

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA

"ANALISIS DE OPERACION DE RELES MAS COMUNES
UTILIZANDO EL BANCO DE PRUEBA ROBINSON 855
DEL LABORATORIO DE SISTEMAS DE POTENCIA"

TESIS DE GRADO PARA LA OBTENCION DEL
TITULO DE
INGENIERO EN ELECTRICIDAD
ESPECIALIDAD POTENCIA

GUAYAQUIL, ENERO 18/1980

VICTOR MANUEL ROJAS GURUMENDI
A U T O R

"ANALISIS DE OPERACION DE RELES MAS COMUNES
UTILIZANDO EL BANCO DE PRUEBA ROBINSON 855
DEL LABORATORIO DE SISTEMAS DE POTENCIA"

DIRECTOR DE TESIS

A U T O R

ING. JUAN SAAVEDRA MERA



VICTOR MANUEL ROJAS GURUMENDI

PROLOGO

Esta tesis tiene como objetivo el de presentar una serie de análisis experimentales llevados a efecto en los relevadores de protección, para lo cual se utilizó un simulador de sistemas de potencia dinámico con dispositivos complementarios tales que facilitaron el análisis de un relevador de protección incorporado a dicho sistema. Este aparato es conocido como "banco de prueba Robinson".

Se emplearon en estos análisis los tipos de relevadores de protección más comunes y fué necesario complementar el banco de prueba con equipos adicionales como contador de tiempo, medidor de fase, osciloscopio, entre otros.

Los análisis comprenden pruebas estáticas y dinámicas de los relevadores, así como un caso típico de aplicación - para cada uno de ellos.

En primera instancia, como es lógico suponer, se realizó un análisis de las características del banco, poniendo especial énfasis y constituyendo como primer capítulo el estudio de los transformadores de corriente. Se realizaron análisis de los estados transientes y estables, saturados o no, y análisis de errores. Luego se tomó el primer tipo

de relé para su estudio y fue ésta la unidad básica de so
brecorriente la que constituyó el capítulo II.

Al concluir los capítulos de relevadores de sobrecorrien-
te se realizó un análisis experimental de la coordinación
con dichos relevadores. Esto constituyó el capítulo IV.

Se continuó el análisis con reelevadores de otro tipo ta-
les como el de potencia, diferencial, voltaje y distancia,
culminando así mismo con un análisis de coordinación bási
camente con aquel último que representa el capítulo X.

En la realización de los análisis se hicieron aproximacio
nes que no afectarían sensiblemente a la precisión del es
tudio en cuestión, tales como la proporción resistiva de
las indicadas reactancias puras del simulador, el error -
de relación de los transformadores de corriente, el ángu-
lo exacto de cero descentramiento seleccionado por la uni
dad punto de onda (POW), reflexión de las impedancias de
las bobinas de corriente y potencial al primario del simu
lador, entre otros.

Considérese que ésta serie de análisis experimentales lle-
vados a efecto en sí constituyen un punto de partida para
análisis más profundizados del comportamiento caracterís-
tico de los relevadores en la protección de un sistema de

potencia. Así, por ejemplo, pueden citarse tópicos como el análisis del fenómeno de la ferresonancia en los transformadores de corriente; el análisis del error en el alcance de los relés de distancia para un rango determinado de impedancia de fuente con respecto a la sensibilidad del relé; análisis de la salida de los filtros de secuencia en comportamiento transiente; entre otros.

Una última consideración como punto de introducción para la presentación de esta tesis es la de aconsejar al practicante que respete las tolerancias térmicas del banco de prueba y de los relevadores impuestas por las magnitudes de las corrientes, y sus tiempos de duración. En caso contrario pueden ocasionarse lamentables daños al equipo.

INDICE GENERAL

	Pág.
I. INTRODUCCION	1
A. Familiarización con el banco de prueba Robinson 855	1
1. Generalidades	1
2. Estructuración del banco Robinson	4
3. Operación	9
4. Análisis de errores	11
B. Prueba en los TC del banco Robinson.	14
1. Interruptor de punto de onda	14
a) Introducción	14
b) Teoría	14
c) Procedimiento	17
d) Resultados	18
e) Conclusiones y observaciones.	25
2. Prueba de circuito abierto en el TC	26
a) Introducción	26
b) Teoría	26
c) Procedimiento	28
d) Resultados	30
e) Conclusiones y observaciones.	31
3. Prueba de cortocircuito y de relación de transformación de los TC	34
a) Introducción	34
b) Consideraciones teóricas	35
c) Procedimiento	37
d) Resultados	37
4. Análisis del error en los TC por efecto de la carga	41

a) Introducción	41
b) Teoría	41
c) Procedimiento	43
d) Conclusiones y observaciones	46
5. Efecto de la carga de los TC en la forma de onda secundaria.	46
a) Introducción	46
b) Teoría	47
c) Procedimiento	51
d) Resultados	52
e) Conclusiones y observaciones	53
6. Efecto del transiente primario en el flujo del TC	56
a) Introducción	56
b) Teoría	56
c) Procedimiento	59
d) Resultados	60
7. Efecto de la saturación del flujo en la corriente	63
a) Introducción	63
b) Teoría	63
c) Procedimiento	64
d) Resultados	65
II. PROTECCION CON RELES DE SOBRECORRIENTE	67
A. Introducción	67
B. Teoría de las características	67
C. Análisis experimental de las características operacionales de los relés de sobrecorriente.	74
1. Determinación de la curva operacional del relé IDTM tipo TJM10 trifásico de la casa Reyrolle	74
2. Determinación de las características operacionales del relé de sobrecorriente inverso tipo IAC de la casa G.E.	77

3. Determinación experimental del sobrealcance de la unidad instantánea del relé tipo IAC	79
4. Determinación experimental de la sobrecarrera del relé TJM10	80
III. PROTECCION CON RELES DIRECCIONALES DE SOBRECORRIENTE	84
A. Introducción	84
B. Teoría de las características	84
C. Análisis experimental de las características operacionales del relé direccional de sobrecorriente.	87
1. Determinación de los valores de corriente mínima de puesta en trabajo en función de la fase a voltaje polarizante constante.	87
2. Análisis de la característica - producto constante	90
3. Análisis del tiempo de operación de la unidad direccional para diferentes valores de corriente	91
IV. COORDINACION CON RELES DE SOBRECORRIENTE	96
A. Introducción	96
B. Teoría de la coordinación por sobrecorriente.	97
C. Análisis experimental de un ejemplo de coordinación.	103
D. Resultados	111
E. Conclusiones y observaciones	113
V. PROTECCION CON RELES DE POTENCIA	114
A. Introducción	114

	Pág.
B. Consideraciones de las <u>características</u> del relé de potencia.	114
C. Análisis experimental de las <u>características</u> operacionales.	118
1. Determinación de la relación tiempo de operación con respecto a la potencia múltiplo del valor del pick up al ángulo de torque máximo.	118
2. Análisis de la operación del relé para desplazamientos angulares.	121
VII. PROTECCION DE GENERADORES CON RELEVADORES DIFERENCIALES.	126
A. Introducción	126
B. Consideraciones generales sobre los relevadores diferenciales para generadores.	126
C. Análisis experimental de las <u>características</u> operacionales del relevador diferencial de porcentaje para protección de generadores.	129
1. Determinación de la curva de operación.	129
2. Determinación de la curva del tiempo de operación	131
3. Comportamiento del relevador diferencial ante fallas internas de los devanados en los generadores.	132
VIII. PROTECCION DE TRANSFORMADORES CON RELES DIFERENCIALES.	136
A. Introducción	136
B. Consideraciones generales de los relevadores diferenciales para transformadores.	136

C. Análisis experimental de las características operacionales estáticas del relevador diferencial para transformadores.	142
1. Determinación de las curvas operacionales del relevador	142
2. Determinación de las características operacionales dinámicas del relé diferencial.	145
IX. PROTECCION CON RELES DE DISTANCIA	147
A. Introducción	147
B. Consideraciones teóricas	147
C. Análisis experimental de las características operacionales del relé de distancia.	153
1. Comprobación de la característica de operación del relé de impedancia.	153
2. Determinación de las curvas del rango de un relé de impedancia.	155
3. Determinación de la característica operacional del relé de distancia tipo mho Ts de la casa Reyrolle	156
4. Determinación de las curvas del rango del relé tipo mho TS a valor cero de componente cd transiente.	161
X. COORDINACION DE LA PROTECCION CON RELES DE DISTANCIA	165
A. Introducción	165
B. Consideraciones teóricas generales	165
C. Análisis experimental del relevador de distancia.	169
BIBLIOGRAFIA	

BIBLIOGRAFIA

1. MASON, R. El arte y la ciencia de la protección de los relevadores.
2. VAN WARRINGTON. Protective Relays.
3. WESTINGHOUSE. Applied Protective Realying.
4. WESTINGHOUSE. Pamfletos. Type cu voltage relay, I.L. 41-2013. Type cw Power relay, I.L. 41-241.3F. Type CA Percentage differential relay for generator proteccion, I.L. 41-331.2C. Type Co Overcurrent relay, I.L. 41-101 m. Directional Overcurrent relays types, CR, J.L. 41-131L. Type cw Power Relay, zero degree, I.L. 41-241.2c.
5. GENERAL ELECTRIC. Pamfletos: Power Relays. GEH-2056. Time Overcurrent Relays, GEH-2059.
6. REYROLLE PROTECTION. Pamfletos: Operating Recommendations type TJM10 inverse definite minimum time-lag relay Duo-bias High Speed Differential transformer protection type 4c21 Switched Distance Protection type TS.
7. ROBINSON ELECTRONIC INSTRUMENTS. Robinson Test Bench 855.
8. STEVENSON. Power System.

I. INTRODUCCION

A. Familiarización con el Banco de Prueba Robinson 8.5.5

1. Generalidades

El banco de prueba Robinson es un simulador dinámico de potencia complementado con unidades que facilitan el análisis de la operación de los relés de protección.

El banco dispone de medios para simular variados tipos de falla y a la vez intercalar en su sistema - cualquier disposición de elementos externos así como también solucionar diferentes valores de sus impedancias internas.

En este banco se pueden realizar pruebas ya sea de estado transiente como estable, así como también estáticas como dinámicas de la operación de un relé y todas a niveles bajos de potencia pero artificialmente bajo condiciones muy similares a las de operación real.

Conviene mencionar el importante factor de la limitación térmica del banco de prueba establecido por

el tiempo admisible de duración de la simulación de una falla con un determinado valor de corriente primaria. Para ello se da en la Fig. 1.2 la curva característica de capacidad térmica del banco Robinson. La corriente de régimen primario es de 10 amperios y admite una corriente de 100 amperios en un intervalo de 0.1 segundo. En caso de no respetarse los límites establecidos de tolerancia térmica se puede ocasionar severos daños al equipo. Su configuración esquemática se indica en la Fig. 1.1.

Para cumplir su finalidad, el banco Robinson dispone de una unidad adicional que permite seleccionar el ángulo de ocurrencia de falla en la onda (point-on-wave unit) así como duración de la misma y una señal de disparo para aplicarla generalmente a un osciloscopio a emplear. Además dispone de una unidad desfasadora (phase-shifter unit).

En el análisis de la operación del sistema es conveniente considerar las inexactitudes propias del simulador, para lo cual se describen las consideraciones de errores para cada magnitud operacional. Conviene citar ciertos orígenes de errores en la operación del simulador. Uno de estos reside en

el hecho de que debido a las magnitudes en juego - la impedancia reflejada del secundario de los transformadores de corriente al primario llega a afectar sensiblemente a la corriente primaria perdiéndose de esta manera la característica de ser una fuente de corriente constante. Este problema se presenta con mayor severidad en casos de elevados VA de falla conseguidos con la reducción de la impedancia - primaria del simulador o aparentemente para el relevador disminuyendo el número de vueltas del primario de los TC. Una situación similar se presenta con los transformadores de potencial TP. En estos la situación es a la inversa, es decir, la reflexión de la impedancia primaria al secundario por la relación cuadrática de las vueltas del primario con el secundario. El efecto es despreciable generalmente pero se podría llegar a situaciones en que se utilice voltajes inferiores por medio de variacs o autotransformadores de los cuales la impedancia serie puede llegar a ser de valor considerable en relación a la impedancia del primario reflejada.

Como una de las principales aplicaciones del banco de prueba se puede citar la orientada a los relevadores de distancia. Es conveniente que se conozcan un

poco más en detalle el ajuste y operación de ellos en dicho banco. Conveniente es desde ya pensar en la versatilidad del ajuste del relé conociendo que se puede conseguirlo sin necesidad de variar en sí la impedancia primaria de línea sino las relaciones de sus transformadores de medición.

2. Estructuración del Banco Robinson

Está constituido de las siguientes partes:

- a) La fuente, conformada por un set de resistencias, reactivancias y transformadores de corriente.
- b) La línea, conformada así mismo por un set de reactivancias complementada con pequeños valores adicionales de resistencias para variar el ángulo de fase, por transformadores de corriente y por los selectores de falla.
- c) Los bornes de los secundarios de los TC y TP, tanto de línea como de fuente, contactos auxiliares del contactor principal de la unidad PCW, selector de posición del TP y medidores de voltaje y corriente.
- d) Una unidad de ajuste de la falla en un punto de-

terminado de la onda (point-on-wave, POW), con funciones adicionales como duración de la falla y la generación de un pulso de disparo (trigger).

e) Una unidad desfasadora.

Es conveniente para una clarificación de la descripción del banco de prueba presentar un esquema de la disposición de los elementos que conforman el simulador (fig. 1.2).

Como se puede observar existen tres interruptores en el simulador. El primero lo constituye el interruptor principal accionado manualmente utilizando una manija. El segundo es un contactor principal que se cierra al pulsar el botón de arranque de falla en la unidad de punto de onda y se abre al término del tiempo ajustado de duración de falla. El tercero es un relé tipo telefónico que se cierra - 50 medios ciclos después del contactor principal y es el que en realidad inicia la falla.

A continuación se presenta una descripción más amplia de los cuerpos constitutivos del banco de prueba:

- a) La resistencia que dispone la fuente permiten alcanzar valores de hasta 120 ohmios. Se selecciona utilizando 3 perillas cuyos valores correspondientes se suman en paralelo para conseguir el valor de resistencia total. Poseen además la opción de poder ser cortocircuitadas (SC).

Es necesario conocer que estas resistencias no están diseñadas para operación continua sin la adición de una reactancia o de resistencias externas.

El set de reactancias está constituido por dos bancos de reactores en serie seleccionados sus valores a través de dos perillas cuyas lecturas deberán sumarse esta vez en serie para obtener el valor de la reactancia total. Se consiguen valores desde 3.4 ohmios hasta 164.8 ohmios. Estas reactancias poseen una relación X/R de aproximadamente 15.

Los transformadores de corriente poseen la opción de variar el número de vueltas del primario desde 2 hasta 80 utilizando dos selectores; Uno de ajuste grueso y otro fino de polaridad aditiva y subtractiva. El secundario lo constituyen dos devanados independientes; uno de 300

vueltas con una corriente de régimen de un amperio y otro de 60 vueltas de una corriente de régimen de 5 amperios. Existe para estos transformadores solamente la opción de poder invertir la polaridad a través de un selector (N = normal, R=reversed) ubicado en la parte inferior de este primer cuerpo.

- b) Las reactancias de la línea son seleccionadas por medio de una sola perilla y se consiguen valores desde 0.6 ohmios hasta 4.2 ohmios con la opción de variar su ángulo de 84° a 73° y 60° por la adición de pequeñas resistencias en serie. Poseen una relación X/R aproximada de 10.

Los transformadores de corriente (TC) de la línea son idénticos a los de la fuente, pero no poseen la opción de invertir su polaridad.

Existe en este cuerpo los interruptores para la selección de falla. Además en el neutro existen reactancias a ajustarse a través de un selector.

Tanto la fuente como la línea disponen de puen

tes externos para poder intercalar en el primario cualquier tipo de elemento a incorporarse. Se localizan a un costado del simulador.

- c) En el otro cuerpo de este banco se hallan los bornes de conexión de los secundarios de todos los TC y TP. Para los primeros las salidas de 1 amperio y 5 amperios. Para los últimos - los taps del 100%, 75%, 50% y 25% del valor no minal de 63.5 voltios disponiendo de un volta-je primario de 120 voltios monofásico.

Como se observa en la figura 1.2 existen 4 po-siciones para la conexión de los TP a seleccionarse a través del selector VT.

Es muy importante tener siempre en mente que todos los secundarios de los transformadores de corriente que no estén en uso deberán ser cor-tocircuitados. Para conseguir una transforma-ción correcta de corriente, es necesario que mientras se utiliza un devanado secundario de un TC, el otro devanado secundario sin uso del mismo TC permanezca en circuito abierto, aunque podría ser utilizado para introducir una com-ponente TC en la corriente de falla.

- d) La unidad de ajuste del ángulo de ocurrencia de falla posee calibraciones en medios ciclos para la duración de la falla y para el pulso de disparo (trigger). Además dispone de un dial para la selección del ángulo de ocurrencia de la falla (0° - 360°) como también un selector de stand by y de listo (ready), de un ajuste fino en mseg. para el pulso de disparo (trigger), de un selector para disponer del control del ángulo de onda o para ángulo casual (controlled o random) y de un selector de duración de falla ajustada o manual (timer o manual).
- e) La unidad desfasadora puede producir una señal de 120 voltios monofásicas con un desfase controlado de 0° a 360° con relación a la fase roja.

3. Operación

Habiéndose presentado una somera descripción del banco de prueba se puntualizan a continuación los pasos generales a seguirse para la operación de dicho banco.

1. Seleccione en posición de encendido el interrup

tor principal de manija, lo que a su vez energizará la unidad desfasadora, la de punto de onda y el transformador de potencial si el selector está en la posición "1".

- 2) Asegurese que el selector "stand by/ready" esté en la posición stand by.
- 3) Conecte los aparatos a probarse
- 4) Seleccione las condiciones del primario (valores de impedancias y número de vueltas de los primarios de los TC).
- 5) Seleccione una duración de falla apropiada (Fig. I-3). Determinando el valor de corriente primaria máxima a ocurrir ajuste el selector de fin de falla (fault end) según la curva de tolerancia del banco Robinson.
- 6) Seleccione un apropiado tiempo de disparo para el osciloscopio. La traza en el osciloscopio comenzará después de tantos medios ciclos como los ajustados en el selector trigger, a partir de haber pulsado el botón de comienzo de falla de la unidad POW
- 7) Coloque el sector timer /manual en la posición

timer. En la posición timer la falla comenzará 50 medios ciclos después de haber pulsado el botón de comienzo de falla de la unidad POW y terminará luego de transcurridos los medios ci clos ajustados en el selector de fin de falla. En la posición manual la falla comenzará en el instante de pulsar el botón y terminará al sol tarlo.

Después de haber ejecutado los anteriores pasos el simulador se encuentra listo para operar. Selecciona el interruptor stand by/ready en la posición de ready y presione el botón de comienzo de falla.

4. Análisis de errores

Una aplicación importante del banco de prueba para relés se establecen en los de distancia. Con sus magnitudes operacionales se establecerá el análi sis de los porcentajes de errores:

El alcance del relé, es el valor de impedancia pri maria al que opera el relé (Z_L).

El ajuste del relé; es el valor de impedancia pri maria referida al secundario por medio de las rela

ciones de transformación de los TC y TP, y es el valor al que en verdad se lo calibra.

El rango del relé; es la razón de la impedancia de trás del relé a la impedancia del alcance máximo del relé. (Z_s/Z_L máx.). Tiene como significado - ser el valor que expresa la máxima cantidad posible de Z_s al que el relevador medirá correctamente la impedancia.

Error por unidad de voltaje de medición; debido a la presencia de la impedancia de la bobina del voltaje del relé (Z_v) en paralelo con la cara del primario utilizada, se obtendrá el siguiente error por unidad en la medición del voltaje. $Z_L/(Z_L+Z_v)$.

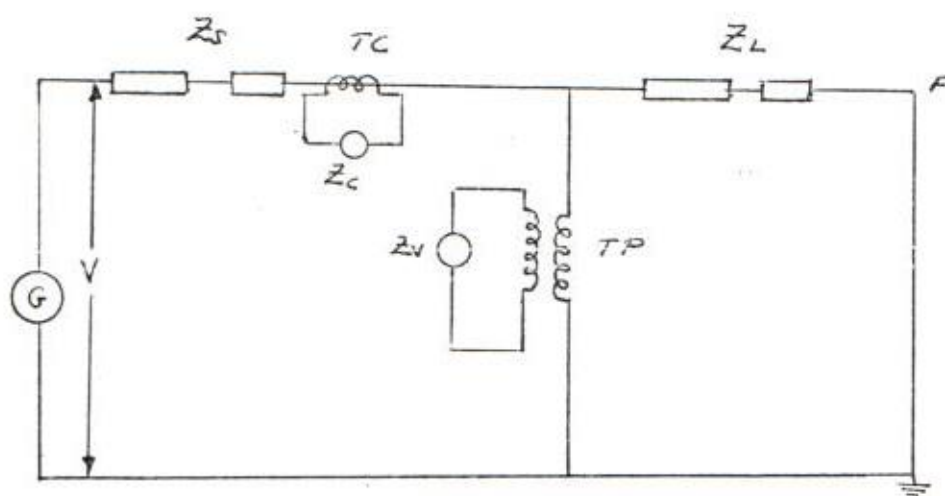
Error por unidad de la corriente de medición; así mismo, debido a la presencia en serie con el circuito primario de la impedancia reflejada de la bobina de corriente del relé, se produce el siguiente error por unidad en la medición de la corriente. $Z_c/(Z_s + Z_L + Z_c)$.

Error por unidad de la impedancia; consecuencia de los errores anteriores es el error en la medición de la impedancia. Considerando aproximaciones prác

ticas tendremos. $-Z_L / (N_V N_C Z_V)$.

Error por unidad del rango; de igual manera las consideraciones anteriores lleva a que se presenten errores en el rango.

$$\left(\frac{Z_C}{Z_S} + \frac{Z_L}{Z_V} \right) / (N_V N_C + \frac{Z_C}{Z_S} + \frac{Z_L}{Z_V})$$



Los errores anteriores pueden ser deducidos considerando las reflexiones de las impedancias de la bobina de corriente al primario Z_C/N_C^2 y de la bobina del voltaje al primario Z_V/N_V^2 .

B. Pruebas en los TC del banco Robinson

1. Interruptor de punto de onda

1.a) Introducción

El propósito de este tópico es estudiar la aplicación de la unidad de ajuste del punto de ocurrencia de falla en la onda para analizar el fenómeno de al componente DC en la corriente primaria y así tomar casos como de máxima, intermedio y mínimo decentramiento del estado transiente como también del cambio de polaridad de la componente DC. Además se calculará la constante de tiempo y el efecto de la resistencia en el transiente. Los anteriores estudios son aunque básicos necesarios para el desarrollo posterior de los temas ya que conviene conocer la operación de los relés para los estados transientes de la corriente de operación o de referencia utilizada. La misma justificación vale para los siguientes subtemas de este primer capítulo.

1.b) Teoría

La corriente de falla en un sistema de potencia

está determinada básicamente por el voltaje de la fuente y las impedancias tanto de la fuente y de la línea hasta el punto de falla.

Las impedancias de la línea están constituidas principalmente por elementos resistivos e inductivos, estos últimos en mayor proporción que aquellos. Es entonces debido a esta estructuración básica y general que es conveniente el análisis del estado transitorio de la corriente en un circuito serie RL.

Por el concepto de la imposibilidad de la razón infinita de variación de la corriente con respecto al tiempo, esto es de la conservación del valor de la corriente en cambios instantáneos a través de una inductancia se llega a la conclusión de que el valor de la corriente a 0^- y 0^+ al producirse una falla debe ser igual.

Considérese que se aplica un voltaje $V_m \text{ sen } (\omega t + \psi)$ al sistema R_L (sistema monofásico). El valor de la corriente será:

$$i = \frac{V_m}{Z} \text{ sen } (\omega t - \psi + \phi) - e^{Rt/L} \text{ sen } (\psi - \phi)$$

Supóngase que el punto de aplicación ψ es cuando $\psi \neq \phi$, siendo ϕ el ángulo de potencia de la carga, lo que ocasionará por las leyes de circuito del estado estable una corriente i iniciada de un valor determinado.

Suponiendo un estado de desenergización con nulo estado residual magnético y recurriendo al concepto de invariabilidad instantánea de corriente en una inductancia, la corriente de falla deberá ser 0 al tiempo 0 de aplicación del voltaje, que lo consigue con la presencia de un valor decreciente de DC de valor inicial igual y opuesto al supuesto valor instantáneo iniciado de la componente de corriente periódica simétrica. Siendo el primer término el valor de la corriente de estado estable y el segundo la componente CD. Se podrá deducir de aquí los valores de (ángulo de aplicación de falla) para producir máximo, intermedio y mínimo descentramiento de la onda de corriente.

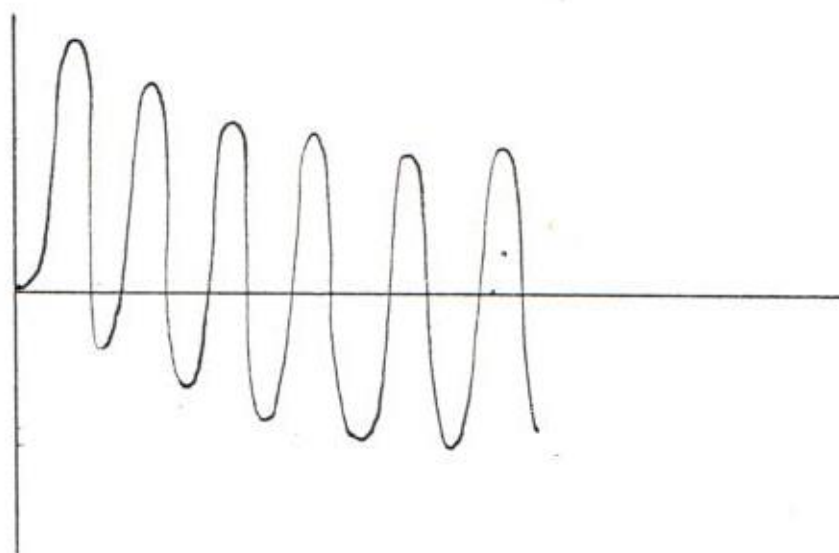


FIGURA I-9

1.c) Procedimiento

Se colocó como único valor de impedancia una reactancia de 27.8 ohmios en la fuente. Todas las demás impedancias se ajustaron a 0 ohmios y las resistencias se colocaron en cortocircuito (SC).

Los primarios de todos los TC se calibraron a 0 vueltas. La duración de la falla se ajustó al máximo en la unidad de punto de onda (999 medios ciclos).

El disparo (trigger) que se tomó de la unidad de punto de onda se ajustó inicialmente a 60 medios ciclos y que luego se reajustó según la necesidad de ver la parte transiente de la onda de corriente primaria a analizarse (48 medios ciclos).

Usando un shunt en un puente del neutro apropiado para la observación de la corriente primaria en el osciloscopio se procedió a analizar la operación de la unidad de punto de onda realizando variados ajustes en el dial selector del ángulo de la onda. Fué conveniente utilizar un osciloscopio con "memoria" para grabar en la pantalla la forma de onda y se ajustó con disparo externo utilizando el pulso de disparo de la unidad de punto de onda.

Para un análisis más completo se tomó la señal de voltaje de los TP, en la posición 1 como referencia de tal manera que se obtuvieran 2 trazas en el osciloscopio; la del voltaje de alimentación y la de la corriente.

1.d) Resultados

Para obtener el máximo descentramiento produci

do por la componente DC se ajustó el ángulo de falla de la onda en 353° .

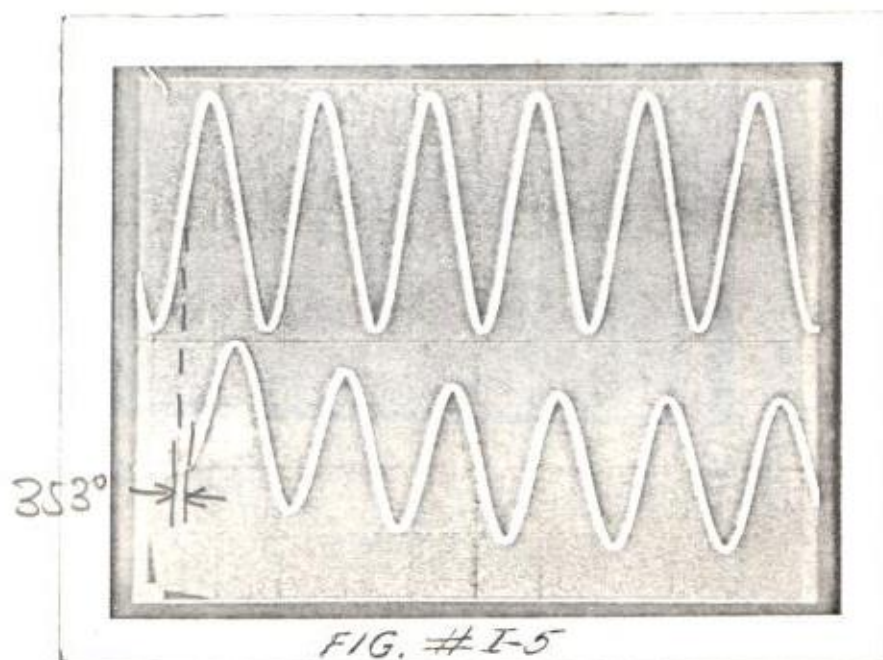


FIGURA I-5

FD
8
400 m sec

Para obtener el mínimo descentramiento producido por la componente DC se ajustó el ángulo de falla de la onda en 83° . (Fotografía I.6).

Para un descentramiento intermedio se ajustó el ángulo de ocurrencia de falla de la onda en 60° (fotografía I.7).

Para obtener un cambio de polaridad de la componente DC se ajustó el ángulo de suceso de falla en 180° (fotografía I.8).

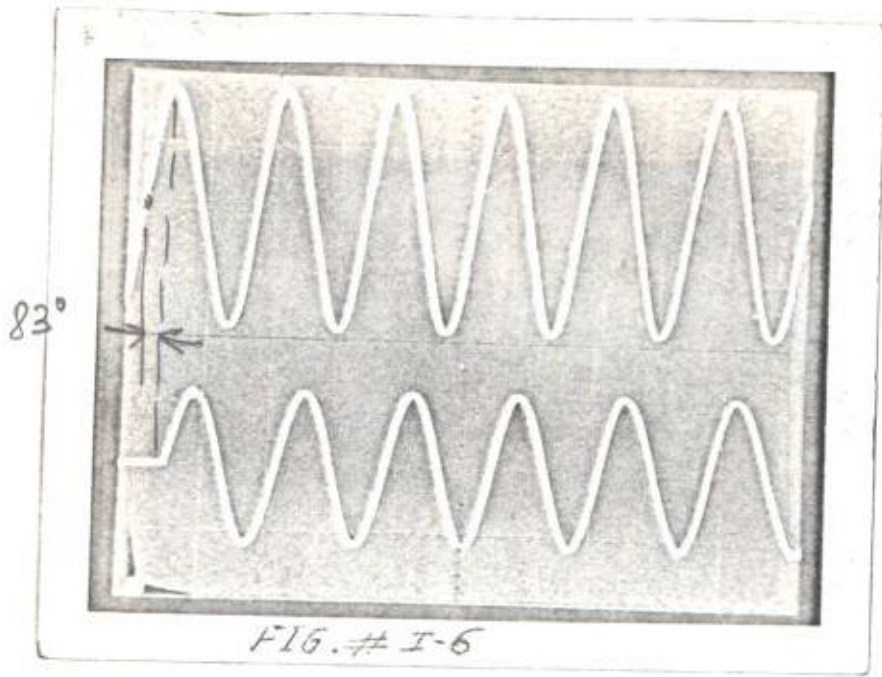


FIGURA I-6

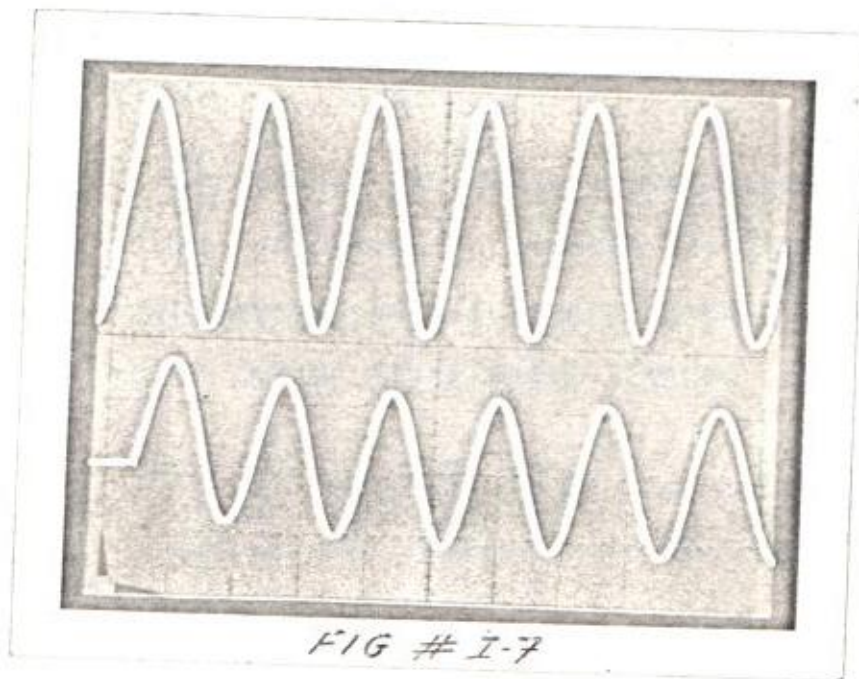


FIGURA I-7

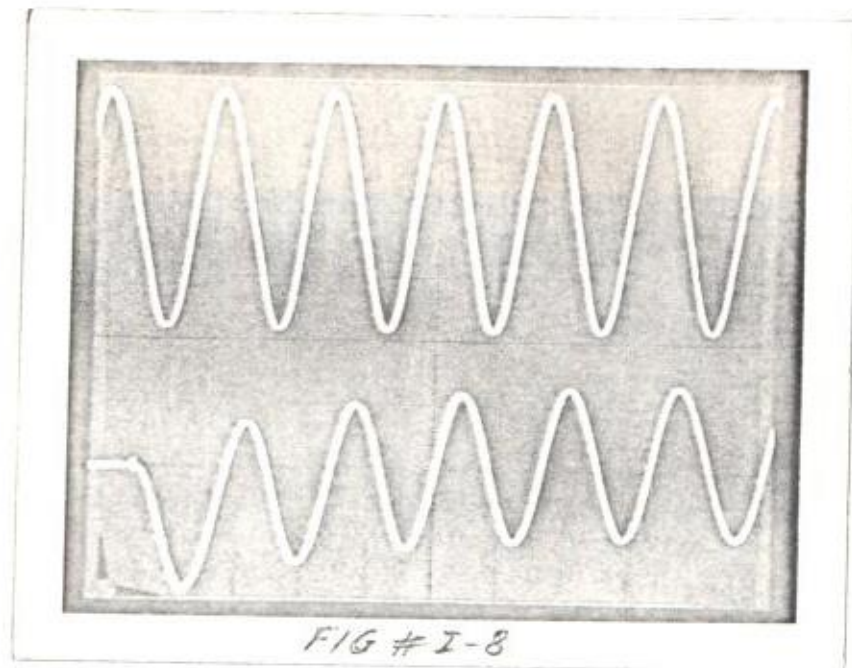


FIGURA I-8

Adicionando un valor de resistencia de 3.5 ohmios al circuito primario del simulador puede observarse el efecto del aumento de atenuación del estado transiente. (Figura I.9).

Para la obtención de la constante de tiempo del primario del simulador pueden seguirse dos métodos:

a) La constante de tiempo $\tau = L/R$ es igual al tiempo necesario para que el valor de la envol

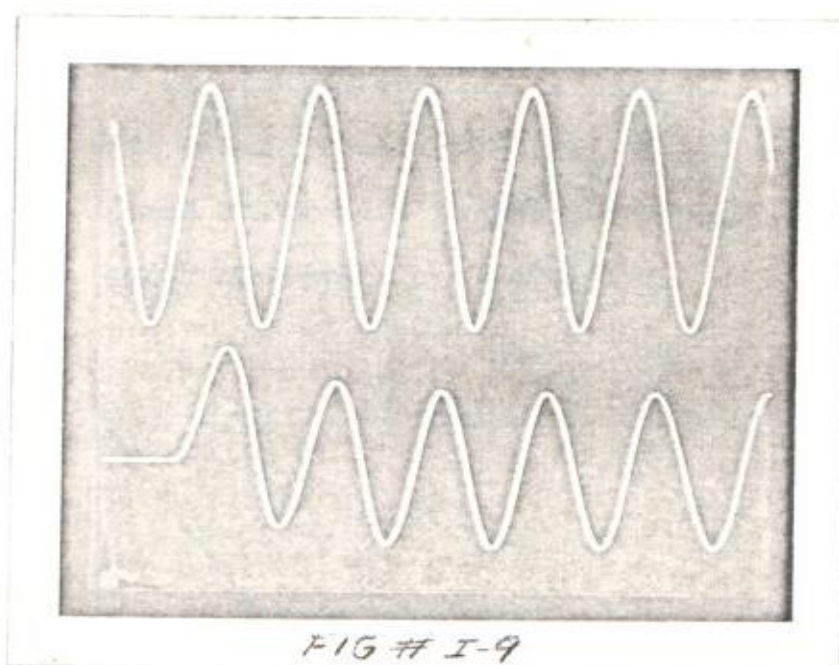


FIGURA I-9

Adicionando un valor de resistencia de 3.5 ohmios al circuito primario del simulador puede observarse el efecto del aumento de atenuación del estado transiente. (Figura I.9).

Para la obtención de la constante de tiempo del primario del simulador pueden seguirse dos métodos:

a) La constante de tiempo $\tau = L/R$ es igual al

tiempo necesario para que el valor de la envolvente de la corriente de estado transiente sea el 36.7% del valor inicial.

- b) El descentramiento de la onda de corriente del estado transiente para un circuito R/L llega a ser nulo cuando se energiza el circuito al ángulo $\psi = \tan^{-1} \omega L/R$.

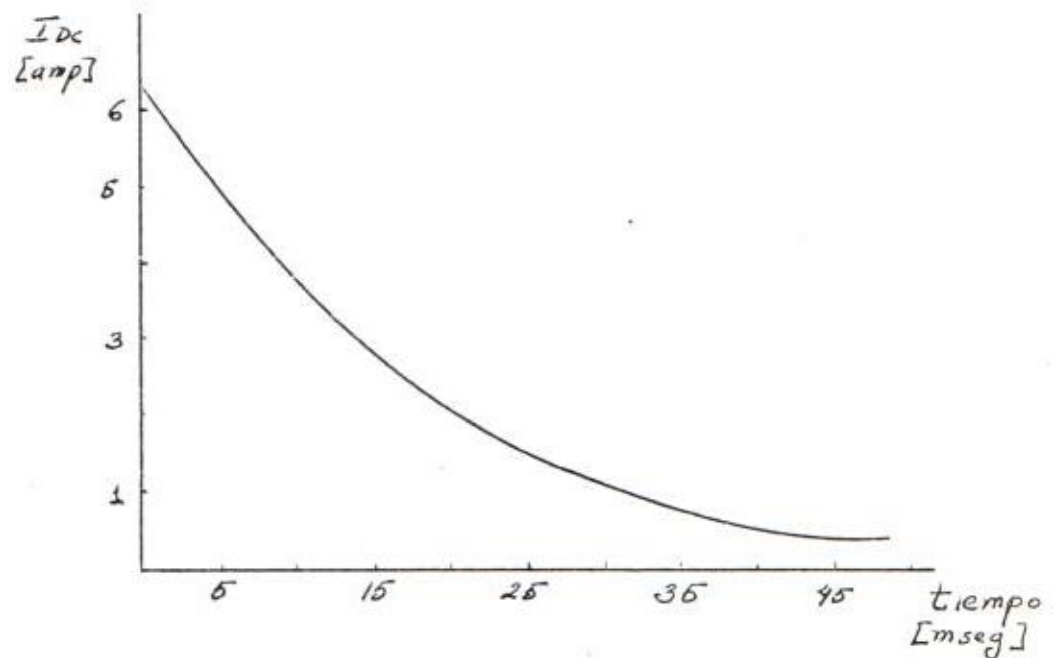


FIGURA I-10

En la primera prueba de la onda de corriente a la cual el ángulo de falla se lo calibró para máximo descentramiento se determinó la constante de tiempo. Luego de graficar la envolvente se determinó que esta alcanzaba el 36.7% del

valor inicial en un tiempo de 18 mseg.

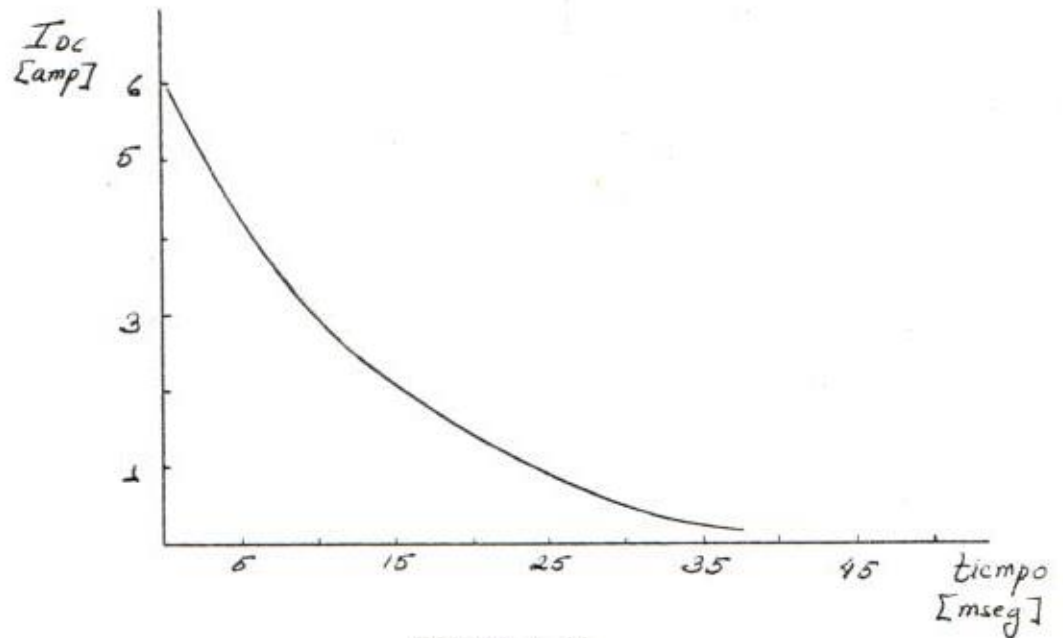


FIGURA I-11

Para el caso de la adición de resistencia también se determinó la constante de tiempo por el mismo método, siendo este de 14 mseg. (gráfico I.11).

Considérese que para el primer caso se determinó que el ángulo de falla para 0 descentramiento era de 183° , lo cual implica una constante de tiempo de;

$$\begin{aligned}\tau &= \frac{L}{R} \\ &= \frac{1}{\omega} \tan \\ &= 21 \text{ mseg.}\end{aligned}$$

Para el segundo caso, en el que fue adicionado un valor de resistencia de 3.5 ohmios, se encontró que en un ángulo de 78° presentaba 0 descentramiento. Por lo tanto su constante de tiempo determinada de esta manera es;

$$\begin{aligned}\tau &= \frac{L}{R} \\ &= \frac{1}{\omega} \tan \\ &= 12 \text{ mseg.}\end{aligned}$$

1.e) Conclusiones y observaciones

- a) Analísese los resultados de la constante de tiempo hallada por los dos métodos considerando que el dato del fabricante sobre la razón XR es de 10.

b) Grafíquese las componentes de voltaje, corriente simétrica y componente DC que implica cada caso. Teóricamente dedúzcase el resultado experimentado.

2. Prueba de circuito abierto en el TC

2.a) Introducción

Se trata de determinar con esta prueba la curva de magnetización característica de los transformadores de corriente de los bancos de prueba Robinson.

2.b) Teoría

El flujo originado por la corriente al circular por una de las bobinas de un transformador produce un flujo de enlace con otra bobina e induce un voltaje en ella obedeciendo a la siguiente relación:

$$E = 4,44 \phi f N$$

Se establece así una proporcionalidad entre el flujo y la corriente que crea este flujo (corriente magnetizante). Esta proporcionalidad se lleva a efecto utilizando de medio el núcleo del

transformador. Este núcleo no conserva la proporcionalidad constante de la corriente con respecto al flujo para cualquier valor de este último sino que alcanza estados de saturación, en los que para producir un incremento igual de flujo, tiene ahora que lograr un mayor incremento de corriente que se imponía en condiciones lineales.

En condiciones de circuito abierto el circuito equivalente del TC es el que se muestra en la figura 1.12 en donde la impedancia predominante es la de magnetización.

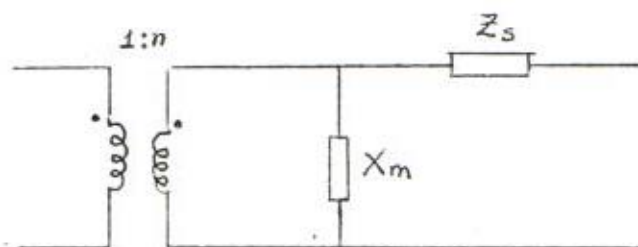


FIGURA I-12

Para el caso específico de los TC del banco Robinson se han utilizado los dos devanados del secundario para la prueba (5 y un amperio). - Siendo utilizado el de 1 amperio para la inyección de la corriente magnetizante y el de 5 amperios para la lectura del voltaje inducido. No se ha utilizado la lectura de voltaje del mismo devanado de un amperio debido a que resultaría un valor erróneo porque consideraría la caída de voltaje en la impedancia de dispersión originada por los flujos del mismo nombre. También es conveniente emplear el devanado de un amperio para la inyección de corriente, pues es el que produciría magnitudes pequeñas de voltajes en el resto de los devanados, debido a la relación de vueltas.

2.c) Procedimiento

Utilícese tanto el TC de la fuente como el de la línea para la determinación de la curva de magnetización.

Coloque el selector del primario de los TC en la posición 0. Utilizando un Variac inyéctese voltajes reducidos en el devanado secundario de

1 amperio a través de un amperímetro, Todos los demás devanados deberán mantenerse en circuito abierto. Tómense lecturas de voltajes en el devanado abierto de 5 amperios. Tabúlese los resultados en la tabla I.1. Procédase a graficar la curva general de magnetización empleando para esto voltios por vueltas con relación a amperios vueltas.

Replítase el anterior procedimiento para el transformador de corriente de línea de la misma fase. Tabúlese los resultados en la tabla I.2. Grafíquese la curva magnetizante obtenida.

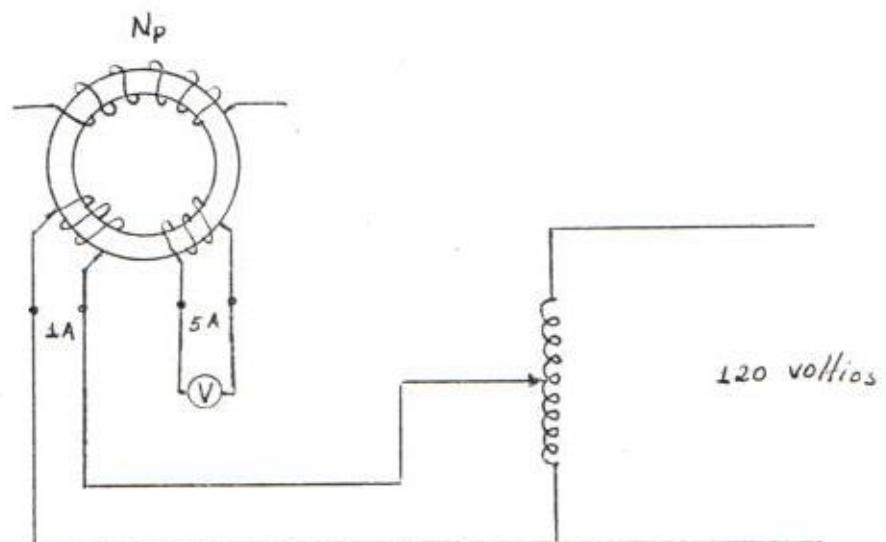


FIGURA I-13

2.d) Resultados

Tabla I-1

I amp	I.N amp/vuelta	V volts	V/N volt/vuelta
0.5×10^{-3}	0.15	0.2	0.016
4.0×10^{-3}	1.2	2.4	0.040
6.0×10^{-3}	1.8	4.1	0.068
9.0×10^{-3}	2.7	7.1	0.118
12.0×10^{-3}	3.6	10.8	0.180
15.0×10^{-3}	4.5	14.7	0.245
18.0×10^{-3}	5.4	19.1	0.318
21.0×10^{-3}	6.3	23.4	0.390
23.0×10^{-3}	6.9	26.0	0.433
24.0×10^{-3}	7.2	27.4	0.456
32.0×10^{-3}	9.8	34.8	0.580
50.0×10^{-3}	16.0	40.8	0.680
58.0×10^{-3}	17.5	41.1	0.685

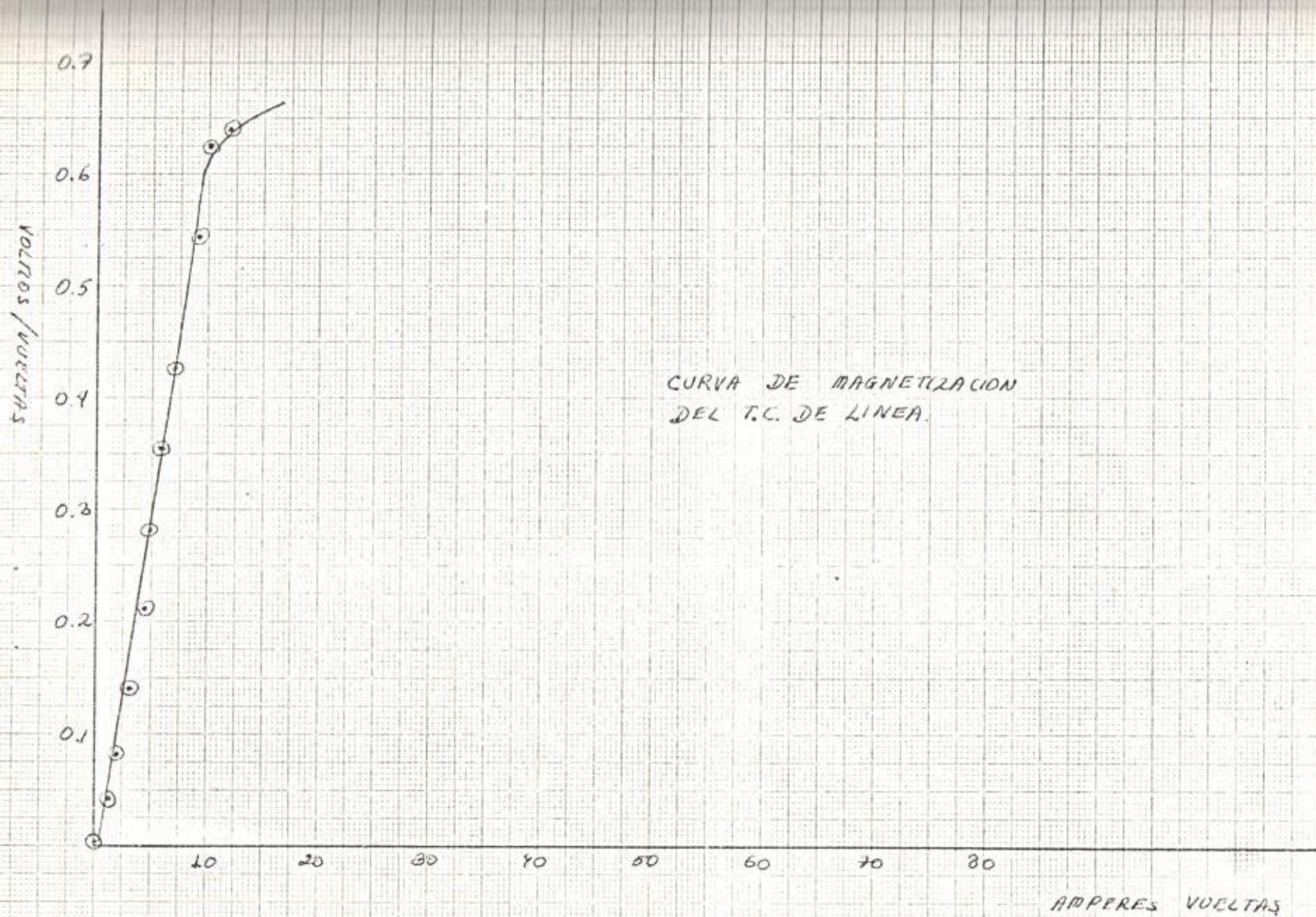
Tabla I-2

I amps	I.N amp/vuelta	V volts	V/N volt/vuelta
0.6×10^{-3}	0.18	0.2	0.016
4.0×10^{-3}	1.2	2.6	0.043
6.0×10^{-3}	1.8	4.7	0.078
9.0×10^{-3}	2.7	8.3	0.138
12.0×10^{-3}	3.6	12.5	0.208
15.0×10^{-3}	4.5	16.8	0.280
16.0×10^{-3}	5.4	21.2	0.353
21.0×10^{-3}	6.3	26.6	0.427
27.0×10^{-3}	8.1	32.7	0.545
33.0×10^{-3}	9.9	37.5	0.625
40.0×10^{-3}	12.0	38.4	0.640

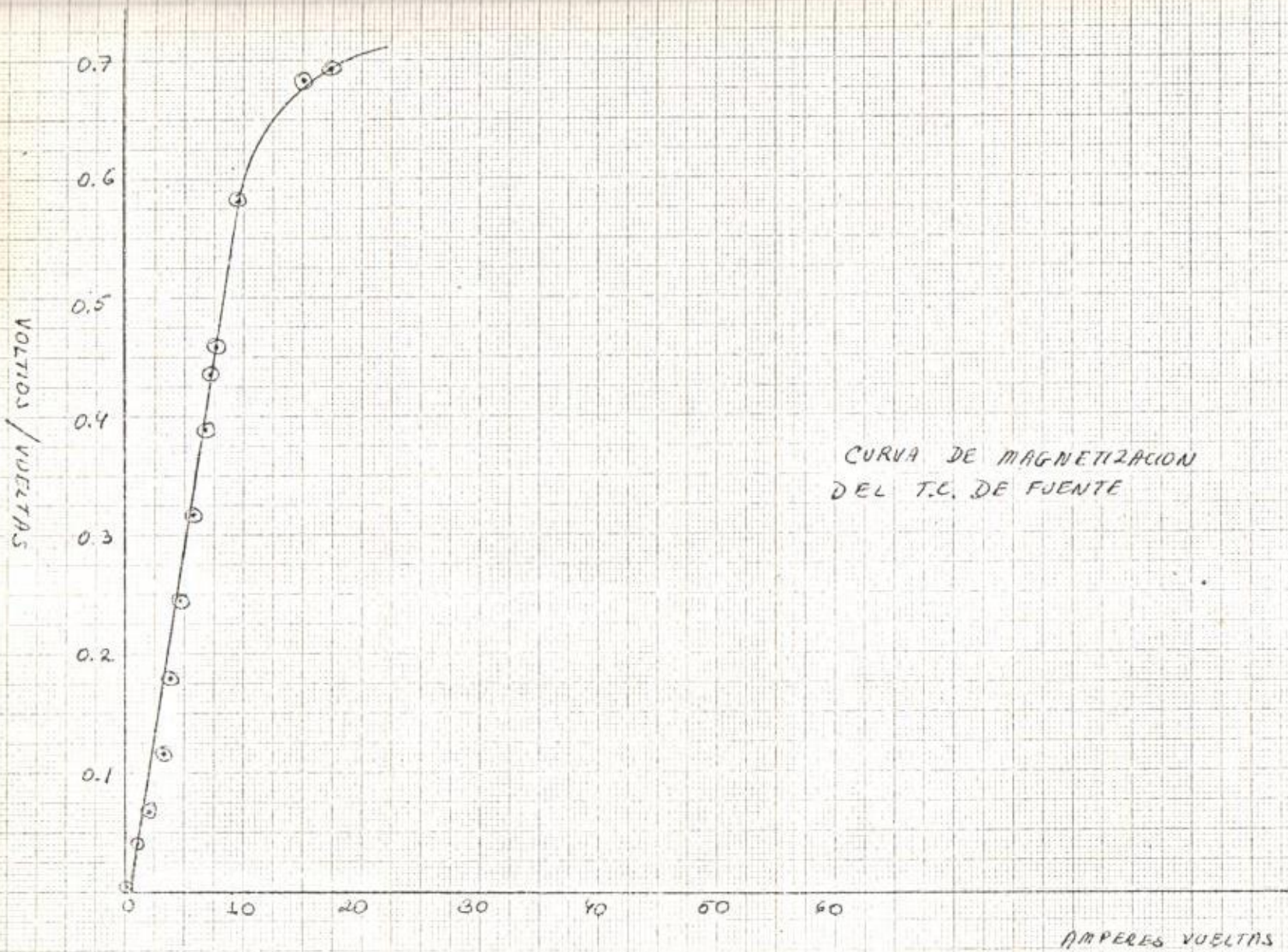
La curva magnetizante del TC de la fuente y del TC de la línea se encuentran dibujados en los gráficos I.14 y I.15 respectivamente.

2.e) Conclusiones

- a) Realizando la misma prueba pero utilizando en cambio el devanado de 5 amperios para la inyección de corriente y el de 1 amperio para la medición de voltaje se obtiene la misma curva magnetizante. Lo mismo sucederá para cualquier juego de devanados en el mismo TC. El inconveniente que se presenta en otros es que habrá que trabajar con voltajes muy pequeños debido al riesgo de los valores de voltajes transformados en los otros devanados. Esto también ocasiona el no poder alcanzar la parte de la curva de saturación pues exige elevados valores de corriente y consecuentemente de voltaje.
- b) Es necesario cortocircuitar los secundarios sin uso de los TC debido a que de no hacerlo así toda la corriente primaria constituye la demagnetización y siendo esta la que ocasiona el flujo de enlace que induce voltajes



CURVA DE MAGNETIZACION
DEL T.C. DE LINEA.



CURVA DE MAGNETIZACION
DEL T.C. DE FUENTE

en el secundario se producirán elevados voltajes inducidos en el secundario con el consiguiente riesgo para el TC. No se puede pensar en el hecho de en la saturación del núcleo imitará el valor del voltaje inducido porque este es proporcional a la máxima razón de variación del flujo la que ocurre cuando el flujo pasa por 0.

- c) No se pueden cortocircuitar los demás devanados debido a que la circulación de corriente por ellos inducirán flujos aditivos o substractivos que reaccionarán con el flujo del devanado que se utiliza para la determinación de la curva de magnetización conduciendo a errores en el análisis.

3. Prueba de cortocircuito y de relación de transformación de los TC.

3.a) Introducción

Al realizar la prueba de cortocircuito de los TC se determinan las impedancias de dispersión tanto del primario como del secundario. La exactitud de la relación de transformación

dará una idea de las pérdidas del flujo por dispersión, esto es a menor impedancia de dispersión, mas precisión de transformación.

3.6) Consideraciones teóricas

Analizando el circuito equivalente de un transformador se podrá deducir que cortocircuitando el secundario y aplicando un determinado voltaje en el primario la mayor parte de la corriente circulará por el circuito formado por las impedancias de dispersión y una ínfima cantidad por la impedancia de magnetización debido a su gran magnitud en relación con las anteriores.

El transformador de corriente que utiliza el banco de prueba Robinson es del tipo toroidal. Estos se caracterizan por ser los más exactos debido a su mínima cantidad de flujo de dispersión.

Para la determinación de los valores de reactancia primaria y secundaria de dispersión así como resistencias es suficiente considerar iguales a las reactancias entre sí. Las resis-

tencias pueden considerarse también iguales y determinadas por medios de DC.

El factor de corrección del error (FCE) es una medida de la exactitud de los transformadores de corriente y está definida como un porcentaje.

$$FCE = \left(\frac{I_p - NI_s}{I_p} \right) 100$$

Su valor además de depender de las características propias del TC será también función de la carga del secundario, la que a su vez determinará el nivel de saturación del hierro del núcleo.

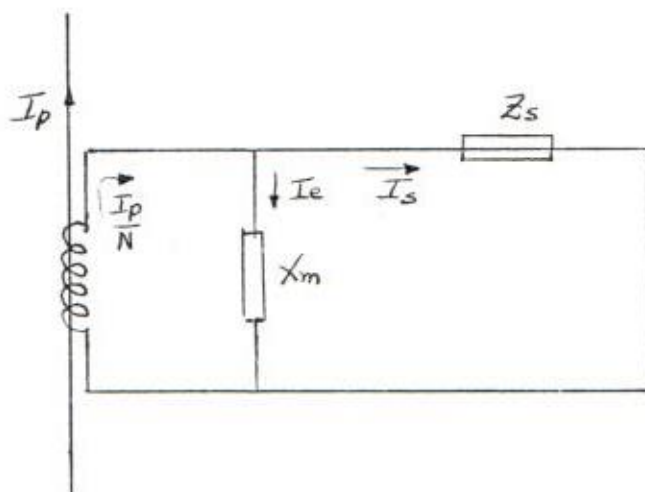


FIGURA 1-14

3.c) Procedimiento

Se aplicó al primario del TC de la fuente de la fase roja, un valor determinado de corriente utilizando las impedancias de la fuente del simulador. Para completar el circuito se cerraron los selectores de falla de la fase roja y del neutro. Para conseguir una aparente variación de corriente primaria se variaba el número de vueltas del primario del TC, a través de su conmutador de valores. Se cortocircuitó a la vez un devanado secundario del TC mientras que el otro se lo dejó en circuito abierto. Utilizando amperímetros, se midió los valores de corriente de los devanados. De igual manera se procedió a realizar esta prueba en los TC de línea.

3.d) Resultados

En la tabla I.3 se tabularon los datos del transformador de la fuente y en la tabla I.4 los del transformador de la línea. En la figura I.14b. se muestra el gráfico de la curva del factor de corrección del error de los TC.

Tabla I-3a

N_p	I_A	r_v	r_i	FCE
10	1.12	30	32.3	0.07
20	2.40	15	15.0	0.00
30	3.36	10	10.8	0.00
40	4.46	7.5	8.1	1.01
50	5.60	6.0	6.5	0.08
60	6.71	5.0	5.4	0.08
70	7.74	4.3	4.7	0.09
80	8.84	3.8	4.1	0.08

$$\bar{I}_p = 36.2 \text{ amp}$$

$$FCE = \frac{r_i - r_v}{r_v}$$

Tabla I-3b

N_p	I_A	r_v	r_i	FCE
10	4.70	6	6	0
20	9.42	3	3	0
30	14.00	2	2	0
40	18.40	1.5	1.5	0
50	23.10	1.2	1.2	0
60	27.50	1.0	1.0	0
70	31.50	0.8	0.9	0.12
80	35.40	0.7	0.8	0.14

$$\bar{I}_p = 28.3 \text{ amp}$$

Tabla I-4a

N_p	I_{IA}	γ_V	γ_L	FCE
10	1.05	30	34.5	0.15
20	2.23	15	16.2	0.08
30	3.35	10	10.8	0.08
40	4.45	7.5	8.1	0.08
50	5.60	6.0	6.5	0.08
60	6.72	5.0	5.4	0.08
70	7.77	4.3	4.6	0.07
80	8.86	3.8	4.1	0.07

$$I_p = 36.2 \text{ [amp]}$$

Tabla I-4b

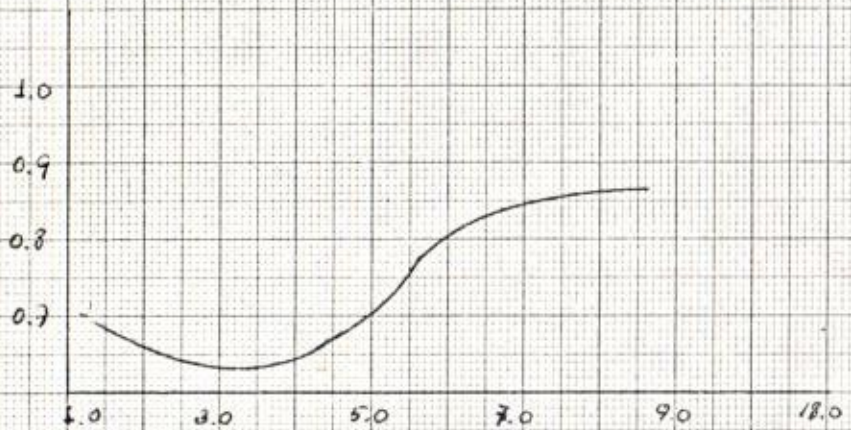
N_p	I_{SA}	γ_V	γ_L	FCE
10	4.71	6	6	0
20	9.42	3	3	0
30	13.95	2	2	0
40	18.50	1.5	1.5	0
50	23.00	1.2	1.2	0
60	27.40	1.0	1.0	0
70	31.40	0.8	0.9	0.1
80	35.10	0.7	0.8	0.1

$$I_p = 28.3 \text{ [amp]}$$

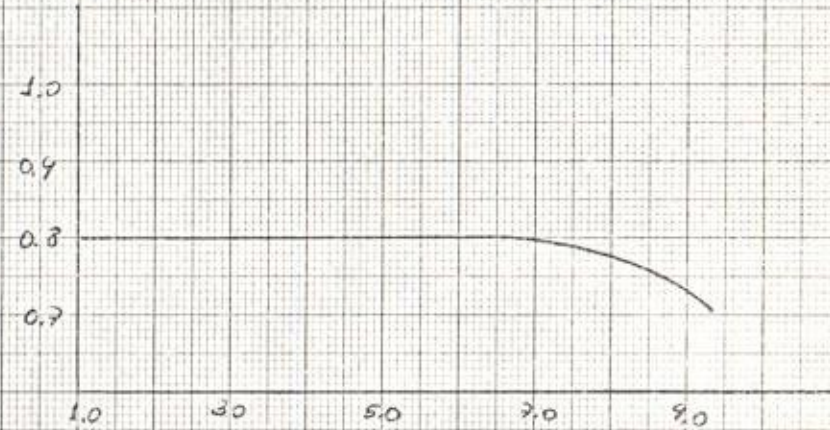
T.C. FUENTE

Curvas del PCE de los TC

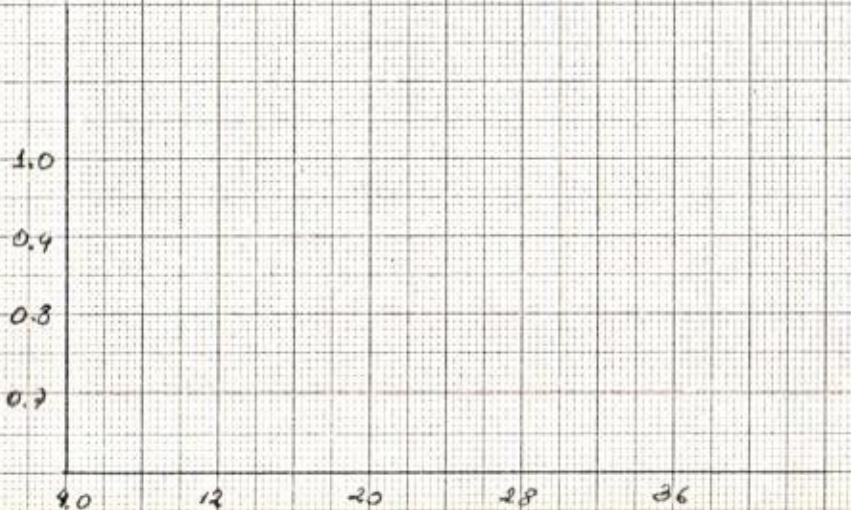
TC LINEA



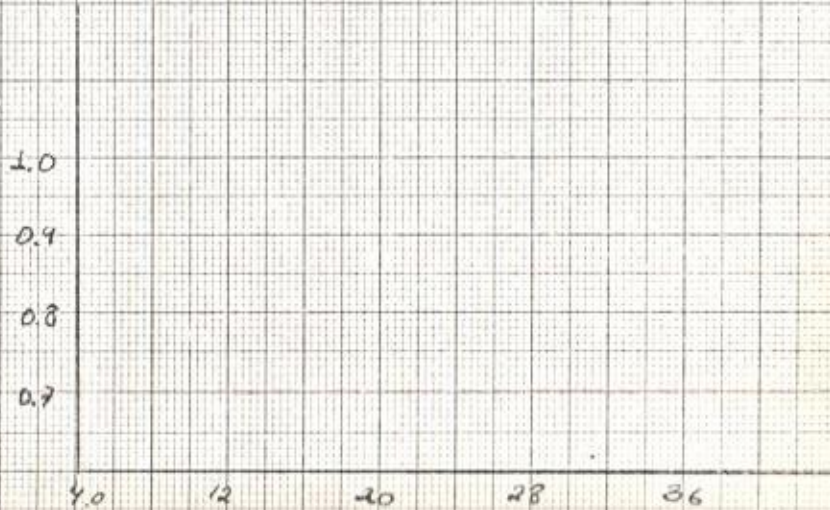
Is Lamp



Is Lamp



Is Lamp



Is Lamp

4. Análisis del error en los TC por efecto de la carga.

4.a) Introducción

El objetivo de este tema es el de estudiar de esta manera y el grado en que la corriente magnetizante y la saturación del núcleo por efecto de la carga inducen errores en la relación de transformación de los TC.

4.b) Consideraciones teóricas

Un transformador de corriente es inherentemente inexacto debido a que para su funcionamiento exige la presencia de la corriente magnetizante que constituye una parte de la corriente primaria que no va a ser reflejada en el secundario. Esta corriente magnetizante es la que ocasiona los flujos de enlace del devanado primario con el secundario, induciendo en este último un voltaje E_s que se aplica a la impedancia total del secundario recorrida por una corriente función del valor de la del primario. Consecuentemente será el valor de impedancia de carga el que a través del voltaje

E_s imponga un valor de corriente magnetizante y por lo tanto un determinado error de transformación, esto es

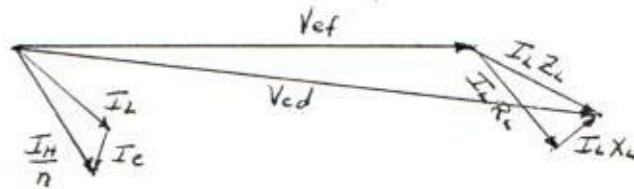


FIGURA I-15

La saturación del núcleo, por supuesto, ocasiona apreciables errores en la relación de transformación de los TC. Así por ejemplo la ANSI clasifica los TC por una letra COT seguida por una cantidad. La letra C mayúscula indica que la relación de transformación del TC puede ser calculada. La letra T mayúscula indica que la relación de transformación del TC debe ser determinada experimentalmente. El número (10, 50, 100 y 200) es el mayor valor de voltaje al inducirse en el secundario sin llegar a la satu-

ración y sin producir un error de transformación mayor al 10% para una corriente secundaria y hasta 20 veces la nominal y a un valor determinado máximo de impedancia de carga.

Será conveniente para utilidad futura el de hallar experimentalmente la clasificación ANSI de los TC del banco Robinson.

Utilizando la curva de magnetización pueden determinarse teóricamente el error de relación de transformación. El procedimiento a seguirse es el siguiente:

- 1) Considérese un valor de I_s
- 2) Determínese $v_s = I_s Z_L$
- 3) De la curva de magnetización determínese I_e para el valor anterior de v_s
- 4) Calcúlese $I_p = NI_s + NI_e$

4.c) Procedimiento

En el secundario de 1 amperio del transformador de corriente de la fase roja colóquese en serie una resistencia variable con un amperímetro. Co

necte un voltímetro al mismo secundario. Ajuste los valores de impedancia de fuente de la fase roja para conseguir una corriente de 10 amperios aproximadamente. Ajuste la relación de transformación del TC en uso de tal manera de disponer de 10 x 1 aproximadamente.

Tomense lecturas de I_p I_s V_s .

Incrementense valores de resistencia y tómen-se lecturas de I_p I_s v_s y R_L . Luego, ajústese una corriente primaria y con una relación de transformación, de tal manera de disponer en el secundario de 5 amperios una corriente de tal valor. En tales condiciones insértese diferentes valores de resistencias en dicho secundario. Tómense lecturas de I_p I_s , v_s y R_L . Determínese el error de transformación para cada uno de los casos realizados anteriormente siguiendo el procedimiento descrito en las consideraciones teóricas. Compárelo con el experimental.

R_L Ω	I_p amp	I_s amp	V_s volts	Error %
5	9.3	0.93	2.2	0
10	9.3	0.93	6.6	0
15	9.3	0.93	11.5	0
20	9.3	0.92	16.3	0
25	9.3	0.92	22.0	0
30	9.25	0.92	25.8	0
35	9.25	0.92	30.4	0
40	9.22	0.91	34.8	1
45	9.22	0.91	39.7	1
50	9.22	0.91	44.7	1
55	9.20	0.91	49.2	1
60	9.20	0.91	53.4	1
65	9.19	0.90	59.0	1
70	9.19	0.90	63.0	2
80	9.18	0.90	72.1	2
100	9.17	0.90	89.7	2

TC=1A

R_L Ω	I_p amp	I_s amp	V_s volts	%
2.5	50	5.0	0.06	0
4.0	50	5.0	0.60	0
5.0	50	5.0	0.85	0
6.0	50	5.0	1.27	0
7.0	50	5.0	1.98	0

TC=5A

4.d) Conclusiones y observaciones

Como podrá deducirse de los resultados experimentales tanto del devanado de 1 amperio como el de 5 amperios, los transformadores de corriente del banco de prueba Robinson resultan satisfactoriamente precisos en lo que respectan a su relación de transformación. Cabe indicar que aunque los valores de corriente secundaria experimentales aparentemente son normales en verdad puede presentar para los de magnitud más elevada cierta saturación. Tal es el caso para el devanado de 5 amperios el cual al soportar una carga de 6 ohmios a través del osciloscopio se pudo observar signos de saturación en su onda.

5. Efecto de la carga de los TC en la forma de onda secundaria

5.b) Introducción

Trátase en este tema de analizar la influencia de la saturación del núcleo sobre las formas de ondas del secundario para diferentes formas de impedancias.

5.6) Consideraciones teóricas

El núcleo de los TC puede saturarse ya sea por elevados valores de corriente primaria, por el efecto de remanencia, o por elevados valores de impedancia de carga.

Al producirse la saturación del núcleo, el flujo permanece relativamente constante. En tales condiciones y debido a que el voltaje inducido en el secundario es proporcional a la variación del flujo con respecto al tiempo, el voltaje cae a cero en los estados de saturación del núcleo.

Existen 3 casos fundamentales de afectación de la forma de onda secundaria por saturación del núcleo y cada uno de los casos corresponde a determinado tipo de impedancia de carga. El primer caso a analizarse corresponde al de resistencia pura, como carga del secundario. Al aumentarse el valor de dicha resistencia, se llegará a estado de saturación. En tales circunstancias los tipos de la onda del flujo se recortan tanto en el principio negativo como en el positivo. Con retraso de 90° se encuentra la señal de vol-

taje y que caerá a 0 en el intervalo de tiempo que el flujo permanece constante o se recorta. Debido a que la corriente se encuentra en fase con el voltaje, la forma de onda de la corriente, también aparecerá con intervalo de valor 0 en amplitud y que sucederá - próximo al valor 0 normal de la onda.

En la figura I.16 pueden observarse las formas de ondas. Nótese que en resumen la saturación del núcleo para cargas resistivas produce una disminución en el ancho de la forma de onda de la corriente, mientras que existe una disminución de la amplitud para el caso de carga inductiva.

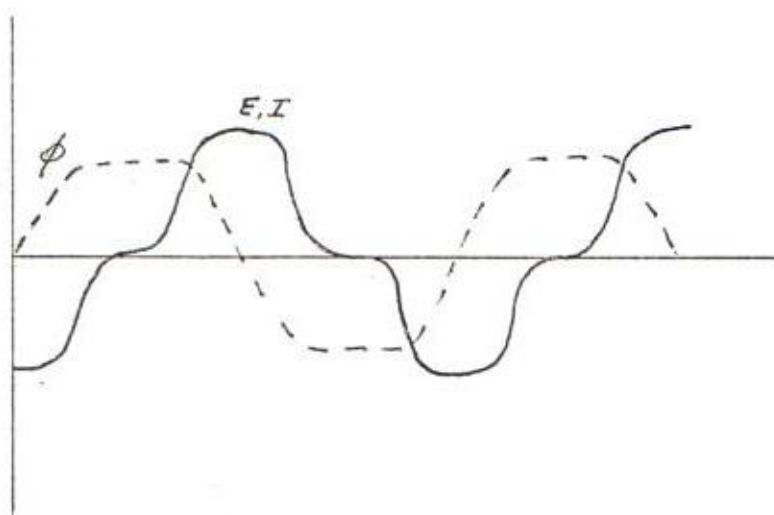


FIGURA I-16

El segundo caso corresponde al de carga inductiva. En este caso la diferencia con el anterior radica en el hecho de que debido a que en una inductancia la corriente no puede sufrir variaciones instantáneas, en los momentos en que el flujo se recorta y la corriente debería caer a 0, en cambio permanece constante tomando igual forma de onda T el flujo. La figura que se presenta a continuación permite observar las formas de ondas de las magnitudes en mención y su fase relativa entre ellas.

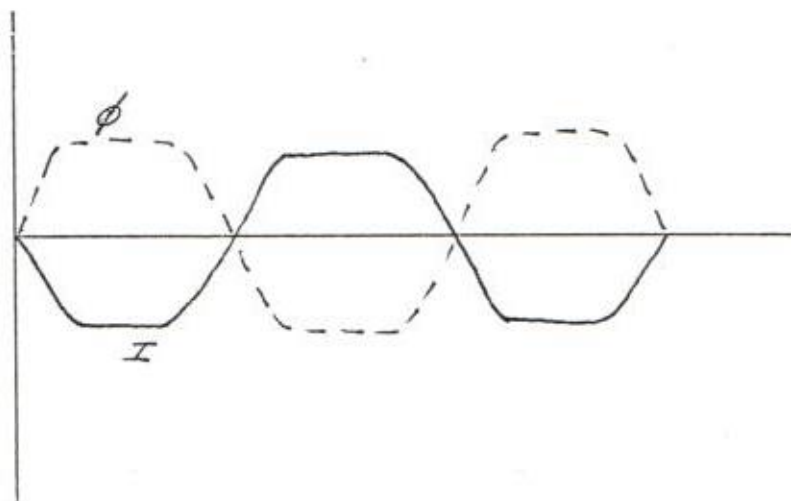


FIGURA I-17

El tercer y último caso fundamental corresponde al de una carga capacitiva. En este caso la razón principal para la forma de onda radica en el concepto de que en una capacitancia no pue-

den haber variaciones instantáneas de voltaje, dando por resultado que en los casos de saturación el voltaje permanezca constante y adopte similar forma de onda que la del flujo. Debido a que la corriente que atraviesa una capacitancia es proporcional a la derivada del voltaje de la capacitancia con respecto al tiempo, entonces esta caerá a 0 en el intervalo del voltaje constante y aparecerá picos en forma de impulso en los puntos en que se produzcan el recorte de la onda de voltaje. La figura 1.18 clarifica las ideas sobre este último caso.

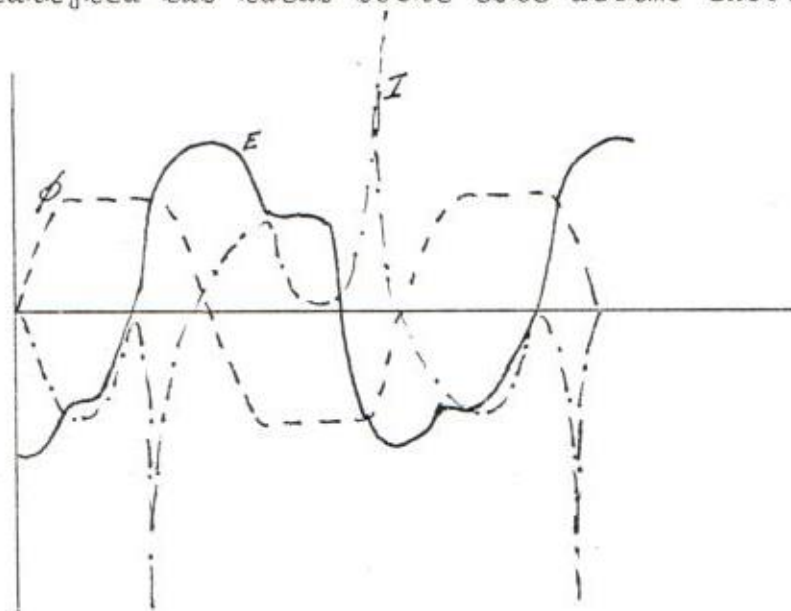


FIGURA 1-18

Considérese que los anteriores casos son utópicos ya que por ejemplo una inductancia realmente posee al menos un pequeño valor de re-

sistencia ocasionando que la corriente no permanezca constante en los intervalos de saturación sino que caiga con un amortiguamiento establecido por la componente resistiva de la inductancia.

5.c) Procedimiento

Ajústese un valor de reactancia de la fuente en 27.8 ohmios. Colóquese 36 vueltas en el primario del TC de la fuente de la fase roja. Cargue el secundario de 1 amperio del TC con una resistencia variable. Varie el valor de la resistencia hasta conseguir el efecto de saturación del núcleo. Fotografe la forma de onda de corriente del secundario y del primario.

Cambiése la carga del secundario a una inductancia pura e increméntese su valor hasta conseguir llegar al estado de saturación. Fotografe la forma de ondas de las corrientes del primario y secundario del TC.

Por último colóquese una carga capacitiva en vez de la inductiva e increméntese su valor -

hasta conseguir el estado de saturación. Fotografíe la forma de ondas de las corrientes del primario y secundario del TC.

5.d) Resultados

- a) Fotografía I.19 corresponde a este caso a la saturación del núcleo por elevado valor de carga resistiva. En la fotografía se aprecia como traza inferior la corriente primaria y como traza superior la corriente secundaria con los efectos del recorte en ancho por la saturación. La carga resistiva en el secundario es de 65.4 ohmios. Nótese que existe un flujo remanente en el núcleo lo que produce asimetría en la onda saturada de corriente secundaria.
- b) Fotografía I.20, en este caso la carga es tipo inductiva por lo tanto la forma de onda de la corriente secundaria es del tipo recortada en amplitud y aparece como traza superior. Como traza inferior se aprecia la corriente primaria. Obsérvese como se refleja la carga secundaria del TC al sistema primario disminuyendo la magnitud de la co-

corriente primaria.

c) Fotografía I.21. Este caso corresponde al de una carga de características capacitivas. La traza de la corriente secundaria se la aprecia con impulsos en la parte correspondiente al final del intervalo de saturación para cada semi ciclo debido al cambio brusco de valor instantáneo del voltaje. lo que implica en un circuito inductivo una elevada cantidad de corriente. La carga reactiva capacitiva del secundario - del TC es de 35 MFD. Nótese también que existe una fuerte reflexión de la carga secundaria al primario afectando la magnitud de la corriente primaria.

5.e) Observaciones

- a) Realice un análisis teórico comprobativo de la reflexión de la impedancia secundaria al primario del sistema.
- b) Determínese la ubicación en la onda del flujo el intervalo de saturación.

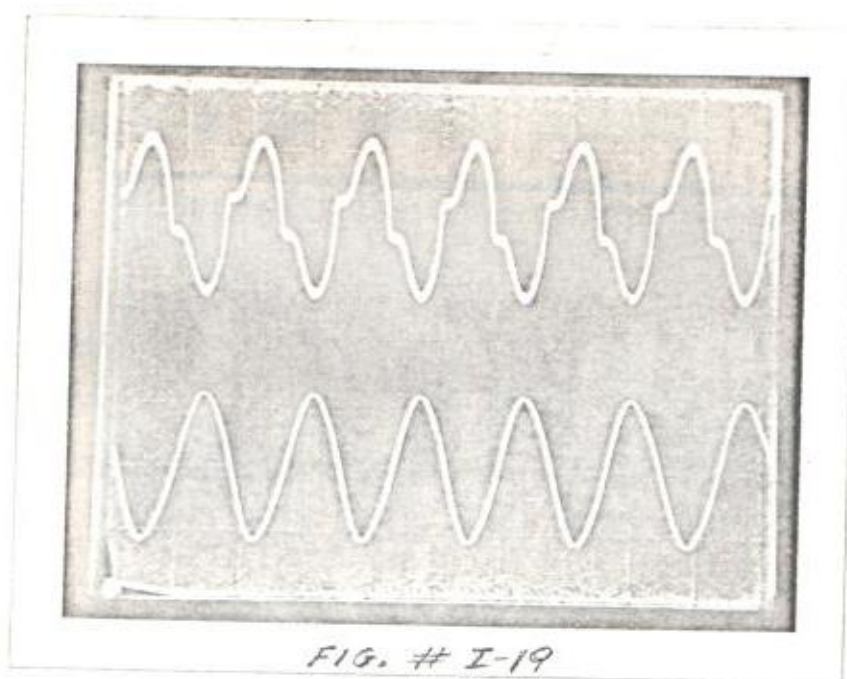


FIGURA I-19

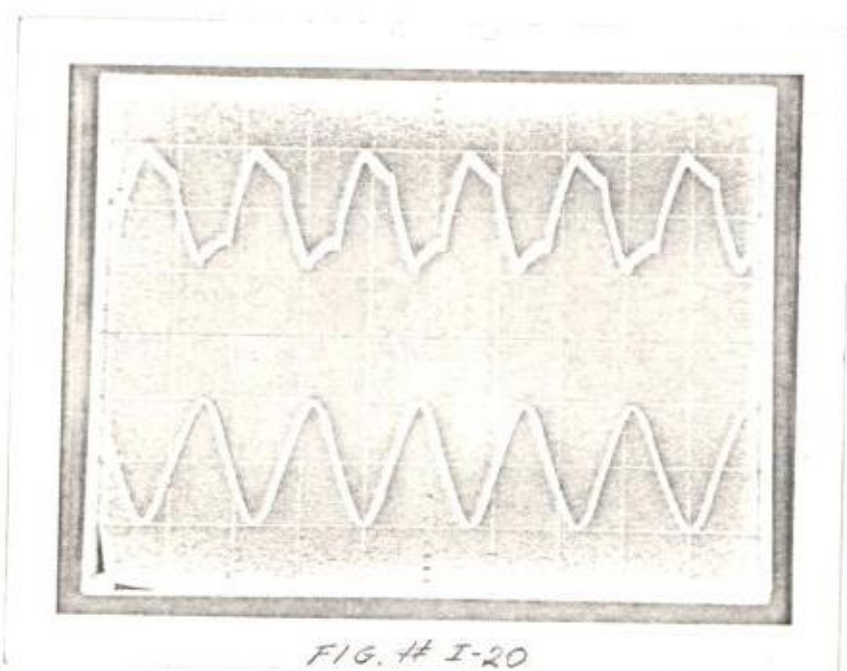


FIGURA I-20

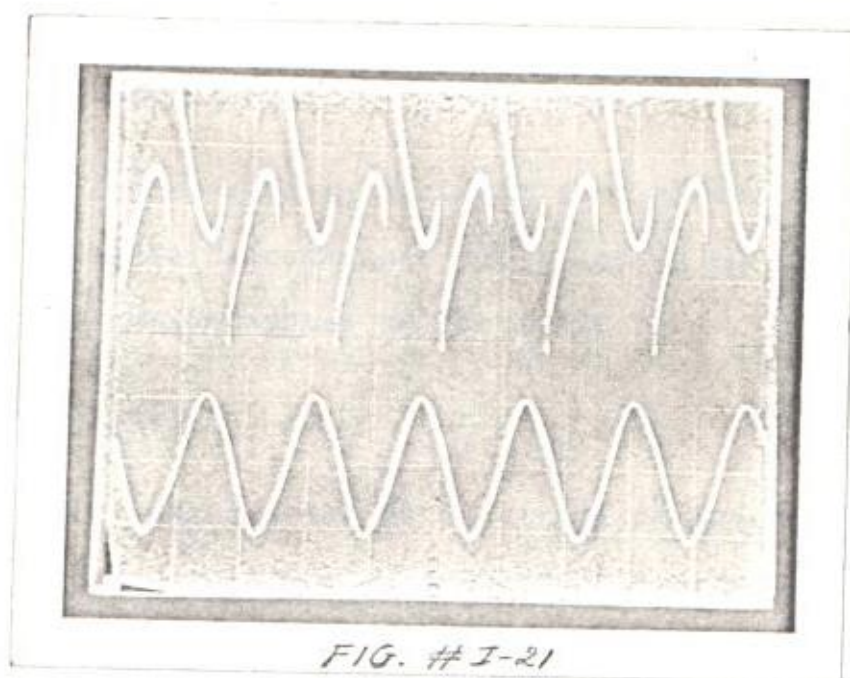


FIGURA I-21

6. Efecto del transiente primario en el flujo del TC

6.a) Introducción

El propósito es analizar como afecta la señal transiente de corriente del primario en el flujo de los transformadores de corriente.

6.b) Teoría

La onda general de corriente primaria en el estudio transiente se compone de dos partes:

$$I_{\max} \times \sin(\omega t + \psi - \phi) - \sin(\psi - \phi) e^{-(r/L)t} \quad (1)$$

El primer término corresponde a la parte simétrica ac y la segunda a la componente DC.

El voltaje a través del secundario del TC es:

$$\frac{I_s Z}{N} = \frac{d\phi}{dt} 10^{-3} \quad (2)$$

en que I_s es la corriente secundaria y Z la carga.

Reemplazado en la expresión (2) el valor I_s de (1) y despejando el valor del flujo,

$$\begin{aligned} \phi &= KI_s Z \left(\frac{\pi}{\omega} \cos \omega t + e^{-(r/L)t} \right) 10^8 \\ &= KI_s Z \left(\frac{1}{\omega} + \frac{L}{R} \right) 10^8 \end{aligned}$$

$$= \frac{KI_s Z}{w} \left(1 + \frac{X}{R} \right) 10^8$$

Se puede observar que el flujo al igual que la corriente, posee dos componentes. La del primer término correspondiente a la componente ac de la corriente y, el segundo término debido a la componente dc que es igual a $\frac{X}{R}$ veces la componente ac del flujo, para un descentramiento del 100%.

En la figura I.22 puede observarse el flujo transiente. Es importante notar que para cargas inductivas la componente dc del flujo es mucho mayor que la componente ac, esto es, en mucha mayor proporción que lo que es la componente dc de la corriente con respecto a la componente ac de la misma.

También se puede deducir la expresión del flujo que la componente dc final subsistirá permanentemente y desplazará a la componente ac del flujo.

En este análisis se observará indirectamente el flujo del TC utilizando para este fin la relación con el voltaje, esto es

$$e = N \frac{d\phi}{dt}$$

$$e = N \frac{d\phi}{dt}$$

$$e = N\phi$$

de donde se desprende que el flujo es proporcional a la integral del voltaje.

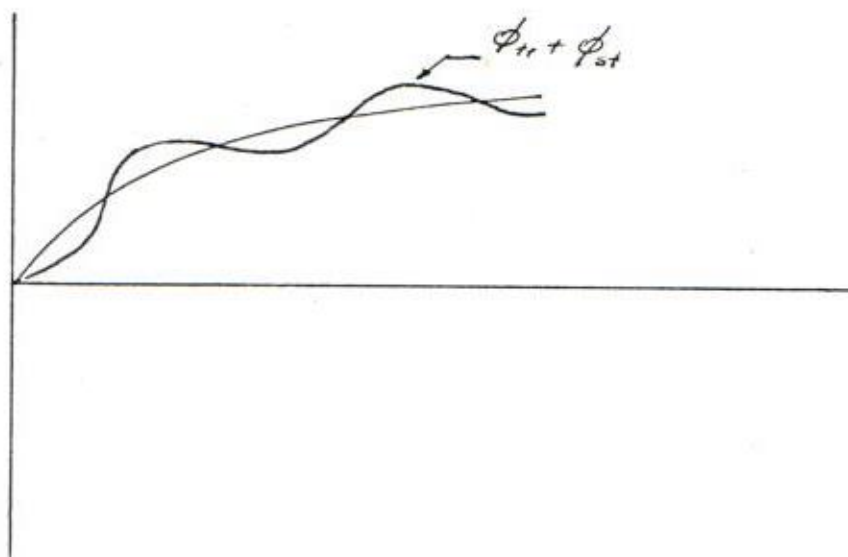


FIGURA I-22

De esta manera se utilizará un integrador a la salida del secundario de 5A a través de una resistencia. La figura 1.23 muestra el circuito a utilizar se.

Se analizará la onda transiente del flujo para diferentes puntos de aplicación de falla de la señal de voltaje. Es decir, se considerará los diversos casos de estado transiente. Uno de los fenómenos que conducen rápidamente a la saturación del núcleo es el flujo remanente. La componente dc del flujo establece un estado de remanencia. Tal efec

to puede ser observado en el desplazamiento de la referencia cero de la traza del flujo, según sea la polaridad e intensidad de la componente dc.

6.c) Procedimiento

Ajustese una impedancia de fuente primaria de 27.8 ohmios en la fase roja.

Colóquese un número de vueltas primario de 36 para el TC de la fuente.

Armese el circuito secundario indicado en la figura I.18.

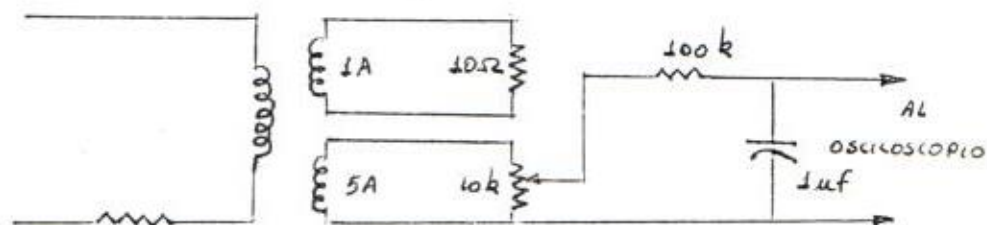


FIGURA I-23

Ajústese la entrada al integrador de tal manera que la salida no exceda de $\pm 10V$.

Ajústese la ganancia del osciloscopio para mantener la traza dentro de la pantalla.

Ajústese el integrador para cero desviación, luego cortocircuite el capacitor para encerrar el integrador.

Abra el interruptor a través de C y de inicio a las diferentes pruebas para variados casos de la componente dc. Fotografíe los diversos casos.

6.d) Resultados

a) Fotografía 24

En esta fotografía puede observarse la traza del flujo en la parte superior y la corriente primaria en la inferior. Corresponde este caso a cero descentramiento, esto es, no existe componente dc.

b) Fotografía 25

Corresponde este caso a máximo descentramiento de polaridad negativa conseguido con la aplicación del voltaje a un ángulo de aproximadamente 180° . Nótese que la traza del flujo

(traza superior) presenta una gran componente de dando lugar a una elevada remanencia. Esto se deduce por el desplazamiento de la referencia cero de la componente ac.

d) Fotografía 26

En este caso se invirtió la polaridad del descentramiento por la aplicación del voltaje a un ángulo de aproximadamente 0° . Obsérvese como de la misma manera se invirtió la componente de del flujo ocasionando una remanencia de polaridad opuesta.

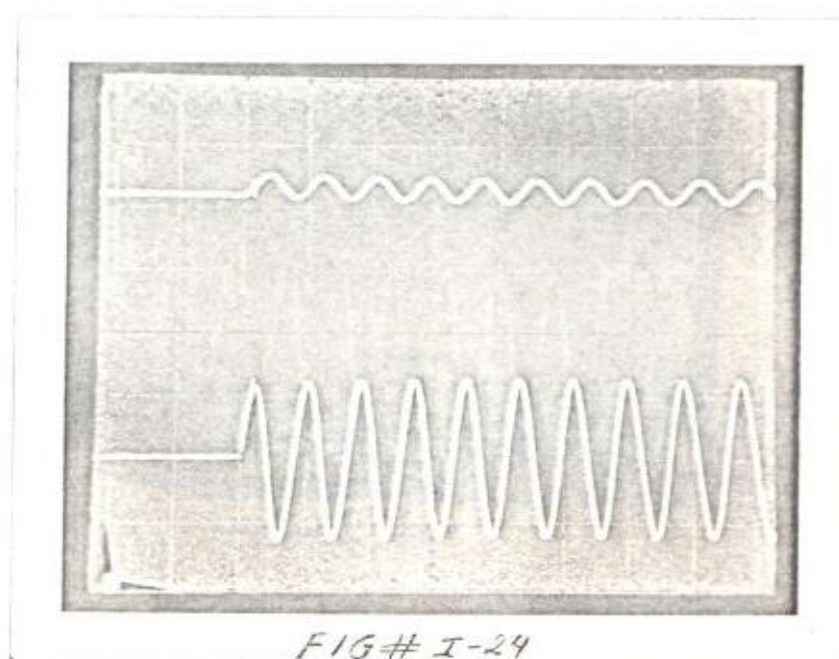


FIGURA I-24

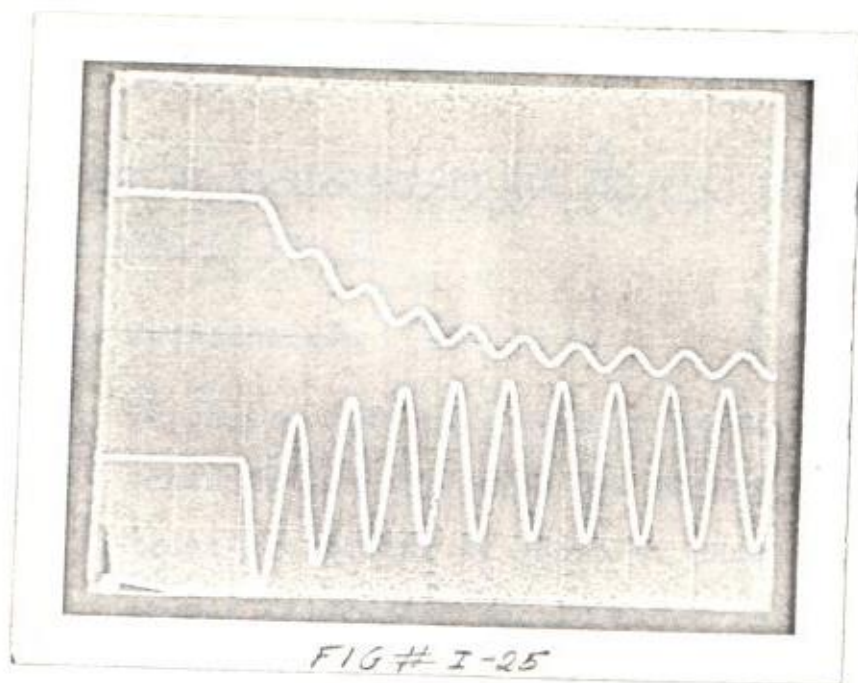


FIGURA I-25

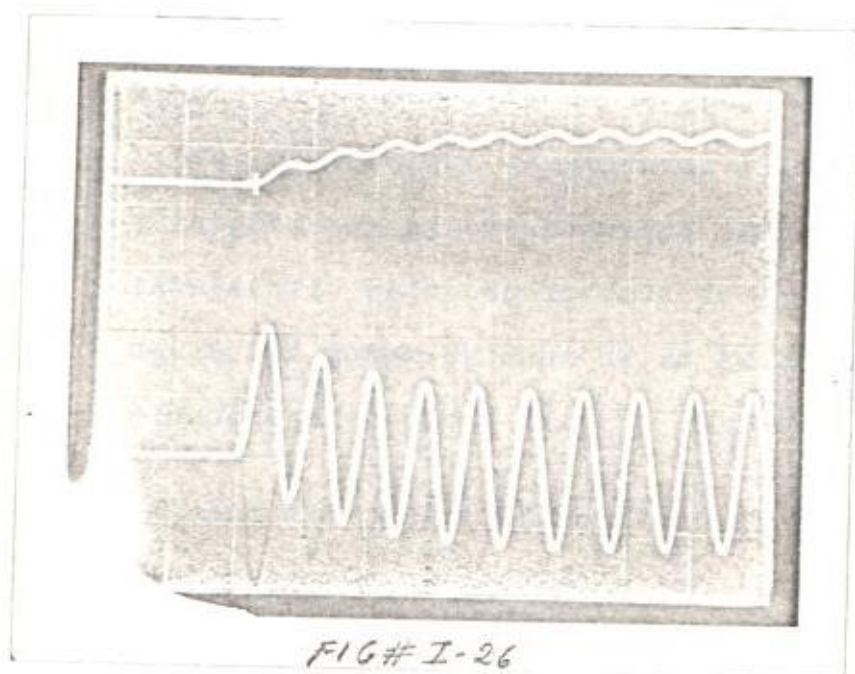


FIGURA I-26

6.e) Conclusiones

7. Efecto de la saturación del flujo en la corriente secundaria de los TC.

7.a) Introducción

El objetivo de este tema es analizar como por efecto de la saturación del núcleo el flujo se recorta y altera la forma de onda de la corriente del secundario del TC en el estado transiente.

7.b) Teoría

Debido a que la componente dc del flujo es usualmente por lo menos 10 veces mayor que la ac resulta factible que se produzca saturación del núcleo al menos en los primeros ciclos del estado transiente. Esto produce que de igual manera se afecte la forma de onda de la corriente secundaria dependiendo del tipo de carga presente.

En este análisis el tipo de carga es resistivo y la saturación del núcleo se alcanza incrementando el valor de dicha carga.

Conviene para alcanzar más fácilmente la saturación que el voltaje sea aplicado para producir el máximo descentramiento ($\psi = 90^\circ - \phi$).

Un segundo caso de saturación se producirá para condiciones de carga resistiva-capacitiva. En ta les circunstancias se podrá observar el efecto de ferro-resonancia para los primeros ciclos del estado transiente.

7.c) Procedimiento

Ajústese una impedancia de fuente primaria de -27.8 en la fase roja.

Colóquese un número de vueltas primario de 36 pa ra el TC de la fuente.

A diferencia con la práctica # 6 en este caso la resistencia a colocarse en el secundario de 1A es de 60 ohmios.

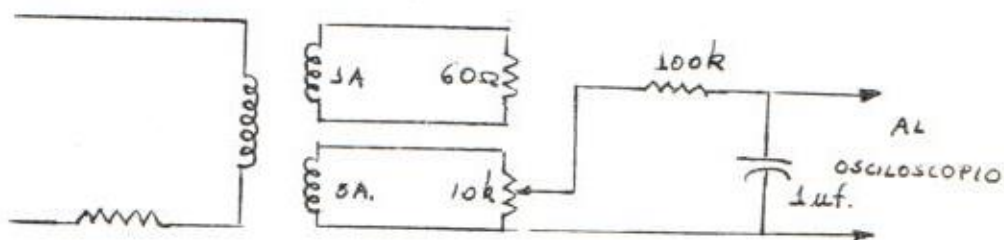


FIGURA I-27

Fotografíe las trazas de la corriente secundaria y del flujo utilizando el osciloscopio.

Añada luego un valor de capacitancia en serie de un valor de μfs y obtenga las trazas de flujo y corriente secundaria.

Colóquese la unidad POW a un ángulo de falla.

Fotografíe las trazas anteriores.

7.c) Resultados

a) Fotografía I.28

Este caso corresponde al de saturación del núcleo al apreciarse en la traza superior que representa el flujo con un recorte de su onda en los semiciclos superiores.

Al decaer el flujo transiente van apareciendo completos los semiciclos puesto que va desapareciendo el estado de saturación por los menores valores instantáneos de flujo.

7.d.) Conclusiones

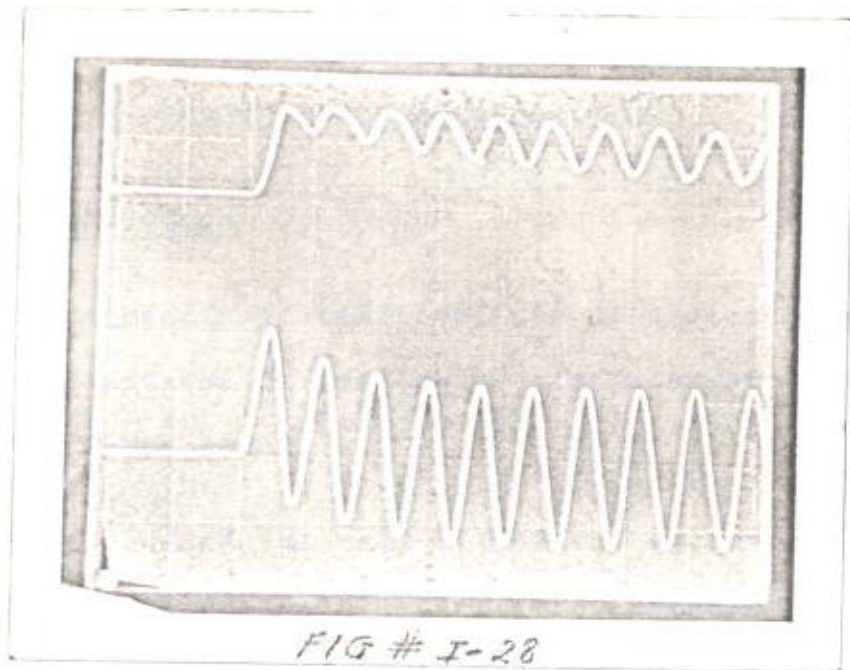


FIGURA I-28

II. PROTECCION CON RELES DE SOBRECORRIENTE

A. Introducción

El propósito de este capítulo es realizar un análisis experimental de las características funcionales de estos tipos de relés.

Se estudiará las características operacionales del relé de sobrecorriente de tiempo inverso y definido de mínimo retardo (IDMTL) tipo TJM10 de la casa Reyrolle.

También se estudiarán las características de la unidad de disparo instantáneo del relé de sobrecorriente inverso del tipo IAC de la casa General Electric ($I^*t = K$).

Por último se entablará un análisis comparativo de los relés anteriores y además el relé de sobrecorriente de características de tiempos inversos tipo CO-8 de la casa Westinghouse.

B. Teoría de las características

Los relés de sobrecorriente de tiempo inverso son del tipo de inducción electromagnética basados en el mismo principio de funcionamiento del motor de inducción con la diferencia de que el rotor lo constituye un dis

co de material no magnético conductor de la corriente atravesado por dos flujos desfasados que induce corrientes de Foucault e interactúan con los flujos provocando fuerzas de giro.

Del análisis operacional del relé se llega a la determinación de su ecuación característica, esta es:

$$F \propto \Phi_1, \Phi_2 \sin \theta$$

donde F es la fuerza que tiende a girar el disco y se dirige del punto donde el flujo adelantado atraviesa el rotor hacia el punto donde el flujo atrasado atraviesa el rotor.

Φ_1 y Φ_2 son los valores de cresta de las ondas de flujo y θ el ángulo por el cual un flujo adelante al otro. Este último da la característica de direccionalidad del relé.

La estructura más usual es la del tipo walthorímetro.

Las características más importantes de estos tipos de relés son:

Capacidad térmica: establecida por un valor determinado máximo de corriente durante un intervalo de 1 seg. y que obedece la relación $I^2 t = K$.

Capacidad de los contactos: considera la máxima corriente de conducción continua y también la de duración de 1 seg. a un voltaje determinado.

Rango de la corriente de operación de la unidad de inducción. Los e instantánea: establece los límites de operación de la corriente de trabajo de las bobinas de la unidad de inducción y de la unidad instantánea.

Capacidades de la unidad de sello: indica 2 capacidades. La más alta se utiliza cuando el relevados dispara directamente el interruptor y, la mas baja cuando lo hace a través de un relé auxiliar. Se dan capacidades de disparo y de régimen continuo, así como también el valor de impedancia de la bobina para calcular las corrientes del circuito de disparo.

Cargas: indica los valores de impedancia de la unidad de inducción e instantánea para diferentes taps.

Ajuste de la puesta en trabajo: realizado utilizando plugs a insertarse en un block en el que se indican los valores de corriente para puesta en trabajo.

Ajuste del tiempo: por medio del disco de tiempo. También se podrá realizar un ajuste más fino del tiempo

por el desplazamiento del imán de arrastre. Moviendo el imán hacia adentro de la unidad disminuye el tiempo, mientras que moviéndolo hacia adelante aumenta el tiempo.

Sobrealcance: es una característica operacional de las unidades instantáneas de sobrecorriente que indica el exceso de alcance de la zona de operación - para la que se ajustó en porcentaje. Es causado por la corriente descentrada dc del estado transiente. Está determinado de la manera siguiente:

$$OR = (K - 1) 100$$

$$K = \frac{I_s}{I_t}$$

donde:

K = alcance transiente por unidad

I_s = corriente de puesta en trabajo del relé en estado estable.

I_t = mínimo valor de estado estable de la corriente transiente con máximo descentramiento a una especificada razón L/R que hará operar el relé.

OR = sobrealcance (en porcentaje).

Sobrecarrera: es el tiempo (TOP) necesario para cerrar los contactos a 20 veces el valor del tap con el máximo desplazamiento del disco menos el tiempo (TI) para alcanzar el punto donde la corriente debe ser returada para prevenir el cierre de los contactos debido al momentum del disco.

El fenómeno de la sobrecarrera también es conocido como tiempo marginal de impulso (TIM), donde:

$$T_{im} = T_{op} - T_I$$

Relación de reposición a puesta en trabajo; el valor de reposición es el valor máximo disminuyendo desde el valor de puesta en trabajo a la que el relevador se repone. En los relés existen variadas relaciones del valor de reposición a puesta en trabajo, siempre menor que uno y mas crítico en los relevadores de cd.

Tiempo de reposición: es el tiempo al que el contacto móvil ha regresado a su posición de reposo.

Técnica de ajuste: El relé de sobrecorriente de tiempo inverso para fallas de fase se ajusta para operar a una corriente de falla fase-fase en el final de la próxima sección de línea en condiciones

de mínima generación. A menos de que el relé no sea monitoreado por una unidad de bajo voltaje el ajuste no debe ser nunca menor que la corriente de carga máxima, usualmente se lo hace a 1.5X regimen del T.C.

El tiempo deberá ser ajustado al mínimo salvando las capacidades térmicas de la línea en caso de no considerar la coordinación.

Para los relés de falla a tierra el ajuste de la corriente de puesta en trabajo puede ser menor que la corriente de falla. Se considera para su ajuste una falla de fase a tierra en un punto de la sección de línea a proteger que corresponde al mínimo valor de corriente.

La unidad instantánea se ajusta para operar a un valor de corriente del 25% más elevada que la de falla trifásica o máxima generada en el extremo lejano de la línea.

El relé de tiempo inverso-definido (I.D.M.T.) es una solución de compromiso entre las características del relé de tiempo inverso y del relé de tiempo definido. Se recuerda que el primero presentaba la desventaja de que en sistemas con aterrizamiento a tra-

vés de impedancia δ en sistemas en que varía considerablemente la generación (Z_s) se produce el inconveniente de la disminución de la corriente de falla que aunque no alteraba la selectividad del sistema ocasionaba peligrosos aumentos del tiempo de disparo de estos tipos de relés (tiempo inverso). En cambio aquel último tipo de relé, el de tiempo definido, se caracteriza porque su tiempo de funcionamiento es independiente de la magnitud de la corriente aunque su desventaja radica en que aplicado en coordinación con otros relés en una línea permitía peligrosos tiempos de disparo en la primera sección de línea junto al generador.

El relé tipo I.D.M.T. posee la característica que se muestra en la figura logrando poseer la característica de tiempo definido por efecto de la saturación del electromagneto.

La característica funcional del relé de sobrecorriente extremadamente inverso es que su curva de operación $I^2 t = K$ es de la misma forma que la de tolerancia térmica lo que la hace útil para protección de generadores, transformadores con puesta a tierra, y cables de alto costo.

En casos de difícil coordinación por pequeñas magnitudes de corriente también son útiles pues una pequeña diferencia en corriente producen grandes cambios en tiempo de operación.

C. Análisis experimental de las características operacionales de los relés de sobrecorriente

1. Determinación de la curva operacional del relé IDTM tipo TJM10 trifásico de la casa Reyrolle.

Para este análisis conviene trabajar con sólo una unidad monofásica del relé trifásico.

Dispóngase del banco de prueba, el relé TJM10 y un contador de tiempo.

Utilícese la fase roja solamente del banco de prueba, ajústese la reactancia de la fuente a 27.8 ohmios, la resistencia de la fuente a cero, los inte

ruptores de falla para una del tipo fase-tierra.

Conecte el contador de tiempos, el relé y el banco como se muestra en la figura. El contador determinará el tiempo utilizado por el relé para operar desde el instante que la corriente de falla comenzó a circular.

Ajuste el relé para un valor cualquiera del disco del tiempo y a un porcentaje determinado de la corriente de régimen como ajuste del tap para puesta en trabajo.

Ajuste la unidad POW (point-on-wave) para conseguir cero valor de componente cd y varíe la corriente secundaria del TC 1A variando el número de vueltas primaria del TC desde 18 hasta 62 vueltas.

Tabule la corriente secundaria y el tiempo de operación.

Para conseguir mas elevados valores de corriente secundaria utilice el devanado de 5A variando así mismo el número de vueltas primaria desde 18 a 72 vueltas.

Considere en todo momento la capacidad térmica del

banco Robinson. Se adjunta el gráfico de la curva mencionada y de las características del relé TJM10 provistas por el fabricante.

Disco de Tiempo TD	TAP 5A	Sec TC	Duración de tulla P.O.W.	Angulo de tulla P.O.W.	Is amp.	Multiplo P.v. Is	Tiempo de operación Seg.
0.4	100%	5A	999 [1/2]	90°	9.07	1.8	4.3
					9.6	1.9	3.9
					10.5	2.1	3.5
					11.6	2.4	3.1
					16.5	3.3	2.3
					19.1	4.0	2.1
					21.7	4.3	1.9
					26.0	5.2	1.5
					32.5	6.5	1.2
39.0	7.8	1.0					
0.1	100%	5A	999 [1/2]	90°	8.7	1.8	0.90
					11.1	2.2	0.82
					20.0	4.0	0.55
					28.0	5.6	0.46
					35.0	7.0	0.33
					41.0	8.2	0.28

Con los resultados experimentales obtenidos se procede a la graficación de las dos curvas y además se adjunta copia de las curvas características provistas por el fabricante para su comparación.

Fue necesario para alcanzar los múltiplos elevados del tap para la corriente secundaria utilizar diferentes valores de impedancia primaria para así ir consiguiendo valores cada vez mas elevados de corriente primaria. Como todos los valores de impedancia eran reactivos, el ángulo de punto de onda de la unidad POW se mantuvo siempre ajustado a 90° (ángulo de nulo descentramiento).

2. Determinación de las características operacionales de relé de sobrecorriente inverso tipo IAC de la Casa General Electric.

Para la determinación de la curva operacional de este relé, repita el mismo procedimiento anterior. Por razones de análisis comparativo utilice los mismos valores de corriente que sirvieron para la prueba del relé TJM10. Asimismo tabule los datos de corriente secundaria y tiempo de operación.

Para facilidad de trabajo se adjunta un gráfico de las curvas características del relé y sus valores de régimen.

La determinación de la curva de operación de la unidad instantánea se la realiza de igual manera que lo fue para la unidad de tiempo inverso. El ajuste de la unidad instantánea (10, 20, 30 ó 40 amp.) se lo realiza desplazando la pieza polar de la unidad por medio de un tornillo de cabeza exagonal y haciendo coincidir la cara superior de la cabeza de dicho tornillo con la escala de ajusta localizada en la parte posterior.

En la figura a continuación se presenta el diagrama de conexiones para las 2 pruebas anteriores.

POW = 90°

TAP = 4

TC-5A

TIME SETTING = 1.0

$X_{L_{32}}$	X_{32}	t [seg]	N_p	F.E. P.O.W.	I_s [amp]	Multiplo del Tap I_s
0	13.4	1.3	50	336	7.5	1.9
		1.1	60		8.9	2.2
		0.5	80		12.0	3.0
0	7.0	0.6	50		14.0	3.6
		0.4	80		23.0	5.7
4.2	0	0.3	50	60	24.0	7.9
		0.2	80		38.0	9.6
3.0	0	0.2	50	40	33.3	8.3

3. Determinación experimental del sobrealcance de la unidad instantánea del relé tipo IAC.

Conexione la unidad instantánea de la misma manera que se utilizó para el caso anterior. Utilice el secundario de 5A del TC.

Ajuste la unidad POW de tal manera de producir el máximo descentramiento para un valor determinado de corriente de operación de la unidad instantánea.

Disminuyase el valor de la corriente variando el número de vueltas del primario del TC. Obténgase el mínimo valor posible de corriente con máximo descentramiento para operar el relé.

Tabúlese para este caso el valor de la corriente de estado estable correspondiente (magnitud que con cero descentramiento no operará la unidad instantánea). Este último valor de corriente será I_t .

Es necesario que se tenga cuidado de conseguir por ajustes repetidos de la unidad POW el máximo descentramiento de todas las pruebas de magnitudes de corriente.

$$a) \text{ POW} = 0^\circ$$

$$\text{F.E. POW} = 999 \text{ } 1/2c$$

$$N_p = 68$$

$$R_\Delta = 7.0 + j3.4$$

$$I_\Delta = \frac{V_p}{Z_p} \times \frac{N_p}{N_\Delta} = \frac{120}{7.0 + j3.4} = 17$$

$$I_t = 4.0 \text{ amp.}$$

$$K = \frac{I_\Delta}{I_t} = \frac{17.0}{4.0} = 4.25$$

$$\text{Sobrealcance} = (K-1) 100 = 325\%.$$

4. Determinación experimental de la sobrecarrera del relé TJM10

Instálase el relé TJM 10 de la misma manera que se empleó para el análisis # 1.

Seleccíonese un porcentaje del régimen para el valor de puesta en trabajo (50% x 5A = 2.5A).

Ajústese el disco del tiempo para máximo desplazamiento (1.0).

Seleccíone un número apropiado de vueltas en el primario del TC utilizando el secundario de 5A para conseguir un valor de corriente secundaria de 20 veces el valor de puesta en trabajo (20 x 2.5A = 50A).

Por medio de la unidad contadora de tiempo determínese el tiempo necesario para cerrar los contactos bajo las anteriores condiciones (TOP).

Luego por medio de la unidad POW ajustese el tiempo de duración de la talla al valor tomado por el relé para cerrar sus contactos. Disminúyase, entonces, gradualmente el tiempo de duración de falla hasta el mínimo necesario suficiente para que el relé logre cerrar sus contactos aún después de haberse retirado la corriente. Tabúlese los datos del tiempo de duración de falla de la unidad POW (T_f).

$$X_L = 3.0$$

$$X_S = 0.0$$

$$V_p = 120 \text{ volts.}$$

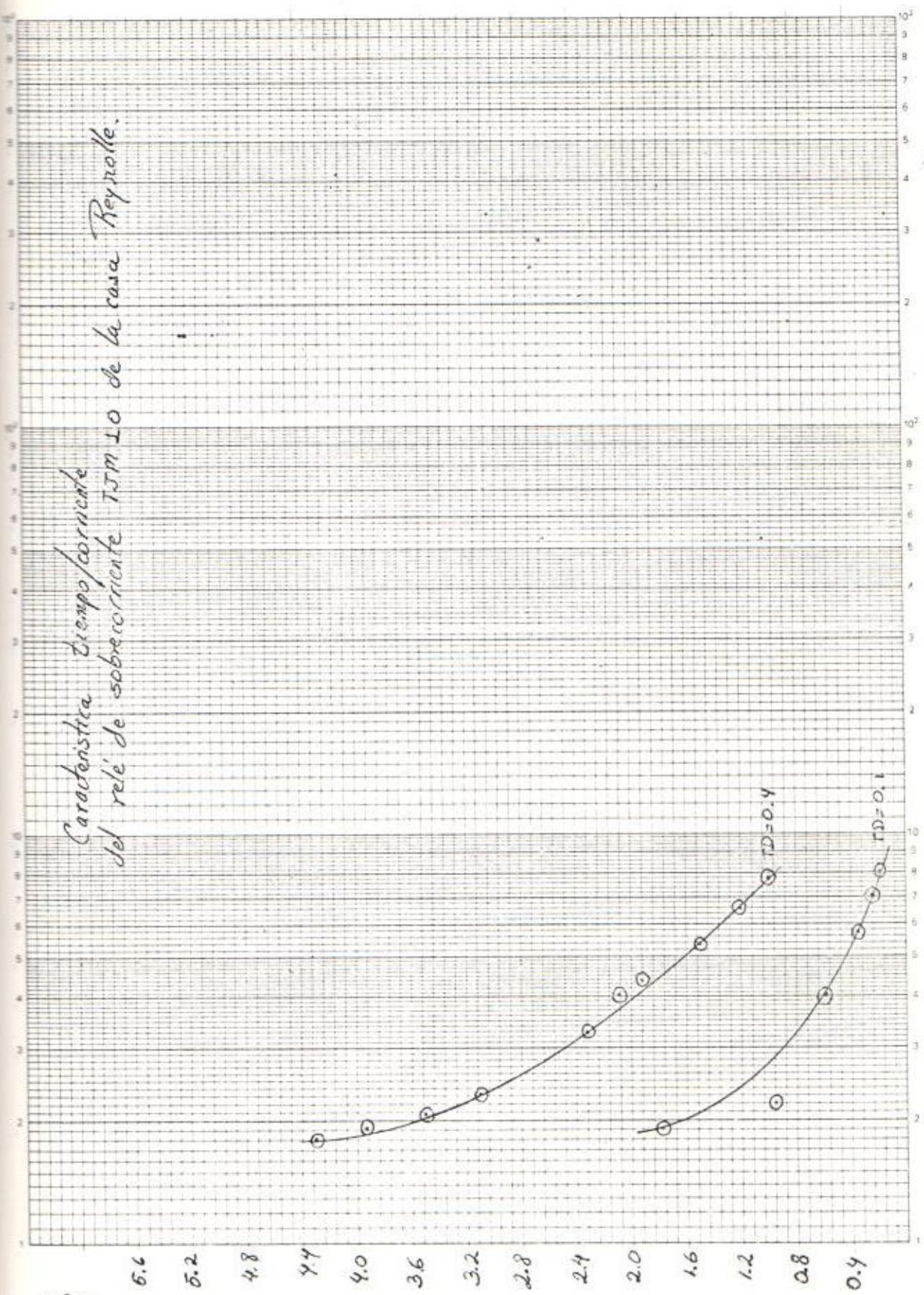
$$N_p = 80 \text{ vueltas}$$

$$TOP = 1,400 \text{ segs. } POW = (168 + 50) \text{ } 1/2 \text{ ciclos}$$

$$\begin{aligned} \text{Tiempo mínimo (POW)} &= 136 \text{ } 1/2 \text{ ciclos} - 50 \text{ } 1/2 \text{ ciclos} \\ &\text{de prefalla} = 86 \text{ } 1/2 \text{ ciclos.} \end{aligned}$$

$$TIM = TOP - T_i = 168 - 86 = 82 \text{ } 1/2 \text{ ciclos} = 656 \text{ msec.}$$

Característica tiempo/corriente
del relé de sobrecorriente TSM 10 de la casa Reyrolle.



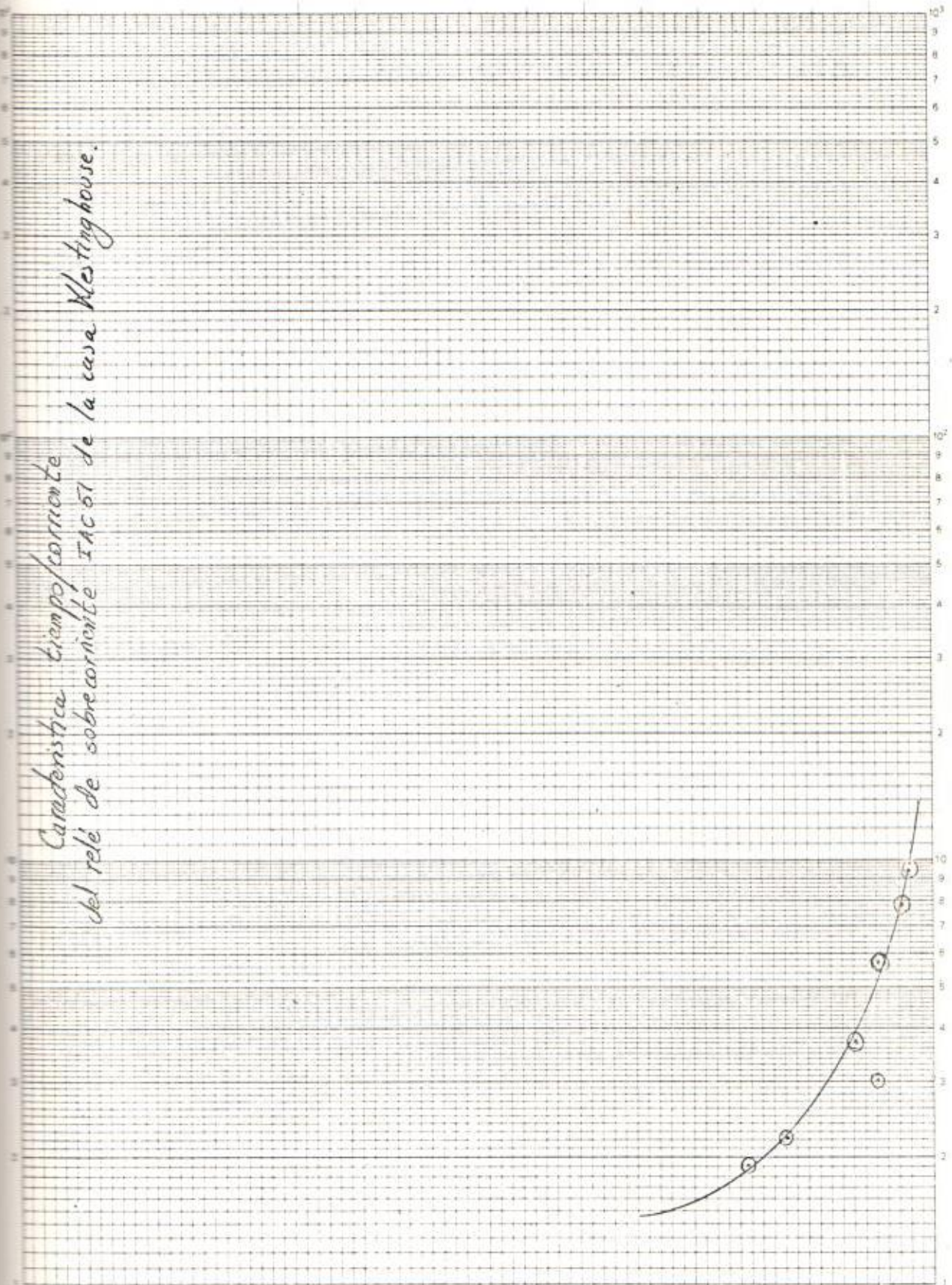
Corriente (Múltiplo del ajuste del tap)

tiempo [seg.]

Característica tiempo/corriente
del relé de sobrecorriente IAC-57 de la casa Westinghouse.

Tiempo
[seg.].

3.2
2.8
2.4
2.0
1.6
1.2
0.8
0.4



Corriente (Múltiplos del ajuste del top)

III. PROTECCION CON RELES DIRECCIONALES DE SOBRECORRIENTE

A. Introducción

El objetivo de este capítulo es el de analizar las características más sobresalientes del relé direccional de sobrecorriente. Para tal fin se utilizará el relé tipo CR de la casa Westinghouse.

B. Teoría de las características

La unidad direccional del relé de sobrecorriente es usualmente del tipo de inducción utilizando para ello la estructura tipo cilindro. Se utiliza esta estructura debido a la característica de alta velocidad.

La ecuación característica del torque producida en esta unidad es la siguiente:

$$T = |I| |V| \cos (\theta - \tau)$$

en donde θ es el ángulo entre V e I , y τ el ángulo del torque máximo.

La unidad está alimentada por dos magnitudes; la magnitud de voltaje que es la polarizante y la de corriente que es la de operación.

El ángulo del máximo torque de esta unidad es de 30°

de adelanto de la corriente con respecto al voltaje.

La unidad direccional para operar con el ángulo de torque máximo indicado anteriormente implicaría un factor de potencia de 60° atrasado del sistema si se conecta el relé bajo la modalidad de 90° , esto es, tomando como corriente la de una fase y como voltaje el de línea a línea de las dos fases restantes. La figura a continuación ayuda a la comprensión del problema.

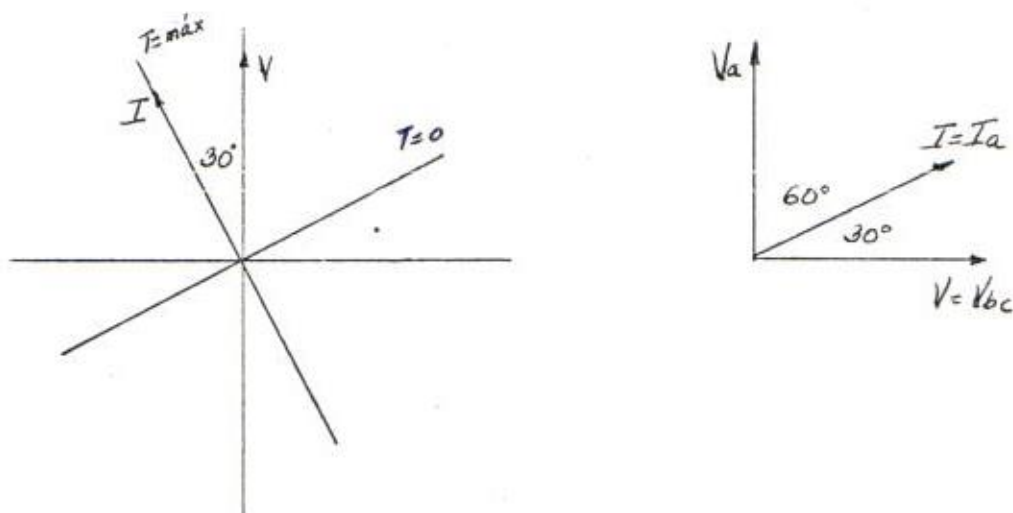


FIGURA III-1

Caracteriza a la unidad direccional un valor mínimo de corriente para puesta en trabajo para un valor determinado del voltaje polarizante. Esto lleva a establecer lo conocido como característica producto constante, esto es:

$$VI_{\min} = \text{constante}$$

El control de operación del relé es llamado direccional ya que en el relé específico que se estudiará, la bobina de sombra de la unidad de sobrecorriente está en serie con los contactos de la unidad direccional. Este tipo de control y no el de colocar en serie los contactos de las unidades es el mejor ya que evita o peraciones incorrectas del relé.

La unidad de sobrecorriente utilizada es la CO-2 de características de tiempo corto. Se adjunta copia de curva característica de esta unidad con los demás da tos de régimen. De igual manera se indica los valo res característicos de la unidad direccional.

La unidad direccional tiene tan corto tiempo de operación y tan bajo valor de puesta en trabajo que no necesita ajuste.

El relé direccional de sobrecorriente deberá ser uti lizado cuando existan algunas de las siguientes 3 si tuaciones:

1. Con una unidad instantánea cuando la corriente en dirección contraria a la de protección del relé sea mayor que el 80% de la corriente máxima de fa lla en el extremo lejano de la sección de línea

en que trabaja el relé,

2. Con una unidad de sobrecorriente de tiempo inverso cuando la corriente inversa de falla sea mayor que el 25% de la corriente mínima de falla en el extremo lejano de la sección de línea en que opera el relé.
 3. Y en general cuando el valor deseado de puesta en trabajo sea menor que el doble de la corriente a plena carga que fluye dirección inversa.
1. Determinación de los valores de corriente mínima de puesta en trabajo en función de la fase a voltaje polarizante constante.

El propósito de este análisis es determinar la zona muerta de operación del relé direccional a un valor constante de voltaje polarizante.

Resulta más cómodo experimentalmente lograr diferentes desfases entre el voltaje polarizante y la corriente de operación variando la fase del primero - por medio de una unidad desfasadora.

Considérese que el voltaje de régimen polarizante - del relé es de 120 volts. Por lo tanto deberá ser

Esta la magnitud del voltaje proveniente de la unidad desfasadora.

Las conexiones empleadas para este análisis se indica en la figura 2. Para comprobar la operación del relé en cada tentativa bastó con la observación del desplazamiento de su contacto.

Por medio de las vueltas del primario del TC se variaba la magnitud de la corriente para cada caso. Se utilizó el secundario de 1A.

Los resultados se hallan tabulados en la tabla III.1, y graficados (Figura III.3).

Impedancia primario $Z_p [Ω]$	Angulo del V con res- pecto a I	N_p	$\frac{I_s}{I_{Lamp}}$
15 $\angle 62^\circ$	112	2	0.10
31 $\angle 61.6$	115	2	0.21
15 $\angle 62$	119	40	0.21
4.2 $\angle 60$	120	12	0.25
31 $\angle 61.6$	121	20	0.27
4.2 $\angle 60$	122	24	0.34
4.2 $\angle 60$	124	50	0.70
15 $\angle 62$	126	80	4.00
31 $\angle 61.6$	129	80	8.27

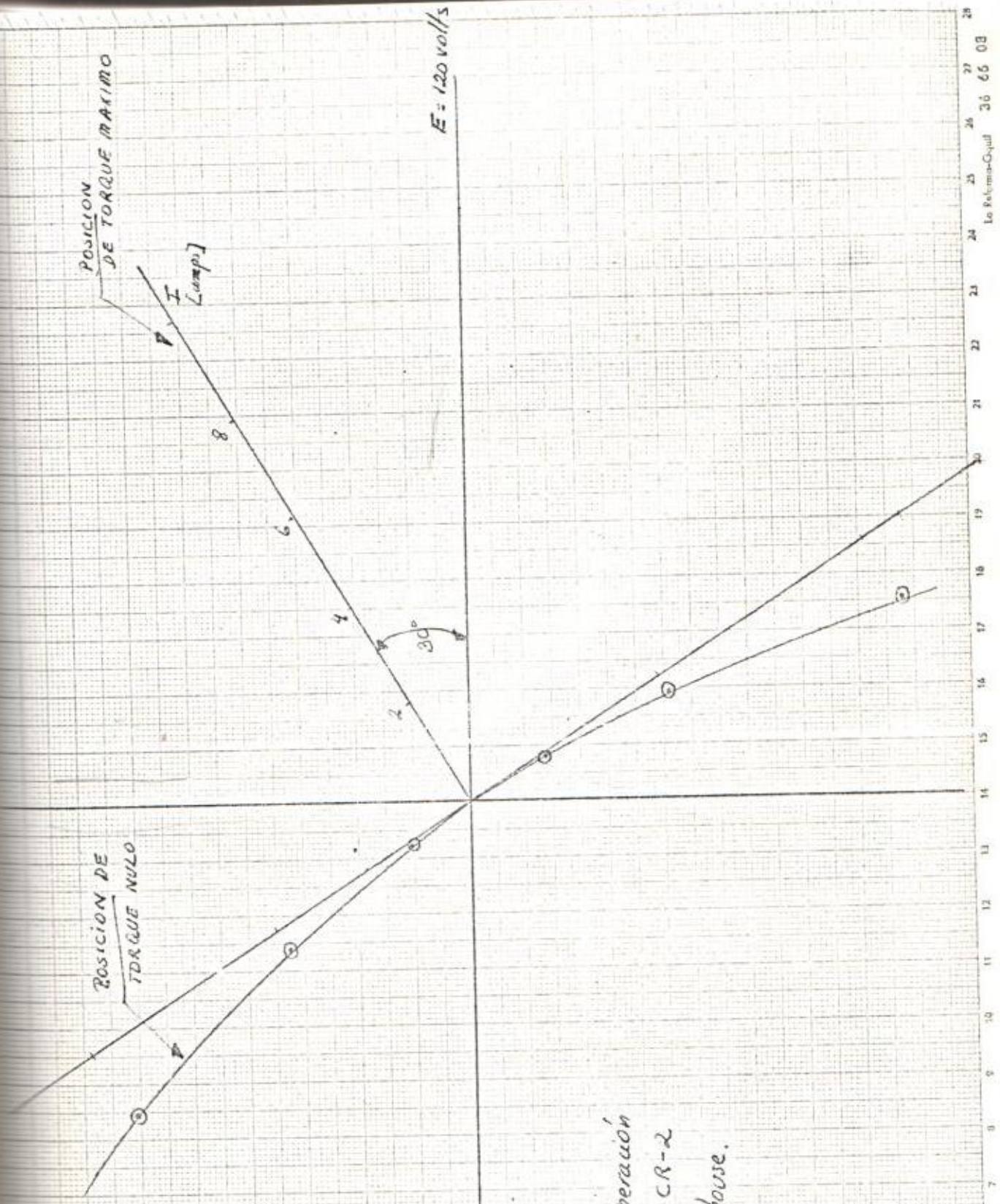


Fig III-3
 Característica de operación
 del relé direccional CR-2
 de la casa Westinghouse.

2. Análisis de la característica producto constante

Conéctese el relé de la manera indicada en la figura III.4.

Determínese el valor de corriente mínima para operar la unidad direccional. Tabúlese los datos de corriente y voltaje.

Varíese la magnitud polarizante del voltaje utilizando para este fin los taps del transformador de potencial.

Para cada caso anterior determínese el valor de la corriente mínima de puesta en trabajo de la unidad direccional del relé. Tabúlese los datos.

Compruebe la característica producto constante.

Resultados:

Debido a los extremadamente bajos valores de corriente mínima de puesta en trabajo para la unidad direccional se utilizó un mayor valor de impedancia primaria y también el devanado secundario de 1A del TC. Se ajustó la unidad POW para conseguir nulo efecto de la componente cd de la onda transiente.

Resistencia de fuente = 120

Reactancia de fuente = 164.8

Angulo de la unidad POW = 53°

Fin de falla (F.E.) = 999 medios ciclos

Corriente primaria = 0.6 amperes

T.P. V ₂₃	voltios	N _p	I _{min}	V × I _{min} .
100%	117.0	8	9 × 10 ⁻³	1.05
75%	88.7	6	12 × 10 ⁻³	1.07
50%	58.6	10	20 × 10 ⁻³	1.17
25%	29.1	22	44 × 10 ⁻³	1.28

Como se puede apreciar en la tabla de datos prácticamente se conserva constante el producto VI_{min} que caracteriza al relé.

3. Análisis del tiempo de operación de la unidad direccional para diferentes valores de corriente.

Se trata de hacer un análisis exclusivo de la unidad direccional puesto que el relé está constituido por 2

Para realizar esta medición fue necesario disminuir aún más la corriente primaria aumentando la impedancia primaria.

unidades totalmente distintas e independientes a no ser por el control de la unidad de inducción a través de los contactos de la unidad direccional.

Para proceder a realizar este análisis se siguieron los siguientes pasos:

- a) El análisis fué llevado a efecto en condiciones de operación a torque máximo para lo cual fué necesario ajustar las impedancias de línea para conseguir un ángulo del factor de potencia igual a 60° , esto es;

$$\text{Resistencia de la fuente} = 4.1 \Omega$$

$$\text{Reactancia de la fuente} = 7 \Omega$$

Fuó conveniente hacer esta selección de ajuste de las impedancias de la fuente y no el de la línea que posee directamente impedancias máximas de 4.2 a un ángulo fijo de 60° por la limitación térmica del equipo.

Para evitar operaciones erróneas por efecto de la corriente descentrada se ajustó el ángulo de aplicación de voltaje a 60° por medio de la unidad POW.

Se aplicó voltaje polarizante de 120 volts que era

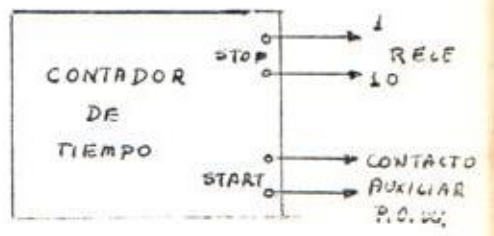
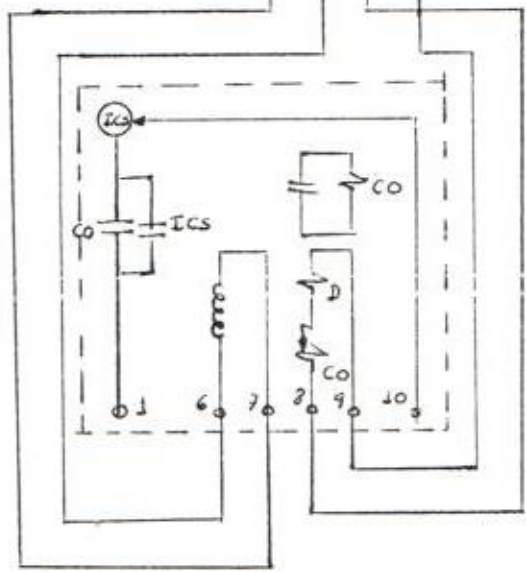
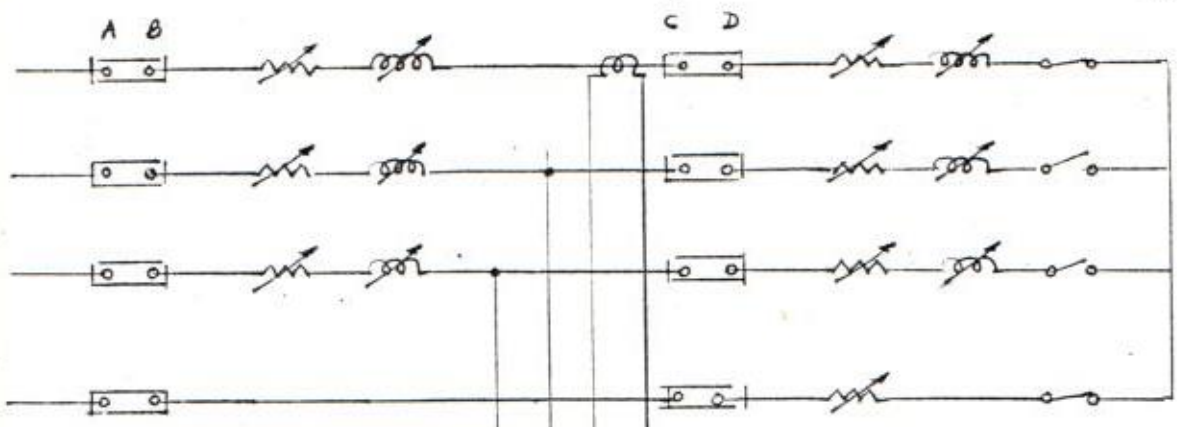
el de régimen utilizando los TP al 100% tomando las líneas 2. y 3.

El selector de fin de falla (F.E.) de la unidad POW se ajustó al máximo (999 medios ciclos).

Se realizó el conexionado que se indica en la figura 4 y por medio de una unidad contadora de tiempos. Se determinó el tiempo de operación del relé para diferentes valores de corriente secundaria obtenidas por la variación del número de vueltas del primario del TC. Se utilizó el secundario de 1A del TC de fuente.

Los datos fueron tabulados en la tabla 3 y se graficó la curva correspondiente (Figura III.5).

N_p	I_s	t [seg]
10	0.5	—
20	1.0	1.1
30	1.5	0.90
40	2.0	0.77
50	2.5	0.71
60	3.0	0.70
70	3.5	0.67
80	4.0	0.60

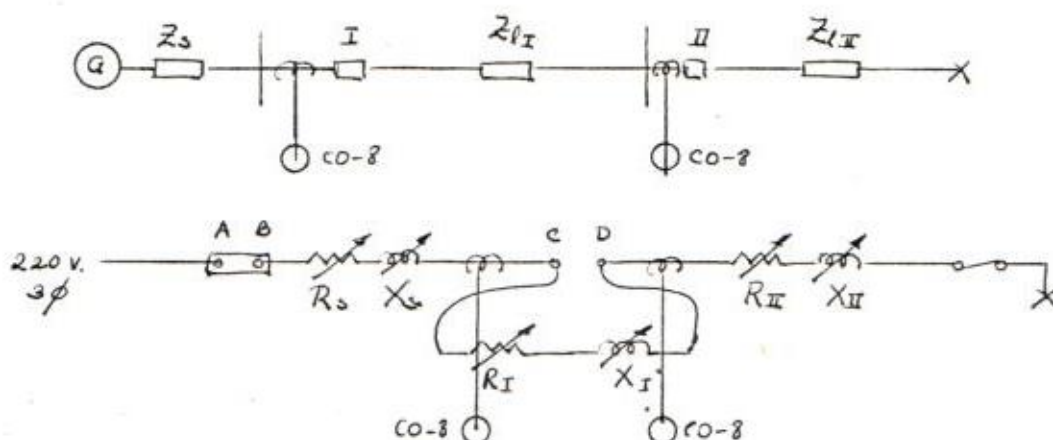


IV. COORDINACION CON RELES DE SOBRECORRIENTE

A. Introducción

Tiene este capítulo como finalidad el realizar una aplicación de la coordinación con relés de sobrecorriente de fase y tierra en el simulador Robinson, analizando el funcionamiento del sistema para máxima y mínima generación así como también para diversos tipos de fallas, esto es, de fase a fase, trifásicas y fallas a tierra.

Se utilizará para este fin siete relevadores de sobrecorriente tipo CO-8 de la casa Westinghouse para ubicarlos en 2 puntos del simulador, esto es, a la salida de la sección fuente precediendo a una impedancia externa que representará la primera sección de línea y a la entrada de la sección línea precediendo a la impedancia de línea existente en el simulador que representaría la segunda sección de línea. La falla se aplicaría en el extremo de la segunda sección de línea en donde se hallan los selectores de falla. La figura a continuación brinda una clarificación del sistema.



Se utilizarán contadores de tiempo para la determinación de los tiempos de operación del relé.

B. Teoría de la coordinación por sobrecorrientes

El propósito de la coordinación de relevadores es tratar de minimizar al máximo el retiro o desenergización de las alimentadoras innecesariamente. Para alcanzar tal finalidad es necesaria la selectividad en la operación de los relevadores.

El tipo de análisis que aquí se va a tomar es para el caso mas sencillo de coordinación y que corresponde al caso de una alimentadora radial con una fuente generadora en sólo uno de sus extremos. Una representación del sistema radial mencionado se presentó en la sección anterior. En estos se comienza un análisis de coordinación y ajustes desde el último relevador más alejado de la fuente y progresivamente se van realizando

do los ajustes de operación para conseguir la coordinación en cada uno de los relevadores hacia la fuente.

El trabajo de ajuste requiere que el relevador que da protección primaria a una sección de línea de protección de respaldo a la próxima sección de línea.

Seleccionada una curva operacional para un relé, el próximo dispondrá de otra que posea una determinada demora de tiempo de operación para así asegurar la selectividad. El mínimo de estos intervalos de tiempo considerados se lo conoce como CTI (coordinating time interval) y es usual un valor de 0.3 segs. más el tiempo de operación del disyuntor que opera dicho relé.

El CTI considera:

- a) El tiempo de interrupción de la falla por el disyuntor.
- b) El efecto de sobrecarrera característico en los relés de sobrecorriente del tipo disco de inducción.
- c) Un margen para compensar posibles desviaciones en la operación del relé de su curva característica, error en los TC, aproximaciones en el cálculo de la corriente de falla y cambios por crecimiento del

sistema.

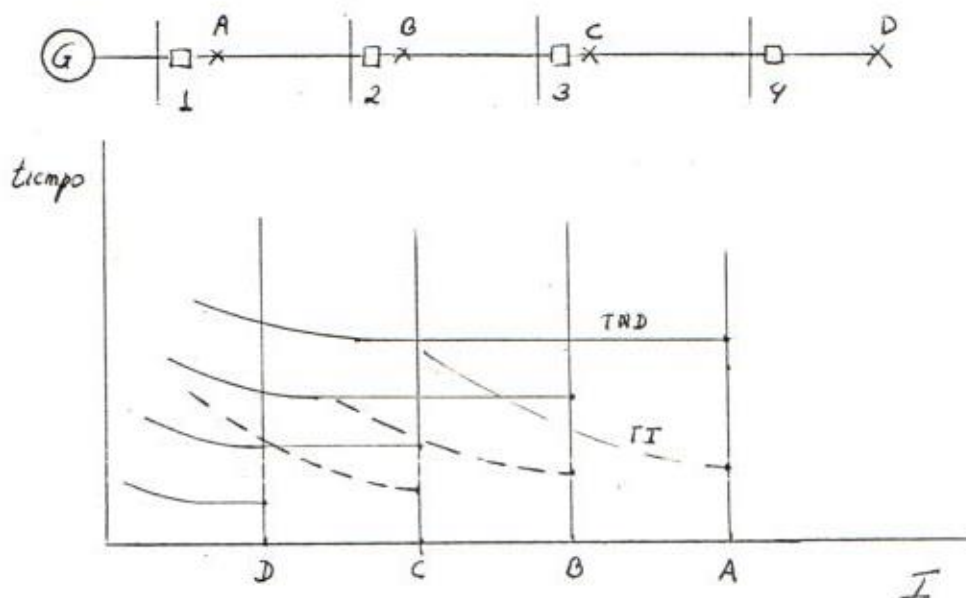
Para aplicaciones como la que se considera en este capítulo es conveniente utilizar relés de sobrecorriente de tiempo inverso sin necesidad de disponer de una característica direccional debido a que la corriente de falla siempre presenta una sola dirección al fluir, esto es, de la fuente al punto de falla.

Los relés de sobrecorriente de tiempo inverso se prefieren a los de tiempo definido cuando existe una variación apreciable entre las corrientes de falla en los extremos de la sección de línea que se protege, esto es cuando existe una diferencia considerable entre $\frac{E_s}{Z_s + Z_l}$ y $\frac{E_s}{Z_s}$ donde E_s es el voltaje de la fuente, Z_s impedancia del generador y Z_l impedancia de línea.

La utilización de los relés de tiempo definido presenta el inconveniente de disponer demasiado tiempo de operación en los relés de las secciones de línea más próxima a la fuente, lo que constituye un riesgo.

La figura siguiente presenta una clara idea de la ventaja conseguida con los relés de tiempo inverso. Nótese que se disminuyen los tiempos de operación y se guarda

la coordinación que para su ajuste se la realiza en las magnitudes elevada de corriente de falla lo que por consiguiente logra coordinación para bajos valores de corriente.



Para conseguir una mejor coordinación como se nota es conveniente que todos los relés dispongan del mismo tipo de curva característica. Será conveniente no utilizar una curva característica más inversa que las condiciones del sistema dicten pues acarrearla una prolongación innecesaria en el tiempo de operación.

Cálculo de los ajustes

Considerando el estudio de un sistema radial que es el

más fundamental se procede con los siguientes criterios para el ajuste de los relés.

- a) Se determinan las corrientes de fallas máximas y mínimas en las subestaciones.

Las corrientes de fallas máximas se consideran a las fallas trifásicas en condiciones de máxima generación del sistema.

Las corrientes de fallas mínimas se consideran a las de fase a fase en condiciones de mínima generación del sistema.

- b) Dibújense estas corrientes en un gráfico tiempo-corriente, trazando líneas verticales para los diferentes valores.
- c) Los valores de puesta en trabajo de los relés de fase será para el valor de corriente mínima de falla en el extremo de la sección de línea próxima o en la propia si da respaldo o es el último relé del sistema, respectivamente.

El valor de puesta en trabajo en ningún caso será menor de 1.5 veces el tap seleccionado ni menor que la máxima corriente de carga.

- d) Para el primer relé a ajustarse se selecciona un tiempo de operación lo mas pequeño posible, para su corriente máxima de falla obteniéndose así un múltiplo del valor de puesta en trabajo, lo que permitirá seleccionar una curva característica adecuada.
- e) Para el ajuste del relé de respaldo se coordina su operación para el valor de corriente de falla máxima, esto es, en la barra del relevador a respaldar. Determinése así el múltiplo de puesta en trabajo - del relevador de respaldo.
- f) El tiempo de operación del relé de respaldo para - el valor de corriente múltiplo de "pick up" será el correspondiente al del relevador a respaldar mas el intervalo CTI. Con lo anterior es posible determinar la curva característica del nuevo relé.

Para los relés de tierra el ajuste se lo realiza para una falla monofásica a tierra sin considerar las condiciones de generación ya que por el neutro, en un sistema equilibrado, solo existirán corrientes de secuencia cero para casos de falla.

Por la apreciable gran magnitud de la impedancia de secuencia cero y la consiguiente gran variación de las corrientes de falla en los extremos de una sección de

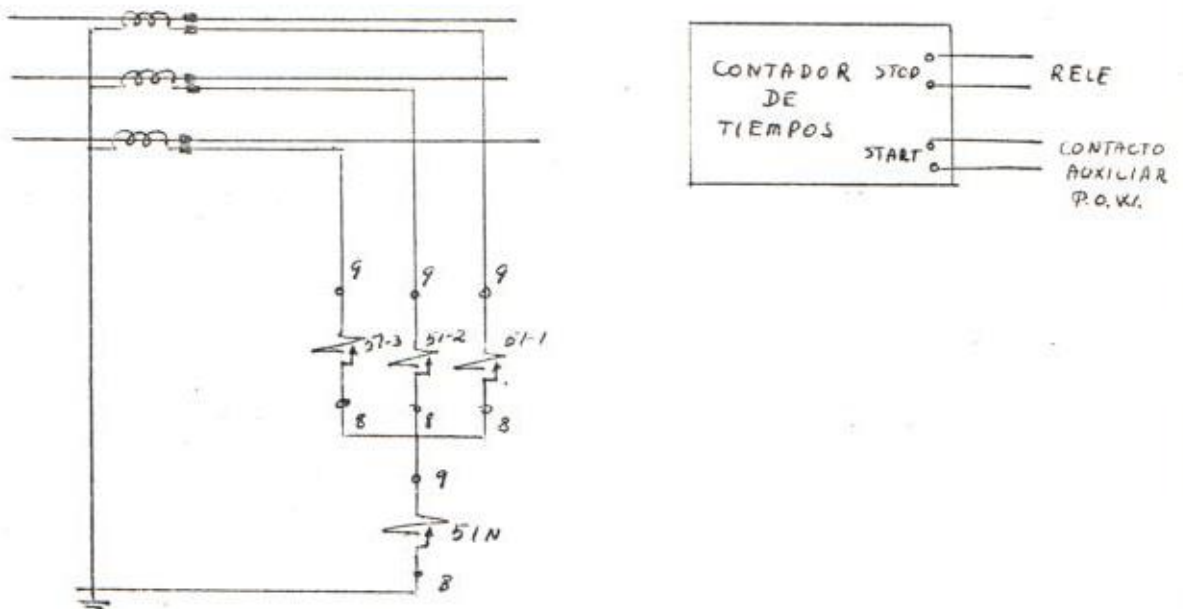
línea tiene gran aplicación para fallas a tierra el relevador de sobrecorriente, además es independiente de las variaciones de generación.

Son usuales tap de trabajo 0.5 ó 1.0 amp.

Conviene que siempre que se proceda a realizar una experimentación en el banco de prueba comprobar que esté dentro de los límites de capacidad térmica indicada por el fabricante.

C. Análisis experimental de un ejemplo de coordinación

Conexione los relés C0-8 de tal manera de presentar protección de fallas de fase y de tierra como se indica en la figura, utilizando los transformadores de corriente de la fuente y de la línea.



Conexiónese el contador de tiempos digital para determinar el tiempo de operación del relé.

Utilícese el devanado de 5A secundario de los TC.

Ajústese los valores de resistencia de fuente a 0Ω , reactancia 13.4Ω , para mínima generación y 13.4 para máxima generación.

Retírese los puentes externos entre los bornes C y D de las 3 fases.

Conexiónese entre los bornes C y D una impedancia externa de 117.6Ω .

Ajústese el selector de valores de reactancia de línea para 4.2 y un ángulo de impedancia de 60° .

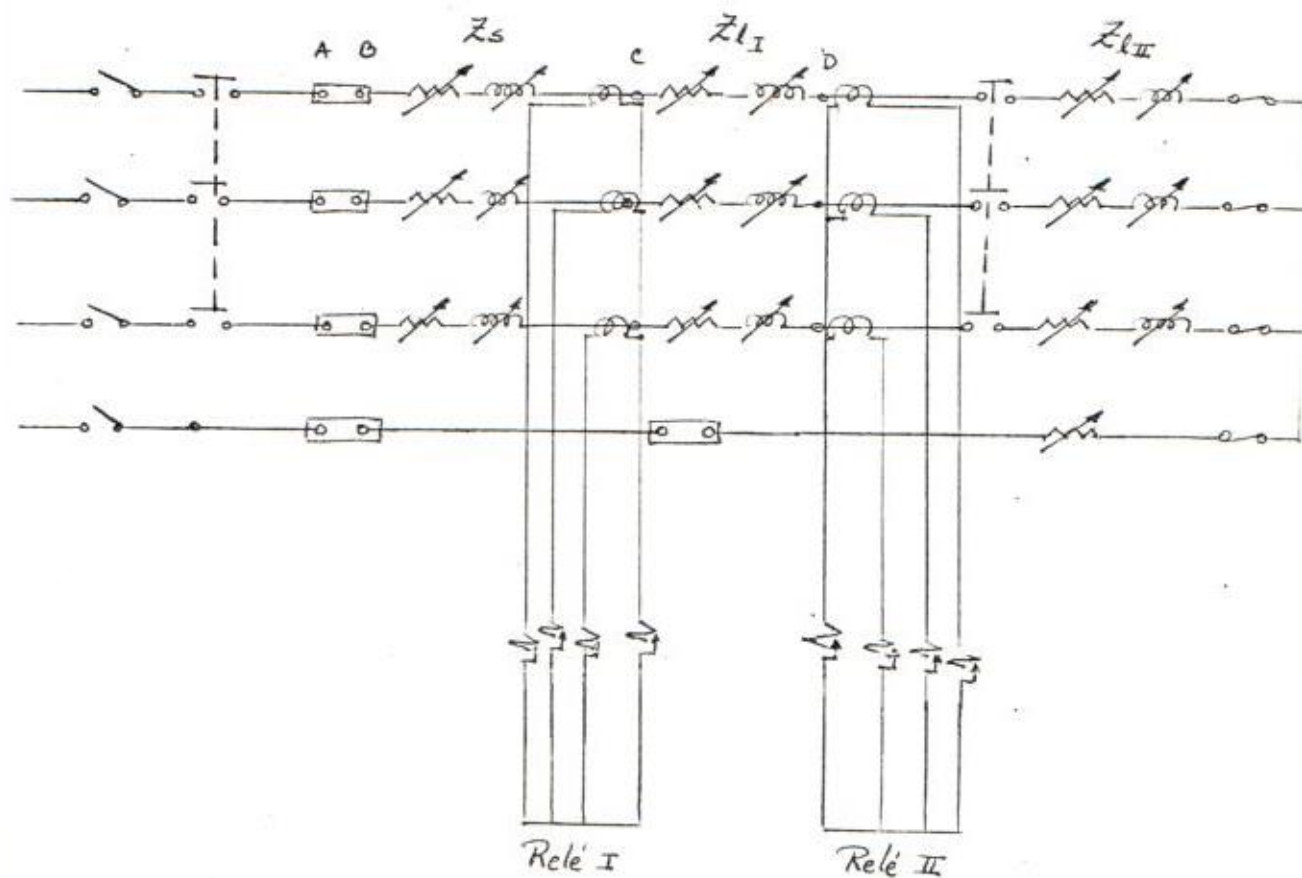
Ajuste los selectores de falla para una trifásica.

Cabe indicar que los ajustes de impedancia indicados anteriormente se realizan en las 3 fases del simulador Robinson.

Ajústese el número de vueltas primarios de los TC en 60 vueltas, tanto para los de la fuente como los de la línea.

Ajústese la impedancia del neutro en 0Ω .

La figura a continuación clarifica el conexionado del simulador.



Cálculo del ajuste de los relevadores CO-8:

Considérese como impedancia de la fuente para máxima generación el valor de 13.4Ω y para mínima generación 113.4Ω .

Los valores de régimen del relevador CO-8 así como sus curvas características se anexan.

Cálculo de la corriente mínima de falla de fases para

la segunda sección de línea; se considera una falla de fase a fase en condiciones de mínima generación. Considerando las fallas entre las fases b y c.

$$Z_1 = Z_2 = Z_{s\text{mín}} + Z_I + Z_{II} = j13.4 + j17.6 + 2.1 + j3.6 = 2.1 + j34.6$$

$$I_1 = -I_2 = \frac{V_{an}}{Z_1 + Z_2} = \frac{120 \angle 0}{2(2.1 + j34.6)} = \frac{120 \angle 0}{2 \times 34.6 \angle 86^\circ} = 1.7 \angle -86$$

$$I_a = I_1 + I_2 + I_0 = 0$$

$$I_b = a I_1 + a^2 I_2 + I_0 = (1 \angle 240) (1.7 \angle -86) + (1 \angle 120) (-1.7 \angle -86) + 0 \\ = 2.9 \angle 185$$

Cálculo de la corriente máxima de falla de fases para la segunda sección de línea; se considera una falla trifásica en condiciones de máxima generación.

$$Z_1 = Z_{s\text{máx}} + Z_I + Z_{II} + Z_I + Z_{II} = (j3.4) + (j17.6) + (2.1 + j3.6) \\ = 2.1 + j28 = 27 \angle 85^\circ$$

$$I_a = I_1 = \frac{V_{an}}{Z_1} = \frac{120 \angle 0}{27 \angle 85} = 4.3 \angle -85^\circ$$

Cálculo de la corriente de falla de tierra para la segunda sección de línea; se considera una falla de línea a tierra;

Mínima generación

$$Z_1 = Z_2 = Z_0 = Z_{s\text{mín}} + Z_I + Z_{II} + Z_N = (j13.4) + (j17.6) + (2.1 + j3.6) + (j0) \\ = 34.6 \angle 86^\circ$$

$$I_1 = I_2 = I_0 = \frac{V_{an}}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + Z_N} = \frac{120 \angle 0^\circ}{3 (34.6 \angle 86^\circ) + j0} = 1.2 \angle -86^\circ$$

$$I_a = 3 I_1 = 3.6 \angle -86^\circ$$

Máxima generación

$$Z_1 = Z_2 = Z_0 = Z_\delta + Z_I + Z_{II} + Z_N = (j3.4) + (j17.6) + (2.1 + j3.6) + j0$$

$$I_1 = I_2 = I_0 = \frac{V_{an}}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + Z_N} = \frac{120 \angle 0^\circ}{3 (28 \angle 85^\circ) + j0} = 1.4 \angle -85^\circ$$

$$I_a = I_1 + I_2 + I_0 = 3 I_1 = 4.2 \angle -85^\circ$$

Cálculo de la corriente mínima de falla de fase para la primera sección de línea. Así mismo se considera una falla de fase a fase en condiciones de mínima generación. En este caso la falla se produce en los bordes D del simulador.

$$Z_1 = Z_2 = Z_{\delta \min} + Z_I = j13.4 + j17.6 = j30.0 = 30 \angle 90^\circ$$

$$I_1 = -I_2 = \frac{V_{an}}{Z_1 + Z_2} = \frac{120 \angle 0^\circ}{2 (30 \angle 90^\circ)} = 2 \angle -90^\circ$$

$$I_a = I_1 + I_2 + I_0 = 0$$

$$I_b = a^2 I_1 + a I_2 + I_0 = (1 \angle 240^\circ) (2 \angle -90^\circ) + (1 \angle 120^\circ) (-2 \angle -90^\circ) + 0 \\ = 3.4 \angle 180^\circ$$

Cálculo de la corriente máxima de falla de fase para la primera sección de línea. Se considera una falla trifá-

sica en condiciones de máxima generación.

$$Z_1 = Z_{s\text{máx}} + Z_1 = j3.4 + j17.6 = j21.0$$

$$I_a = I_1 = \frac{V_{an}}{Z_1} = \frac{120 \angle 0^\circ}{21 \angle 90^\circ} = 5.7 \angle -90^\circ$$

Cálculo de la corriente de falla a tierra para la primera sección de línea.

Máximo:

$$Z_1 = Z_2 = Z_0 = Z_s + Z_1 = j3.4 + j17.6 = 21.0 \angle 90^\circ$$

$$I_1 = I_2 = I_0 = \frac{V_{an}}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + Z_N} = \frac{120 \angle 0^\circ}{3 \times 21 \angle 90^\circ} = 1.9 \angle -90^\circ$$

$$I_a = I_1 + I_2 + I_0 = 3 I_1 = 5.7 \angle -90^\circ$$

Mínimo:

$$j13.4 + j17.6 = 31 \angle 90^\circ$$

$$\frac{120}{3 \times 31 \angle 90^\circ} = 1.3 \angle -90^\circ$$

$$I_a = 3.9 \angle -90^\circ$$

Selección del tap de los relevadores:

Para los relevadores de fase de la II sección de línea

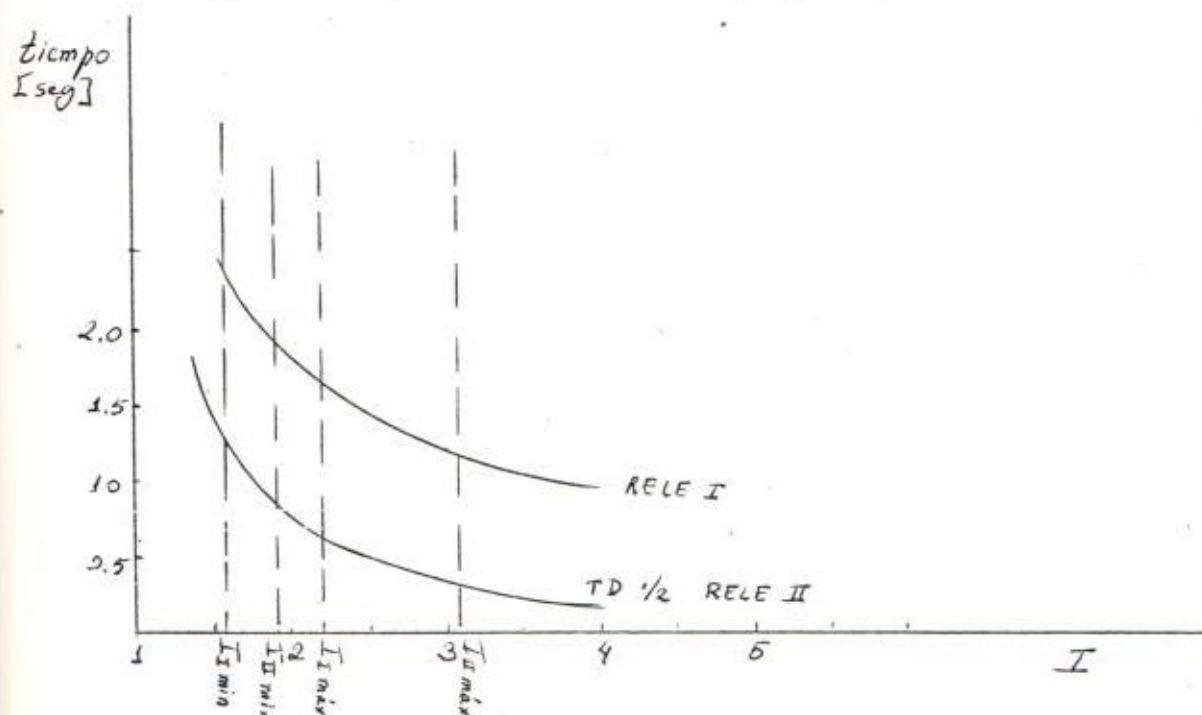
$$I_{\text{tap}} = I_{\text{pick up}} / \text{TC}$$

$$I_{\text{tap}} = \frac{I_{\text{falla mínima línea II}}}{1.5} / \text{TC} = \frac{2.9}{1.5} / \left(\frac{60}{32}\right) = 1.0 \text{ amp.}$$

Para los relevadores de fase de la II sección de línea.

$$I_{pick\ up\ II} = I_{pick\ up\ I} = 1.9\ amp. \quad T_{ap\ II} = T_{ap\ I} = 1.0\ amp.$$

Gráfico tiempo vs. corriente de falla;



Para obtener la mas rápida operación del relé II se podrá escoger la curva característica correspondiente al # 1/2 de la escala del dial del tiempo.

Para la selección de la curva característica del relé I se realiza el paso para la coordinación con el relé para sus fallas máximas.

$$I \text{ múltiplo de pick up I} = \frac{I_{max\ falla\ II}}{I\ p.u.\ I} = \frac{5.7}{1.9} = 3.0$$

El tiempo de operación para este punto de prueba será:

De las curvas del fabricante t_{II} para múltiplo del tap igual a 3.0 y con ajuste del disco a 1/2 será 0.35 seg.

de donde;

$$t_I = t_{II} + (0.3 \text{ seg.} + 0.3 \text{ seg.}) = 1.25 \text{ seg.}$$

donde 0.3 seg. + 0.3 seg. es el intervalo de tiempo para la coordinación más la operación del disyuntor de potencia.

Con los datos de corriente múltiplo "pick up" y su tiempo de operación es posible seleccionar el ajuste del disco de los tiempos y así una determinada curva característica.

Las curvas del fabricante para múltiplo del tap igual a 3.0 y con un tiempo de operación de 1.25 seg. corresponde un ajuste del dial del tiempo más próximo de 2.0.

Con este ajuste del dial del tiempo corresponderá un tiempo de operación de 1.6 seg.

Para los relevadores de tierra es usual utilizar un tap de 0.5 amp. para su puesta en trabajo debido a que

la única corriente que circula por él es $3I_0$ y que en condiciones normales es un valor mínimo.

Para el relé II se escogerá mediante el disco de tiempo una curva característica para operación lo menos retardada posible. Al relé I le corresponderá una curva característica con un retraso determinado con respecto a la del relé II en 0.3 seg. + 0.3 seg. para coordinar fallas máximas.

Relé II;

Tap = 0.5 amp.

Ajuste del disco de tiempo = 1/2

Relé I;

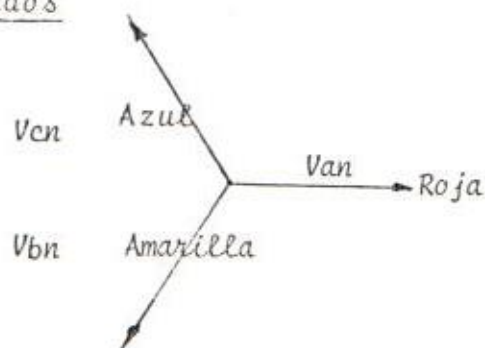
Tap = 0.5 amp.

Imúltiplo de pick up (I) = $\frac{I_{falla\ I} - (II) \cdot 4.2}{I_{pick\ up\ (II)} \cdot 0.93} = 4.5 \quad t_{II} = 0.2 \text{ seg.}$

$t_I = t_{II} + 0.6 \text{ seg.} = 0.2 + 0.6 = 0.8 \text{ seg.}$

∴ Ajuste del disco de tiempos = 2.0

D. Resultados



Fallas de Fase

Condición	Relé	Tiempo operación falla $\phi\phi$	Tiempo operación falla $\phi\phi$	I falla $\phi\phi$ I_a	I falla $\phi\phi$ I_b
Máxima generación en extremo línea II	II	0.61	0.89	3.6 / -79	3.5 / -189
	I	3.32	4.42	3.6 / -79	3.5 / -189
Mínima generación en final línea II	II	1.10	1.75	2.9 / -79	2.9 / -183
	I	7.51	11.32	2.9 / -79	2.9 / -183
Máxima generación en final I	I	1.80	2.4	5.0 / -83	4.0 / -186
Mínima generación en final I	I	4.72	6.93	3.2 / -83	3.0 / -186
Máxima generación en principio I	I	0.61	0.25	—	—
Mínima generación en principio I	I	1.25	0.92	3.1 / -83	—

Fallas de Tierra

Condición	Relé	Tiempo operación falla $\phi-T$	Tiempo operación falla $\phi-T$	I falla $\phi-T$ I_a	I falla $\phi-T$ I_b
Máxima generación en extremo línea II	II	0.52	0.74	3.2 / -79	3.9 / -159
	I	1.48	1.80	3.2 / -79	3.9 / -159
Mínima generación en final línea II	II	0.81	0.89	2.2 / -80	2.7 / -154
	I	2.49	2.67	2.2 / -80	2.7 / -154
Máxima generación en final I	I	0.63	1.36	4.5 / -83	5.1 / -156
Mínima generación en final I	I	1.28	3.43	3.0 / -83	3.6 / -156
Máxima generación en principio I	I	0.08	0.14	—	—
Mínima generación en principio I	I	0.31	0.38	—	—

E. Conclusiones y observaciones

- 1) Las prácticas anteriores fueron realizadas para valores de corriente descentrada igual a cero en una de las fases.
- 2) Analice como afecta a los relevadores de tierra para casos en que la componente no es cero y se produce saturación en los TC.
- 3) ¿Se observó la tolerancia térmica del banco de prueba?
- 4) Cómo afecta las variaciones de generación en la coordinación de fallas de fase y en las de tierra.
- 5) Análisis de los tiempos de operación de los relés para los variados puntos de tipos de fallas.
- 6) Realice un análisis de la inexactitud de los TC para el caso de la carga secundaria que presentan los relés y otros en este ejemplo.

V. PROTECCION CON RELES DE POTENCIA

A. Introducción

El relé comercial analizado en este capítulo es el relé de potencia tipo CW de la casa Westinghouse. Este relé es de características de sobrepotencia y direccional de potencia. Utilizando el banco Robinson se determinarán y se analizarán estas dos características principales del relé.

B. Consideraciones sobre las características del relé de potencia

Este tipo de relé brinda protección más directamente al primer motor que trabaja con el generador. Cuando la potencia suplida por el primer motor al generador no es lo suficiente como para satisfacer la demanda de potencia por pérdidas del generador entonces éste toma el faltante de potencia del sistema eléctrico al que está conectado, esto es el flujo de potencia cambia de dirección. Es en tales condiciones que se produce la motorización. La potencia reactiva, dependiente del grado de excitación del generador, puede o no cambiar de dirección de flujo.

Las pérdidas de los generadores vienen expresadas en porcentaje de la potencia de régimen de los mismos. Es con estos datos que se ajusta el valor de puesta de trabajo del relé. Así por ejemplo para el caso de unidades a diesel la potencia necesaria para la motorización es del 25% de la de régimen y, para las turbinas a gas es el 50%.

Estos relés poseen sus taps en watts secundarios y para su ajuste se considera la potencia trifásica primaria referida al lado secundario de los transformadores de medición, esto es,

$$TAP = \frac{\sqrt{3} P_{1\phi}}{N_c N_v}$$

donde N_c y N_v son las razones de transformación de los TC y TP respectivamente.

Generalmente se utiliza un sólo relevador de potencia cuando el sistema es equilibrado y, se hará necesario tres relevadores, uno para cada fase, cuando el sistema es equilibrado.

Este relé no ofrece protección contra cortocircuitos.

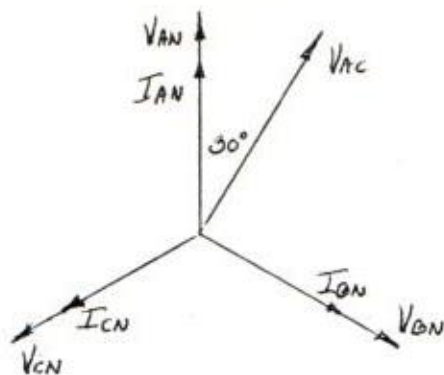
El relé de potencia es esencialmente una unidad ti-

po producto que alcanza su ángulo de torque máximo de funcionamiento cuando el factor de potencia del primario es uno.

Para conseguir tal operación, el relevador necesita de dos magnitudes de acción; la del voltaje que es polarizante y la de corriente que es operativa. Para su aplicación considera que el voltaje permanece constante y es la corriente la que imprime las características de funcionamiento.

El relé que en esta oportunidad se analiza es un tipo de relé de inducción monofásico en el que se desarrolla máximo torque cuando su voltaje polarizante y su corriente operacional están en fase. Se lo denomina como relé de potencia con característica de cero grado.

Existen otros relés de potencia en los cuales el relé opera a torque máximo cuando el voltaje de su bobina de potencial está atrasado 30° con respecto a la corriente de la bobina de corriente. Para lograr esta condición es necesario que el factor de potencia del sistema sea uno y, que el voltaje aplicado a la bobina polarizante corresponda a las fases que se indica en el gráfico a continuación donde:

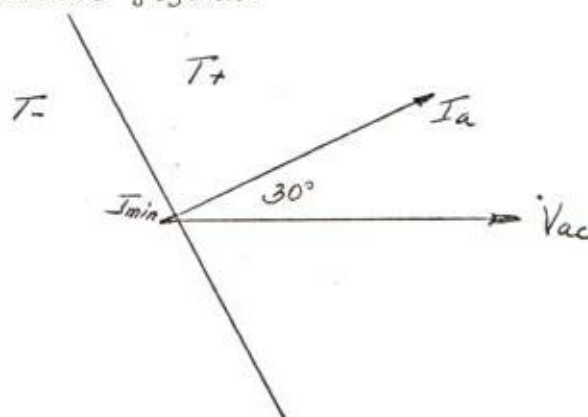


V_{ac} = voltaje polarizante.

I_{AN} = corriente de operación.

Para lograr el relé operar a máximo torque en tales condiciones de fase de las magnitudes en juego dispone de una unidad desfasadora constituida por un condensador y resistencia.

La característica de funcionamiento queda clarificada por la siguiente figura:



Como se observa de la figura y, al igual que todas las unidades de este tipo de funcionamiento existe una corriente mínima de puesta en trabajo para un ángulo dado y un valor determinado de voltaje.

Estos relevadores poseen acción retardada por natu

naleza al igual que los relés de sobrecorriente de tiempo inverso, calibrado para condición de operación al ángulo de torque máximo. Posee dos rangos de taps de potencia secundaria dependiendo su utilización de la corriente de régimen ó de plena carga. Se adjuntan 2 figuras de las curvas características para los 2 rangos disponibles, esto es, uno de alta potencia y el otro de baja potencia.

C. Análisis experimental de las características operacionales.

- 1) Determinación de la relación tiempo de operación con respecto a la potencia múltiplo del valor del pick up al ángulo de torque máximo.

Conéctese el relé como lo indica la figura. Utilícese para ello el secundario de 1A del TC de la fuente.

Como el torque máximo se producirá para factor de potencia uno de la impedancia del primario y debido a que el simulador no puede operar en forma continua con solo sus elementos resistivos en el sistema debido a características propias de diseño, será necesario seleccionar valores reactivos del

simulador y conseguir el factor de potencia unitario variando la fase del voltaje polarizante por medio de la unidad desfasadora del banco Robinson.

El valor de la potencia secundaria para operar el relé a diferentes múltiplos del valor de puesta en trabajo y así conseguir determinar sus curvas características a un solo valor de factor de potencia puede ser conseguido variando el número de vueltas primario de los TC si representa dificultad variar los elementos reactivos.

Para la determinación del tiempo de operación utilice un contador de tiempos digital.

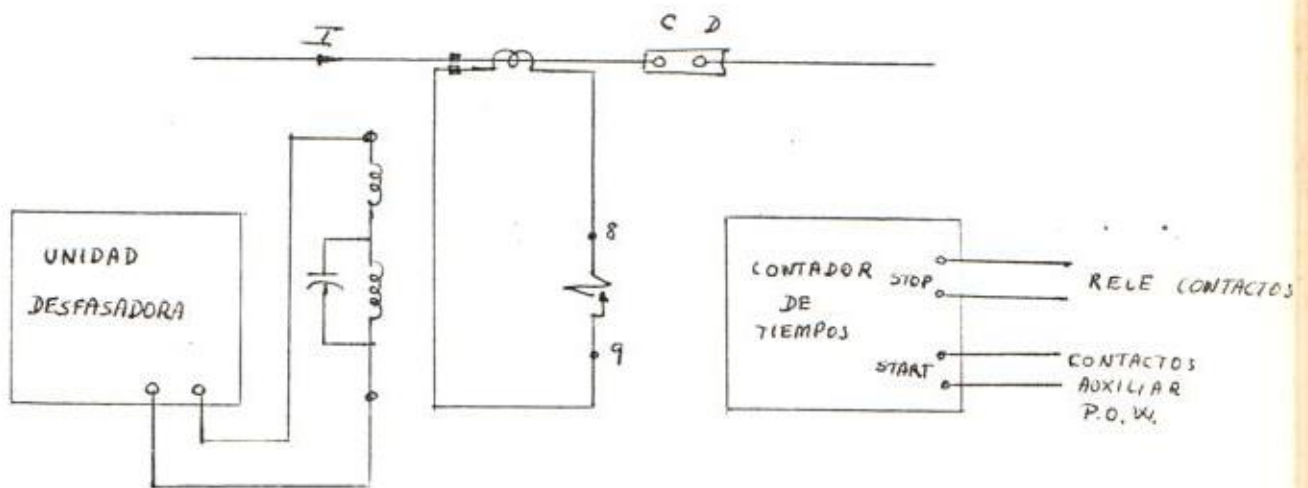


Fig. I-3 y I-5

Ajústese los valores de reactancia de línea en 4.2 60° . La reactancia de fuente a cero.

Opérese el selector de fallas de la línea roja y del neutro. Colóquese en cero la impedancia del neutro.

Toméense valores de corriente, número de vueltas primarias del TC, valores de resistencia primaria y tiempo de operación. Tabúlese estos datos.

Se adjunta curvas características y valores de régimen provistos por el fabricante.

Ajustes:

Tap del relé = 60 watts

Voltaje de polarización con fase variable = 120 volts.

Reactancia de línea = 4.2

Reactancia de fuente y resistencias = 0.0

Disco del tiempo = 2.-

Secundario T.C. seleccionado = 1A

F.E. POW = 92 medios ciclos

Angulo POW = 90°

2. Análisis de la operación del relé para desplazamientos angulares.

En este análisis se mantendrán fijas las magnitudes de voltaje y corriente que trabajen con las respectivas bobinas y se efectuarán variaciones del ángulo de fase entre ellas.

Para alcanzar el objetivo anteriormente indicado se hará uso de una unidad desfasadora que integra el banco de prueba Robinson.

Esta unidad produce una señal de voltaje de 120 volts monofásicos con una fase ajustable por medio de 2 selectores, uno de ajuste grueso y otro de ajuste fino. El ángulo de la unidad desfasadora tiene como referencia la fase roja.

Resultará más conveniente para este análisis disponer de un medidor de fases del tipo digital.

Conexiónese el equipo de la manera como se indica en la figura siguiente.

Ajústese la corriente primaria a través de los selectores de impedancia y el número de vueltas del primario del TC de tal manera de obtener 5 amp. se

cundarios.

Tabla V-1

N_p	I_s amp.	Potencia watts	Multiplo Potencia del tap	Tiempo operacion secs.
10	0.78	93.6	1.6	8.30
20	1.60	192	3.2	1.30
30	2.33	280	4.7	0.72
40	3.20	384	6.4	0.54
50	4.00	480	8.0	0.39
60	4.80	576	9.6	0.33
70	5.60	672	11.2	0.30
80	6.40	768	12.8	0.25

Ajústese el tap del relé para 100 watts.

Realice varias pruebas de operación variando el ángulo de fase de la unidad desfasadora y registrando lecturas de tiempo de operación y ángulo de fase.

Tabule estos datos.

Al realizar esta experimentación, para determinar la mínima corriente de operación fue suficiente con observar si el disco de inducción se desplazaba o no puesto que el tiempo de operación es elevado.

En la figura V.6 se encuentran graficados los resultados de la práctica y brinda una clarificación de la ley direccional que rige este relevador.

Tabla V-2

I amps	V volts	θ ángulo de fase
0.64	120	0
0.64	120	10
0.64	120	20
0.64	120	30
0.96	120	40
1.12	120	50
1.44	120	60
2.08	120	70
4.00	120	80
—	120	90

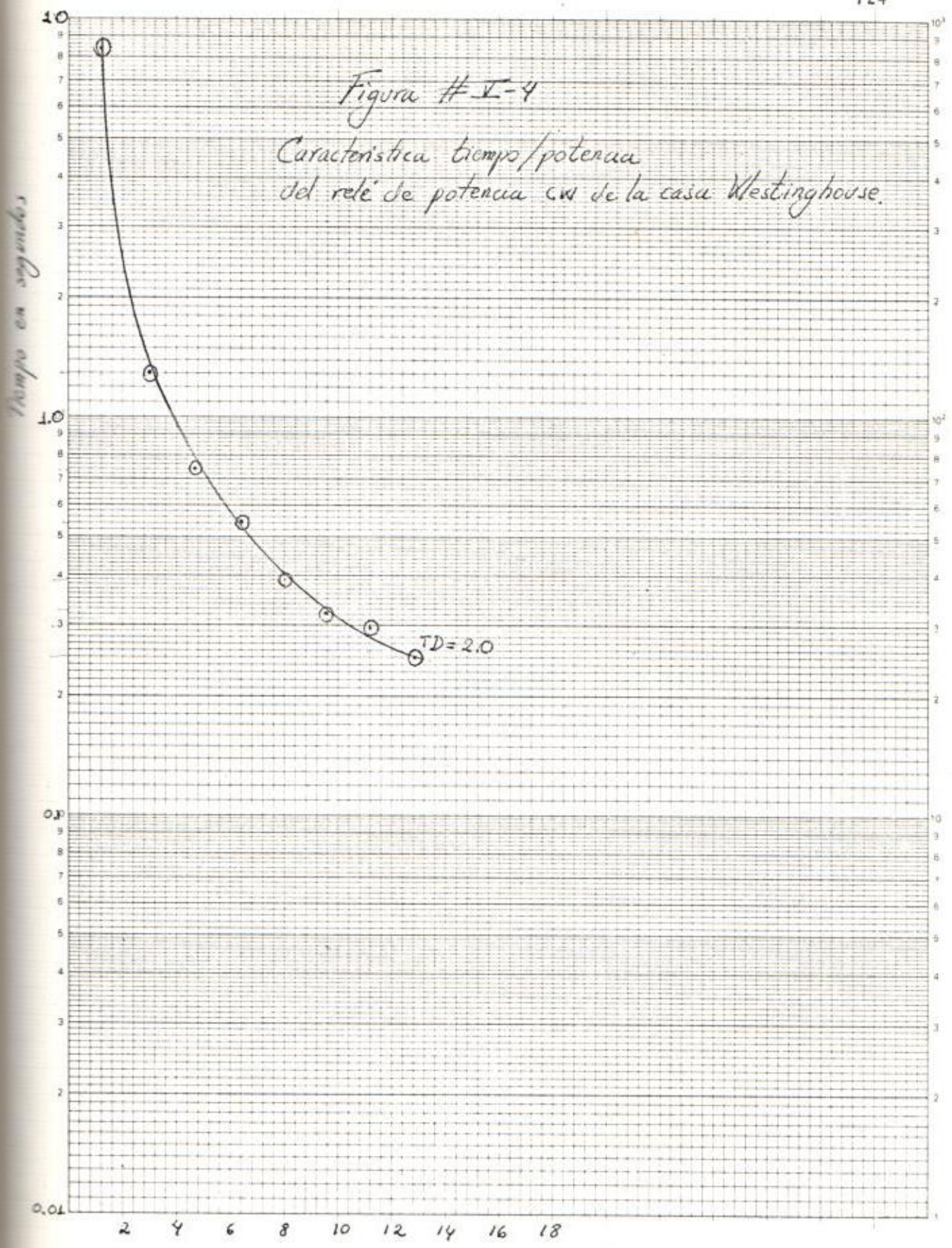


Figura # I-4
Característica tiempo/potencia
del relé de potencia c.w. de la casa Westinghouse.

TD = 2.0

Potencia múltiplo del tap.

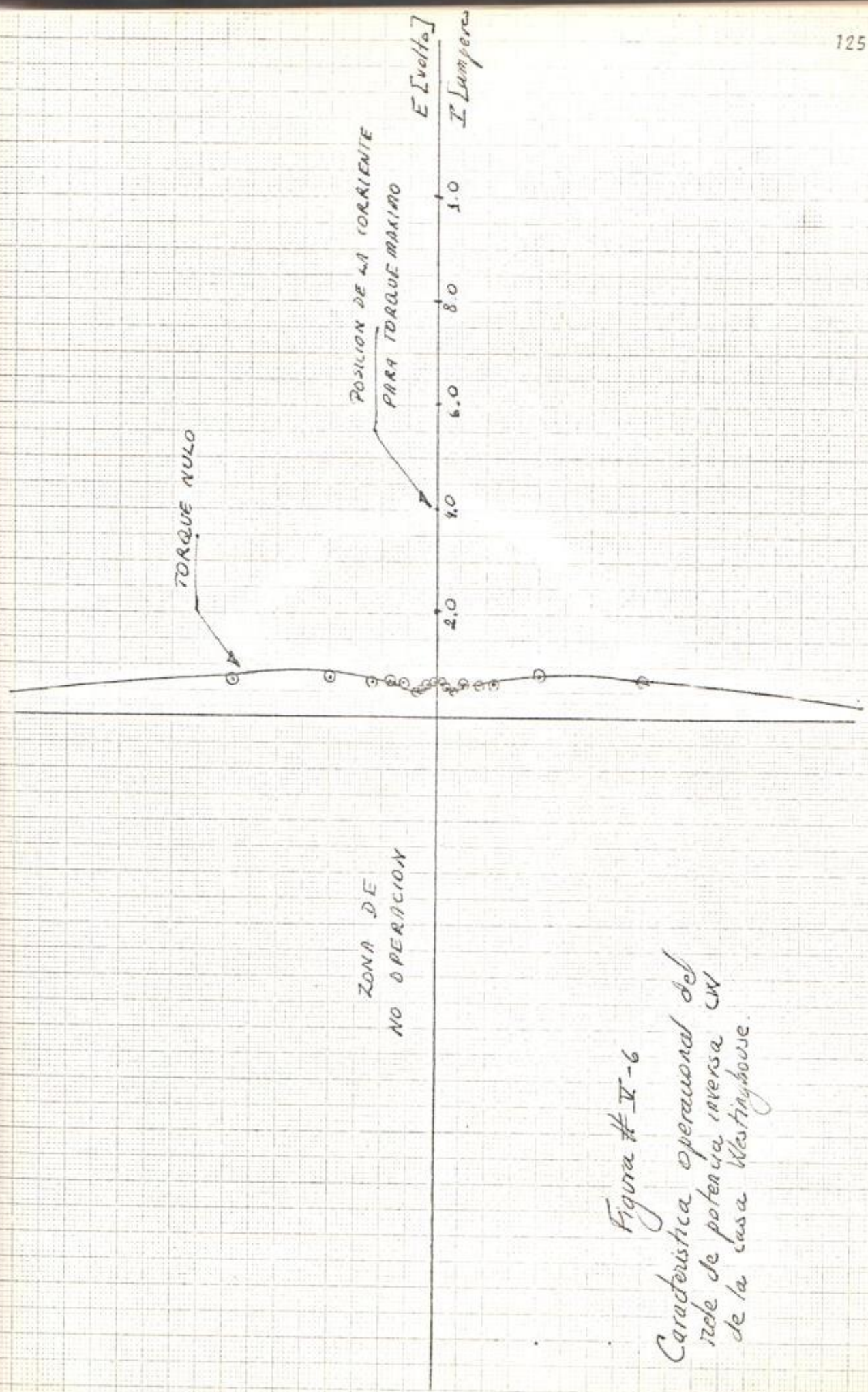


Figura # II-6
 Característica operacional del
 rele de potencia inversa CW
 de la casa Westinghouse.

VII. PROTECCION DE GENERADORES CON RELEVADORES DIFERENCIALES

A. Introducción

Uno de los relevadores de principal importancia en los generadores de mediana y gran capacidad lo constituye los relés diferenciales de porcentaje. Se estudiará en este capítulo sus principales propiedades operacionales tales como corriente de operación con relación a la corriente de restricción a un porcentaje determinado y tiempo de operación. Además se analizará la operación de los TC en la aplicación con relés diferenciales.

B. Consideraciones generales sobre los relevadores diferenciales para generadores

Estos relevadores basan su operación en la diferencia entre magnitudes de corriente a comparar. Consiste de bobinas de retención y de operación. Por las bobinas de retención circulan las corrientes que se comparan y por las de operación la diferencia de tales corrientes.

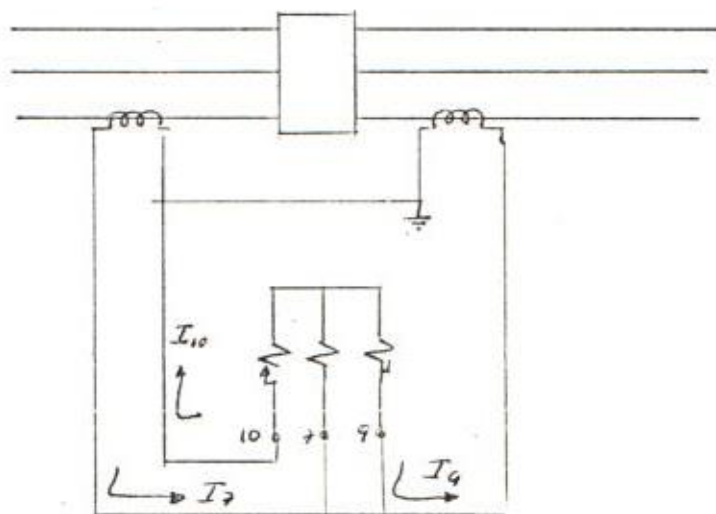
Se ocurre una falla externa las corrientes en las bobinas de restricción son iguales y del mismo sentido

dando como resultado que no exista circulación de corriente en la bobina de operación produciendo en tales condiciones un torque de apertura de los contactos. En cambio, si se produce una falla interna circularán corrientes de diferente magnitud y diferente sentido ocasionando una diferencia de corriente que circulará por la bobina de operación y que provocará un torque de cierre de contactos.

Debido a las limitaciones de los TC y a las diferencias entre ellos, pese a que circule una corriente - por lo primario de los TC igual en magnitud y dirección, en las corrientes secundarias de ellos puede no presentarse tal igualdad. Este problema se agudiza - para valores elevados de corriente primaria como es el caso de una falla externa debido a los diferentes niveles de saturación de los TC y a diferencias en su carga secundaria. La solución a este inconveniente la presenta el relé diferencial por su característica de operación porcentual, esto es, a mayor magnitud de corrientes de restricción mayor cantidad de corriente de operación es necesaria para la puesta en trabajo. Esta relación se expresa por un porcentaje fijo que caracteriza al relevador.

Existen también relevadores de porcentaje variable,

cuyo valor es bajo para corrientes de paso bajas y alto para corrientes de paso elevadas. El tiempo de operación de los relevadores diferenciales es relativamente corto puesto que no tienen problemas de coordinación. Su estructura funcional es del tipo disco de inducción.



Corriente de restricción $\frac{I_7 + I_9}{2}$

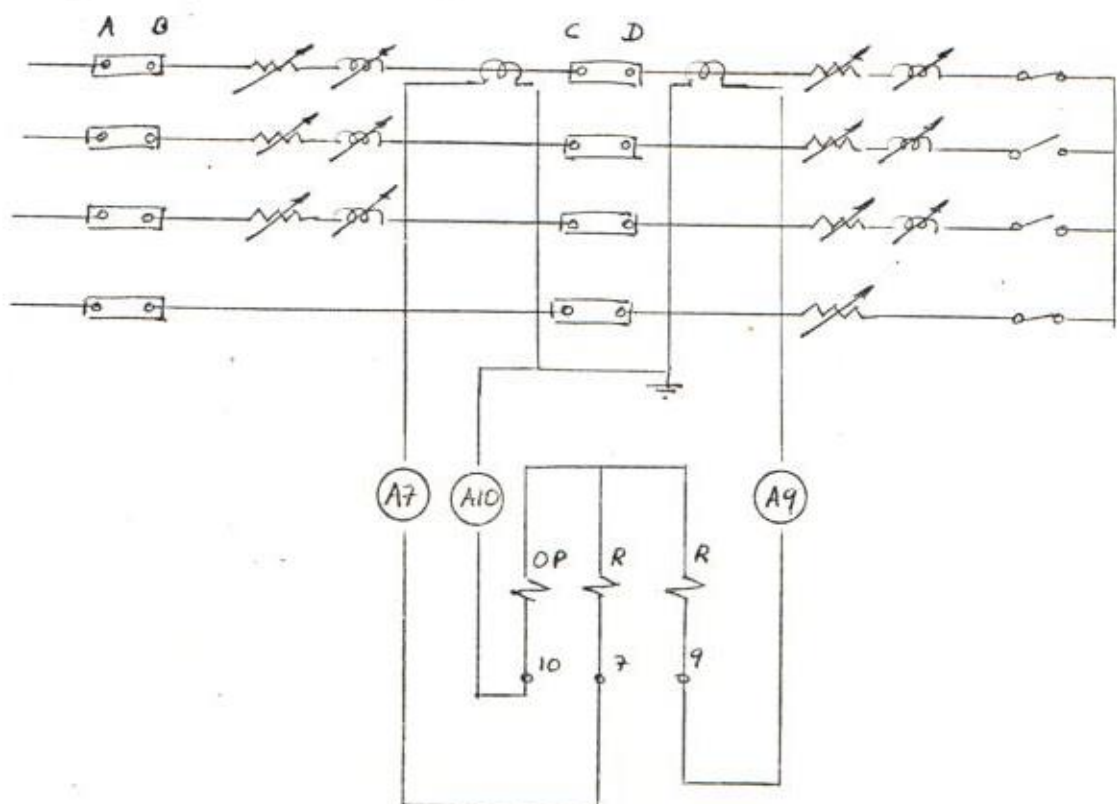
Corriente de operación $I_7 - I_9$

La característica de porcentaje fijo del relevador se pierde en los casos de magnitudes cercanas a cero y es así que aún para cero valor de corriente de restricción es necesario un valor determinado de corriente de operación para la puesta en trabajo.

C. Análisis experimental de las características operacionales del relevador diferencial de porcentaje para protección de generadores.

1) Determinación de la curva de operación

El primer análisis a realizarse sobre el relevador diferencial para generadores comprende la determinación de su operación en función a las corrientes de restricción y operación en juego, para lo cual se utilizará en relé tipo CA de la casa Westinghouse con un porcentaje de sensibilidad del 10%. Se utilizará el banco Robinson cuya conexión se indica en la figura a continuación.



Se realizaron los ajustes siguientes:

$$X_L = 27.8$$

$$POW = 90^\circ$$

$$F.E. POW = 110 \text{ medios ciclos}$$

$$TC = 1A$$

Para la determinación de los puntos límites de operación se siguió el siguiente procedimiento:

Ajuste la corriente A7 por medio del selector de vueltas del primario del TC de la fuente como se indica en la tabla VII.1. Luego seleccione una corriente A9 mayor que la corriente A7 por medio de un número mayor de vueltas del primario del TC de línea. Gradualmente se disminuye la corriente A9 disminuyendo el número de vueltas primario hasta minimizar al máximo la corriente de operación del relé A10 sin que este deje de operar. Estos últimos valores determinan un punto de la curva de operación del relé. Esta curva se encuentra graficada en la figura VII.3.

N_{p1}	N_{p2}	A7 amp	A9 amp	A10 amp
2	0	0.03	0	0.03
4	0	0.06	0	0.06
10	22	0.14	0.32	0.18
20	34	0.29	0.49	0.20
30	42	0.43	0.60	0.17
40	52	0.58	0.75	0.17
50	64	0.72	0.92	0.20
60	74	0.86	1.086	0.22
70	—			
80	—			

Tabla VII-1

2. Determinación de la curva del tiempo de operación

En este segundo análisis se trata de determinar como varía el tiempo de operación para diferentes valores relativos de corriente de operación con respecto a la corriente de restricción, estando estos puntos de prueba más adentro de la zona de operación del relé.

Los ajustes realizados en el banco de prueba se detallan a continuación y se hallan tabulados los datos experimentales que luego son graficados en la figura VII.4.

$$X_L = 4.2 \quad \underline{60^\circ}$$

$$TC = 5A$$

$$POW = 60^\circ$$

$$F.E. POW = 110 \text{ medios ciclos}$$

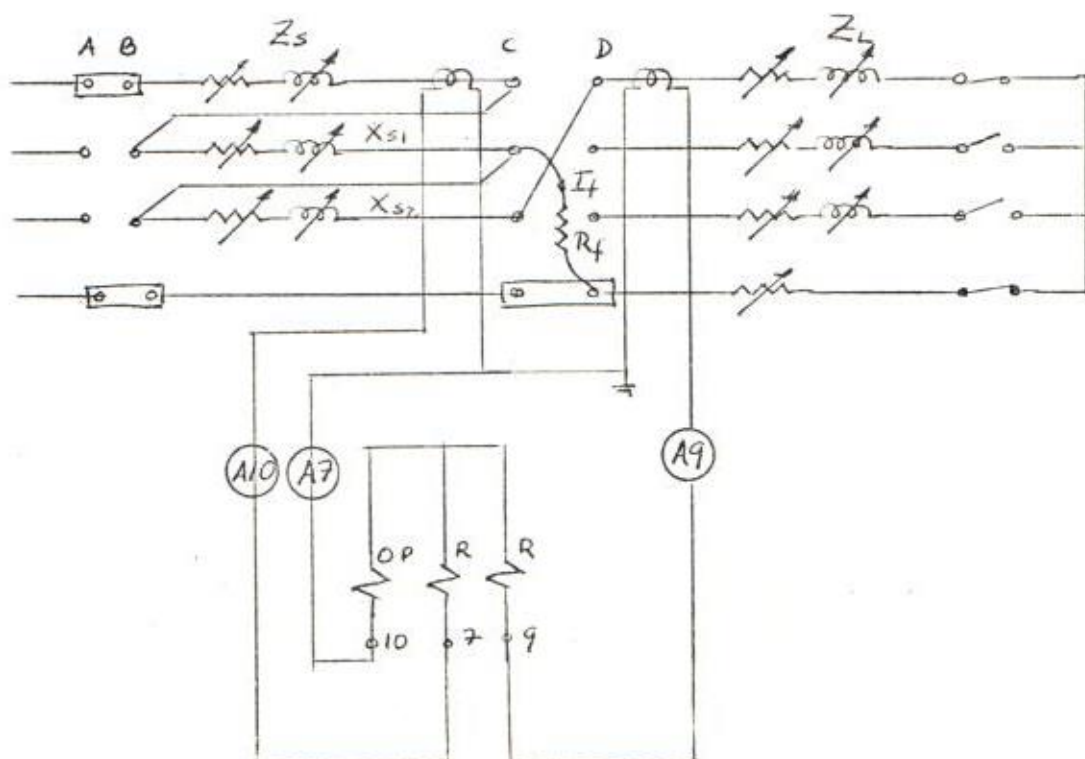
N_{p_s}	N_{p_r}	I_{7} amp	I_{9} amp	I_{10} amp	Tiempo seg.
10	12	4.67	5.6	0.93	1.04
10	16	4.67	7.47	2.80	0.24
10	14	4.67	6.53	1.86	0.32
10	18	4.67	8.40	3.73	0.20
10	20	4.67	9.33	4.66	0.18
10	22	4.67	10.27	5.60	0.18
10	24	4.67	11.20	6.53	0.16
10	26	4.67	12.13	7.46	0.16
10	30	4.67	14.00	9.33	0.16
10	40	4.67	18.67	14.00	0.13
10	50	4.67	23.33	18.66	0.13

Tabla VII-2

3) Comportamiento del relevador diferencial ante fallas internas de los devanados en los generadores

Este último análisis experimental intenta representar el clásico problema de los generadores al fallar el aislamiento del cobre y presentar una no absoluta falla a tierra al producir fugas de corriente a la masa del núcleo. Este tipo de falla es de carácter resistivo.

Se ha utilizado el banco Robinson de la manera como se indica en la figura VII.5. Se determinó cual es el valor mínimo de corriente de fuga a tierra en el devanado necesaria para producir la operación del relé.



Ajustes en el simulador:

$$Z_L = 1.8$$

$$Z_s = 0$$

$$X_{s1} = 3.6$$

$$X_{s2} = 3.6$$

$$N_{ps} = N_{pL} = 20$$

$$TC = 5A$$

Resultado experimental

$$R_f = 152$$

$$I_f = 0.07 \text{ amp.}$$

$$I_7 = 0.093 \text{ amp.}$$

$$I_9 = 0.164 \text{ amp.}$$

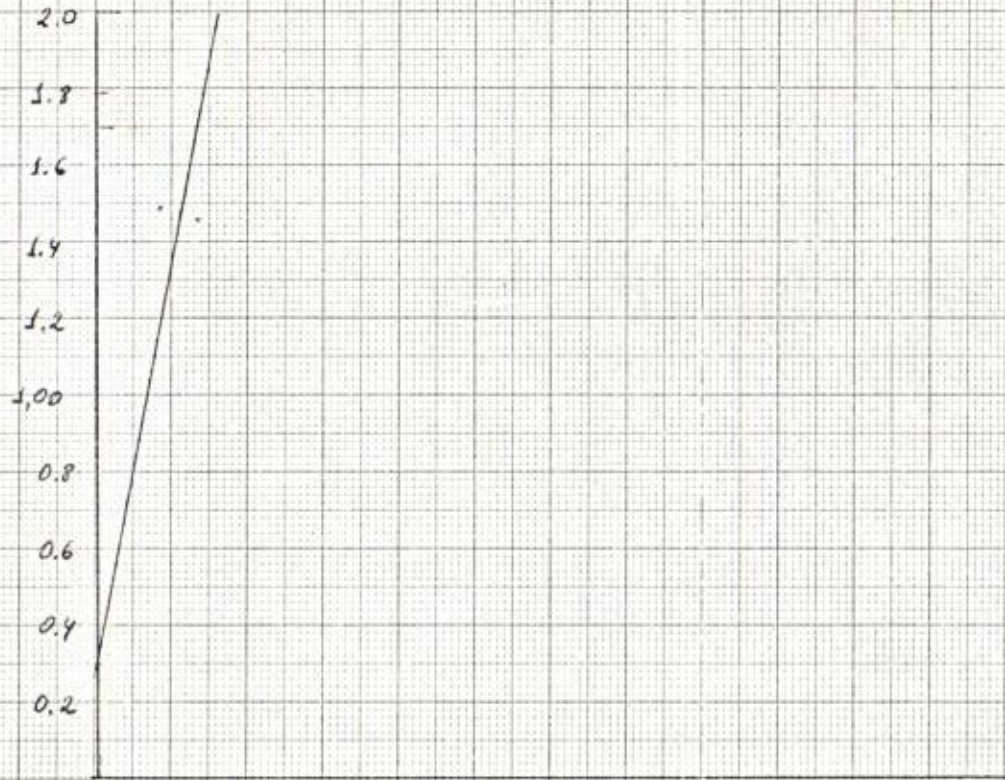
Característica operacional del relé CA diferencial
para generadores.

I_{A10}
[10^{-1} amp]

2.0
1.8
1.6
1.4
1.2
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2

0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 1.2 1.4 1.6 1.8 2.0

$\frac{I_{A7} + I_{A9}}{2}$ [amps]

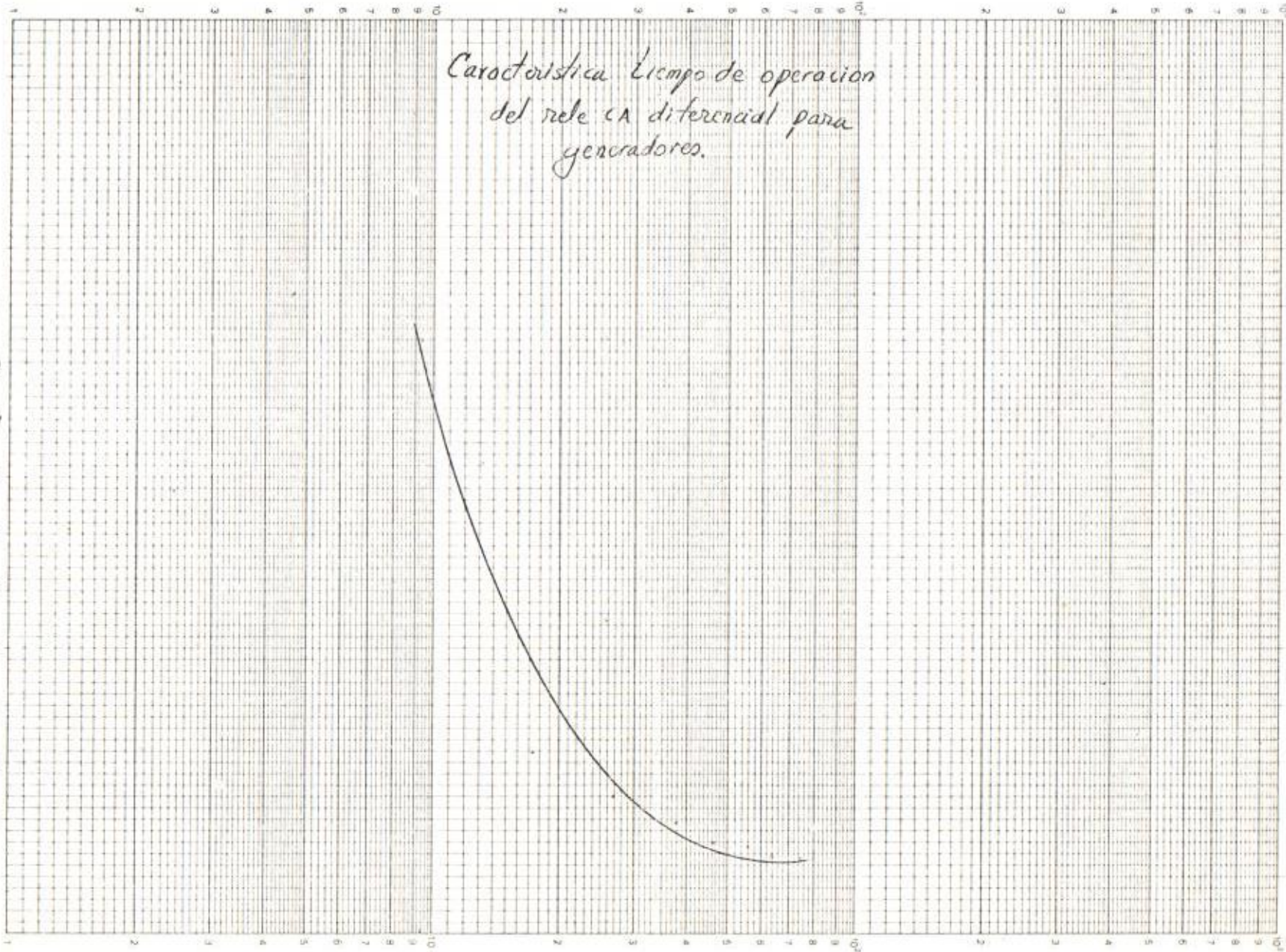


Característica Tiempo de operación
del rele CA diferencial para
generadores.

Tiempo
[seg.]

1.1
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1

$I_{operación}$
[amps]



VIII. PROTECCION DE TRANSFORMADORES CON RELES DIFERENCIALES

A. Introducción

Tiene como objetivo este capítulo el estudiar las características operacionales estáticas y dinámicas del relevador diferencial de doble polarización y de alta velocidad de funcionamiento para protección de transformadores.

Un tipo de relevador comercial que dispone de las características anteriores es el relevador 4C21 de la casa Reyrolle.

B. Consideraciones generales de los relevadores diferenciales para transformadores

El relevador diferencial para transformadores al igual que para generadores fundamenta su operación en la comparación de dos magnitudes de corrientes. En el caso específico de transformadores compara la corriente que entra al devanado primario con la corriente que sale del devanado secundario de la fase correspondiente.

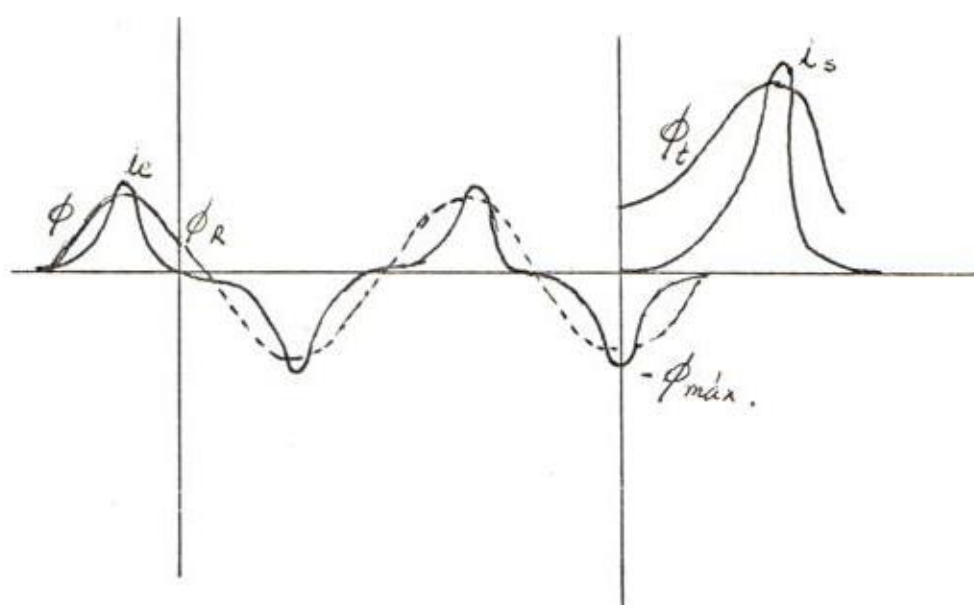
A diferencia del relé diferencial para generadores, el relé para transformadores tiene que afrontar diversas

situaciones que caracterizan el funcionamiento de los transformadores. Entre las más importantes están las siguientes:

- 1) La elevada magnitud de la corriente magnetizante (8 a 30 veces la corriente normal de carga) producida a la energización del transformador.
- 2) La existencia de taps en los devanados del transformador de potencia para obtener regulación de voltaje.
- 3) La diferencia en las características funcionales de los TC de medición.

El primer problema, esto es, el de la corriente magnetizante inicial, se presenta debido a que básicamente el flujo del transformador de potencia no puede cambiar de valor instantáneamente. Si al aplicar una onda de voltaje al transformador, su ángulo en el tiempo cero corresponde a un cierto valor de flujo inicial distinto de cero, entonces por la ley enunciada anteriormente se desplazará la onda del flujo hasta coincidir con el punto cero al tiempo cero. Esto puede analizarse en el sentido de asumir la existencia de una componente inicial dc de valor igual y opuesto al supuesto valor inicial del flujo,

de tal manera que el valor resultante sea cero. Esta componente de irá decreciendo con respecto al tiempo transcurrido a una razón determinada por la constante de tiempo del sistema.



En la figura arriba indicada se muestra el caso en que existió una energización previa lo que dió origen a un flujo residual ϕ_R . Este valor deberá conservarse al reiniciarse la energización. Nótese que el instante de reenergización corresponde al valor de cero voltaje y máximo valor de flujo ($-\phi_{m\acute{a}x}$). Como este último valor no puede suceder pues ya existe un valor ϕ_R , entonces se ajusta de por sí la forma de onda del flujo desplazándose hacia arriba del eje cero hasta coincidir con el valor inicial de flu

jo residual. De aquí irá decreciendo según la constante de tiempo del sistema hasta conseguir, la onda de flujo, simetría respecto al eje cero. Tal constante de tiempo dependerá del valor de inductancia del sistema, tamaño y tipo del transformador, de la resistencia y distancia del transformador a la fuentes.

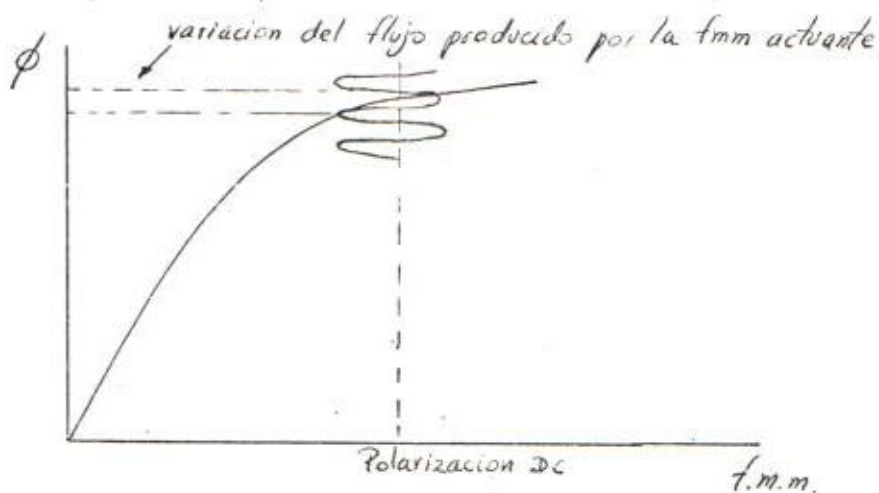
Se podría deducir que el valor de corriente magnetizante mínima corresponderá a una energización para voltaje máximo y sin flujo residual.

El tipo de relevador que aquí se analiza restringe la operación del relé en momentos de elevada corriente magnetizante haciendo uso de la componente de la segunda armónica presente en gran proporción a través de un filtro.

Para la solución del segundo y tercer problema que caracteriza a la protección de transformadores, el tipo de relevador que se analiza dispone de la característica de operación porcentual por medio de la cual la corriente requerida para la operación del relé es directamente proporcional a la carga o la corriente de falla externa que atraviesa el transformador.

De la figura se puede concluir que la operación del relé CD está determinado por la interacción de las fuerzas magnetizantes del elemento polarizante CD, de la bobina actuante I y de la unidad polarizante de la armónica.

La magnitud actuante deberá producir una f.m.m. mayor que la polarizante para así obtener una variación de flujo apreciable y por lo tanto un voltaje inducido - suficiente para activar el relé CD.

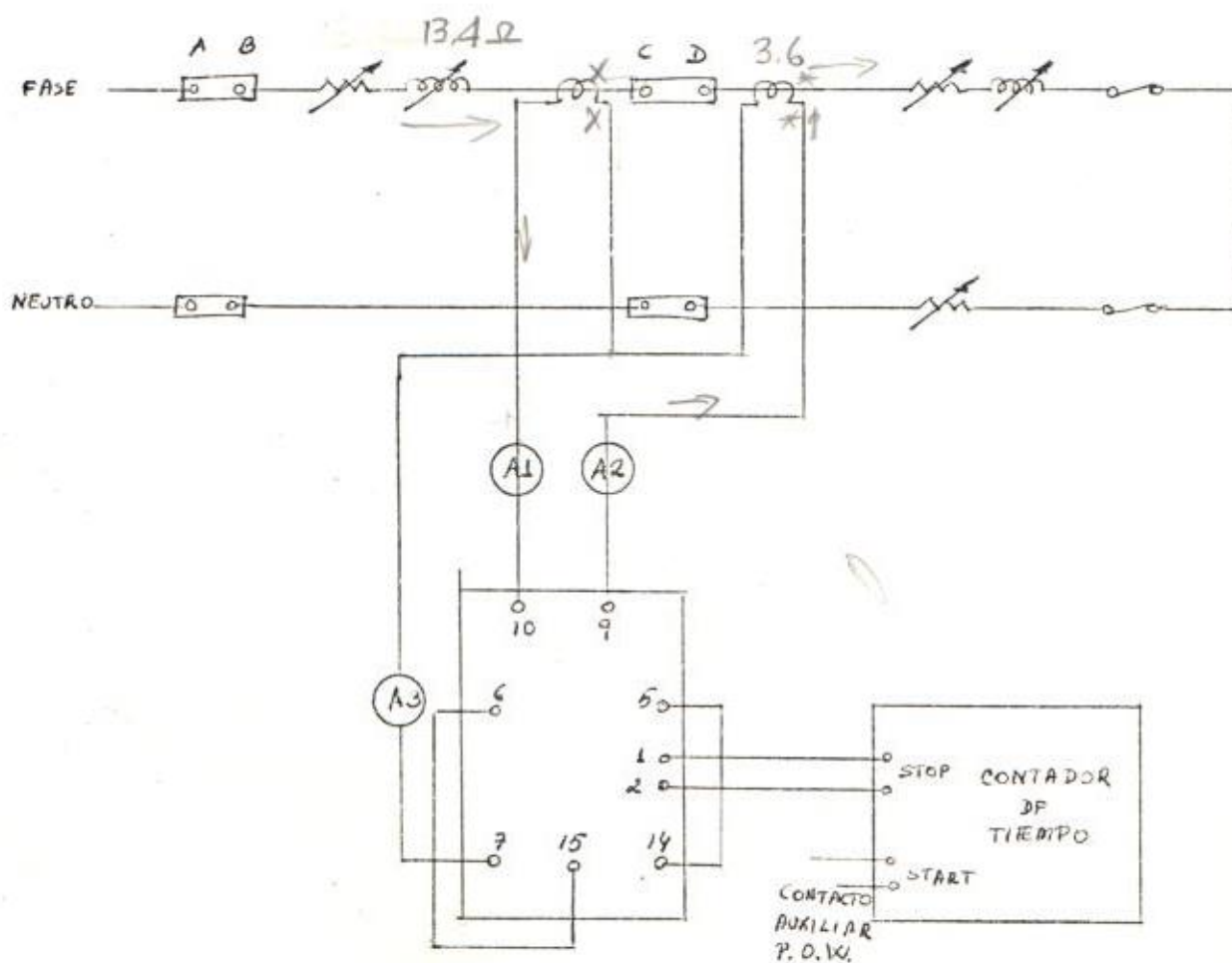


Uno de los riesgos que se corre con este tipo de relé es la restricción de operación para grandes fallas internas que al saturar fuertemente a los TC producen armónicas de segundo orden.

C. Análisis experimental de las características operacionales estáticas del relevador diferencial para transformadores.

1. Determinación de las curvas operacionales del relevador.

Para obtener estas curvas utilizando el banco Robinson se realizó la siguiente conexión como se indica en la figura.



Utilice los devanados de 5A del secundario de los TC de fuente y de línea de una misma fase.

Determine al ajuste básico, esto es, la mínima corriente de operación A2 a cero corriente de polarización A1 para operar el relé. Repita la determinación para cada porcentaje de operación.

Para la determinación de las curvas de operación obtenga 5 amperios como valor de la corriente A1 y ajuste A2 hasta minimizar A3. Luego disminuya el valor de A2 hasta conseguir la operación del relé.

Repita el procedimiento anterior para diferentes valores de A1. Luego intercambie los ajustes de A1 y A2. Realice esta prueba para cada valor del porcentaje de operación. Tabule los datos.

Todas las corrientes serán expresadas como múltiplos de la corriente de régimen del relé.

Ajustes realizados;

Reactancia de línea = 4.2 60°

Resistencias y reactancias de fuente = 0.0

Secundarios TC = 5A

Angulo de POW = 60°

F.E. del POW = 42 + 50 = 92 medios ciclos.

Corriente primaria = 23.3 amp.

Tabla VIII-1

N_p	N_s	A_1 [amps]	A_2 [amps]	A_3 [amps]	Tap % Potranan	$A_4 =$ $\frac{A_1 + A_2}{2}$ [amps]
4	0	1.51	0	1.51	20	0.75
0	4	0	1.51	1.51	20	0.75
4	0	1.51	0	1.51	30	0.75
0	4	0	1.51	1.51	30	0.75
4	0	1.51	0	1.51	40	0.75
0	4	0	1.51	1.51	40	0.75
10	6	3.88	2.33	1.55	20	3.1
10	6	3.88	2.33	1.55	30	3.1
10	6	3.88	2.33	1.55	40	3.1
6	10	2.33	3.88	1.55	20	3.1
6	10	2.33	3.88	1.55	30	3.1
6	10	2.33	3.88	1.55	40	3.1
20	14	7.6	5.32	2.28	20	6.46
30	24	11.4	9.12	2.28	20	10.26
40	32	15.2	12.16	3.04	20	13.68
50	42	19.0	15.96	3.04	20	17.48
60	48	22.8	18.24	4.56	20	20.52
70	56	26.6	21.28	5.32	20	23.44
80	64	30.4	24.32	6.08	20	27.36
20	14	7.6	5.32	2.28	30	6.46
30	22	11.4	8.36	3.04	30	9.88
40	28	15.2	10.64	4.56	30	12.42
50	36	19.0	13.68	5.32	30	11.34
50	34	19.0	12.42	7.92	40	15.96
20	14	7.6	5.32	2.28	40	6.46
30	18	11.4	6.84	4.56	40	9.12
40	26	15.2	9.88	5.32	40	12.54

2) *Determinación de las características operacionales dinámicas del relé diferencial*

Este análisis comprende la respuesta del relé a corrientes transientes descentradas por efecto de la componente de es decir, con respecto a la armónica de segundo orden. También considerará este análisis el efecto de la saturación de los TC por elevadas corrientes a través de sus primarios. Para tal fin utilícese el conexionado que se indica en la figura. Prodúzcase una corriente descentrada transiente ajustando el ángulo de ocurrencia de falla por medio de la unidad POW.

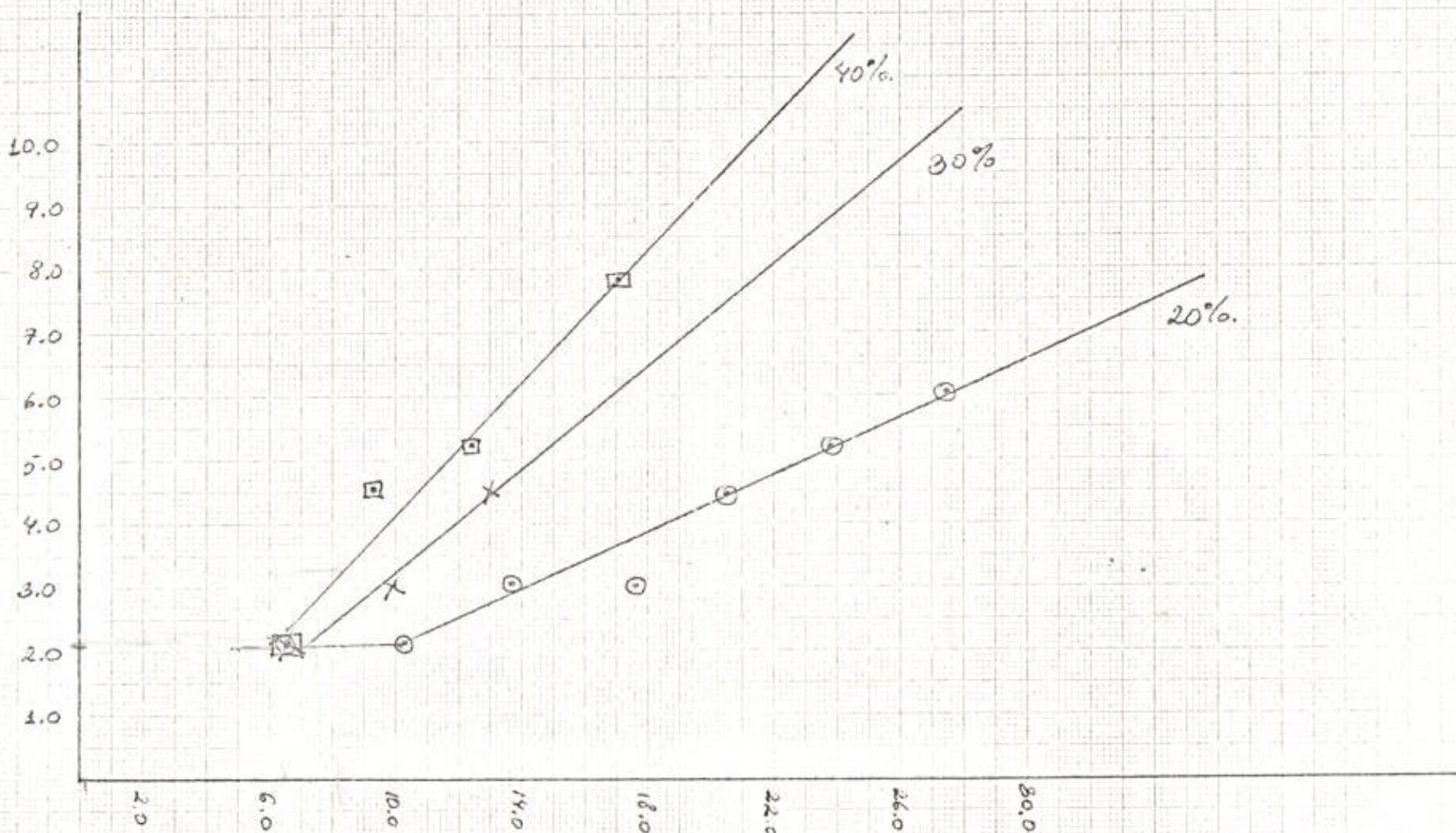
Realice varias pruebas para diferentes magnitudes de corrientes transientes todas para un máximo valor de descentramiento.

Por medio de un osciloscopio determínese la forma de onda y su magnitud tanto en el primario del TC como en los secundarios. Determínese el mismo valor de operación para corriente descentrada primaria a través de los TC.

Compruébese la restricción de operación por la armónica de segundo orden.

Curvas de operación del relé de porcentaje diferencial 4021 Reynolds.

Corriente de
operación
[amps]
A₂



Corriente de
restricción [amps]
A_Y

IX. PROTECCION CON RELES DE DISTANCIA

A. Introducción

En este capítulo se analizará las características fundamentales de la operación del relé de distancia enfocándose el análisis principalmente al relé tipo mho. Se hará uso del banco Robinson para llevar a efecto este estudio y se utilizará como relé mho el tipo TS de la casa Reyrolle.

B. Consideraciones teóricas

El relé de distancia fundamenta su operación en la medición de la impedancia del sistema con que él opera para lo cual utiliza la relación entre el voltaje y la corriente de dicho sistema. Básicamente el relé de distancia está constituido por una unidad de sobrecorriente con restricción de voltaje.

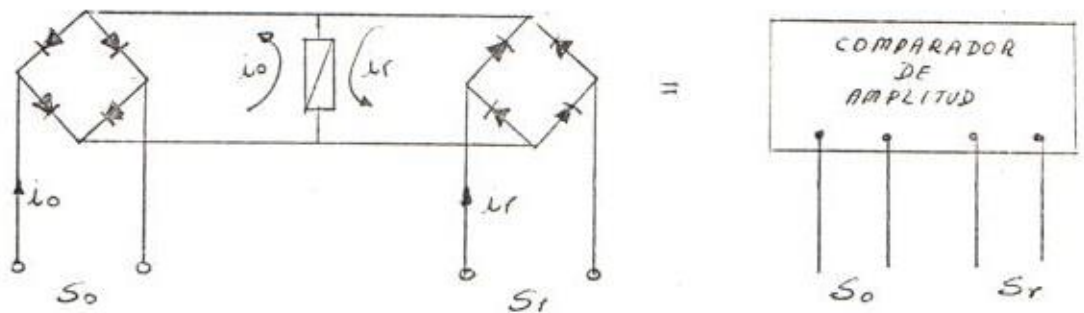
Para la ejecución de un relé de distancia pueden observarse dos principios. El primero se fundamenta en la operación de unidades electromagnéticas clásicas de los relés y el relé tipo mho lo constituye una unidad direccional con retención de voltaje, la cual, considerando el efecto del resorte

de control será:

$$T = K_1 VI \cos (\theta - \tau) - K_2 V^2 - K_3$$

El segundo principio de operación del relé de distancia se basa en la comparación de impedancias haciendo uso de una referencia (Z_r).

Para tal fin se utiliza un comparador de amplitud de corrientes en donde el circuito fundamental de operación es el siguiente:



En la figura se observa que se comparan en el relé dos corrientes (i_r, i_o).

Una de ellas es la corriente o magnitud de referencia (i_r, S_r) y la otra es la corriente o magnitud de operación (i_o, S_o).

El circuito trabaja de la siguiente manera:

- $|S_o| > |S_r|$ el relé opera
- $|S_r| > |S_o|$ el relé no opera
- $|S_r| = |S_o|$ situación marginal
(equilibrado inestablemente)

El relé puede ser cualquier tipo de unidad direccional de atracción o inducción electromagnética.

Ahora, la aplicación orientada de este circuito al relé de distancia está constituida de la siguiente manera.



Como se puede apreciar de la figura la magnitud de referencia o restricción lo constituye el voltaje V tomado del sistema con una impedancia fija de referencia Z_r , esto es;

$$I_r = \frac{V}{Z_r}$$

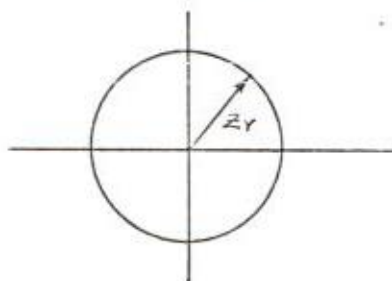
La magnitud de operación está constituida por la corriente del mismo sistema tomada a través de un TC.

Cuando las dos magnitudes operacionales son iguales se describirá la característica operacional de la unidad;

$$|I| = |I_r| \quad |I| = \left| \frac{V}{Z_r} \right| \quad |Z_r| = \left| \frac{V}{I} \right| \quad |Z_r| = |Z|$$

$$|R + jX| = |r + jx| \quad |R^2 + X^2 = r^2 + x^2| \quad r^2 + x^2 - |Z_r|^2 = 0$$

lo que nos da la característica de un círculo:



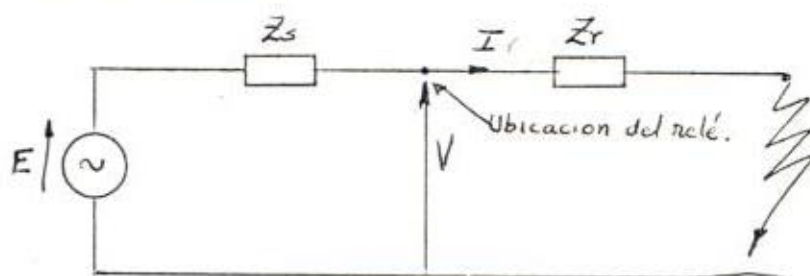
$$Z < Z_r \rightarrow I > I_r \text{ (O.P.)}$$

$$Z > Z_r \rightarrow I < I_r \text{ (N.O.P.)}$$

Si la magnitud $|Z|$ es menor que $|Z_r|$ implica que $|I|$ es mayor que $|I_r|$ y por lo tanto el relé opera. Si $|Z|$ es mayor que $|Z_r|$ implica que $|I|$ es menor que $|I_r|$ y el relé no opera. Esto constituirá la característica de un relé de distancia.

Hasta este punto la magnitud V se había considerado constante con lo cual la magnitud referencial I_r también permanecería constante. Pero en la realidad el relé, ubicado en un punto deter-

minado del sistema. dispondrá de un voltaje referencial V que dependerá de la magnitud de la impedancia que exista atrás del relé (Z_s), así como lo indica la figura, lo que determinará un valor de la magnitud I_r .

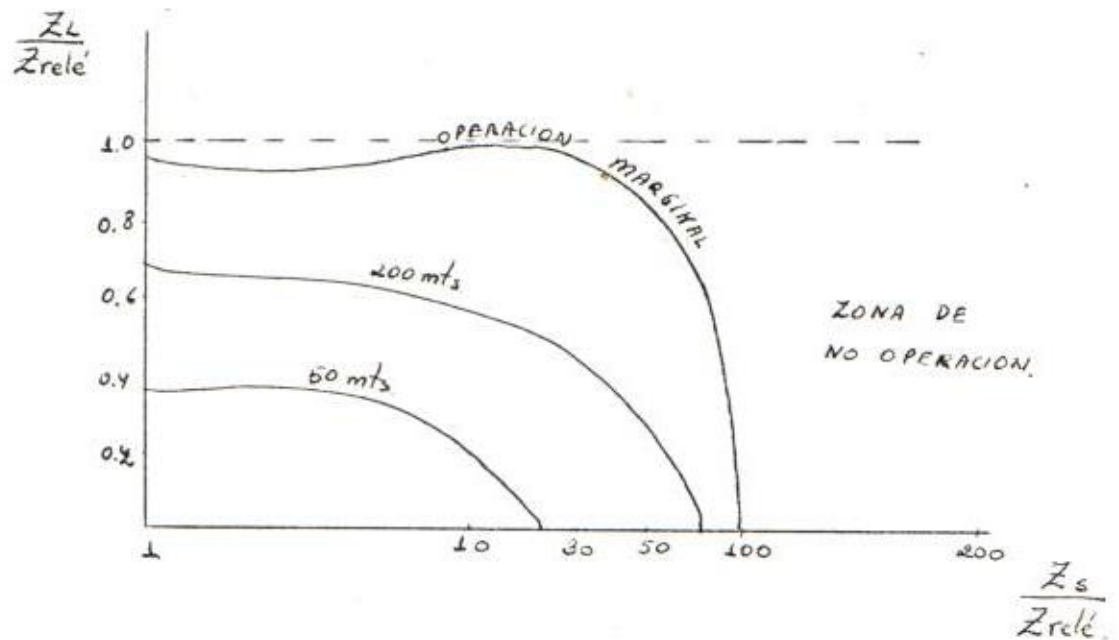


Esta situación determinará una exactitud de operación en el relé, por lo tanto habrá un límite permisible de la relación $\frac{Z_s}{Z_L}$ que se denominará el rango del relé y cuyas curvas lo caracterizarán.

A manera de ejemplo a continuación se grafica las curvas características del rango de un relé.

De esta manera el relé operará si la impedancia de falla es menor que la de ajuste del relé y además si la impedancia Z_s es tal que el punto operacional

esté localizado dentro de la zona de operación.



Hasta aquí el relé analizado es netamente el de impedancia. Ahora, para la obtención de la característica del relé tipo mho es necesario que se inyecte una tracción de la corriente de operación I en la magnitud de restricción de modo substractivo, esto es:

De tal manera que la característica marginal de operación será:

$$\frac{V}{Z_n} - nI = I \left\| Z - nZ_n = Z_n \right\| (r-nR)^2 + (x-nX)^2 - (R^2 + X^2) = 0$$

Lo cual es la característica de un circuito descentrado del origen de las coordenadas que es a su vez la del relé mho (fig. IX.7).

B. Análisis experimental de las características operacionales del relé de distancia

1. Comprobación de la característica del relé de impedancia.

Se trata en este análisis de comprobar que para valores de impedancia de línea menores que el referencial del comparador (Z_n) la unidad opera sin considerar el ángulo a que esto suceda.

Para conseguir variaciones en la sensibilidad del comparador se utiliza una resistencia shunt con el relé.

Conexiónese los elementos como se indica en el circuito de la figura IX-8.

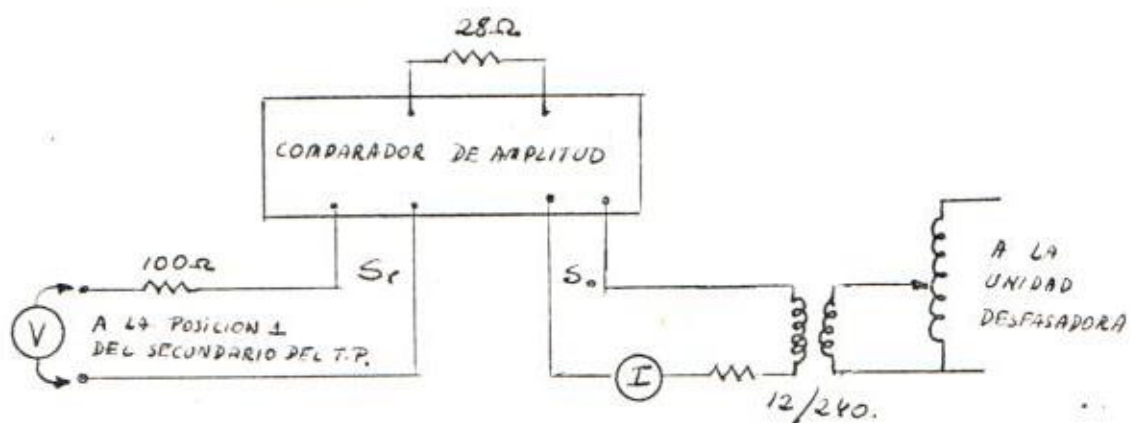


FIGURA IX-8

Varíe el ángulo de la unidad desfasadora (Phase shifter unit) y, para cada ángulo determine la corriente máxima para justamente operar el relé partiendo de cero valor de corriente.

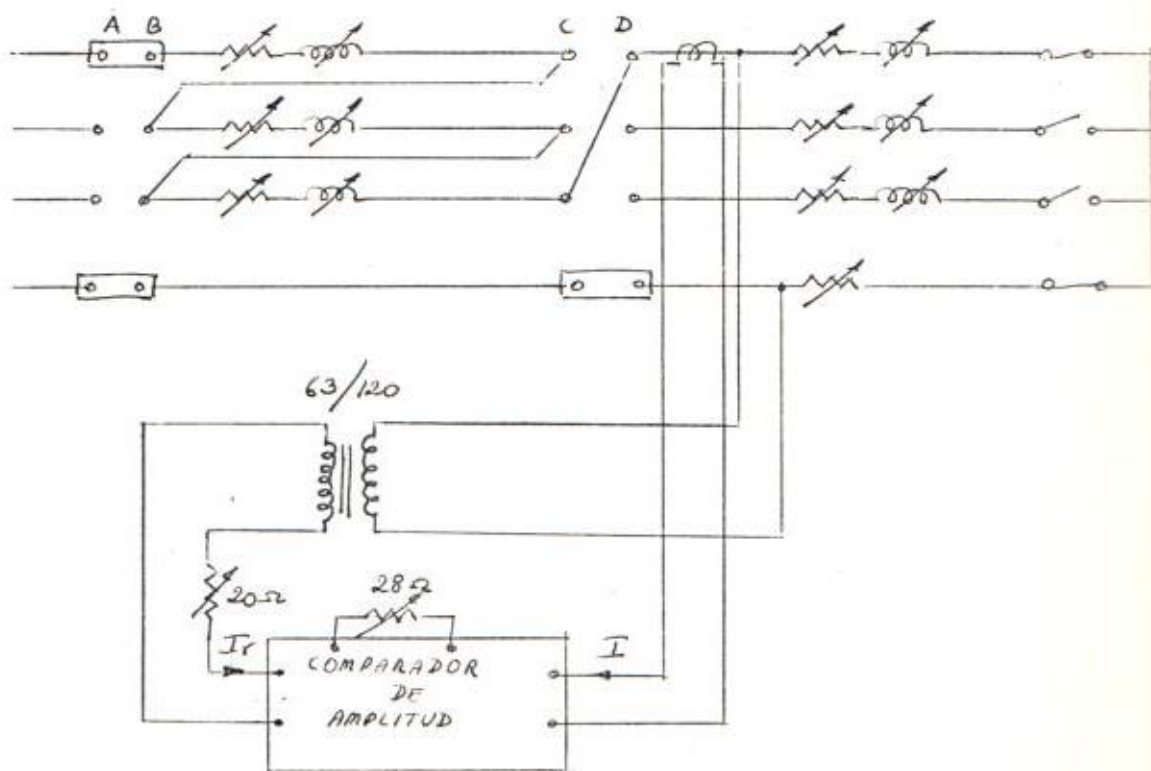
Grafique en un diagrama polar la relación V/I para cada caso

Compruebe que el radio del círculo es de un valor de 100Ω . $|Z_r|$

2. Determinación de las curvas del rango de un relé de impedancia.

Utilizando la unidad básica de impedancia o cualquier relé comercial procédase a determinar su curva del rango para un ajuste determinado.

Conexiónese el banco de prueba y el relé de la manera como se indica en la figura.



12

Ajuste el número de vueltas del primario del TC en 32 y utilice el devanado secundario de 1A (300 vueltas).

$$\text{Por lo tanto } n_c = \frac{38}{300} \text{ y } n_v = \frac{2}{1} \quad Z_{\text{sec}} = Z_p \times \frac{1}{\frac{2}{1}} = Z_p \times 4$$

Ajuste la Z_R para 10Ω y $Z_L = 2.5 \Omega$

Seleccione una $Z_s = 5.8$

Ajuste el selector de duración de falla de la unidad POW = 1.5 seg.

Determine la operación o restricción de la unidad para los siguientes valores de $Z_L = 0, 0.5, 1, 1.5, 2$ y 2.5Ω .

Repita lo anterior para $Z_s = 112, 23, 45, 70, 100, 150, 200,$ y 300Ω .

Grafique la curva del rango del relé.

3. Determinación de la característica operacional del relé de distancia tipo mh_o. T_s de la casa Reyrolle.

Este análisis experimental tiene como objetivo el determinar la operación del relé tipo mh_o ante la magnitud de la impedancia que observa, para lo cual se utiliza un relé comercial de distancia trifásico y

de 3 zonas de ajuste con características tipo mho en todas ellas. Este es el relé de distancia tipo B de la casa Reyrolle.

La primera zona es de operación instantánea y su ajuste de impedancia (Z_1) es realizado utilizando un puente de conexiones (E) y 3 potenciómetros (F, G y H), donde:

$$Z_1 = E \times F = E \times G = E \times H$$

La segunda zona es de operación de ajuste de tiempo llevado a efecto utilizando para ello el plug L y el potenciómetro M de tal manera que sus lecturas se suman.

$$T_2 = L + M \text{ [seg.]}$$

Su ajuste de operación de impedancia se lo realiza a través del potenciómetro J, donde

$$Z_2 = Z_1 \times J \text{ } |\Omega|$$

La tercera y última zona también es de operación de ajuste de tiempo por medio del plug N y el potenciómetro P, donde:

$$T_3 = N + P$$

Su ajuste de operación de impedancia es realiza-

do por medio del potenciómetro K, donde

$$Z_3 = Z_1 \times K$$

Otro ajuste necesario para la operación de este relé es de las unidades de sobrecorriente llevado a efecto por medio de 3 potenciómetros A, B y C, cada uno para una fase.

En este análisis para variar el ángulo de la impedancia se intercaló en el primario del simulador resistencias de pequeños valores. El desfase entre la corriente y el voltaje se lo determinó por medio de un medidor de fase. Para variar la magnitud de la impedancia que observa el relé se utilizó el selector de vueltas primaria de los TC.

En la figura a continuación se indica el conector utilizado para este análisis y luego la tabulación de datos.

Ajustes en el simulador:

$$X_s = 53.8 \Omega$$

$$X_L = 4.2 \Omega$$

$$R_{ext} = 0 - 5.0 \Omega$$

$$N_p = 20$$

$$TC = 5A$$

Ajustes en el relé:

$$E = 8.0$$

$$F.G.H = 0,8$$

$$Z = 8.0 \times 0.8 = 6.4$$

$$Z_{\text{secundario}} = Z_{\text{primario}} \times \frac{\text{relación TC}}{\text{relación TP}} = Z_p \times \frac{\left(\frac{60}{N_p}\right)}{\left(\frac{2}{1}\right)} = Z_p \times \frac{30}{N_p} \checkmark$$

↓ vueltas.

↑ Voltaje

Tabla IX-1

Angulo de fase θ	N_p	R_{ext}	$Z_s = X_s^2 + R_{ext}^2 $
71	24	0	5.3 Ω
62	26	0	5.0
55	28	0	4.8
51	30	0.5	4.6
40	32	1.5	4.5
33	34	3.0	3.8
24	38	4.5	4.0
8.7	54	5.0	3.4
0	76	5.0	2.0

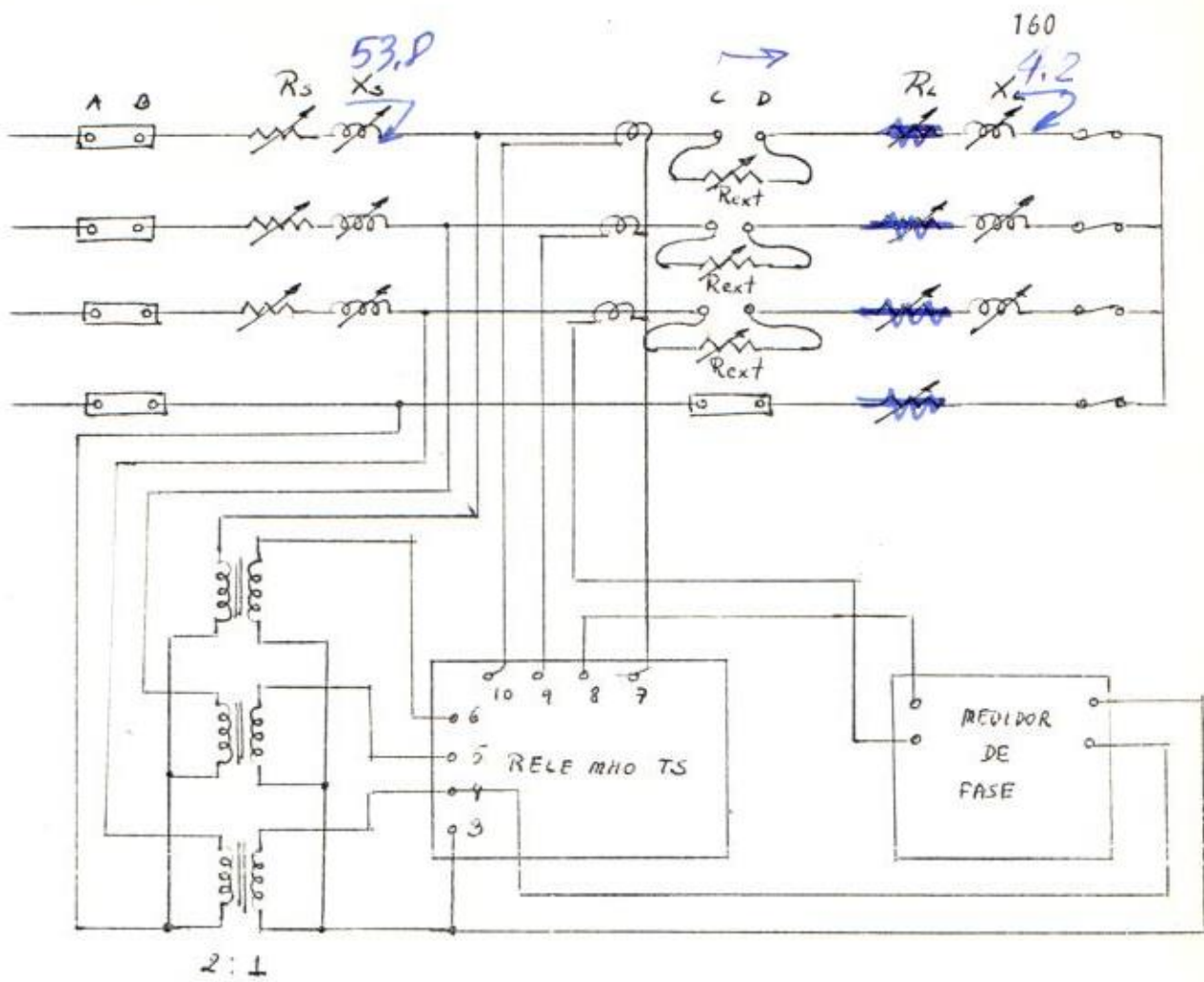


FIGURA IX-12

Estos resultados experimentales fueron graficados en un plano X-R y se obtuvo las características - del relé mho para un ajuste de impedancia de 6.4 a un ángulo de torque máximo de 60° .

4. Determinación de las curvas del rango del relé tipo mho TS a valor cero de componente c.d. transiente.

Como se había definido en las consideraciones teóricas de este relé existe una limitación de operación independiente del valor de impedancia que el relé "vea". Esto, como se dijo, lo indican las curvas del rango del relé. Para determinar estas curvas se realizaron experimentaciones de la operación del relé midiendo su tiempo en la zona 1 para diferentes valores de impedancia de fuente y cada una de ellas para varios valores de impedancia de línea menores que el del ajuste del relé. Como es obvio se utilizó un contador de tiempos. La disposición de los elementos y su conexionado se indica en la figura IX.12.

Los datos fueron tabulados en la tabla IX.2 y las curvas graficadas en la figura IX.14.

Tabla IX-2

$\frac{Z_s}{\Omega}$	$\frac{Z_s}{Z_{rele}}$	$\frac{Z_L \angle 60^\circ}{\Omega}$	$\frac{Z_L}{Z_{rele}}$	Tiempo [mseg]
J7.0	2.3	0	0%	33
		0.6	20	37
		1.2	40	39
		1.8	60	38
		2.4	80	—
		3.0	100	—
		J27.8	9.3	0
0.6	40			33
1.2	60			36
1.8	80			56
2.4	80			—
3.0	100			—
J53.8	17.9			0
		0.6	20	32
		1.2	40	35
		1.8	60	61
		2.4	80	—
		3.0	100	—
		J81.6	27.2	0
0.6	20			33
1.2	40			46
1.8	60			58
2.4	80			—
3.0	100			—
J111	37.0			0
		0.6	20	36
		1.2	40	36
		1.8	60	61
		2.4	80	—
		3.0	100	—
		J124.4	41.6	0
0.6	20			37
1.2	40			59
1.8	60			68
2.4	80			—
3.0	100			—

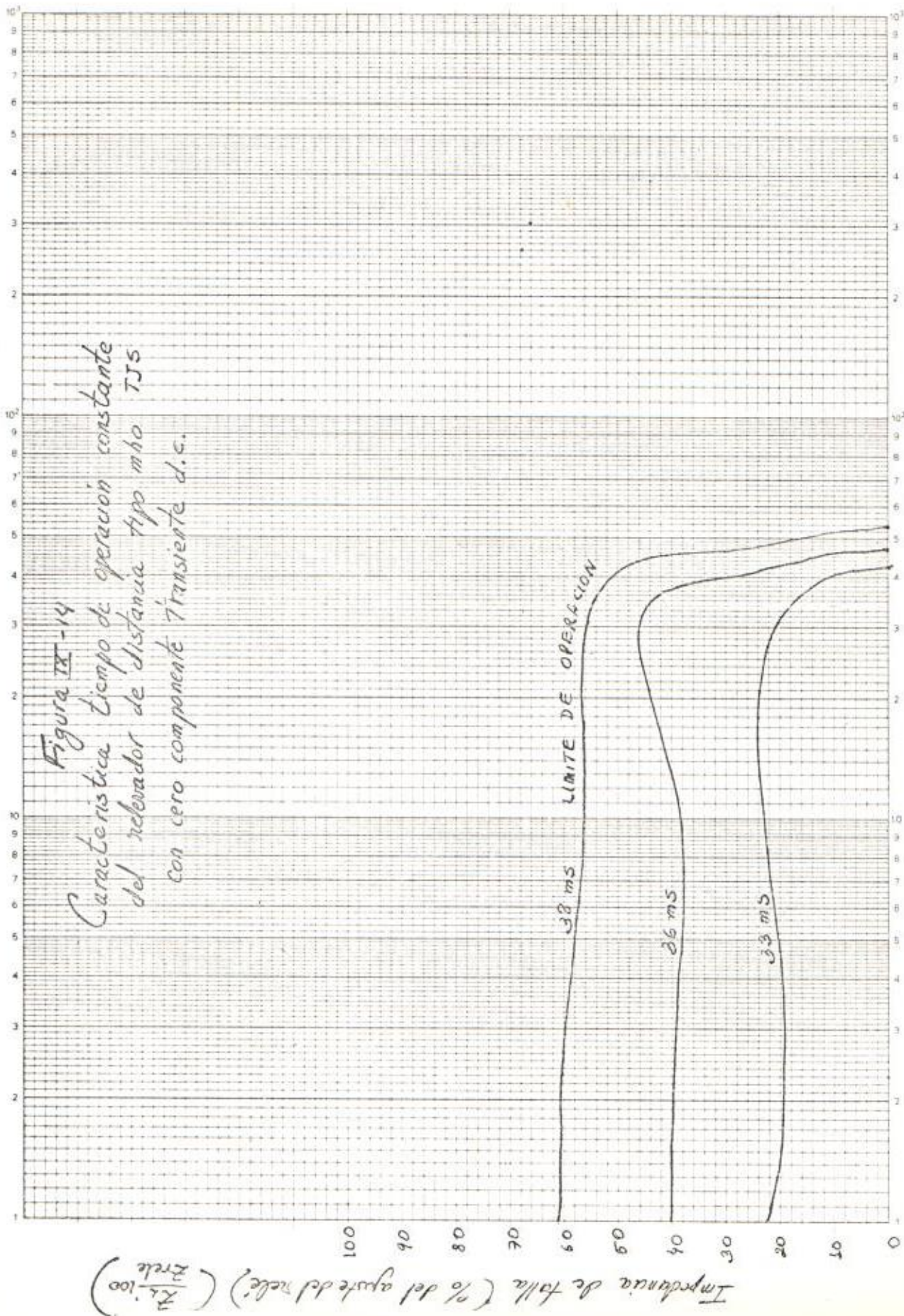
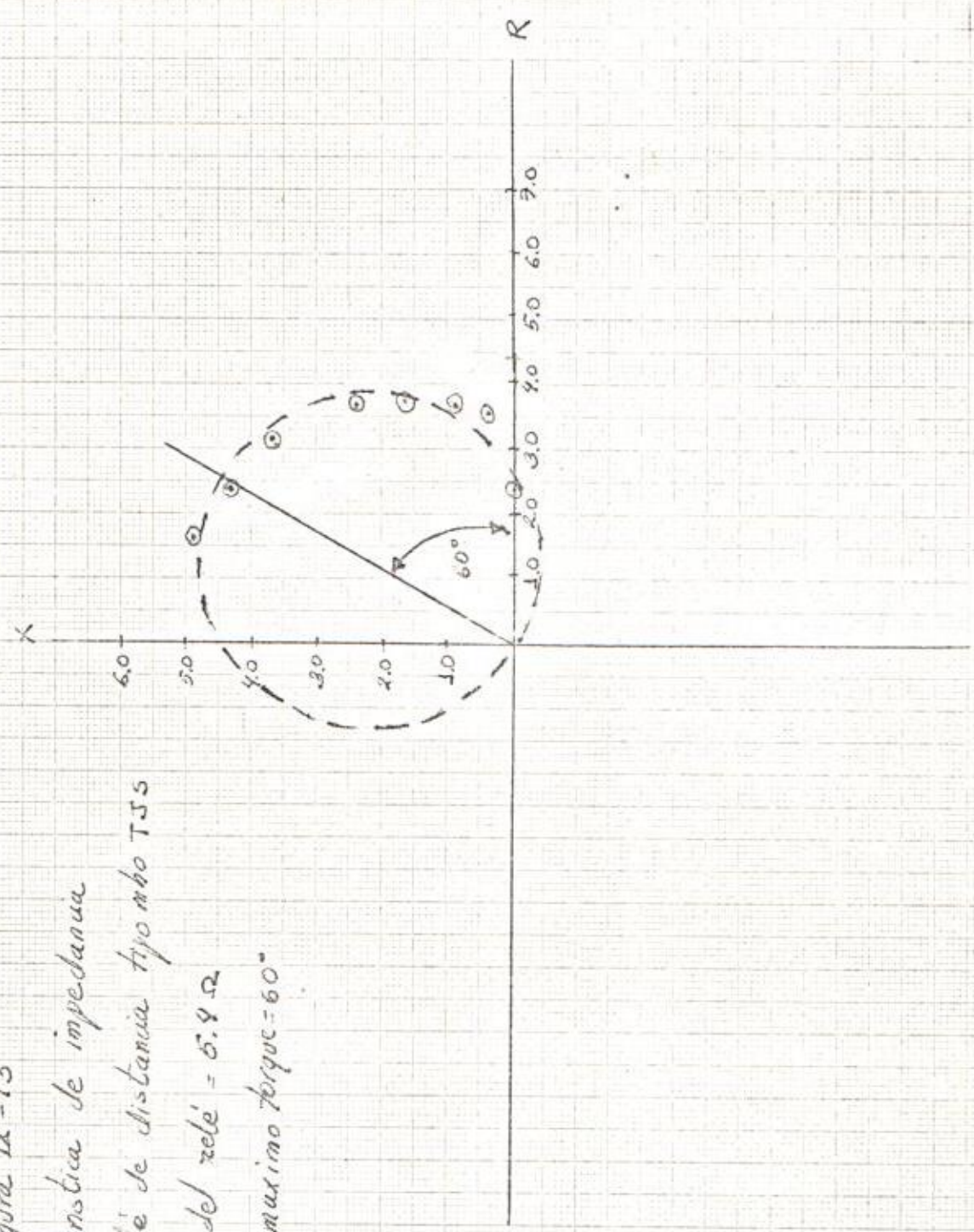


Figura IX-14
 Característica tiempo de operación constante
 del relevador de distancia tipo mho TJS
 con cero componente transiente d.c.

Razón de la impedancia del sistema (Z_s/Z_r)

Impedancia de falla (% del ajuste del relé) ($Z_r/100$)

Figura IX-13
 Característica de impedancia
 del relé de distancia tipo mho TSS
 - Ajuste del relé = 5.4Ω
 - Ángulo máximo torque = 60°



X. COORDINACION DE LA PROTECCION CON RELES DE DISTANCIA

A. Introducción

Se efectuará un análisis experimental de la protección de una línea con varias secciones utilizando un relevador de distancia tipo mho para lo cual se hará uso del simulador Robinson. Se estudiará el comportamiento del relé bajo diferentes condiciones que lo lleba a situaciones como las del sobrealcance ó subalcance. Por último, se realizará un análisis comparativo de la coordinación de la protección con relevadores de sobrecorriente.

El relevador a utilizarse en ésta práctica es uno - tipo mho de constitución electrónica con 3 zonas de protección y trifásico. En su aplicación para los análisis a realizar en éste capítulo se lo utilizará completamente.

B. Consideraciones teóricas generales

La protección con relés de distancia presentan ventajosas características con respecto a la de sobrecorriente. Entre las mas importantes se pueden mencionar las siguientes:

1. El alcance del relé es prácticamente independiente de los niveles de generación.
2. Son de acción rápida
3. Sensibles a las fallas
4. Insensibles a las condiciones de carga
5. De fácil ajuste
6. Los ajustes no requieren actualización

Los relés de impedancia poseen por lo general 3 zonas de operación a coordinarse con otros relevadores de protección del sistema en el que trabajan cada uno de ellos con un tiempo determinado de operación y con alcances definidos tal como se muestra en la figura X.1.

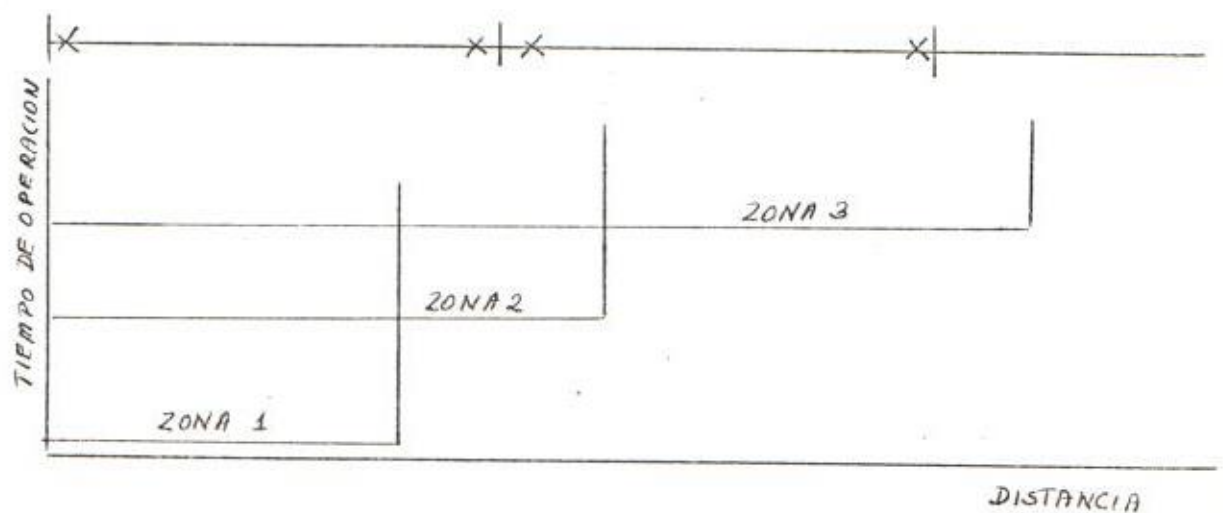


FIGURA X-1

El criterio usual de ajustes para las 3 zonas del relé de impedancia es el siguiente:

a) Zona 1

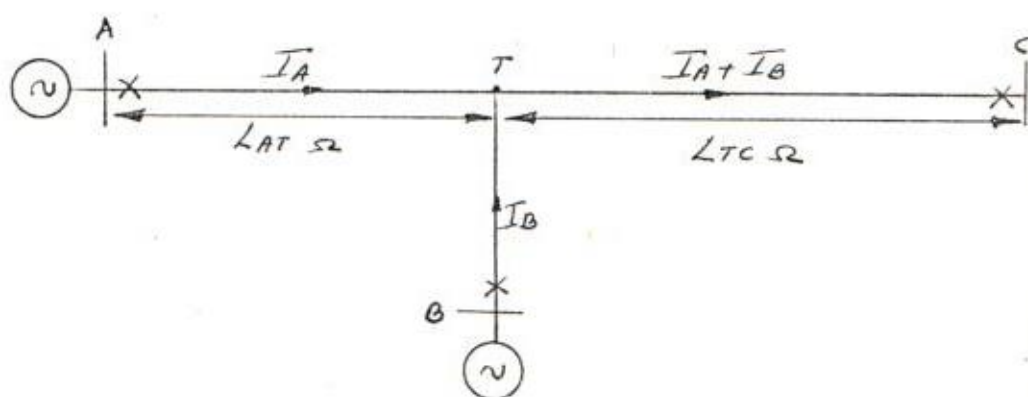
Se la ajusta al 80% de la impedancia de secuencia positiva de la primera sección de línea debido a sobrealcances producidos por estimaciones en los cálculos de la impedancia de línea, errores en los transformadores de medición y efecto de la componente i_d en las ondas transientes de corriente de falla.

b) Zona 2

Se la ajusta al 120% de la impedancia de secuencia positiva de la primera sección de línea.

En el caso de presentarse la sección adyacente de línea de naturaleza corta es importante que la operación de esta segunda zona no se superponga a la segunda zona del relevador de distancia de la línea adyacente, sin dejar de considerar el posible sobrealcance debido a la componente descentrada de corriente de falla.

En el ajuste de esta zona será necesario considerar el efecto de subalcance debido a fuentes de corriente intermedias, como se indica en la fig. X.2.



$$\text{Ajuste de la zona 2} = 1.2 \left[L_{AT} + L_{TC} + \frac{I_B}{I_A} L_{TC} \right]$$

c) Zona 3

El ajuste de la 3ª zona dependerá del alcance de protección de respaldo que quiere darse a la sección de línea adyacente para fallas en su extremo en las que haya que considerar los efectos producidos por resistencias de fallas, onda descentrada, etc. Además habrá que considerar de igual manera como se consideró en la segunda zona el efecto de las fuentes de corriente intermedia.

El relevador que aquí se utilizará dispone de una compensación para fallas a tierra para la operación mas precisa del relevador de distancia para tal tipo de fallas. Se lo consigue inyectado en la magnitud ope-

racional de corriente de fase de la unidad para fallas a tierra una cantidad proporcional a la corriente de secuencia cero.

Otra característica de este relevador reside en el hecho de que su arranque para su operación ante fallas está dado por unidades de sobrecorriente, y su ajuste dependerá, al igual que cualquier relé de sobrecorriente, de la menor corriente de falla en mínimas condiciones de generación para fallas localizadas en el extremo de la última zona a operar.

C. Análisis experimental del relevador de distancia

Conexione el diagrama que se indica en la figura

Considere que el rango de operación máximo admisible del relé es 60/1, por lo tanto la relación del valor de impedancia de fuente (Z_s) con el valor de impedancia de falla no deberá sobrepasar tal valor.

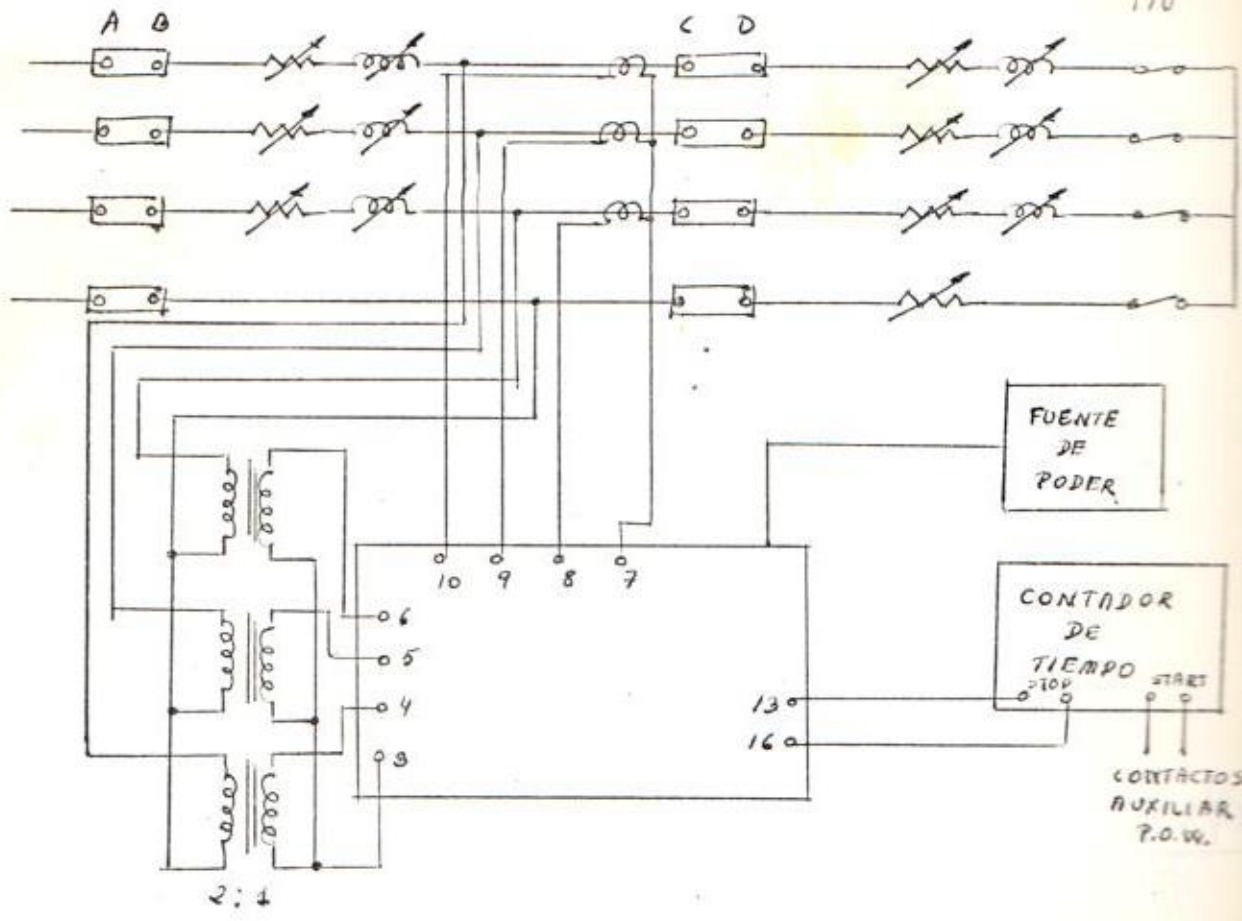
Ajustese en el simulador:

$$Z_s \text{ máxima generación} = j3.4$$

$$Z_s \text{ mínima generación} = j27.8$$

$$\# \text{ vueltas primario TC fuente} = 80$$

$$\# \text{ vueltas primario TC línea} = 0$$



Impedancia de línea $Z_L = 4.2$

Angulo $Z_L = 60^\circ$

Duración de falla unidad POW = Ajuste manual

Angulo de aplicación de falla unidad POW = 60°

Selector V.T. = posición 2 (falla en Z_2)
(3 falla en Z_1)

Secundario TC = 1A

Secundario V.T. = 100%

$Z_{neutro} = 0.6$

Switch en reverse

Ajustes en el relevador:

Líneas	Imped. secundaria	Impedancia primaria
(Z _{L1}) Línea 1	3.38	1.8
(Z _{L2}) Línea 2	2.26	1.2
(Z _{L3}) Línea 3	2.26	1.2
	<u>7.90</u>	<u>4.2</u>

$$\therefore \text{Zona 1} = Z_{Z1} = Z_{L1} \times \overset{0.9}{\cancel{0.8}} = \underline{\underline{3.0}}$$

$$\text{Zona 2} = Z_{Z2} = Z_{L1} \times 1.5 = \underline{\underline{4.50}}$$

$$\text{Zona 3} = Z_{Z3} = (Z_{L1} + Z_{L2}) 1.2 = \underline{\underline{6.72}}$$

8.1 ✓

$$\text{Impedancia secundaria} = \text{Impedancia primaria} \frac{\text{relación de TC } \left(\frac{300}{N_p} \frac{60}{T} \right)}{\text{relación de V.T. } \left(\frac{2}{T} \right)}$$

$$Z_{\text{sec}} = Z_{\text{pri}} \times \frac{\frac{300}{80}}{1} = Z_{\text{pri}} \times 1.88$$

Los ajustes en las escalas de los relés para las zonas son los siguientes:

$$\text{a) } Z_{Z1} = F \times E = G \times E = H \times E$$

E es el valor más próximo por encima de Z_{Z1} (unidad 1)

F, G y H son ajustes en la unidad 2.

$$E = 4.0 \quad F = G = H = \frac{Z_{Z1}}{E} = \frac{\underline{\underline{3.0}}}{4.0} = \underline{\underline{0.75}}$$

$$\text{b) } Z_{Z2} = J \text{ (Unidad 6)}$$

$$J = \frac{\text{Ajuste de impedancia de la zona 2}}{\text{Ajuste de impedancia de la zona 1}} = \frac{4.5}{\underline{\underline{3}}} = 1.5 \quad \checkmark$$

c) $Z_{23} = K$ (unidad 6)

$$K = \frac{\text{Ajuste de impedancia zona 3}}{\text{Ajuste de impedancia de la zona 1}} = \frac{8.1}{3.0} = 2.7$$

d) Compensación para fallas a tierra D (unidad 6)

$$D = F \times \frac{1}{3} \frac{Z_0}{Z_1} - 1, \text{ donde } Z_0 = \text{impedancia de secuencia cero}$$

$$Z_1 = \text{impedancia de secuencia positiva.}$$

$$Z_0 = Z_1 + 3Z_n = 27.8 \ 90^\circ + 1.8 \ 60^\circ + 7.8 \ 0^\circ = 29.5 \ 84^\circ$$

$$Z_1 = 29.4 \ 88^\circ$$

$$D = 0.85 \times \frac{1}{3} \frac{29.5}{29.4} - 1 = 0.00$$

∴ No necesita compensación

e) Cálculo de la corriente mínima de falla al final de la 3ª línea en condiciones de mínima generación

$$Z_{1T} = Z_s + Z_{L1} + Z_{L2} + Z_{L3} = Z_{2T} = 27.8 \ 90^\circ + \overbrace{1.8 \ 60^\circ}^{Z_{L1}} + \overbrace{1.2 \ 60^\circ}^{Z_{L2}}$$

$$Z_{1T} = Z_{2T} = 31.5 \ 86^\circ$$

$$I_1 = -I_2 = \frac{E}{Z_{1T} + Z_{2T}} = \frac{120 \ 0}{2 \times 31.5 \ 86^\circ} = 1.9 \ -86^\circ$$

$$I_b = a^2 I_1 + a I_2 + I_0 = 1.9 \ 154^\circ - 1.9 \ 34^\circ = 3.3 \ -180^\circ$$

Cálculo de la corriente mínima de falla 1 - T en cpmdocopmes de mínima generación.

$$I_a = 3I_o, I_o = \frac{E}{Z_{1T} + Z_{2T} + Z_o} = \frac{120 \angle 0^\circ}{2 \times 31.5 \angle 86^\circ + 31.5 \angle 86^\circ + 1.8 \angle 0^\circ} = \frac{120 \angle 0}{94.6 \angle 85}$$

$$I_a = 3.8 \angle -85^\circ$$

Por lo tanto la mínima corriente de fallas de fase en el lado secundario será:

$$I_s = I_p \frac{N_p}{300} = \frac{3.3 \times 80}{300} = 0.88 \text{ amp.}$$

Los ajustes para A, B y C serán de 0.5 amp. por seguridad.

j) Ajuste del tiempo

Zona 2

Se realiza el ajuste del tiempo para la operación de esta zona por medio del plug L y el potenciómetro M.

Ajuste la operación para 1.5 segs. $\therefore L = 1.0 \quad M = 0.5$

Zona 3

En esta zona el ajuste del tiempo es llevado a efecto por medio del plug N y el potenciómetro P.

Ajuste la operación para 4.4 seg. $\therefore N = 4 \quad P = 0.4$

g) Coloque en el relé la tarjeta de ángulo de fase de operación para 60° .

Realice las siguientes pruebas:

- a) Reduzca la impedancia de línea de tal manera de ubicarla en la 3^o zona de operación y algo mas allá de dicha zona, esto es;

$$3.6 \quad Z_L = \frac{4.06}{1.88} = 2.16$$

Efectúesen varias pruebas para tales valores de Z_L determinado el tiempo de operación y el valor mínimo de impedancia al que opera el el tiempo prefijado para dicha zona, así como también el valor máximo de impedancia al que opera el relé.

Produzca fallas de fase, esto es, trifásicas y de fase a fase. Con máxima y mínima generación (Tabla X.1). Prueba con fallas a tierra considerando la impedancia del neutro.

- b) Repita el anterior procedimiento pero esta vez para valores de impedancia ubicados en la 2^o zona de operación, esto es

$$2.16 \quad Z_L = \frac{2.7}{1.88} = 1.4$$

Tabule los datos (Tabla X.1)

- c) Repita el anterior procedimiento para valores de impedancia ubicados en la 1^o zona de operación, esto es,

$$1.4 \quad Z_L = 0$$

Tabule los datos (Tabla X.1)

Tabla X-1

Z_L	Tiempo de operación			
	Max. generación		Min. generación	
	3ϕ	2ϕ	3ϕ	2ϕ
4.2				
3.6				
3.0				
2.4	—	4.9	—	4.52
1.8	4.5	4.5	4.5	4.5
1.2	1.54	1.54	1.54	1.54
0.6	0.044	0.0366	0.069	0.038
0.0	0.069	0.031	0.077	0.036

