

## **CAPÍTULO 4 PRUEBAS DE PUESTA EN SERVICIO DE UN RELEVADOR MULTIFUNCIÓN PARA PROTECCIÓN DE GENERADOR**

Durante el desarrollo de cualquier proyecto que contemple la integración de una unidad generadora nueva al sistema eléctrico de potencia, una vez que se ha aprobado la ingeniería del proyecto, cuando el periodo de construcción de la planta se encuentra casi en su totalidad, el proyecto entra en una etapa de Pruebas primarias y Puesta en servicio. Durante este periodo se corroboran que el diseño de la planta (ingeniería), así como la construcción se haya llevado a cabo de forma adecuada. Esta es la premisa bajo la cual se entra a la etapa de pruebas y puesta en servicio de la unidad; sin embargo, no siempre sucede de esta forma y se enfrentan dificultades debido a los posibles cambios de diseño que se tengan que realizar en campo.

Dentro de la amplia gama de pruebas que se deben de realizar antes de que la unidad alcance condiciones que la permitan la primera sincronización con el sistema, se encuentran las pruebas primarias de generador eléctrico y sus sistemas auxiliares. Dentro de estos sistemas se encuentran las protecciones eléctricas de unidad, en las cuales recae, en gran medida, la seguridad del generador.

Las compañías suministradoras cuentan con propios procedimientos y lista de pruebas que llevan a cabo para equipo nuevo de protección, las cuales tiene como objetivo comprobar el correcto funcionamiento y garantizar su confiabilidad durante su operación.

Para la correcta ejecución de las pruebas se debe contar con los diagramas unifilares y trifilares de protecciones, así como los manuales de operación de los dispositivos a ser probados. Los diagramas proporcionarán información sustancial para desconectar las terminales de los contactos de salida del relevador de tal forma que se aisle el relevador, así como para evitar cualquier disparo de dispositivos asociados, mientras que el manual del dispositivo proporcionará la información correspondiente para habilitar y deshabilitar la funcionalidad de la protección a probar. Del mismo modo se debe de contar con equipo de prueba adecuado. En la actualidad los equipos de pruebas cuentan, entre otras características, con suministro de corrientes y voltajes trifásicos para inyección secundaria, permiten variar al ángulo de fase, variación de frecuencia, así como registro de entradas y salidas digitales. Todo esto integrado en un software propio del equipo, el cual permitirá tener monitoreo y control de las señales mencionadas, así como el respaldo de las pruebas realizadas, por medio de la generación del reporte de pruebas.

Durante el desarrollo de este capítulo se han seleccionado algunas pruebas a relevadores que comprueben la correcta operación con los ajustes establecidos. Del mismo modo con el propósito de proporcionar un mejor entendimiento de las pruebas realizadas, se presentarán los reportes de pruebas, emitidas por un equipo de prueba marca OMICRON, figura 4.2, que se realizaron a un relevador de protección multifunciones marca Beckwith, modelo M-3425A, mostrado en la figura 4.1, de la unidad de TV de 109.7 MVA de capacidad. Dentro de la lista de protecciones con que cuenta el generador y de las cuales se presentó su ajuste

en el capítulo 3, se han seleccionado los reportes de pruebas de las protecciones 87G, 40 y 24.

La selección de pruebas bajo las cuales se comprueba la correcta operación del relevador multifunción son

- Prueba de Pickup
- Pruebas de tiempo de operación



Figura 4.1. Relevador multifunción para protección de generador marca Beckwith



Figura 4.2 Equipo de prueba de relevadores de protección

## 4.1 Ajustes Preliminares del Relevador

### 4.1.1 Datos del sistema

El punto de partida para llevar a cabo las pruebas correspondientes para comprobación de la operación del relevador, es tomar en consideración el diagrama trifilar de protecciones para la correcta desconexión de los contactos de salida del relevador, así como la conexión apropiada de las señales de corrientes y voltajes en el relevador, a través del bloque de pruebas, esto con el fin de trabajar de manera segura y evitar, en caso de algún error durante la ejecución de la prueba, la afectación del cualquier dispositivo asociado y disparo de interruptores asociados por las protecciones de generador, de acuerdo a la lógica de protecciones de la unidad.

Como siguiente paso, por medio del software del equipo a través de una computadora portátil, se proporcionan las características del sistema al cual está conectado el generador, así como las características de los transformadores de instrumentos a través de los cuales el relevador obtendrá las señales de corriente y voltaje. Es aquí donde la necesidad del diagrama unifilar resalta ya que tomando como referencia la figura 3.1 del capítulo anterior, se hace una recopilación de las características de los equipos asociados, resumidas en la tabla 4.1, las cuales se proporcionan al relevador. Aunado a los ajustes de los datos del sistema se presentan en la columna izquierda, los rangos de ajustes que permite el relevador, así como los incrementos mínimos con que cuenta cada elemento. De la misma

forma la figura 4.2 muestra una ventana del software del relevador con los ajustes proporcionados al mismo con los datos del sistema.

A partir de los ajustes del sistema mostrado en la figura 4.2, el relevador hará los cálculos necesarios para la correcta medición de las magnitudes de tensión y corriente, así como las correcciones de ángulo de desplazamiento. Lo anterior representa una ventaja debido a la exclusión del transformador de potencial auxiliar para corrección del ángulo de fase. Del mismo modo otra de las facilidades del relevador, se presenta introducir parámetros directamente sin hacer el cambio a un valor base, tal como se apreciará en las páginas siguientes. Considerando los puntos anteriores, aquí se presentarán los ajustes con base al funcionamiento del relevador por lo que los ajustes de algunas protecciones podrían presentar variaciones con respecto al ajuste de la protección que se presentaron en el capítulo 3.

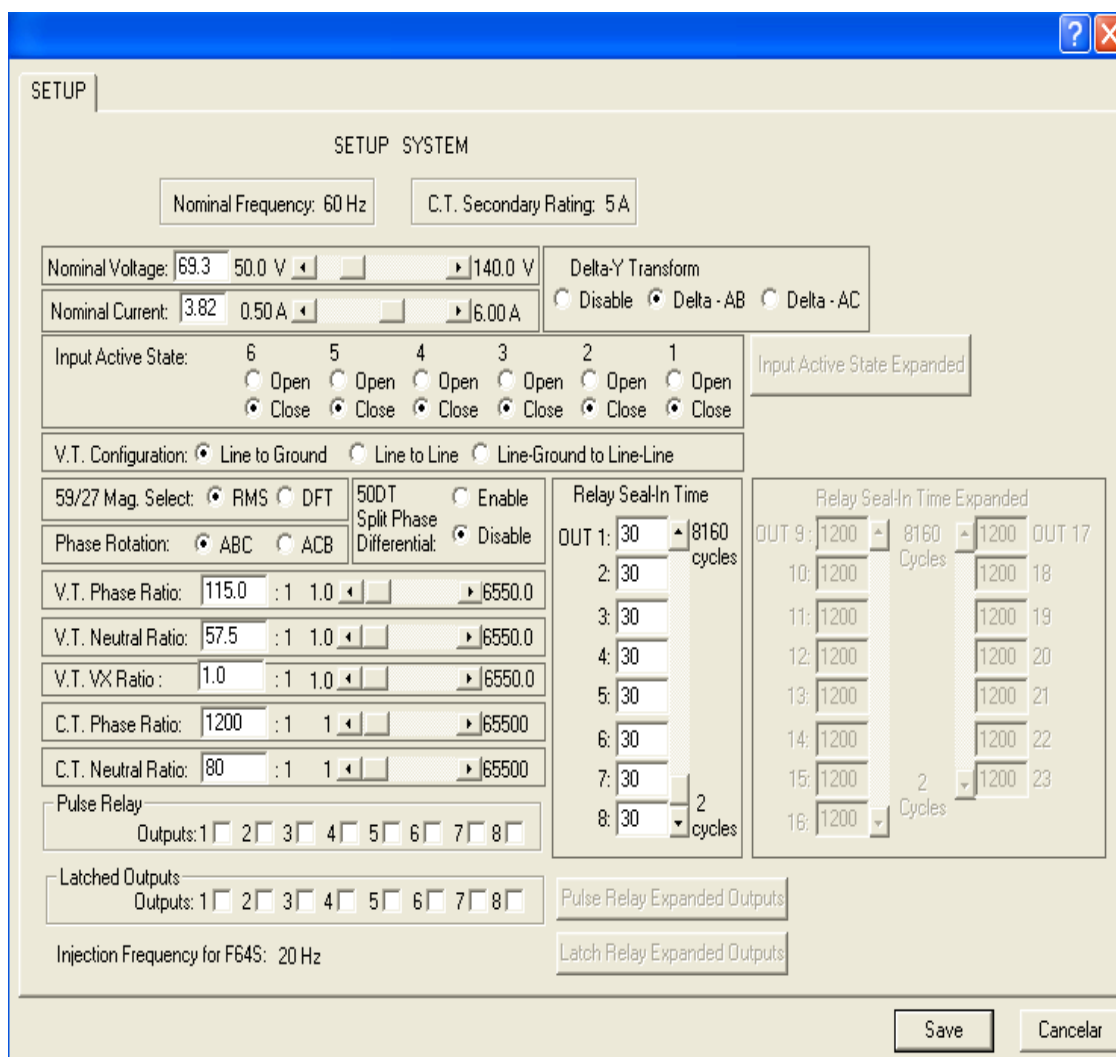


Figura 4.2 Ajuste del sistema en el relevador de protección

ELEMENTO	AJUSTE
Voltaje secundario del TP ( $V_{\text{NOMINAL DEL GENERADOR}} / \text{RTP}$ ) Rango: 60 – 140 V; Incr: 1 V.	$13,800/120 = 115 \text{ RTP}$ $= 69.3 \text{ Volts L-N}$
Corriente secundario del TC de fase ( $I_{\text{NOMINAL DEL GENERADOR}} / \text{RTC}$ ), Rango: 0.50 – 6.00 A, Incr: 0.01 A.	$4,589.65/1200 = 3.82 \text{ A}$
Conexión del TP Rango: Line-Line, Line-Ground, Line Ground to Line Line	Line Ground
Conexión del transformador elevador Delta – Estrella Rango: Disable, Delta AB, Delta AC	Delta AB
Tiempo en que el contacto de salida permanece cerrado para asegurar su operación adecuada. Rango: 2 – 8160 ciclos, Incr: 1.0 ciclo	30 ciclos
RTP de los TPs de fase, Máximo: 65500.0, Incr: 0.1	115:1
RTP de los TPs de Neutro, Máximo: 65500.0, Incr: 0.1	57.5:1
RTC de los TCs de fase, Máximo: 65500.0, Incr: 1.0	1200:1
RTC del TC de neutro, Máximo: 65500.0, Incr: 1.0	80:1

Tabla 4.1 Características del sistema y equipos asociados al generador

Donde

- Incr = Incremento
- L-N = Línea a Neutro
- Line-Line = línea a línea
- Line-Ground = Línea a Tierra
- Disable = Deshabilitar

#### 4.1.2 Ajustes de Protección Diferencial (87)

El relevador presenta la función diferencial de fase de porcentaje con una pendiente ajustable de 1 – 100%. Del mismo modo la diferencial de porcentaje es más tolerante a los errores de TCs (10%), por eso es recomendable que todos los TCs cuenten con las mismas características y exactitud. Observando el diagrama unifilar de la figura 3.1 se observa que se cumple con este requisito.

Debido a necesidad de la compañía suministradora de energía, los ajustes para la protección diferencial de generador son los siguientes

##### Ajustes de la característica:

- 87 PIKCUP# 1: 0.2 A
- 87 DELAY #1: 1 Ciclo
- 87 PORCENT SLOP: 10 %

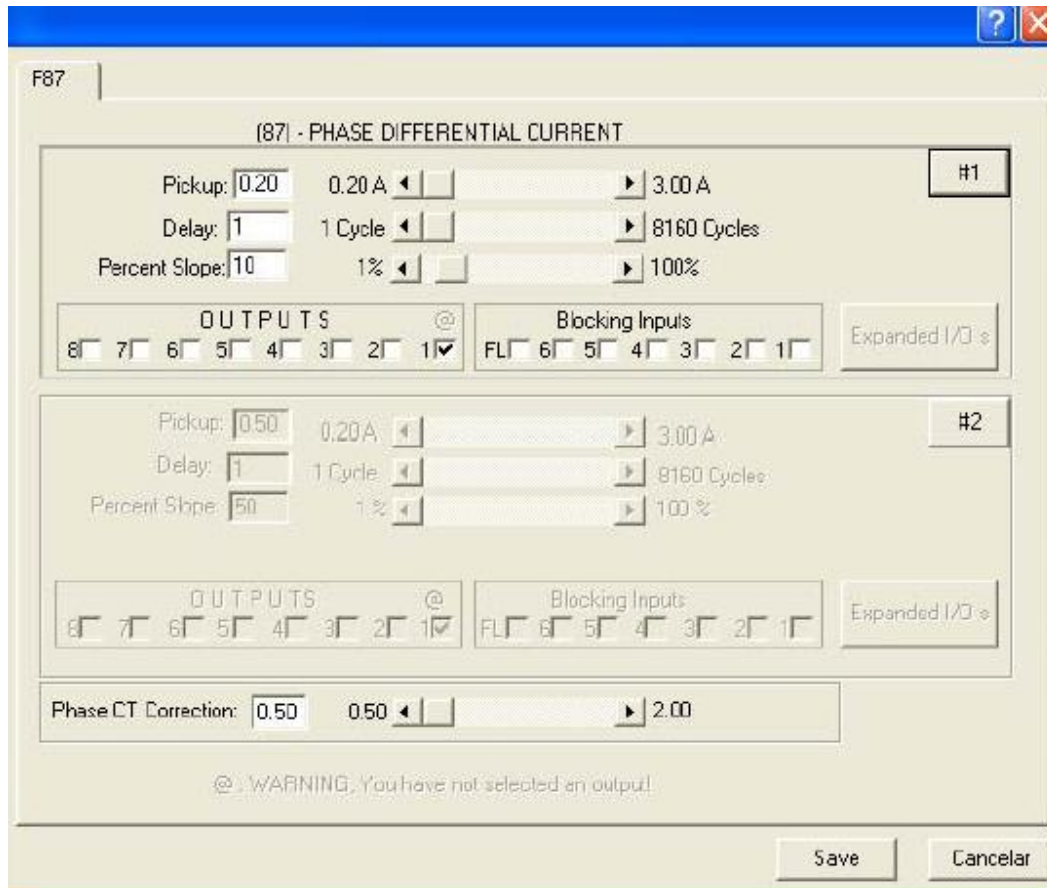


Figura 4.3 Ajuste de la protección Diferencial de Generador

El ajuste de la segunda característica se recomienda ajustar a un valor mayor del nivel de aportación de corto circuito del generador en estado transitorio.

$$Idif2 > 1/X'd * Igen$$

$$Idif2 > (1/0.22) * 4590 = 20863 \text{ A}$$

$$Idif2 > 20863 / 1200 = 17.38 \text{ A.}$$

Debido a que el ajuste máximo que permite el relevador para el segundo ajuste es de 3 A y el ajuste calculado es de 17.38 A, esta función queda deshabilitada.

El relevador presenta la opción “Phase CT Correction” (Corrección de fase de TC), la cual es aplicada cuando la relación de los TCs que conforman la conexión diferencial no tiene la misma relación de transformación. En este caso la RTC es la misma, sin embargo, por condiciones de operación del relevador, en el cual no permite guardar el ajuste sin antes proporcionarle un valor, se establece el mínimo ajuste que es 0.50. Los ajustes anteriores se muestran en la figura 4.3.

### 4.1.3 Ajustes de Protección por Pérdida de Campo (40)

Como se estableció en el capítulo 2, existen variaciones en el tipo de esquemas para detección por pérdida de campo. En esta unidad se optó por el esquema de doble relevador de distancia, de tal forma que se cubra el 100% de la carga.

Los ajustes de la protección por pérdida de campo se presentan a continuación y quedan establecidos en la figura 4.4.

**40 #1 Diameter.** Para este ajuste se considera  $Z_{pu}= 1.0$  pu sobre la capacidad de la máquina. De esta forma se detecta una pérdida de campo desde plena carga hasta un 30% de la carga.

**40 #1 Circle Diameter:**

$$1.0 \text{ pu}_{prim} = \frac{kV_b^2(Z_{pu})}{MVA_b} = \frac{(13.8)^2(1.0)}{109.7} = 1.73 \Omega_{prim}$$

$$1.0 \text{ pu}_{sec} = \text{pu}_{prim} \frac{RTC}{RTP} = 1.73 \frac{1200}{115} = 18.11 \Omega_{sec}$$

$$\text{Circle Diameter 40 \#1} = 18.1 \Omega$$

**40 #1 Offset.**  $-X'd/2$  (Saturada) sobre la capacidad de la máquina. Este ajuste aplica para ambos círculos.

**Offset #1 =**

$$X'_{d\Omega} = \frac{kV_b^2(X'd)}{MVA_b} = \frac{(13.8)^2(0.22)}{109.7} = 0.3819 \Omega_{prim}$$

$$-\left[ \frac{X'_{d\Omega}}{2} \right]_{sec} = -\frac{X'_{d\Omega}}{2} * \left[ \frac{RTC}{RTP} \right] = \frac{0.3819}{2} * \left[ \frac{1200}{115} \right] = -1.99 \Omega_{sec}$$

$$\text{Offset \#1} = -2.0 \Omega_{sec}$$

**40 #1 Delay.** Se recomienda ajustar con un retardo de tiempo de 5 ciclos para proporcionar una protección rápida ya que este elemento no se ve afectado por las oscilaciones del sistema.

$$\text{Delay \#1} = 5 \text{ ciclos}$$

**40 #2 Diameter.** Se recomienda ajustar en reactancia síncrona no saturada  $X_d$  sobre la capacidad de la máquina, retardo de tiempo de 30 ciclos. De esta forma se detecta una pérdida de campo desde no carga hasta plena carga.

**40 #2 Circle Diameter =**

$$Xd_{prim} = \frac{kV_b^2(Xd)}{MVA_b} = \frac{(13.8)^2(1.88)}{109.7} = 3.26\Omega_{prim}$$

$$Xd_{sec} = Xd_{prim} \frac{RTC}{RTP} = 3.26 \frac{1200}{115} = 34.05\Omega_{sec}$$

**Circle Diameter 40 #2 = 34.0 Ohms/sec**

**40 #2 Offset.** -X'd/2(Saturada) Este ajuste es igual al de Offset #1.

**Offset #2 = -2.0  $\Omega_{sec}$**

**40 #2 Delay.** Se recomienda ajustar con un retardo de tiempo de 0.5 segundos (30 ciclos) para evitar operaciones incorrectas sobre oscilaciones estables.

**Delay#2= 30 ciclos**

**40 #2 Voltage Control.** Disable

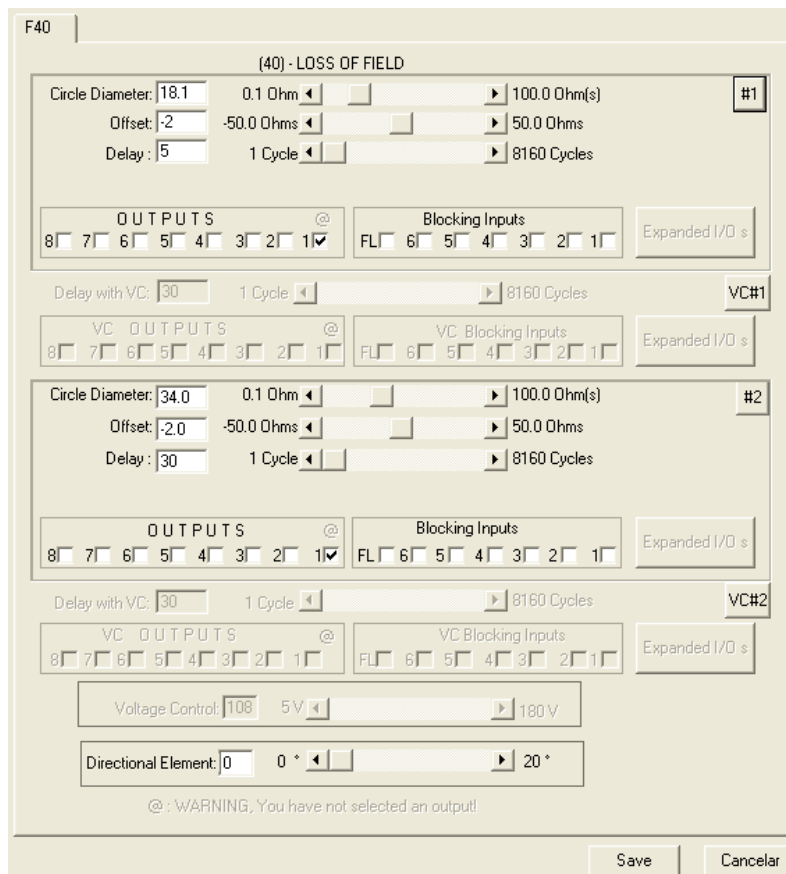


Figura 4.4 Ajuste de la protección 40 por doble relevador de distancia

#### 4.1.4 Ajustes de Protección contra Sobreexcitación (24)

De acuerdo con el manual del fabricante del relevador, el procedimiento para definir los parámetros de ajustes para esta función es el siguiente, los cuales se muestran en la figura 4.5

**24DEF TIME #1 Pickup.** El ajuste #1 de tiempo definido establece el nivel de V/Hz arriba del cual la protección puede operar.

La función 24 V/Hz debe ajustarse por debajo de la curva de daño del generador.

**24DEF TIME Pickup#1 = 134%**

**24DEF TIME #1 Delay.** El retardo de tiempo #1 establece el tiempo de operación de la protección para todos los valores de V/Hz arriba del nivel ajustado de pickup#1.

**24DEF TIME Delay#1 = 120** ciclos

**24DEF TIME #2 Pickup.** Deshabilitado

**24DEF TIME #2 Delay.** Deshabilitado

**24INV Time Pickup.** El valor de pickup de V/Hz a partir del cual la opción de curva inversa inicia su operación. Este ajuste se selecciona en el límite inferior permitido 105%.

**24INV TIME Pickup = 105%**

**24INV TIME Curve.** Se escoge una de las familias de curvas adecuada para la aplicación de esta protección. Los tiempos de operación son constantes para valores de V/Hz arriba de 105%.

**24INV TIME Curve = 2**

**24INV TIME Time Dial.** Seleccionamos curva adecuada de la familia asociada con el valor “K” de la curva.

**24INV TIME Time Dial = 1**

**24INV TIME Reset Rate.** Este valor es el tiempo necesario para que la unidad se enfríe a su temperatura normal de operación si el tiempo de variación V/Hz fue justo abajo del tiempo de disparo.

**24IT Reset Rate = 400.0 seg.**



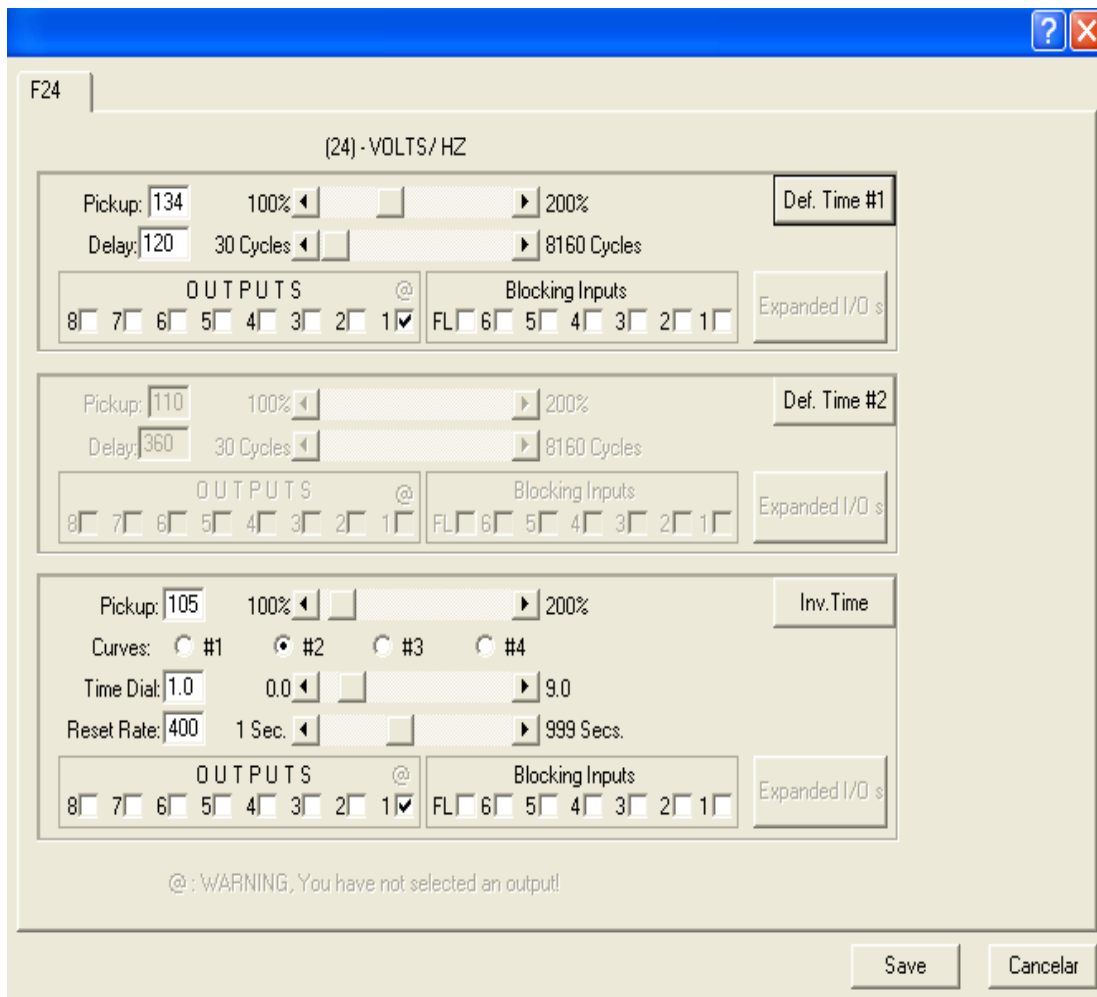


Figura 4.5 Ventana de ajustes de función 24

## 4.2 Pruebas de operación de Protección Diferencial (87)

La prueba de pick up de la función 87G se realiza ajustando las corrientes de entrada del lado línea IL1, IL2, IL3 en valor inicial igual a cero, al igual que las corrientes del lado neutro I(2)-1, I(2)-2, I(2)-3 en el mismo valor. De este modo se establece que las corrientes del lado línea se irán incrementando en pasos de 100 ms y con una magnitud de 1 mA. Estos datos se recopilan en la tabla 4.2. De esta forma se genera una rampa y se verifica la corriente de pick up del relé. Una vez detectada la corriente, el equipo termina la prueba y envía un reporte de las condiciones de operación las cuales se muestran la Tabla 4.4.

**PICK UP FUNCION 87G:**

**Ajustes de la prueba**

**Estados rampa A**

Estado	Estado 1
I L1	0,000 A 0,00° 60,000 Hz
I L2	0,000 A -120,00° 60,000 Hz
I L3	0,000 A 120,00° 60,000 Hz
I(2)-1	0,000 A 0,00° 60,000 Hz
I(2)-2	0,000 A -120,00° 60,000 Hz
I(2)-3	0,000 A 120,00° 60,000 Hz
Forzar fases abs.	Sí
Señ. 1 Desde	0,000 A
Señ. 1 Hasta	300,0 mA
Señ. 1 Delta	1,000 mA
Señ. 1 d/dt	10,00 mA/s
dt por paso	100,0 ms
Pasos de rampa	1181
Tiempo de rampa	118,100s
Trigger	Bin
Lógica del trigger DISPARO POR FUNCION 87G	OR 1
Paso atrás	No
Tiempo de retardo	2,000 s

Tabla 4.2 Datos de rampa A para prueba de pick up.

**PICK UP PENDIENTE**

**Ajustes de la prueba**

**Estados rampa B**

Estado	Estado 1
I L1	3,820 A 0,00° 60,000 Hz
I L2	3,820 A -120,00° 60,000 Hz
I L3	3,820 A 120,00° 60,000 Hz
I(2)-1	3,820 A 0,00° 60,000 Hz
I(2)-2	3,820 A -120,00° 60,000 Hz
I(2)-3	3,820 A 120,00° 60,000 Hz
Forzar fases abs.	Sí
Señ. 1 Desde	3,820 A
Señ. 1 Hasta	5,000 A
Señ. 1 Delta	1,000 mA
Señ. 1 d/dt	10,00 mA/s
Señ. 2 Desde	3,820 A
Señ. 2 Hasta	3,820 A
Señ. 2 Delta	0,000 A
Señ. 2 d/dt	0,000 A/s
dt por paso	100,0 ms
Pasos de rampa	1181
Tiempo de rampa	118,100s
Trigger	Bin
Lógica del trigger DISPARO POR FUNCION 87G	AND 1
Paso atrás	No
Tiempo de retardo	2,000 s

Tabla 4.3 Datos de rampa B para operación de pendiente

De forma semejante, para la prueba de operación de función diferencial de pendiente, se proporcionan las condiciones iniciales, señalando las corrientes nominales con la que el relé trabajará de forma continua. El incremento de corriente lo presentarán las corrientes de lado línea en incrementos de 1 mA, con pasos de 100 ms, durante un tiempo de 118.1 s. Los resultados registrados por el equipo de prueba se muestran en la tabla 4.5.

Los resultados de las pruebas de rampa A y B muestran resultados positivos. En la tabla 4.4 se muestra la corriente teórica de levantamiento, mientras que en la columna siguiente se observa el valor real de operación del relevador. Observando las columnas contiguas se aprecia las tolerancias máximas positiva y negativa que permite el relé, así como la desviación obtenida. Como resumen de los valores arrojados, se considera que el relé tiene una evaluación positiva, por lo que se obtiene un resultado satisfactorio.

Semejante a la evaluación anterior, en la tabla 4.5 se observan los resultado obtenidos de la

prueba de operación de diferencial con pendiente porcentual. El valor obtenido de operación fue 4.213 A, lo cual arroja una pendiente de 10.28% aproximadamente. Los valores de desviación obtenidos se consideran aceptables y el equipo de prueba arroja una evaluación satisfactoria.

La figura 4.6 muestra la rampa B generada, así como la señal de disparo por función 87G.

### Resultados de la pruebas

#### Resultados de la medida (Rampa A)

Nombre / ejec.	Rampa	Condición	Señ.	Nom.	Real	Tol.-	Tol.+	Desv.	Eval.	treal
DISP 87G	Estado 1	DISP POR FUNCION DISTANCIA 0->1	L1;L2;L3	200,0 mA	195,0 mA	100,0 mA	100,0 mA	-5,000 mA	+	43,80 ms

Eval.: + .. Correcto x .. Incorrecto o .. No evaluado Tolerancia-----Tol (- / +) Desv.-----Desviación Eval.-----Evaluación

Tabla 4.4 Resultados de la prueba de pick up del elemento diferencial

#### Resultados de la medida (Rampa B)

Nombre / ejec.	Rampa	Condición	Señal	Nominal	Real	Tol.-	Tol.+	Desv.	Eval.	t real
DISP 87G(1)	Estado 1	DISP POR FUNCION DISTANCIA 0->1	L1;L2;L3	4,220 A	4,213 A	300,0 mA	300,0 mA	-7,000 mA	+	65,00 ms

Eval.: + .. Correcto x .. Incorrecto o .. No evaluado Tolerancia-----Tol (- / +) Desv.-----Desviación Eval.-----Evaluación

Tabla 4.5 Resultados de la prueba de pick up del elemento diferencial porcentual

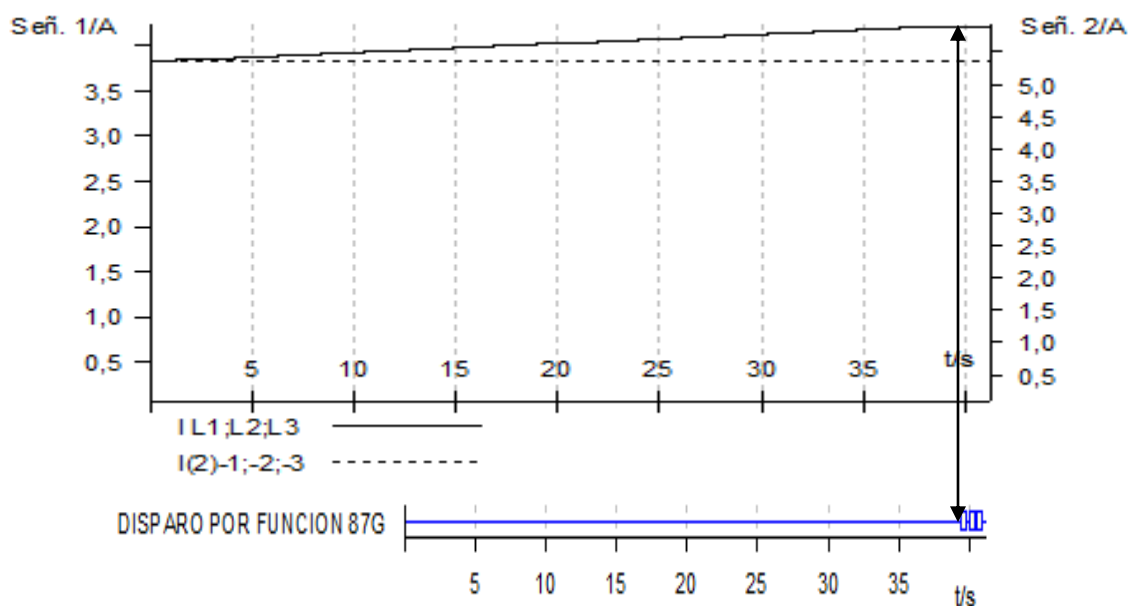


Figura 4.6 Prueba operacional de protección diferencial y señal de disparo

### 4.3 Pruebas de operación Protección Pérdida de Campo (40)

Recopilando la información de ajuste con que cuenta el relevador para la protección por pérdida de campo, se tiene don zonas de protección. El tipo de falla que se simula es una falla trifásica a tierra por lo que el cálculo de la impedancia se reduce a  $Z = V/I$ . Las

condiciones de ajuste se establecen por fijar el voltaje de inyección en 10V, ir incrementando la magnitud de las corrientes, así como el ángulo de desfase entre las magnitudes.

## Resultados de la prueba

### Prueba de disparo: tipo de falta L1-L2-L3

Z	Phi	tnom.	t real	Desv.	Vpru	Resultado
35,00 Ω	-90,00 °	no disparó	529,0 ms		10,00 V	Correcta
34,50 Ω	-90,00 °	no disparó	531,1 ms		10,00 V	Correcta
34,00 Ω	-90,00 °	500,0 ms	533,4 ms	6,68 %	10,00 V	Correcta
33,50 Ω	-90,00 °	500,0 ms	1,092 s	118,4 %	10,00 V	Correcta
33,00 Ω	-90,00 °	500,0 ms	531,2 ms	6,24 %	10,00 V	Correcta
32,50 Ω	-90,00 °	500,0 ms	524,1 ms	4,82 %	10,00 V	Correcta
25,00 Ω	-90,00 °	500,0 ms	531,7 ms	6,34 %	10,00 V	Correcta
19,00 Ω	-90,00 °	500,0 ms	120,1 ms	-75,98 %	10,00 V	Correcta
18,50 Ω	-90,00 °	500,0 ms	120,9 ms	-75,82 %	10,00 V	Correcta
18,10 Ω	-90,00 °	83,00 ms	109,8 ms	32,29 %	10,00 V	Correcta
18,00 Ω	-90,00 °	83,00 ms	114,2 ms	37,59 %	10,00 V	Correcta
17,50 Ω	-90,00 °	83,00 ms	114,0 ms	37,35 %	10,00 V	Correcta
17,00 Ω	-90,00 °	83,00 ms	116,6 ms	40,48 %	10,00 V	Correcta
1,000 Ω	-90,00 °	no disparó	no disparó		10,00 V	Correcta
1,500 Ω	-90,00 °	no disparó	no disparó		10,00 V	Correcta
2,000 Ω	-90,00 °	83,00 ms	1,331 s	1503 %	10,00 V	Correcta
2,100 Ω	-90,00 °	83,00 ms	91,50 ms	10,24 %	10,00 V	Correcta
2,500 Ω	-90,00 °	83,00 ms	103,9 ms	25,18 %	10,00 V	Correcta
2,600 Ω	-90,00 °	83,00 ms	94,30 ms	13,61 %	10,00 V	Correcta
10,00 Ω	-90,00 °	83,00 ms	102,0 ms	22,89 %	10,00 V	Correcta
5,000 Ω	-90,00 °	83,00 ms	110,6 ms	33,25 %	10,00 V	Correcta
15,00 Ω	-90,00 °	83,00 ms	109,9 ms	32,41 %	10,00 V	Correcta
33,29 Ω	-80,00 °	500,0 ms	539,1 ms	7,82 %	10,00 V	Correcta
32,00 Ω	-80,00 °	500,0 ms	532,2 ms	6,44 %	10,00 V	Correcta
28,00 Ω	-80,00 °	500,0 ms	534,1 ms	6,82 %	10,00 V	Correcta
16,00 Ω	-80,00 °	83,00 ms	104,2 ms	25,54 %	10,00 V	Correcta
10,17 Ω	-80,00 °	83,00 ms	108,1 ms	30,24 %	10,00 V	Correcta
5,148 Ω	-80,00 °	83,00 ms	105,7 ms	27,35 %	10,00 V	Correcta
4,738 Ω	-60,00 °	83,00 ms	98,60 ms	18,8 %	10,00 V	Correcta
9,676 Ω	-60,00 °	83,00 ms	111,9 ms	34,82 %	10,00 V	Correcta
13,95 Ω	-60,00 °	83,00 ms	115,7 ms	39,4 %	10,00 V	Correcta
20,00 Ω	-60,00 °	500,0 ms	520,2 ms	4,04 %	10,00 V	Correcta
25,83 Ω	-60,00 °	500,0 ms	527,8 ms	5,56 %	10,00 V	Correcta
28,64 Ω	-60,00 °	500,0 ms	522,3 ms	4,46 %	10,00 V	Correcta
29,46 Ω	-60,00 °	no disparó	533,0 ms		10,00 V	Correcta
8,000 Ω	-110,00 °	83,00 ms	99,30 ms	19,64 %	10,00 V	Correcta
15,33 Ω	-110,00 °	83,00 ms	111,0 ms	33,73 %	10,00 V	Correcta
17,19 Ω	-110,00 °	500,0 ms	115,7 ms	-76,86 %	10,00 V	Correcta
20,00 Ω	-110,00 °	500,0 ms	528,4 ms	5,68 %	10,00 V	Correcta
28,00 Ω	-110,00 °	500,0 ms	528,0 ms	5,6 %	10,00 V	Correcta
31,01 Ω	-110,00 °	500,0 ms	533,4 ms	6,68 %	10,00 V	Correcta
32,40 Ω	-110,00 °	no disparó	no disparó		10,00 V	Correcta
8,000 Ω	-120,00 °	83,00 ms	112,6 ms	35,66 %	10,00 V	Correcta
14,29 Ω	-120,00 °	83,00 ms	115,1 ms	38,67 %	10,00 V	Correcta
15,60 Ω	-120,00 °	500,0 ms	106,3 ms	-78,74 %	10,00 V	Correcta
20,00 Ω	-120,00 °	500,0 ms	531,4 ms	6,28 %	10,00 V	Correcta
26,07 Ω	-120,00 °	500,0 ms	532,8 ms	6,56 %	10,00 V	Correcta
28,00 Ω	-120,00 °	500,0 ms	526,5 ms	5,3 %	10,00 V	Correcta
29,83 Ω	-120,00 °	no disparó	no disparó		10,00 V	Correcta
4,000 Ω	-160,00 °	no disparó	no disparó		10,00 V	Correcta
4,000 Ω	-20,00 °	no disparó	no disparó		10,00 V	Correcta
22,15 Ω	-80,00 °	500,0 ms	530,1 ms	6,02 %	10,00 V	Correcta

Durante la realización de la prueba se inicia por forzar puntos sobre el eje de la reactancia, debido al ángulo de desfaseamiento ( $-90^\circ$ ), resaltados en la tabla. La impedancia se va trasladando desde un punto fuera de la zona 2,  $35\Omega$ , en la cual se aprecia que el equipo de prueba registra la no operación, hasta probar puntos sobre el eje de la reactancia, cerca del origen, forzando la operación de la zona 2. Observando la tabla de reporte de la prueba se puntualiza que cualquier punto en la zona 2 opera de forma adecuada.

Conforme se varia la impedancia, así como el ángulo se observa que los puntos registrados en la zona 1, de operación instantánea, así como la zona 2, con tiempo de retardo de 0.5 s, operan de tal forma que la desviación registrada es aceptable, tal como se muestra en la figura 4.7. Con lo anterior se observa que la protección es totalmente direccional, teniendo en consideración cuando existe un ángulo de diferencia entre la corriente y voltaje, contenido en el rango de  $-\pi/2$  hasta  $\pi/2$ , no operará debido a que no considera como condición de pérdida de campo y el generador no presentará las condiciones de operación dentro del área de subexcitación, o en su defecto lo considera un estado de condiciones recuperables.

Resumiendo, el comportamiento de la función de protección por pérdida de campo, bajo los ajustes establecidos, establece la confiabilidad de detección y operación antes de alcanzar los límites de diseño del generador, al igual que el límite de mínima excitación del AVR.

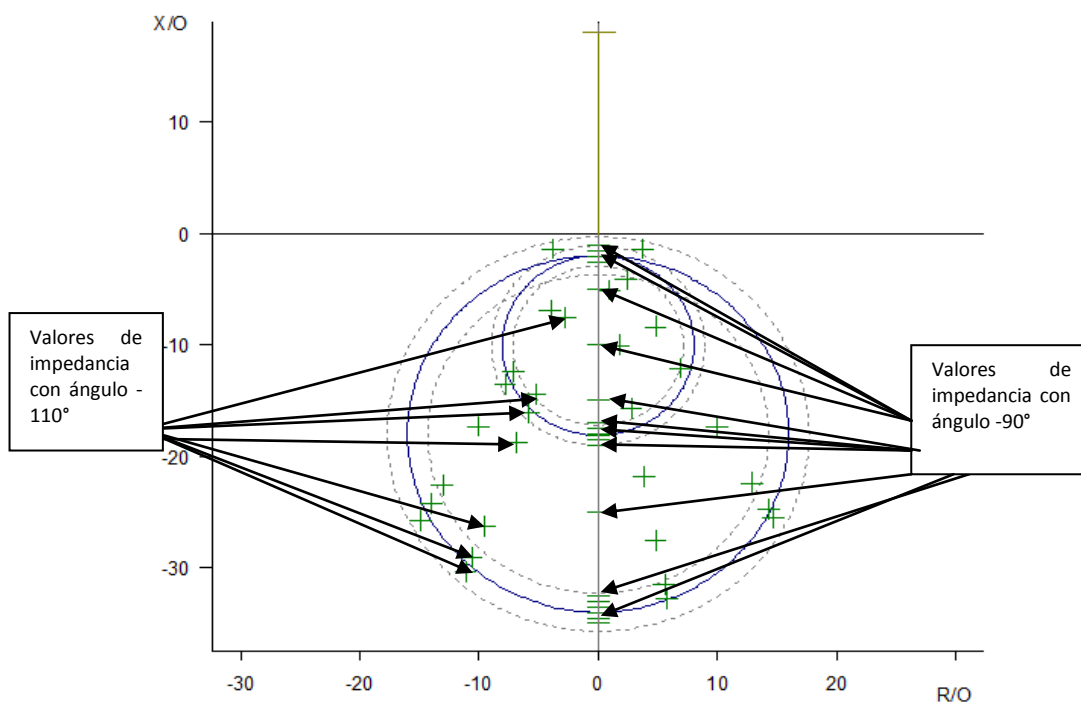


Figura 4.7 Zonas de operación del relevador por operación de pérdida de campo

#### 4.4 Pruebas de operación Protección de sobreexcitación (24)

Tomando en consideración el ajuste que se tienen para la operación del elemento instantáneo, la prueba de pick up se realiza

$$V /_{Hz} base = 69.28 / 60 = 1.1546 = 1pu$$

El ajuste de pick up es 134% ó 1.34 pu, esto es

$$\frac{V /_{Hz}}{V /_{Hz} base} = 1.34$$

$$\frac{V / 60}{1.1546} = 1.34$$

$V = 92.8352 V$  ----- voltaje al que operará la protección instantánea de la protección 24.

Los ajustes iniciales para la prueba de pick up de la protección instantánea se muestran en la tabla 4.7.

#### Ajustes de la prueba

##### Estados de rampa

Estado	Estado 1
V L1-E	91,00 V 0,00 ° 60,000 Hz
V L2-E	91,00 V -120,00 ° 60,000 Hz
V L3-E	91,00 V 120,00 ° 60,000 Hz
Forzar fases abs.	Sí
Señ. 1 Desde	91,00 V
Señ. 1 Hasta	93,00 V
Señ. 1 Delta	100,0 mV
Señ. 1 d/dt	76,92 mV/s
dt por paso	1,300 s
Pasos de rampa	21
Tiempo de rampa	27,300s
Trigger	Bin
Lógica del trigger	OR
DISP POR FUNCION 24 V-HZ	1
Paso atrás	No
Tiempo de retardo	2,000 s

Tabla 4.7 Ajustes de prueba de pick up elemento instantáneo

## Resultados de la prueba

### Resultados de la medida

Nombre / ejec.	Rampa	Condición	Señ.	Nom.	Real	Tol.-	Tol.+	Desv.	Eval.	treal
DISP 24 V-HZ	Estado 1	DISP POR FUNCION DISTANCIA 0->1	V L1-E;L2-E;L3-E	92,84 V	92,70 V	3,000 V	3,000 V	-140,0 mV	+	697,7 ms

Eval.: + .. Correcto x .. Incorrecto o .. No evaluado

Tabla 4.8 Resultados de la prueba de pick up del elemento instantáneo

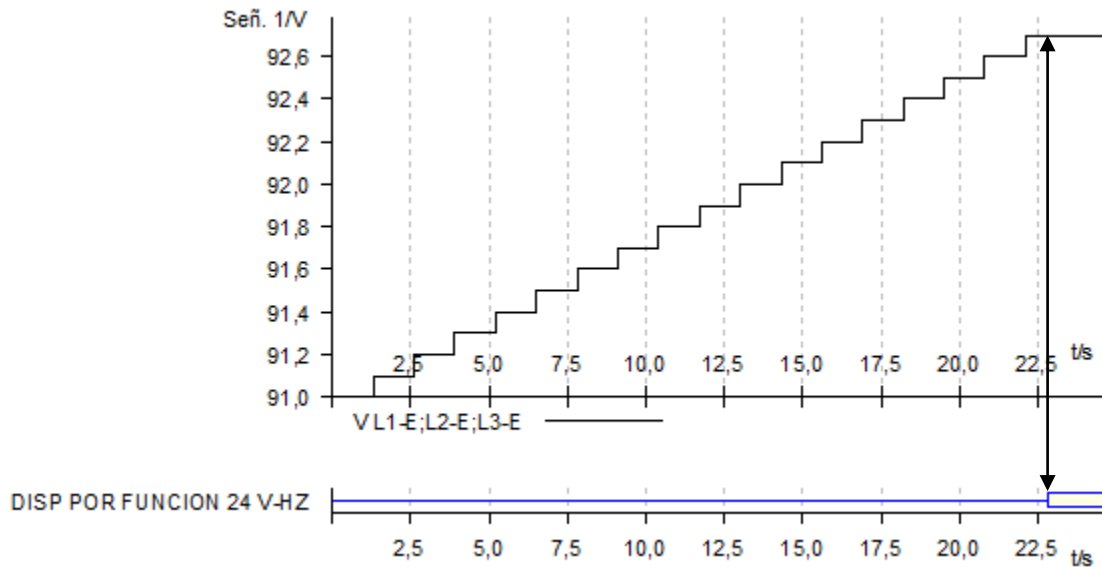


Figura 4.8 Prueba del elemento instantáneo por detección de sobreexcitación

Observando los resultados de la tabla 4.8, así como la rampa mostrada en la figura 4.8, se considera que la operación del elemento instantáneo es confiable. Este ajuste debe ser corroborado con el limitador de sobreexcitación del AVR.

A continuación se muestra la tabla de prueba de tiempo del elemento instantáneo. En esta prueba se simula una sobreexcitación, pasando de un estado 1 bajo condiciones normales a un estado 2 donde la tensión se incrementa súbitamente a 93 V, tal como se muestra en la tabla 4.9.

### Ajustes de la prueba

Estado	Estado 1	Estado 2
V L1-E	69,28 V 0,00 ° 60,000 Hz	93,00 V 0,00 ° 60,000 Hz
V L2-E	69,28 V -120,00 ° 60,000 Hz	93,00 V -120,00 ° 60,000 Hz
V L3-E	69,28 V 120,00 ° 60,000 Hz	93,00 V 120,00 ° 60,000 Hz
Tiempo max. estado	1,000 s	5,000 s
Lógica del trigger		OR
DISP POR FUNCION 24 V-HZ		1

Tabla 4.9 Valores iniciales de prueba de tiempo de elemento instantáneo

### Resultados de la prueba

#### Evaluación de tiempo

Nombre	Ignor. antes	Inicio	Fin	t <sub>nom.</sub>	t <sub>desv-</sub>	t <sub>desv+</sub>	t <sub>real</sub>	t <sub>desv.</sub>	Eval.
DISP 24 V-HZ	Estado 1	Estado 2	DISP POR FUNCION 24 V-HZ 0>1	2,000 s	1,000 s	1,000 s	2,204 s	204,1 ms	+

Eval.: + .. Correcto x .. Incorrecto o .. No evaluado

Tabla 4.10 Resultados de la prueba de pick up del elemento instantáneo

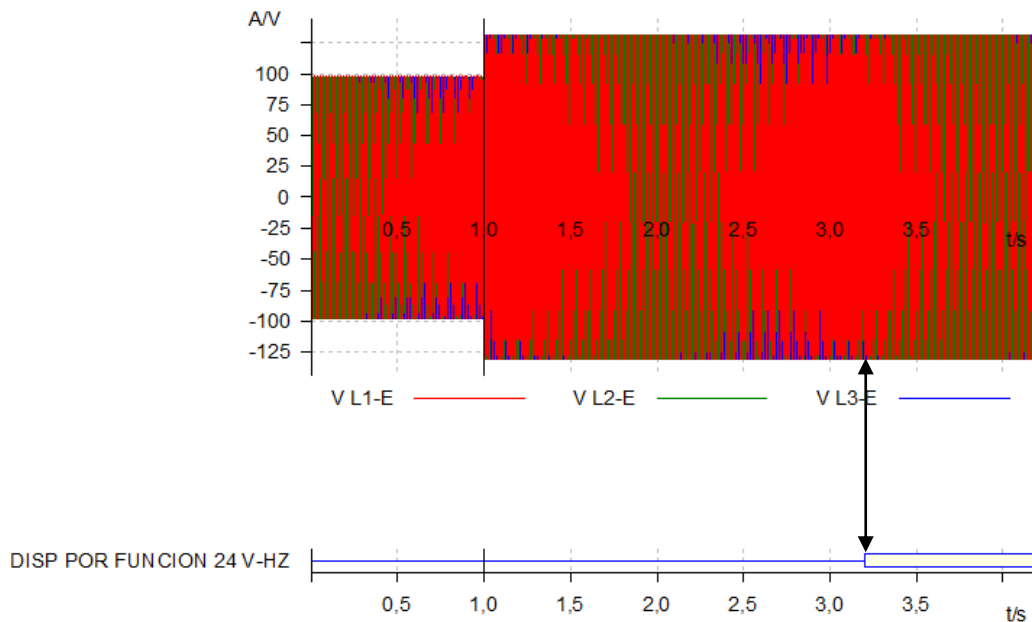




Figura 4.9 Prueba de detección de sobrecitación

Analizando los resultados mostrados en la tabla 4.10 así como en la figura 4.9 se establece como confiable el tiempo de operación, esto considerando los rangos de desviación permitidos.

El ajuste de tiempo de retardo son 120 ciclos con una desviación de 60 ciclos. El relevador presento un error de operación de 12.24 ciclos. Tomando el ajuste que se brindo del elemento instantáneo en la figura 3.3 del capítulo 3, aún con el error de operación presentado por el relevador la operación del elemento es correcta y no permite alcanzar valores de daño para el generador.

La protección por elemento de tiempo inverso se estableció por una curva tipo 2 de la familia de curvas que presenta el relevador, tal como se muestra en la figura 3.3 del capítulo anterior.

La prueba de tiempo se realizó estableciendo cambios de estados, pasando de un estado bajo condiciones normales, estados 1, 3 y 5, a estados donde el generador presentará sobrecitación, estados 2, 4 y 6., los cuales se muestran en la tabla 4.11.

**Ajustes de la prueba**

Estado	Estado 1	Estado 2	Estado 3	Estado 4	Estado 5	Estado 6
V L1-E	69,28 V 0,00 ° 60,000 Hz	90,06 V 0,00 ° 60,000 Hz	69,28 V 0,00 ° 60,000 Hz	93,53 V 0,00 ° 60,000 Hz	69,28 V 0,00 ° 60,000 Hz	97,00 V 0,00 ° 60,000 Hz
V L2-E	69,28 V -120,00 ° 60,000 Hz	90,06 V -120,00 ° 60,000 Hz	69,28 V -120,00 ° 60,000 Hz	93,53 V -120,00 ° 60,000 Hz	69,28 V -120,00 ° 60,000 Hz	97,00 V -120,00 ° 60,000 Hz
V L3-E	69,28 V 120,00 ° 60,000 Hz	90,06 V 120,00 ° 60,000 Hz	69,28 V 120,00 ° 60,000 Hz	93,53 V 120,00 ° 60,000 Hz	69,28 V 120,00 ° 60,000 Hz	97,00 V 120,00 ° 60,000 Hz
DISP POR FUNCION 24 V-HZ	1		1		1	
Interacción del usuario	no	No	no	No	no	no
Trigger de CMGPS	no	No	no	No	no	no
Trigger de IRIG-B:	no	No	no	No	no	no
Pulsos de IRIG-B:	1	1	1	1	1	1
Retardo tras trigger	1,000 s	1,000 s	1,000 s	1,000 s	1,000 s	1,000 s
Diagramas						

Tabla 4.11 Magnitudes de estados de prueba de la curva de tiempo inverso

Analizando de forma detallada los diagramas fasoriales de los estados 1 y 2, los cuales se muestran en la figura 4.10, se aprecia en la figura (a) las condiciones de los fasores de potencial, de un generador trabajando de forma normal, estado 1. La sobreexcitación se presenta debido al incremento súbito de la magnitud de los fasores, tal como se muestra en la figura (b), estado 2.

La ejecución de la prueba se repite de manera consecutiva, pasando de un estado bajo condiciones normales, a un estado de sobreexcitación.

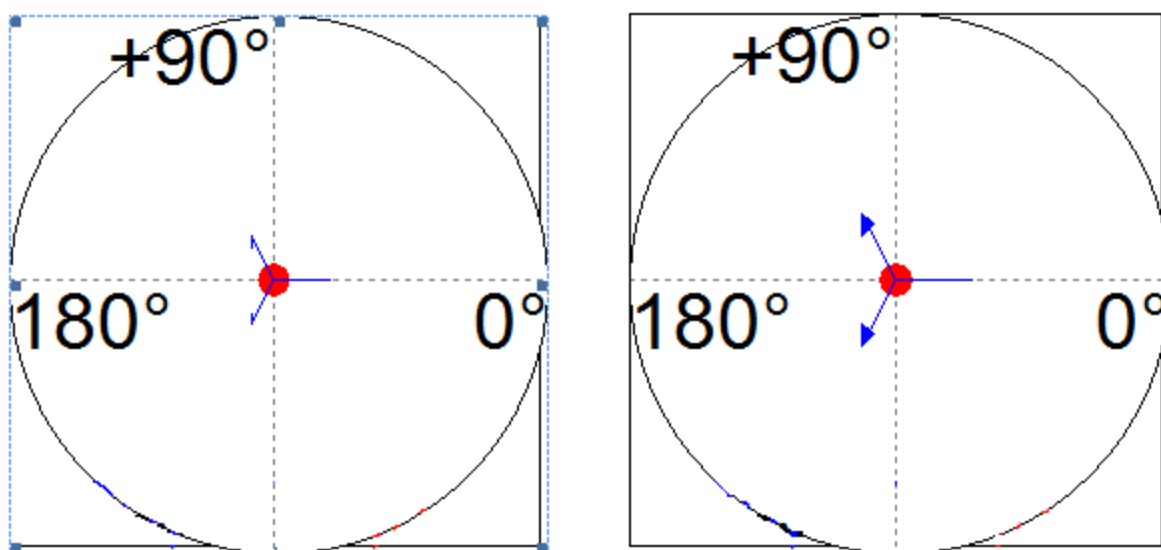


Figura 4.10 Diagrama fasorial del Generador en condiciones normales (a) y condiciones de operación de sobreexcitación (b).

Los tiempos de operación de la curva para diferentes puntos de sobreexcitación se presentan en la tabla 4.12, de tal forma que comparándolos con los tiempos de operación real del relevador, presentan una desviación considerablemente aceptable. Sumado a esto los disparos del elemento mostrados en la figura 4.11, se presentaron de forma adecuada, por lo que la operación del elemento de tiempo inverso opera adecuadamente.

## Resultados de la prueba

### Evaluación de tiempo

Nombre	Ignor. antes	Inicio	Fin	tnom.	tdevs-	tdevs+	treal	tdevs.	Eval.
24 V-HZ	Estado 1	Estado 2	24 V-HZ	4,680 s	1,000 s	1,000 s	4,630 s	-50,20 ms	+
24 V-HZ	Estado 3	Estado 4	24 V-HZ	1,767 s	1,000 s	1,000 s	1,730 s	-37,40 ms	+
24 V-HZ	Estado 5	Estado 6	24 V-HZ	1,100 s	1,000 s	1,000 s	1,080 s	-20,50 ms	+

Eval.: + .. Correcto x .. Incorrecto o .. No evaluado

Tabla 4.12 Resultados de prueba de curva de tiempo inverso

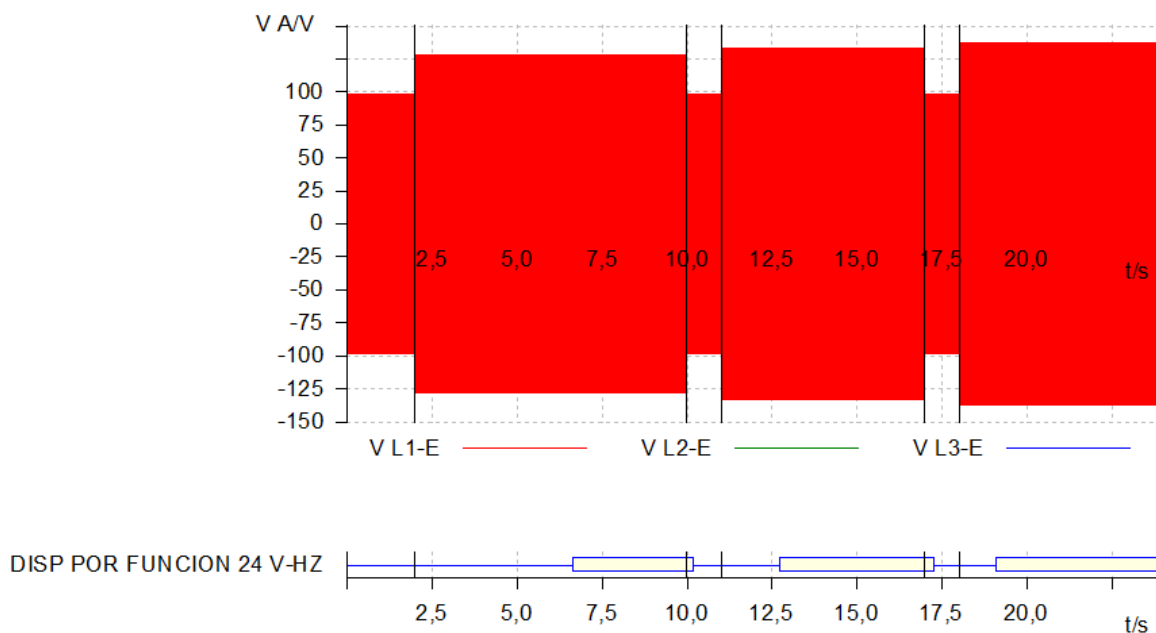


Figura 4.11 Prueba de operación de la función 24 de tiempo inverso

Recopilando los resultados obtenidos para las pruebas de operación de la función de protección por sobre excitación del relevador, se establece que sobre poniendo los puntos de operación obtenidos por las pruebas, en ningún momento se presentan magnitudes que provoquen daños al núcleo del generador, por sobre flujo, de tal forma que se sature. Sumado a la correcta operación de la función 24, debe corroborarse la operación adecuada del limitador V/Hz del AVR, considerando que, en primera instancia, debe operar el limitador y como respaldo del mismo, la correcta operación de la protección del generador.

Tomando en consideración las pruebas anteriores de operación de las funciones de protección del relevador, mostradas en este capítulo, se extiende la confiabilidad y credibilidad en la operación de cualquiera de las funciones de protección con que cuenta el relevador.