede estar entre 2.00 a 2.50 (típico es 2.0).

5 Factor de Seguridad de la Segunda Zona, que puede ser 0.8 o 0.9
(típico es 0.9).

6 Factor de Seguridad de la Tercera Zona, que puede ser 0.8 o 0.9
(típico es 0.9).

7 Tiempo de Retardo de la Segunda Zona, que puede estar entre 0.1 a
0.3 [seg] (típico es 0.3).

8 Tiempo de Retardo de la Tercera Zona, que puede estar entre 0.4 a
1.5 [seg] (típico es 0.6).

9 Potencia Base del sistema, que puede estar entre 1.0 a 9999.9 [MVA]
(típico es 100).

10 Frecuencia del Sistema, que puede estar entre 50.0 a 65.0 [Hz],
(típico es 60).

Durante cada ingreso se realiza la validación respectiva, y no le
permite salir del campo mientras no ingrese el valor que se encuentra
dentro del rango. Luego de haber ingresado los datos se puede optar por:

Grabar: Llama a otra pantalla la cual permite seleccionar Sí o
No se graba.

Cancelar: Permite salir de la pantalla y retornar a la anterior.

Barras

Permite ingresar o editar los datos de barras de un sistema.
Presionar Enter o el Tab después de cada ingreso para ir al siguiente
campo.

Se debe ingresar:

1 Código de la barra, que puede ser de máximo 7 caracteres
alfanuméricos.

2 Descripción de la barra, que puede ser de máximo 20 caracteres
alfanuméricos.

3 Voltaje de la barra, que puede estar entre 5.00 y 999.99 [KV].

Datos Características Coordinación Ayuda

COORDINACION GRAFICA

Número de barra	0002	Anterior
Código de barra	7 STA. ROSA	Siguiente
Descripción		Buscar
Voltaje (KV)	138.00	
<input type="button" value="Grabar"/> <input type="button" value="Nuevo"/> <input type="button" value="Borrar"/> <input type="button" value="Insertar"/> <input type="button" value="Cancelar"/>		

TESS: GILIO S. SILVA A.

FECHA: MAYO 1994

Bases: Record 1/15 Errores: In: Cap:

Durante cada ingreso se realiza la validación respectiva, y no le permite salir del campo mientras no ingrese el valor que se encuentra dentro del rango. Luego de haber ingresado los datos, esta pantalla tiene los siguientes botones por los que se puede optar:

- Grabar:** Llama a otra pantalla la cual permite seleccionar si se graba o no.
- Nuevo:** Permite ingresar una nueva barra.
- Borrar:** Borra todos los datos correspondientes a una barra.
- Insertar:** Permite insertar una nueva barra en la base de datos; no se puede insertar un elemento ya existente. La inserción se reflejará en el número de la barra.
- Anterior:** Permite desplazar a la barra anterior.
- Siguiente:** Permite desplazar a la siguiente barra.
- Buscar:** Despliega otra pantalla donde se puede ingresar condiciones de búsqueda.

Cancelar: Permite salir de la pantalla y retornar a la anterior.

Nota: El programa genera el número de la barra a medida que se ingresa los datos de barras, con un máximo de 200 barras. Este número es muy importante porque es el que maneja el archivo de datos de corrientes de cortocircuito, por lo tanto el número de barra fallada debe corresponder a este número de la barra.

Líneas

Permite ingresar o editar los datos de líneas de un sistema. Presionar Enter o Tab después de cada ingreso para ir al siguiente campo.

Datos Características Coordinación Ayuda

COORDINACION GRAFICA

Número de línea:

Código	Bar. Env.	Bar. Rec.	Imp. Mat. [pu]
<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="15"/>	<input type="text" value="0.00000"/>
R-[pu]	X-[pu]	RO[pu]	XO[pu]
<input type="text" value="0.03450"/>	<input type="text" value="0.12450"/>	<input type="text" value="0.10350"/>	<input type="text" value="0.48100"/>
I _{max} [A]	R1[ohms prim.]	R2[ohms prim.]	R3[ohms prim.]
<input type="text" value="670"/>	<input type="text" value="5.00"/>	<input type="text" value="10.00"/>	<input type="text" value="20.00"/>

10/18 MAYO 1994

Línea: Record 1/3 Echarra In Capa

Se debe ingresar:

- Código de la línea, que puede ser de máximo 7 caracteres alfanuméricos.

- 2 Barra de envío, en donde se debe colocar el "número" de la barra de envío.
- 3 Barra de recepción, en donde se debe colocar el "número" de la barra de recepción.
- 4 Resistencia de secuencia positiva, que puede estar entre 0.00000 a 9.99999.
- 5 Reactancia de secuencia positiva, que puede estar entre 0.00001 a 9.99999.
- 6 Resistencia de secuencia cero, que puede estar entre 0.00000 a 9.99999.
- 7 Reactancia de secuencia cero, que puede estar entre 0.00000 a 9.99999.
- 8 Capacidad de la línea, que puede estar entre 50 a 1500 [A]. Este valor se obtiene de tablas dependiendo del tipo de conductor. Para mayor información ir a la Referencia [26].
- 9 Resistencia de falla 1, que puede estar entre 0.00 a 50.00 [ohmios] referidos al primario (lado de alto voltaje).
- 10 Resistencia de falla 2, que puede estar entre 0.00 a 50.00 [ohmios] referidos al primario (lado de alto voltaje).
- 11 Resistencia de Falla 3, que puede estar entre 0.00 a 50.00 [ohmios] referidos al primario (lado de alto voltaje).

Durante cada ingreso se realiza la validación respectiva, y no le permite salir del campo mientras no ingrese el valor que se encuentra dentro del rango. Luego de haber ingresado los datos, esta pantalla tiene las siguientes opciones por las que se puede optar:

Grabar: Llama a otra pantalla la cual permite seleccionar si se graba o no. Antes de grabar, realiza la validación de las barras de envío y recepción, verificando si existen o no esas barras.

Nuevo: Permite ingresar una nueva línea.

Borrar: Borra todos los datos correspondientes, a una línea siempre que no tenga un relé asociado. Si se borra una

línea, se debe tener cuidado que se disminuirá en uno los números asociados a transformadores y generadores.

Insertar: *Permite insertar una nueva línea en la base de datos; no se puede insertar un elemento ya existente. La inserción se reflejará en el número de la línea. Se debe tener en cuenta que al insertar una línea, se desplazará en uno los números asociados a transformadores y generadores.*

Anterior: *Permite desplazar a la línea anterior.*

Siguiente: *Permite desplazar a la siguiente línea.*

Buscar: *Despliega otra pantalla donde se puede ingresar condiciones de búsqueda.*

Cancelar: *Permite salir de la pantalla y retornar a la anterior.*

Nota: *El número de la línea el programa lo genera a medida que se ingresa los datos de líneas. Este número es muy importante porque es el que forma la matriz de incidencia del sistema y es el que maneja el archivo de datos de corrientes de cortocircuito, por lo tanto el número del elemento fallado debe corresponder a este número de la línea.*

Transformadores

Permite ingresar o editar los datos de transformadores del sistema.

Presionar Enter o Tab después de cada ingreso para ir al siguiente campo.

Se debe ingresar:

- 1 *Código del transformador, que puede ser de 7 caracteres alfanuméricos.*
- 2 *Barra de envío.*
- 3 *Barra de recepción.*
- 4 *Reactancia de secuencia positiva, que puede estar entre 0.00010 a 9.99999 [pu]. Tenga presente que una impedancia adecuada del transformador es menor a 1[pu], con una potencia base de 100 MVA.*



Luego de haber ingresado los datos, esta pantalla tiene las siguientes opciones por las que se puede escoger:

- Grabar:** Llama a otra pantalla la cual permite seleccionar si se graba o no. Antes de grabar, realiza la validación de las barras de envío y recepción, verificando si existen o no esas barras.
- Nuevo:** Permite ingresar un nuevo transformador.
- Borrar:** Borra todos los datos correspondientes a un transformador.
- Insertar:** Permite insertar un nuevo transformador en la base de datos; no se puede insertar un elemento ya existente. La inserción se reflejará en el número del transformador.
- Anterior:** Permite desplazar al transformador anterior.
- Siguiente:** Permite desplazar al siguiente transformador.

Buscar: Despliega otra pantalla donde se puede ingresar condiciones de búsqueda.

Cancelar: Permite salir de la pantalla y retornar a la anterior.

Nota: El número del transformador el programa lo genera a continuación del número de líneas a medida que se ingresa los datos. Este número es muy importante porque es el que forma la matriz de incidencia del sistema y es el que maneja el archivo de datos de corrientes de cortocircuito, por lo tanto el número del elemento fallado debe corresponder a este número del transformador.

Generadores

Permite ingresar o editar los datos de generadores del sistema.

Presionar Enter después de cada ingreso para ir al siguiente campo.

Datos Características Coordinación Ayuda

COORDINACION GRAFICA

Número generador	Código	Bar.Rec.
78	61	1

Anterior
Siguiente
Buscar

Grabar Nuevo Imprimir Borrar Cancelar

LIN. S/T J D/D
TESIS: CALO S. SILVA A
FECHA: MAYO-1994

Genera Recorrido 1/4 Exclusiva Ine Caps

Se debe ingresar:

1 Código del generador, que puede ser de máximo 7 caracteres alfanuméricos.

2 Barra de recepción.

Luego de haber ingresado los datos, esta pantalla presenta las siguientes opciones por las que se puede escoger:

Grabar: Llama a otra pantalla la cual permite seleccionar si se graba o no. Antes de grabar, realiza la validación de la barra de recepción, verificando si existe o no esa barra.

Nuevo: Permite ingresar un nuevo generador.

Borrar: Borra todos los datos correspondientes a un generador.

Insertar: Permite insertar un nuevo generador en la base de datos; no se puede insertar un elemento ya existente. La inserción se reflejará en el número del generador.

Anterior: Permite desplazar al generador anterior.

Siguiente: Permite desplazar al siguiente generador.

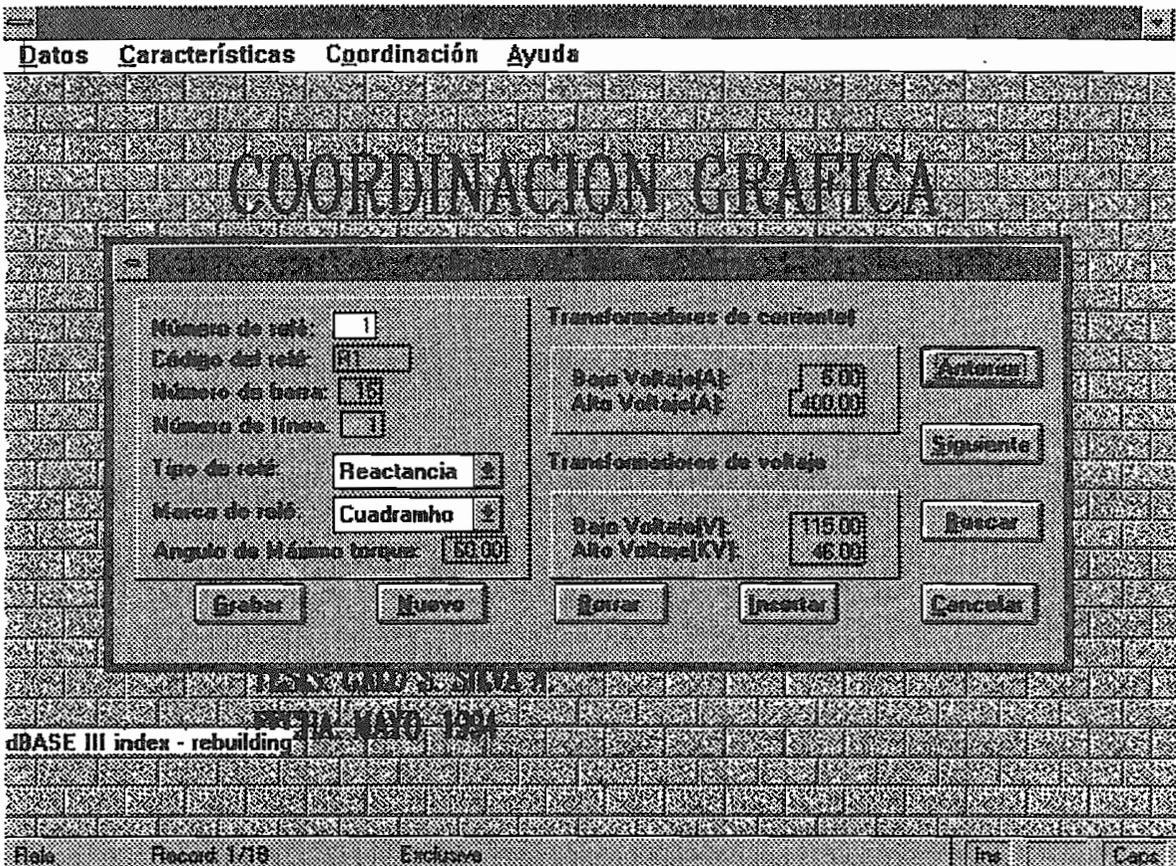
Buscar: Despliega otra pantalla donde se puede ingresar condiciones de búsqueda.

Cancelar: Permite salir de la pantalla y retornar a la anterior.

Nota: El número del generador el programa lo genera a continuación del número de transformadores a medida que se ingresa los datos de generadores. Este número es muy importante porque es el que forma la matriz de incidencia del sistema y es el que maneja el archivo de datos de corrientes de cortocircuito, por lo tanto el número del elemento fallado debe corresponder a este número del generador.

Relés

Permite ingresar o editar los datos de relés del sistema. Presionar **Enter** o **Tab** después de cada ingreso para ir al siguiente campo.



Se debe ingresar:

- 1 Código del relé, que puede ser de máximo 7 caracteres alfanuméricos.
- 2 Número de barra, que corresponde al número de la barra a la que esta asociado el relé.
- 3 Número de línea, que corresponde al número de la línea a la que está asociado el relé.
- 4 Tipo de relé, que puede ser de IMPEDANCIA, REACTANCIA, MHO, OFFSET MHO o QUADRAMHO. Indica la característica del relé.
- 5 Marca del relé, que puede ser RAZOA, KD10/KD11, PITS, QUADRAMHO. Con la marca del relé se realiza los ajustes. Si no se ingresa la marca, el programa coloca la primera marca de la lista.
- 6 Angulo de máximo torque, que puede estar en 45 y 85 grados.
- 7 Transformadores de Corriente:

7.1.- En bajo voltaje, que puede estar entre 1.00 y 50.00[A], y corresponde al transformador de corriente del relé.

7.2.- En alto voltaje, que puede estar entre 100 y 900.00 [A], y corresponde al transformador de corriente del relé.

8 Transformadores de Voltaje:

8.1.- En Bajo Voltaje, que puede estar entre 10.00 y 900.00 [V], y corresponde al transformador de voltaje del relé.

8.2.- En Alto Voltaje, que puede estar entre 5.00 y 900.00 [KV], y corresponde al transformador de voltaje del relé.

Durante cada ingreso se realiza la validación respectiva, y no le permite salir del campo mientras no ingrese el valor que se encuentre dentro del rango. Luego de haber ingresado los datos, esta pantalla tiene las siguientes opciones por las que se puede escoger:

Grabar: Llama a otra pantalla la cual permite seleccionar si se graba o no.

Nuevo: Permite ingresar un nuevo relé.

Borrar: Borra todos los datos correspondientes a un relé.

Insertar: Permite insertar un nuevo relé en la base de datos; no se puede insertar un elemento ya existente. La inserción se reflejará en el número del relé.

Anterior: Permite desplazar al relé anterior.

Siguiente: Permite desplazar al siguiente relé.

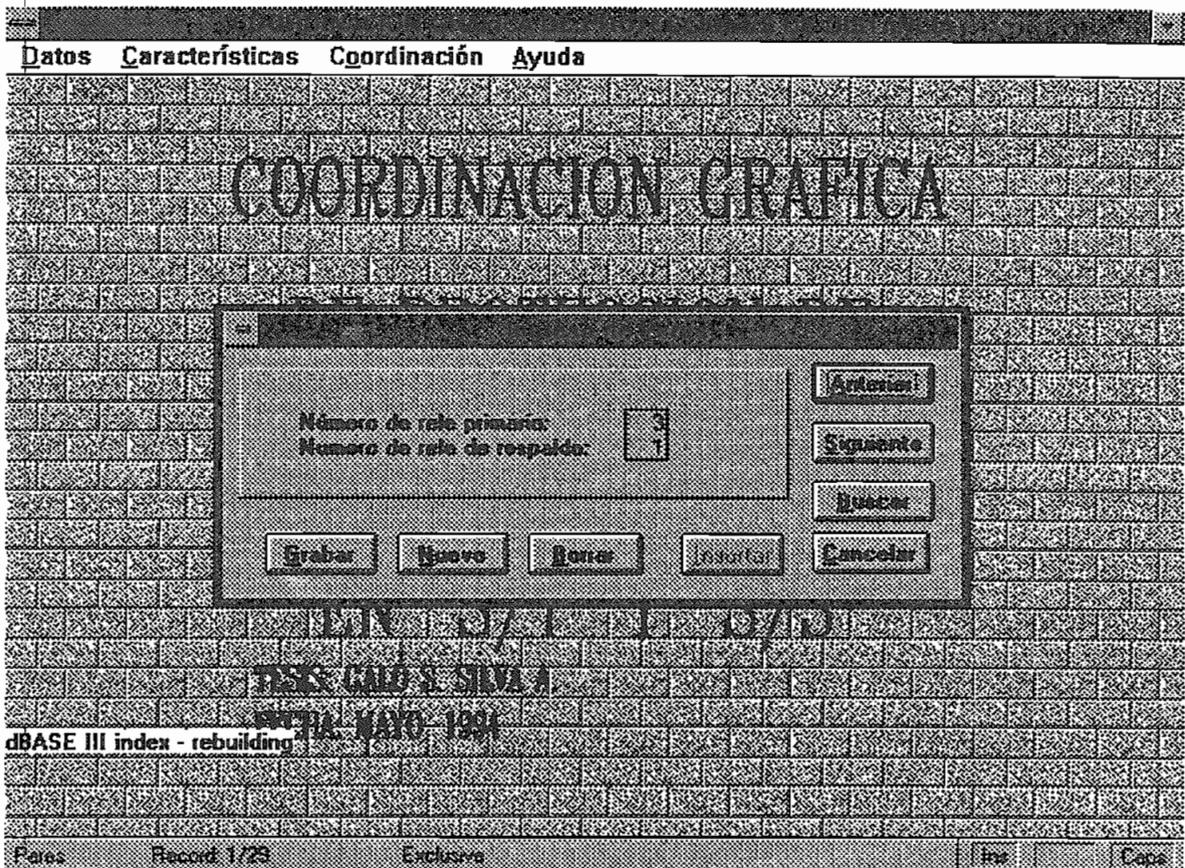
Buscar: Despliega otra pantalla donde se puede ingresar condiciones de búsqueda.

Cancelar: Permite salir de la pantalla y retornar a la anterior.

Nota: El número del relé, el programa lo genera a medida que el usuario ingresa los datos del relé. Este número es muy importante porque es el que el usuario debe ingresar en los pares de relés.

Pares

Permite ingresar o editar los datos de pares de relés del sistema. Presionar Enter después de cada ingreso para ir al siguiente campo.



Se debe ingresar:

- 1 Número de relé primario, que corresponde al número del relé primario.
- 2 Número de relé de respaldo, que corresponde al número del relé de respaldo del relé primario.

Luego de haber ingresado los pares, esta pantalla tiene las siguientes opciones por los que se puede escoger:

- Grabar:** Llama a otra pantalla la cual permite seleccionar si se graba o no. Antes de grabar realiza una validación que verifica la existencia de los dos relés y comprueba que el relé si es respaldo del relé primario.
- Nuevo:** Permite ingresar un nuevo par de relés.
- Borrar:** Borra todos los datos correspondientes a un relé.

Insertar: Permite insertar un nuevo relé en la base de datos; no se puede insertar un elemento ya existente. La inserción se reflejará en el número del relé.

Anterior: Permite desplazar al par de relés anteriores.

Siguiente: Permite desplazar al siguiente par de relés.

Buscar: Despliega otra pantalla donde se puede ingresar condiciones de búsqueda.

Cancelar: Permite salir de la pantalla y retornar a la anterior.

Corrientes de Cortocircuito

Permite ingresar o editar los datos de corrientes de cortocircuito del sistema. Presionar Enter o Tab después de cada ingreso para ir al siguiente campo.

Se debe ingresar:

1 Número de barra fallada, que puede ser de 1 a 200 y que corresponde al número de la barra donde se produce la falla trifásica. Este número el programa lo genera en el ingreso de barras.

2 Tipo de elemento, que puede ser 1, 2 o 3. Donde el número "1" representa a las líneas, el "2" a los transformadores y el "3" a los generadores.

3 Número de elemento, que puede ser de 1 a 150 y que corresponde al número de línea, número de transformador y número de generador que el programa lo genera.

4 Intensidad de corriente, que corresponde a la intensidad de corriente de falla trifásica en ese elemento (línea, transformador o generador) en [pu].

Datos Características Coordinación Ayuda

COORDINACION GRAFICA

Número de barra:	<input type="text" value="1"/>	<input type="button" value="Anterior"/>
Tipo de elemento:	<input type="text" value="Línea"/>	<input type="button" value="Siguiente"/>
Número del elemento:	<input type="text" value="1"/>	<input type="button" value="Borrar"/>
Intensidad de corriente(pu):	<input type="text" value="0.39726"/>	
<input type="button" value="Grabar"/>		<input type="button" value="Nuevo"/>
<input type="button" value="Borrar"/>		<input type="button" value="Insertar"/>
<input type="button" value="Cancelar"/>		

TEST: CALD S. SILVA A.

FECHA: MAYO 1994

dBASE III index - rebuilding
dBASE III index - rebuilding

Cor Record: 1/336 Exclusiva Itva Caps

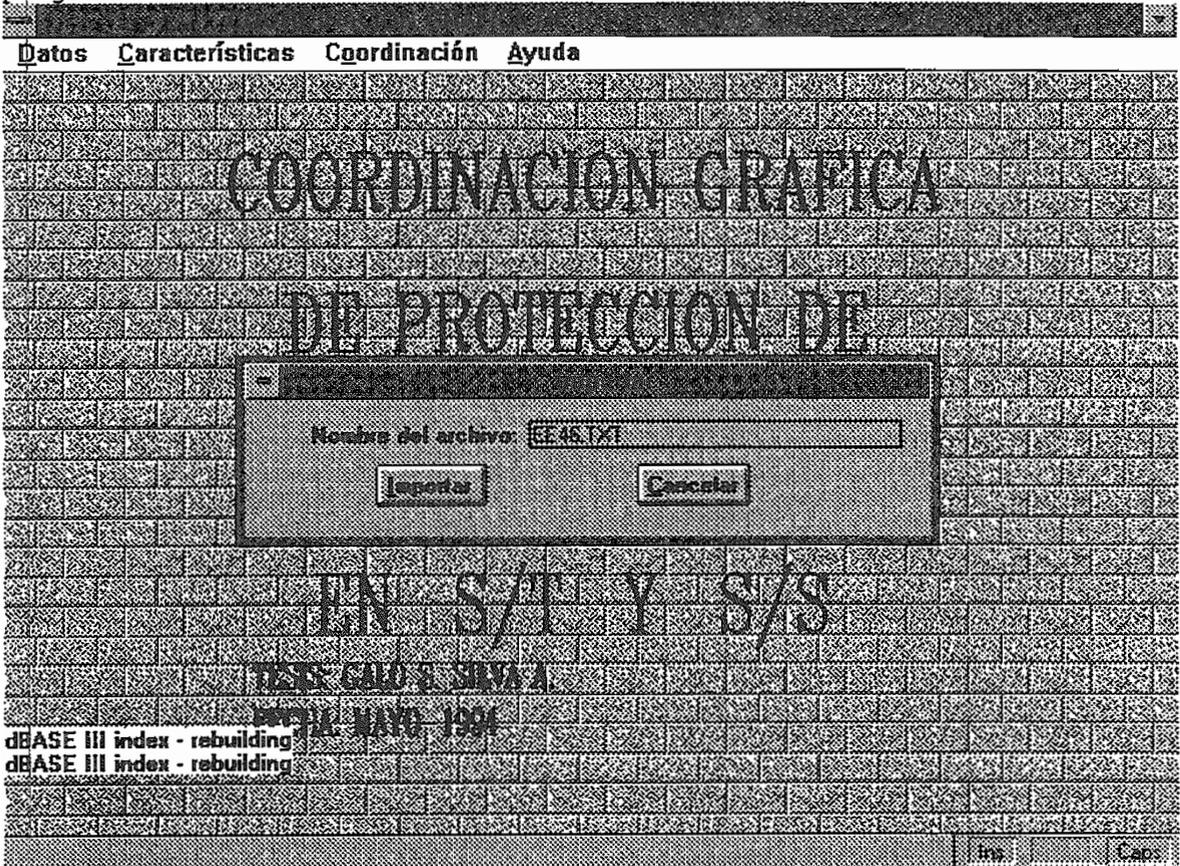
Durante cada ingreso se realiza la validación respectiva, y no le permite salir del campo mientras no ingrese el valor que se encuentra dentro del rango. Luego de haber ingresado los datos, esta pantalla tiene las siguientes opciones por las que se puede optar:

- Grabar:** Llama a otra pantalla la cual permite seleccionar si se graba o no.
- Nuevo:** Permite ingresar un nuevo dato de corriente de cortocircuito.
- Borrar:** Borra todos los datos correspondientes a las corrientes de c.c. de un elemento.
- Insertar:** Permite insertar un nuevo dato de corriente de c.c. en la base de datos. Debe existir correspondencia con la base de datos de barras, transformadores y generadores.
- Anterior:** Permite desplazar al anterior registro de corrientes de c.c.

Siguiente: Permite desplazar al siguiente registro de corrientes de c.c.

Importar

Permite importar las corrientes de cortocircuito trifásicas de un archivo ASCII hacia la base de datos de corrientes (COR001.DBF). Por lo tanto las corrientes de cortocircuito se pueden ingresar y editar una a una, mediante la opción corrientes, o coger todos los datos de un archivo ASCII, respetando los formatos de importación requeridos por este programa.



Se debe ingresar:

- 1 Nombre del archivo, que corresponde al archivo de texto que contiene los resultados de corrientes de cortocircuito trifásicas en [pu].

Luego de haber ingresado los datos, se tiene las siguientes opciones por las que se puede escoger:

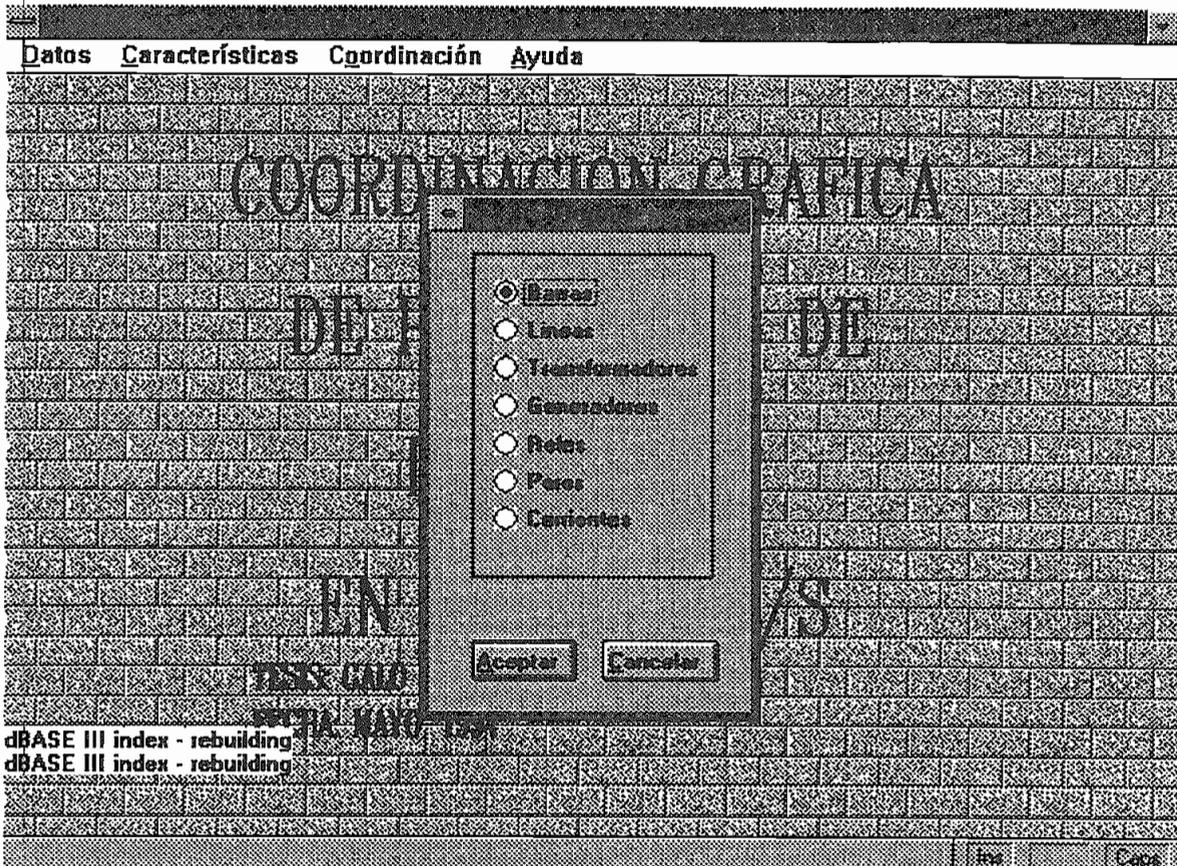
Importar: Importa el archivo texto o ASCII a la base de datos.

Cancelar: Permite salir de la pantalla y retornar a la anterior.

Nota: Para el archivo ASCII el tipo de elemento puede ser 1, 2 o 3. Donde el número "1" representa a las líneas, el "2" a los transformadores y el "3" a los generadores. Este archivo consta de 4 columnas, la primera columna corresponde al número de barra fallada, la segunda es el tipo de elemento, la tercera columna corresponde al número del elemento y en la cuarta columna se tiene la corriente de cortocircuito trifásica en [pu]. Luego de obtener los resultados del programa de cortocircuitos en un archivo ASCII, se puede subir o importar este archivo a la base de datos respetando el siguiente formato: en cada fila debe existir los cuatro valores numéricos explicados anteriormente y separados por un solo espacio en blanco.

Imprimir

Esta opción permite obtener reportes tanto a pantalla como a impresora de los datos del sistema o directorio de trabajo. Realiza la impresión de los datos de barras, líneas, transformadores, generadores, relés, pares y corrientes. Al seleccionar Imprimir se presenta una pantalla que permite escoger los datos a imprimir.



Luego de seleccionar los datos a imprimir, se puede escoger:

Aceptar: Permite imprimir a pantalla o a impresora.

Cancelar: Permite salir de la pantalla y retornar a la anterior.

Salir

Sale del programa de coordinación de distancia.

Características

Presenta los gráficos de las características para todos los tipos de relés utilizados en el programa. Las impedancias en ohmios del secundario y los tiempos de retardo son valores típicos que se han utilizado como ejemplo, para obtener el gráfico de las diferentes características.

Se tiene las siguientes opciones:

R. de Impedancia: Grafica la característica del relé de impedancia.

R. de Reactancia: Grafica la característica del relé de reactancia.

R. Mho RNormal: Grafica la característica del relé mho normal.

R. Offset Mho: Grafica la característica del relé Offset mho.

R. Quadramho: Grafica la característica del relé Cuadramho.

En cada una de estas pantallas gráficas, se tiene dos botones:

Imprimir: Envía el gráfico a la impresora.

Salir: Sale de la pantalla gráfica a la pantalla anterior.

Coordinación

Las opciones de este submenú permiten realizar la coordinación y ajustes de los relés de distancia, para un sistema eléctrico de ingresado. Posee las siguientes opciones:

Coordinar

Ajustes

Gráficos

Reportes

Coordinar

Ejecuta el programa de coordinación; como resultado se obtiene las impedancias para las tres zonas en ohmios del secundario, y los tiempos de retardo para la zona dos y zona tres en segundos.

Ajustes

Ejecuta el programa de ajustes ; como resultado se obtiene los parámetros para el ajuste de los diferentes relés.

Gráficos

Permite graficar la característica de cada uno de los relés de distancia en la pantalla o en la impresora.

Los botones que se pueden elegir son:

Anterior: Regresa al relé anterior

Siguiente: Adelanta al siguiente relé.

Buscar: Despliega otra pantalla donde se puede ingresar condiciones de búsqueda.

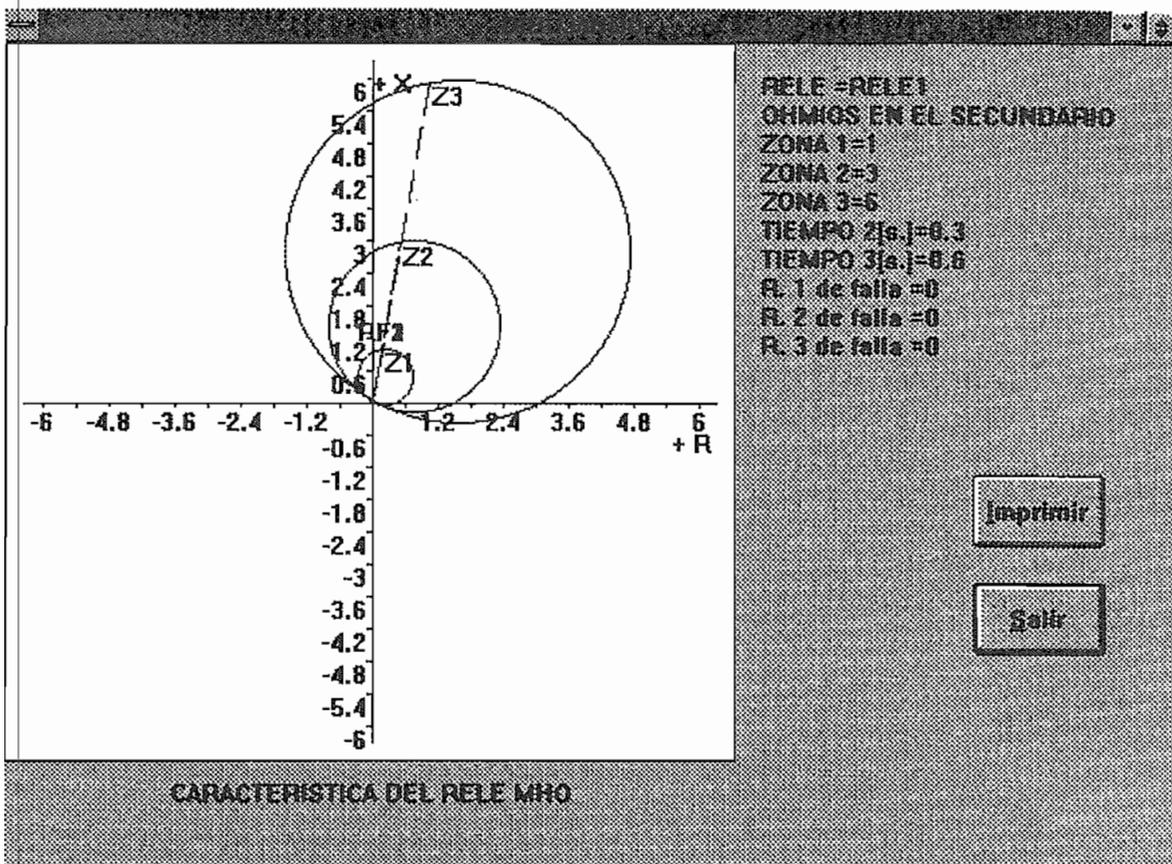
Gráfico: Presenta el gráfico de la característica del relé en pantalla o en la impresora.

Cancelar: Permite salir de la pantalla y retornar a la anterior.

Datos Características Coordinación Ayuda

Número de relé:	<input type="text" value="1"/>	Transformadores de corriente:	
Código del relé:	<input type="text" value="61"/>	Baja Tensión(A):	<input type="text" value="5.00"/>
Número de barra:	<input type="text" value="15"/>	Alta Tensión(A):	<input type="text" value="400.00"/>
Número de línea:	<input type="text" value="1"/>	Transformadores de voltaje:	
Tipo de relé:	<input type="text" value="Impedancia"/>	Baja Tensión(V):	<input type="text" value="115.00"/>
Marca de relé:	<input type="text" value="Haza"/>	Alta Tensión(KV):	<input type="text" value="45.00"/>
Angulo de Máximo torque:	<input type="text" value="65.00"/>		
Resistencias de falla			
R. de falla 1 (Ohmios secundarios):	<input type="text" value="1.00"/>	<input type="button" value="Anterior"/>	
R. de falla 2 (Ohmios secundarios):	<input type="text" value="2.00"/>	<input type="button" value="Siguiente"/>	
R. de falla 3 (Ohmios secundarios):	<input type="text" value="4.00"/>	<input type="button" value="Buscar"/>	
<input type="button" value="Entrar"/> <input type="button" value="Dato"/> <input type="button" value="Cancelar"/>			

Relé: Recard 1/18 Exchava Ina



Reporte

Genera un reporte en pantalla o en la impresora de los resultados de coordinación y ajustes de todos los relés existentes.

El reporte de coordinación de un sistema eléctrico contiene la siguiente información:

- Nombre del Sistema o Empresa.
- Número de Relé.
- Código del Relé.
- Zona 1 en ohmios secundarios. (Valor que ingresa en los ajustes)
- Zona 2 en ohmios secundarios. (Valor que ingresa en los ajustes)
- Zona 3 en ohmios secundarios. (Valor que ingresa en los ajustes)
- Tiempo de retardo de la Zona 2 en segundos.
- Tiempo de retardo de la Zona 3 en segundos.

COORDINACIÓN GRAFICA DE PROTECCIONES DE DISTANCIA

REPORTE DE COORDINACION

Nombre del sistema: **REQ**

Numero relé	Código	Z1zrel (Ohmios)	Z2zrel (Ohmios)	Z3zrel (Ohmios)	T2 (S)
1	R1	0.436	3.424	3.424	0
2	R2	0.654	1.530	2.057	0
3	R3	1.530	2.298	6.227	0
4	R4	1.530	6.227	6.227	0
5	R5	0.419	0.724	1.796	0
6	R6	0.419	3.072	4.844	0
7	R7	0.825	1.422	5.351	0
8	R8	0.127	2.374	3.212	0
9	R9	0.127	1.124	1.428	0
10	R10	1.035	1.822	5.021	0
11	R11	1.035	1.555	3.155	0
12	R12	0.825	1.397	2.298	0
13	R13	0.628	1.689	2.838	0
14	R14	0.628	1.047	2.647	0
15	R15	0.171	2.907	8.373	0
16	R16	0.171	0.254	0.425	0

Page 1

Zoom In

Zoom Out

Page 1 Record EOP/10 Exclusive

El reporte de ajustes de un sistema eléctrico contiene la siguiente información:

Para los relés marca RAZOA:

- a: Ajuste del factor de corriente reactivo.
- b: Ajuste del factor de corriente resistivo.
- p1: Ajuste del factor de voltaje para la primera zona.
- p2: Ajuste del factor de voltaje para la segunda zona.
- p3: Ajuste del factor de voltaje para la tercera zona.
- E(x1): Porcentaje de error en el ajuste de la Reactancia de Z1.
- E(x2): Porcentaje de error en el ajuste de la Reactancia de Z2.
- E(x3): Porcentaje de error en el ajuste de la Reactancia de Z3.
- E(r1): Porcentaje de error en el ajuste de la Resistencia de Z1.

- Y: Factor de compensación homopolar.
- N2: Ajuste de escalonamiento de tiempo para T2 de Z2.
- N3: Ajuste de escalonamiento de tiempo para T3 de Z3.

Para los relés marca KD10/KD11:

- S: Taps del bobinado principal del auto-transformador.
- T: Compensador para el transformador con doble bobinado con entrehierro.
- M: Taps para el bobinado terciario que puede ser aditivo o sustractivo.
- L-R: Pueden ser positivo o negativo y dan el signo a M

Para los relés marca PYTS101:

- KD: Switch en el circuito de restricción de voltaje.
- KZ: Ajuste de impedancia.
- K1: Ajuste del potenciómetro de la Zona 1 del circuito de restricción de voltaje.
- K2: Ajuste del potenciómetro de la Zona 2 del circuito de restricción de voltaje.
- K3: Ajuste del potenciómetro de la Zona 3 del circuito de restricción de voltaje.
- KZN: Ajuste para medición de impedancia a tierra.
- K1N: Ajuste para medición de impedancia a tierra.

Para los Relés marca Quadramho:

- k1, k2, k11, k12, k13, k14: Factores de ajuste de la primera zona.
- k21, k22: Factores de ajuste de la segunda zona.
- k31, k32, k33, k34, k35, k36, k37: Factores de ajuste de la tercera zona.
- k4, k5, k6: Factores para el ajuste de la compensación de falla a tierra.

Anexo B: Esquema del Programa y Subrutinas.

El programa fue elaborado en lenguaje C, pero los manejadores de bases de datos y de pantallas se realizaron en Foxpro For Windows 2.5.

Este paquete básicamente está compuesto por los siguientes programas:

- CREBDD01.EXE.- Este programa está hecho en lenguaje C y utiliza funciones de Code-Base 4.2, y es el que se encarga de crear los archivos bases de datos de barras (BAR001.DBF), líneas (LIN001.DBF), transformadores (TRFO01DBF), generadores (GEN001.DBF) y corrientes de cortocircuito (COR001.DBF) y si ya existen estos archivos, simplemente les utiliza sin modificar los datos que contienen. Adicionalmente este programa se encarga de crear los índices que se van a utilizar para cada uno de estos archivos:

- CORDIN01.EXE.- Este programa está hecho en lenguaje C y utiliza funciones de Code-Base 4.2, y es el que se encarga de realizar la coordinación del sistema de potencia. Los resultados de la coordinación se guardan en la base de datos RELO01.DBF.

- AJUSTE01.EXE.- Este programa está hecho en lenguaje C y utiliza funciones de Code-Base 4.2, y es el que se encarga de obtener los parámetros de ajuste para cada marca de relé, (Razoa, KD10-KD11, Pits). Los resultados del programa de ajustes se guardan en el archivo AJUSTE01.TXT.

- DIBUJA.EXE.- Este programa dibuja las características de los relés de distancia, utilizando los resultados de coordinación. En el listado de este programa se tienen 5 funciones las cuales realizan los gráficos para las 5 características de los relés de distancia.

Adicionalmente el programa tiene 2 archivos de cabecera los cuales son:

- STRUC01.H.- Archivo de cabecera que contiene las variables del programa, las definiciones de los campos para cada una de las bases de datos y se definen la longitud del campo y de las variables.

- D4BASE.H.- Archivo de cabecera que contiene todas las funciones de CODEBASE 4.2 utilizadas en el programa, estas funciones permiten manejar las bases de datos y por ende la información que se ha ingresado dentro del programa.

Para obtener los programas ejecutables se realizaron proyectos, es decir los archivos CREBDD01.PRJ, CORDINO1.PRJ, AJUSTE01.PRJ, los cuales están formados por la librería T4.LIB y el programa fuente en C que tiene el mismo nombre. La librería T4.LIB está elaborada para Turbo C y contiene las librerías de CODEBASE 2.5.

El manejo de pantallas, ingreso de datos, validaciones y asignación de resultados se manejan en Foxpro for Windows 2.5.

Los archivos *.DBF son los que guardan todos los datos del S.E.P. y los resultados de la coordinación, mientras que los archivos *.NDX y *.IDX son los índices para las bases de datos.

Anexo C: Varios (Otros).

C.1.- Causas por las que el programa no podría obtener resultados de coordinación y ajustes.

Luego de haber ingresado todos los datos de un sistema eléctrico de potencia, se procede a coordinar el S.E.P.. Si luego de correr el programa de coordinación de distancia, no se obtienen los resultados correspondientes a las impedancias de la Zona 1, 2 ó 3, se debe revisar todos los datos que se han ingresado, en especial los datos de corrientes.

Un motivo de falla del programa, es que el usuario realice 2 veces la importación del archivo ASCII que almacena las corrientes de cortocircuito, por lo tanto, se debe revisar los datos de corrientes de falla en el caso en que no se haya obtenido las impedancias de las 3 zonas luego de la coordinación. El principal motivo de falla puede estar en el archivo de cortocircuitos por la gran cantidad de datos que el usuario maneja, pero si se tiene cuidado de preparar un archivo ASCII con los formatos anteriormente explicados, para luego realizar la importación a la base de datos, se podrá dar cuenta que la utilización del programa es muy simple y se obtienen resultados muy exactos.

Si luego de correr el programa de Ajustes no existen reportes, se debe proceder a revisar los datos de entrada, de igual forma como se hace para el caso en que no se obtiene reportes de coordinación, antes explicado.

C.2.- Comprobación y análisis de los resultados del programa de Coordinación de Distancia.

Para comprobar los resultados del programa de coordinación de distancia se utiliza los resultados del Ejemplo 2 del Capítulo IV del presente trabajo, para compararles con los resultados obtenidos en la Ref (21), Pág. 20 por la Empresa Eléctrica Quito que pertenece al Sistema Eléctrico de Potencia de 46 kv de la E.E.Q..

Los resultados del Cuadro No. 1 pertenecen al S.E.P equivalente de la E.E.Q. de 46 kv de la Ref (21) y su diagrama unifilar se presenta en la Pág 3 de dicha Ref, tiene 14 relés de distancia, mientras que el S.E.P. equivalente de la E.E.Q. de 46 kv del Capítulo IV tiene 24 relés de distancia, puesto que en este ejemplo se considera que existen relés de distancia en las líneas radiales.

RESULTADOS

Se presenta a continuación los resultados del programa de la E.E.Q.:

CUADRO No. 1

Resultados de la Coordinación del Ejemplo de la Ref [21], Pág 20

Descripción	Zona 1 [$\Omega_{pri.}$]	Zona 2 [$\Omega_{pri.}$]	Zona 3 [$\Omega_{pri.}$]	T2 [s.]	T3 [s.]
R1	1.3	7.46	11.89	0.30	0.60
R2	1.3	3.28	6.03	0.30	0.60
R3	3.04	4.57	4.57	0.60	0.90
R4	3.05	10.32	16.64	0.30	0.60
R5	0.86	1.35	5.46	0.30	0.60
R6	0.86	3.82	12.38	0.30	0.60
R7	1.63	3.64	5.48	0.30	0.60
R8	0.86	3.82	12.38	0.30	0.60
R9	0.86	2.34	9.33	0.30	0.60
R10	2.06	1.07	6.19	0.30	0.60
R11	2.06	3.09	5.36	0.60	0.90
R12	1.63	2.63	9.33	0.30	0.60
R13	1.25	4.10	16.64	0.30	0.60
R14	1.25	2.56	3.74	0.30	0.60

Para comparar los resultados de coordinación de la Referencia [21] con los resultados del programa de tesis, se debe obtener todas las impedancias en ohmios del secundario del transformador utilizando las relaciones de transformación de los T.C. y T.P., utilizando un factor de transformación:

$$T.C./T.P. = 0.3$$

Donde:

$$T.C. = 600/5$$

$$T.P. = (46000/\sqrt{3})/(115/\sqrt{3})$$

Los resultados del Cuadro No. 2 se utilizará para realizar la comprobación de los resultados del programa de coordinación de relés de distancia.

CUADRO No. 2

Resultados de la Coordinación del Ejemplo de la Ref [21], Pág 20

Descripción	Zona 1 [Ω sec.]	Zona 2 [Ω sec.]	Zona 3 [Ω sec.]	T2 [s.]	T3 [s.]
R1	0.39	2.23	3.56	0.30	0.60
R2	0.39	0.98	1.80	0.30	0.60
R3	0.91	1.37	1.37	0.60	0.90
R4	0.91	3.09	4.99	0.30	0.60
R5	0.25	0.40	1.63	0.30	0.60
R6	0.25	1.14	3.71	0.30	0.60
R7	0.48	1.09	1.64	0.30	0.60
R8	0.25	1.14	3.71	0.30	0.60
R9	0.25	0.70	2.79	0.30	0.60
R10	0.61	1.22	1.85	0.30	0.60
R11	0.61	0.92	1.60	0.60	0.90
R12	0.48	0.78	2.79	0.30	0.60
R13	0.37	1.23	4.99	0.30	0.60
R14	0.37	0.76	1.12	0.30	0.60

En el Cuadro No. 3 se presentan 14 relés del Ejemplo 2 del Capítulo IV que están asociados a la misma barra y línea del Ejemplo de la Referencia [21], para comparar las impedancia de las 3 zonas de protección en ohmios en el secundario de los transformadores de Corriente y Potencial.

Mediante esta comparación se puede verificar la validéz del programa de coordinación de distancia y por ende del programa de ajustes que se hace dependiendo de la marca del relé y del programa de gráficos dependiendo del tipo de relé de distancia.

Los mismos resultados del programa de tesis para los primeros 14 relés de distancia del Ejemplo 2 que se presentan en el Capítulo IV se muestran a continuación:

CUADRO No. 3

Resultados de la Coordinación del Ejemplo del Capítulo IV

Número	Descripción	Zona 1 [Ω sec.]	Zona 2 [Ω sec.]	Zona 3 [Ω sec.]	T2 [s.]	T3 [s.]
1	R1	0.654	2.755	3.948	0.30	0.60
2	R2	0.654	1.466	2.336	0.30	0.60
3	R3	1.530	2.438	6.227	0.30	0.90

4	R4	1.530	3.079	4.767	0.30	0.60
5	R5	0.419	0.667	1.796	0.30	0.60
6	R6	0.419	3.752	4.844	0.30	0.60
7	R7	0.825	1.460	5.231	0.30	0.90
8	R8	0.127	2.406	3.212	0.30	0.60
9	R9	0.127	0.876	1.428	0.30	0.60
10	R10	1.035	1.879	4.951	0.30	0.90
11	R11	1.035	1.555	2.520	0.60	0.60
12	R12	0.825	1.244	2.298	0.30	0.60
13	R13	0.628	2.038	2.838	0.30	0.60
14	R14	0.628	1.022	2.571	0.30	0.90

**Causas para la diferencia en los resultados
entre los Cuadros No. 2 y No. 3**

Al comparar los resultados de la Zona 1 en los cuadros No. 2 y No. 3 son totalmente diferentes, esto se debe a que los resultados presentados por la E.E.Q. en la Ref [21] se encuentran mal calculados, por la siguiente razón:

Los resultados de la impedancia de la Zona 1 en el Cuadro No. 2 difieren del Cuadro No. 3, por una constante que es una raíz cuadrada de tres, y esto se debe a que en el programa de la Empresa Eléctrica se ha implementado impedancia base dividida para la constante $\sqrt{3}$.

La Impedancia Base correcta se obtiene mediante la fórmula:

$$Z_{base} = (KV_{base} \text{ fase-fase})^2 / MVA_{base} \text{ trifásica}$$

Para demostrar esta afirmación se va a proceder a obtener la impedancia de la Zona 1 mediante un cálculo manual correcto, el cual fue implementado en este programa de tesis:

Cálculo manual de la Zona 1 del relé R1

R1 está asociado a la línea 1 y barra 15 por lo tanto:

Impedancia de la línea es: $ZL1 = 0.129191 \text{ p.u.}$

La impedancia base es: $ZB = 462/100 = 21.16 \Omega$

La relación de transformación es la siguiente:

$$R.T. = T.C. / T.P. = (600/5) / (46000/115) = 0.3$$

Factor de Alcance de la zona 1: 0.8

Cálculo de $Z1R1$:

$$ZL1 = 0.129191 * ZB = 2.7336 \Omega_{prim.}$$

$$ZL1 = 2.7336 * R.T. = 0.820 \Omega_{sec.}$$

$$Z1R1 = 0.8 * 0.820 = 0.656 \Omega_{sec.}$$

Donde:

Z_{1R1} : Zona 1 del relé R1 en ohmios secundarios.

En el Cuadro No. 2 al multiplicar la impedancia de la Zona 1 del relé R1 por la constante $\sqrt{3}$ se obtiene la misma impedancia de la Zona 1 del Cuadro No. 3, para el mismo relé.

Conclusión: La Zona 1 en el Cuadro No. 3 que corresponde al Ejemplo 2 del Capítulo IV se encuentra bien calculado, y por tanto, se ha verificado la exactitud del programa.

- En el ejemplo de la Ref [21] se trabaja apenas con 2 decimales lo que le hace un programa menos exacto, mientras que este programa trabaja con 5 decimales, los cuales proporcionan mayor exactitud en el cálculo de las 3 Zonas de protección de distancia.

- En el ejemplo de la Ref [21], el autor no presenta los datos del estudio de fallas (corrientes de cortocircuito), por lo tanto, no se sabe como se ha modelado este sistema, por ende no se puede conocer la exactitud de los resultados del cálculo de la Zona 2 y Zona 3.

- Como se ha explicado en el capítulo II, para el cálculo de la Zona 2 se utiliza como datos la impedancia de la Zona 1 y las corrientes de falla, a esto se debe que exista diferencia en las impedancia de la Zona 2 en el Cuadro No. 2 y No. 3.

- Para el cálculo de la Zona 3 se utiliza como datos la impedancia de la Zona 2 y las corrientes de falla, a esto se debe que exista diferencia en las impedancia de la Zona 3 en el Cuadro No. 2 y No. 3.