



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD**  
**AUTÓNOMA DE PUEBLA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**COLEGIO DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**

**PRUEBAS NORMALIZADAS A**  
**ESQUEMAS DE PROTECCIÓN DE**  
**PLANTAS DE CICLO COMBINADO**

**TESINA**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
**INGENIERO MECÁNICO Y ELÉCTRICO**

PRESENTA:

**JUAN CARLOS LÓPEZ ÁLVAREZ**

ASESOR DE TESINA:

**M.C. CARLOS MORÁN RAMÍREZ**

# Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado



Oficio Nc. S.AC.2518/16

**ASUNTO: ACEPTACIÓN TEMA TESINA**

**C. JUAN CARLOS LÓPEZ ÁLVAREZ**  
**PASANTE DE LA CARRERA DE**  
**INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**  
**DE LA B.U.A.P.**  
**PRESENTE.**

En atención a la autorización del Tema de Tesina que puso Usted a consideración de esta Facultad, se turnó la misma al :

**M. en C. GUILLERMO FLORES MARTÍNEZ**  
**COORDINADOR DEL COLEGIO DE**  
**INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**

Habiendo autorizado el tema denominado:

**“PRUEBAS NORMALIZADAS A ESQUEMAS DE PROTECCIÓN DE PLANTAS DE CICLO COMBINADO”**

Por lo anterior hacemos de su conocimiento que se asigna como Asesor de esta tesina a: **M. en C. CARLOS MORÁN RAMÍREZ.**

Sin otro particular de momento, me es grato quedar de usted.

ATENTAMENTE

“PENSAR BIEN PARA VIVIR MEJOR”

H. Puebla de Z., 17 de octubre de 2016

**M.I. FERNANDO DANIEL LAZCANO HERNÁNDEZ**  
**DIRECTOR**

C.c.p.- Mesa de Exámenes Profesionales

Asesor

Archivo

MFDLH/MAJT\* rba.



Facultad  
de Ingeniería

Bldv. Valsequillo y Av. San Claudio  
s/n, edif. ING 4, Col. San Manuel,  
Ciudad Universitaria,  
Puebla, Pue. C.P. 72570  
01 (222) 229 55 00 Ext. 7610

# Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

---

**Asunto: AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN TESIS**

**M.I. FERNANDO DANIEL LAZCANO HERNÁNDEZ  
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA  
DE LA B.U.A.P.  
Presente.**

El suscrito: M. en C. **CARLOS MORÁN RAMÍREZ, Asesor del Tema de Tesis denominado:**

**“PRUEBAS NORMALIZADAS A ESQUEMAS DE PROTECCIÓN DE PLANTAS DE CICLO COMBINADO”**

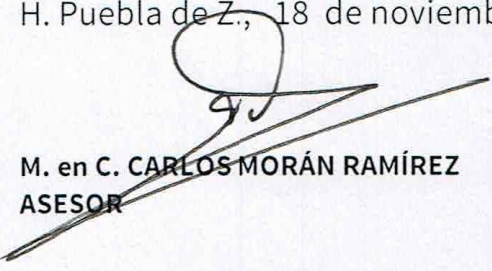
Presentado por el C. **JUAN CARLOS LÓPEZ ÁLVAREZ, Pasante de la Carrera de Ingeniería Mecánica y Eléctrica**, y en atención al oficio No. S.AC. 2518/16 de fecha 17 de octubre del presente año, me permito informar a usted que después de haber revisado cuidadosamente el contenido temático, la metodología, la redacción y la ortografía **de la Tesis, no tengo inconveniente en autorizar la impresión de la misma.**

Lo que hago de su conocimiento para los efectos legales a que haya lugar.

Asimismo, solicito tenga a bien autorizar el Jurado para su Examen Profesional.

ATENTAMENTE

H. Puebla de Z., 18 de noviembre de 2016



**M. en C. CARLOS MORÁN RAMÍREZ  
ASESOR**

C.c.p.- Exámenes Profesionales  
Interesado  
Archivo

rba

# Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

---

## DEDICATORIAS

Al creador de todas las cosas, el que me ha dado fortaleza para continuar cuando me caigo; dedico primeramente mi trabajo a Dios.

De igual forma dedico esta tesina a mis padres que han sabido formarme con buenos sentimientos y valores, lo cual me ha ayudado a salir adelante en los momentos difíciles, a mis hermanos que siempre han estado junto a mí dándome su apoyo.

A todas las personas del Centro Morelos 264 que me apoyaron a este proyecto.

A los que nunca dudaron que lograría este triunfo: hermanos, amigos, mi asesor y catedráticos.

## AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

Le doy gracias a mis padres por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado, y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida y ser mi modelo de vida.

A mis hermanos por ser parte importante de mi vida y representar la unión familiar, además de todos sus conocimientos que me compartieron a lo largo de mi vida. A Jessica Olvera por su apoyo y motivación.

Le agradezco la confianza a todas las persona del Centro Morelos 264 por su apoyo y facilidades que me fueron otorgadas, por darme la oportunidad de crecer profesionalmente y aprender cosas nuevas.

Gracias a todas aquellas personas que nunca dudaron que lograría este triunfo; amigos, asesor y catedráticos.

# Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

---

## RESUMEN

El principal objetivo de esta tesina ha sido la elaboración de pruebas de estado estable a un relevador de protección a un generador de turbina de vapor para comprobar el funcionamiento y garantizar su confiabilidad de protección.

Está centrada en la Central Generadora de electricidad de ciclo combinado el cual nos aportara con definiciones, funciones y análisis de cada uno de las protecciones, de una manera concisa para su mayor entendimiento para alumnos, egresados e ingenieros enfocados en protecciones.

# Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

---

## ÍNDICE GENERAL

OFICIO DE AUTORIZACIÓN DE TEMA.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
OFICIO DE AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
DEDICATORIAS .....	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
RESUMEN .....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS .....	IXi
ABREVIATURAS .....	XIII
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN .....	2
1.1 PROBLEMÁTICA.....	5
1.2 OBJETIVOS.....	6
1.2.1 OBJETIVOS GENERALES.....	6
1.2.2 OBJETIVOS PARTICULARES.....	6
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	7
1.4 METODOLOGÍA.....	8
CAPÍTULO 2. GENERADOR DE POTENCIA.....	10
2.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL GENERADOR .....	10
2.2 PARTES PRINCIPALES DEL GENERADOR .....	11
2.2.1 CARCASA .....	11
2.2.2 ROTOR .....	12
2.3 TURBINA.....	14
2.4 SISTEMA DE EXCITACIÓN.....	15

# Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

---

<b>CAPÍTULO 3. PROTECCIÓN DEL GENERADOR DE TURBINA DE VAPOR .....</b>	<b>20</b>
3.1 PROBLEMAS FACTIBLES EN EL GENERADOR.....	22
<b>CAPÍTULO 4. PROTECCIONES DIGITALES DE GENERADOR DE TURBINA DE VAPOR.....</b>	<b>25</b>
4.1 (27) FUNCIÓN DE BAJO VOLTAJE .....	25
4.2 (27TN) FUNCIÓN DE FALLA A TIERRA ESTÁTOR .....	26
4.3 (59) FUNCIÓN DE SOBRE VOLTAJE .....	26
4.4 (81O) FUNCIÓN DE SOBREFRECUENCIA .....	26
4.5 (81U) FUNCIÓN DE BAJA FRECUENCIA.....	26
4.6 (24) SOBRE EXCITACIÓN ALTA RELACIÓN VOLTS/HERTZ .....	27
4.7 (60FL) FUNCIÓN DE DESBALANCE DE TENSIÓN.....	27
4.8 (32) FUNCIÓN DE POTENCIA INVERSA .....	27
4.9 (50-27) FUNCIÓN ENERGIZACIÓN INADVERTIDA .....	28
4.10 (46) FUNCIÓN DE DESBALANCE SECUENCIA NEGATIVA.....	29
4.11 (40) FUNCIÓN DE PÉRDIDA DE EXCITACIÓN .....	29
4.12 (21) FUNCIÓN DE PROTECCIÓN DE DISTANCIA.....	29
4.13 (59N) FUNCIÓN MÁXIMA POTENCIA HOMOPOLAR .....	30
4.14 (78) FUNCIÓN DE PROTECCIÓN VECTOR DE FASE .....	30
4.15 (87) FUNCIÓN DE PROTECCIÓN DIFERENCIAL.....	30
<b>CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DE PRUEBA EN BASE A PROCEDIMIENTO CFE G0100-07” Y NOM – 008 – SCFI- 2002.....</b>	<b>32</b>
5.1 (27) FUNCIÓN DE BAJO VOLTAJE .....	32
5.2 (27TN) FUNCIÓN DE FALLA A TIERRA ESTÁTOR .....	33
5.3 (59) FUNCIÓN DE SOBREVOLTAJE .....	33
5.4 (81O) FUNCIÓN DE SOBREFRECUENCIA .....	34
5.5 (81U) FUNCIÓN DE BAJA FRECUENCIA.....	36
5.6 (24) SOBRE EXCITACIÓN ALTA RELACIÓN V/Hz.....	38
5.7 (60FL) FUNCIÓN DE DESBALANCE DE TENSIÓN.....	39
5.8 (32) FUNCIÓN DE POTENCIA INVERSA .....	40

# Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

---

5.9 (50-27) FUNCIÓN ENERGIZACIÓN INADVERTIDA .....	40
5.10 (46) FUNCIÓN DE DESBALANCE SECUENCIA NEGATIVA.....	42
5.11 (40) FUNCIÓN DE PÉRDIDA DE EXCITACIÓN .....	44
5.12 (21) FUNCIÓN DE PROTECCIÓN DE DISTANCIA.....	46
5.13 (59N) FUNCIÓN MÁXIMA POTENCIA HOMOPOLAR .....	49
5.14 (78) FUNCIÓN DE PROTECCIÓN VECTOR DE FASE .....	49
5.15 (87) FUNCIÓN DE PROTECCIÓN DIFERENCIAL.....	52

## CAPÍTULO 6. PROCEDIMIENTO DE PUESTA EN SERVICIO DE RELEVADORES DE PROTECCIÓN DEL GENERADOR ..... 55

AJUSTES GENERALES .....	55
6.1 (27P) FUNCIÓN DE BAJO VOLTAJE .....	55
6.2 (27TN) FUNCIÓN DE FALLA A TIERRA ESTÁTOR (64G2) .....	56
6.3 (59P) FUNCIÓN DE SOBRE VOLTAJE.....	57
6.4 (81U) FUNCIÓN DE BAJA FRECUENCIA .....	58
6.5 (81O) FUNCIÓN DE SOBRE FRECUENCIA .....	59
6.6 (24) SOBRE EXCITACIÓN ALTA RELACIÓN V / HZ .....	61
6.7 (60FL) FUNCIÓN DE DESBALANCE DE TENSIÓN.....	63
6.8 (32) FUNCIÓN DE POTENCIA INVERSA .....	64
6.9 (50-27) FUNCIÓN ENERGIZACIÓN INADVERTIDA .....	66
6.10 (46) FUNCIÓN DE DESBALANCE DE SECUENCIA NEGATIVA.....	67
6.11 (40) FUNCIÓN DE PÉRDIDA DE EXCITACIÓN .....	68
6.12 (21) FUNCIÓN DE PROTECCIÓN DE DISTANCIA.....	70
6.13 (59N) FUNCIÓN MÁXIMA POTENCIA HOMOPOLAR .....	72
6.14 78) FUNCIÓN VECTOR DE FASE .....	73
6.15 (87G) FUNCIÓN PROTECCIÓN DIFERENCIAL .....	75

## CAPÍTULO 7.CONCLUSIÓN ..... 78

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 79

# Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Principio de funcionamiento de un generador eléctrico. (CFE, 2011)	10
Figura 2.2 Carcasa del generador eléctrico.....	11
Figura 2.3 Núcleo del estátor con bobina del generador eléctrico.....	12
Figura 2.4 Rotor del generador eléctrico.....	13
Figura 2.5 Datos del diseño del generador eléctrico.....	14
Figura 2.6 Conexión del generador eléctrico.....	15
Figura 2.7 Sistema de excitación del generador.....	16
Figura 2.8 Transformador de excitación.....	17
Figura 3.1 Sistema de protección de un generador eléctrico (CFE, 2011).....	23
Figura 5.1 Diagrama unifilar "Función de bajo voltaje" (Toshiba, 2012).....	32
Figura 5.2 Diagrama unifilar "Función de falla a tierra estátor" (Toshiba, 2012) .	33
Figura 5.3 Diagrama unifilar "Función de sobre voltaje" (Toshiba, 2012).....	34
Figura 5.4 Diagrama unifilar "Función de sobrefrecuencia" (Toshiba, 2012).....	35
Figura 5.5 Curva de operación de frecuencia (Toshiba, 2012).....	36
Figura 5.6 Diagrama unifilar "Función de baja frecuencia" (Toshiba, 2012).....	37
Figura 5.7 Diagrama unifilar "Función sobre excitación alta relación" (Toshiba, 2012).....	38
Figura 5.8 Curva de coordinación de la protección de sobre excitación (Toshiba, 2012).....	39
Figura 5.9 Diagrama unifilar "Función desbalance de tensión" (Toshiba, 2012) .	39
Figura 5.10 Diagrama unifilar "Función de energización inadvertida" (Toshiba, 2012).....	41
Figura 5.11 Lógica de energización inadvertida (Toshiba, 2012).....	42
Figura 5.12 Diagrama unifilar "Función desbalance secuencia negativa" (Toshiba, 2012).....	43
Figura 5.13 Curva de corriente de secuencia negativa (Toshiba, 2012).....	44
Figura 5.14 Diagrama unifilar "Función pérdida de excitación" (Toshiba, 2012) .	45
Figura 5.15 Curva para la aplicación de pérdida de campo (Toshiba, 2012).....	46
Figura 5.16 Diagrama unifilar "Función protección de distancia" (Toshiba, 2012) .	48
Figura 5.17 Curva R - X para la protección de respaldo para falla externa (Toshiba, 2012).....	48

# Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

---

Figura 5.18 Diagrama unifilar "Función máxima de potencia homopolar" (Toshiba, 2012).....	49
Figura 5.19 Diagrama unifilar "Función protección vector de fase" (Toshiba, 2012) .....	50
Figura 5.20 Curva de protección de paso (Toshiba, 2012) .....	52
Figura 5.21 Diagrama unifilar "Función protección diferencial" (Toshiba, 2012) .	53
Figura 6.1 Configuración del SEL 300 G "27P" .....	55
Figura 6.2 Configuración del SEL 300 G "27TN" .....	57
Figura 6.3 Configuración del SEL 300 G "59P" .....	58
Figura 6.4 Configuración del SEL 300 G "81O" .....	60
Figura 6.5 Configuración del SEL 300 G "24" .....	61
Figura 6.6 Configuración del SEL 300 G "60" .....	63
Figura 6.7 Lógica de la protección "60" .....	64
Figura 6.8 Configuración del SEL 300 G "32" .....	64
Figura 6.9 Lógica de la protección "32" .....	65
Figura 6.10 Gráfica de operación de la protección de la función de potencia inversa.....	65
Figura 6.11 Configuración del SEL 300 G "50/27" .....	66
Figura 6.12 Lógica de la protección "50/27" .....	66
Figura 6.13 Configuración del SEL 300 G "46" .....	67
Figura 6.14 Lógica de la protección "46" .....	68
Figura 6.15 Configuración del SEL 300 G "40" .....	69
Figura 6.16 Lógica de la protección "40" .....	69
Figura 6.17 Configuración del SEL 300 G "21" .....	71
Figura 6.18 Curva característica tipo MHO de dos zonas .....	71
Figura 6.19 Configuración del SEL 300 G "59N" .....	73
Figura 6.20 Configuración del SEL 300 G "78" .....	74
Figura 6.21 Gráfica de detección de oscilación de potencia.....	74
Figura 6.22 Lógica de protección de bloqueo "78" .....	75
Figura 6.23 Lógica de protección "78" .....	75
Figura 6.24 Configuración del SEL 300 G "87G" .....	75

# Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

---

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1 Esquemas de protección de un generador de potencia.....	25
Tabla 5.1 Alarma de ajustes "27".....	32
Tabla 5.2 Ajuste de disparo "27TN".....	33
Tabla 5.3 Ajuste de disparo "59".....	34
Tabla 5.4 Ajuste de disparo "81U".....	37
Tabla 5.5 Datos del generador.....	42
Tabla 5.6 Ajuste de operación "46".....	43
Tabla 5.7 Ajuste de operación "59N".....	49
Tabla 6.1 Tiempo de operación "27P".....	565
Tabla 6.2 Prueba de bloqueo "27P".....	56
Tabla 6.3 Prueba de Pick Up y Drop Out "27P".....	56
Tabla 6.4 Tiempo de operación a 60 Hz "27TN".....	57
Tabla 6.5 Prueba de Pick up y Drop Out "27TN".....	57
Tabla 6.6 Tiempo de operación "59P".....	58
Tabla 6.7 Prueba de Pick up y Drop Out "59P".....	58
Tabla 6.8 Tiempo de operación "81U".....	59
Tabla 6.9 Prueba de bloqueo "81U".....	59
Tabla 6.10 Tiempo de operación y prueba "81U".....	59
Tabla 6.11 Tiempo de operación "81O".....	60
Tabla 6.12 Prueba de bloqueo "81O".....	60
Tabla 6.13 Prueba de Pick up y Drop Out "81O".....	60
Tabla 6.14 Tiempo de operación "24".....	61
Tabla 6.15 Prueba de Pick Up y Drop Out de tensión "24".....	62
Tabla 6.16 Prueba de Pick Up y Drop Out frecuencia "24".....	62
Tabla 6.17 Tiempo de Reset "24".....	63
Tabla 6.18 Prueba de tiempo de operacion "60FL".....	64
Tabla 6.19 Tiempo de operación "32".....	65
Tabla 6.20 Prueba de Pick Up y Drop Out "32".....	66
Tabla 6.21 Tiempo de operación "50-27".....	67
Tabla 6.22 Tiempo de operacion "46".....	68
Tabla 6.23 Prueba de Pick Up y Drop Out "46".....	68

## Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

---

Tabla 6.24 Tiempo de operación "40" .....	70
Tabla 6.25 Prueba de bloqueo "40" .....	70
Tabla 6.26 Prueba de alcance total de distancia "21" .....	72
Tabla 6.27 Tiempo de operación "59N" .....	73
Tabla 6.28 Pruebas de Pick Up y Drop Out "59N" .....	73

# Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

---

## ABREVIATURAS

ANSI	Instituto Americano de Normas
AVR	Regulador Automático de Voltaje
CA	Corriente alterna
C.C.	Ciclo Combinado
CFE	Comisión Federal de Electricidad
H	Hertz
I	Corriente
KVA	Potencia aparente
Mho	Conductividad
NOM	Normas Oficiales Mexicanas
P.U.	Por Unidad
s	Segundos
SEL	Schweitzer Engineering Laboratories
SEP	Sistema Eléctrico de Potencia
TC	Transformador de corriente
TP	Transformador de potencial
V	Voltz
X	Reactancia
Xds	Reactancia transitoria
Xd's	Reactancia subtrancitoria

# CAPÍTULO 1

## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

En la industria de la energía, el generador hace referencia a un aparato que produce energía eléctrica. Como la energía no se puede crear ni destruir, sino transformar de una forma a otra, cualquier modo de generación de electricidad necesita una fuente de combustible.

Técnicamente, en los generadores eléctricos la electricidad se genera a partir de energía mecánica. La energía mecánica, a su vez, se convierte a partir de las denominadas fuentes primarias, como la energía química, nuclear o térmica que contienen varios tipos de combustible, o se obtiene a partir de recursos renovables como la luz del sol, el viento o los saltos de agua. La máquina que convierte energía primaria en energía mecánica se denomina fuente energética. Las turbinas de vapor, los motores de combustión interna, las turbinas de combustión de gas, agua y viento son los tipos más comunes de fuentes energéticas. Las turbinas de vapor son un motor rotativo que convierte en energía mecánica, la energía de una corriente de agua, vapor de gas o gas. El elemento básico de la turbina es la rueda o rotor, que cuenta con palas, hélices, cuchillas o cubos colocados alrededor de su circunferencia, de tal forma que el fluido en movimiento produce una fuerza tangencial que impulsa la rueda y la hace girar. Esta energía mecánica se transfiere a través de un eje para proporcionar el movimiento de una máquina, un compresor, un generador eléctrico o una hélice.

El generador moderno de vapor es un conjunto integrado por varios componentes esenciales. Su función es convertir el agua en vapor a presión y temperatura predeterminadas, lo que constituye un cambio de estado físico, producido por la transmisión de calor de la combustión de una sustancia, al agua. Comúnmente es un proceso a presión constante.

## Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

---

El generador de vapor es un líquido a la presión de operación. Las principales funciones de un generador de vapor, son la transmisión de calor y la producción de presión en un fluido.

La continuidad hace referencia al hecho de que el SEP debe de garantizar que la energía producida en los centros de generación sea suministrada de forma interrumpida a los centros de consumo. Esta característica adquiere especial importancia si se tiene en cuenta que la energía eléctrica, a diferencia de otros tipos de energía, no puede ser almacenada en forma significativa, por lo que una interrupción del suministro tiene repercusiones directas e inmediatas sobre los procesos que se desarrollan a partir del consumo de energía eléctrica.

Cuando se produce una falla las magnitudes asociadas al SEP alcanzan valores situados fuera de sus rangos normales de funcionamiento y determinadas áreas del sistema pueden pasar a operar en condiciones equilibradas, con el riesgo que ello conlleva para los diferentes elementos que lo integran.

En caso de no tomar ningún tipo de medida en contra, la falla se propagaría a través de la red y sus efectos no se extinguirán. Como consecuencias de todo ello, importantes zonas de la red podrían llegar a quedar fuera de servicio y la calidad de suministro se resentiría, incluso en zonas alejadas del punto en que se ha producido la falla.

Por otra parte, el tamaño del generador no es el que determina de manera necesaria la calidad de la protección; lo importante es el efecto de una falla prolongada en el generador, en el resto del sistema y que tan grandes serían los trastornos si el generador sufre un daño considerable y tiene que quedar fuera de servicio por un tiempo largo.

## Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

---

Poner fuera de operación a un generador cuando está en servicio se debe evitar, pero es necesario analizar la falla de la halla operado.

Generalmente es satisfactorio que un sistema bien diseñado y con buen funcionamiento sea capaz de soportar una corta salida imprevista de la unidad de generación mayor.

Las protecciones de los generadores son una parte integral para evitar el retiro de servicio de un generador cuando este podría ser difícil y su operación sea correcta. A estas protecciones les denominamos relevadores, en general cualquier dispositivo protección a base de relevadores consta de los elementos que se indican como son: elemento primario y relevador de protección.

El relevador de protección constituye el elemento principal de los dispositivos de protección contra fallas y es por decirlo así el “Alma” de cualquier esquema de protección.

Existen diferentes sistemas de protección que se determinan en el relé que a su vez se puede aplicar a una gran cantidad de dispositivos y equipos de diversas clases de construcción y funcionamiento. Dentro de este diferente tipo de protecciones tenemos a los relés digitales de multifunción como el relevador SEL-300G para el resguardo de este generador.

# Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

---

## Problemática

En la Central Generadora de electricidad de ciclo combinado es indispensable tener confiabilidad y seguridad en los equipos para que funcionen en óptimas condiciones para su uso. La obra C.C. Centro Morelos 264 de CFE no es la excepción, tras su próxima puesta en servicio, se les han hecho varias pruebas de puesta en servicio a todos sus equipos para que funcione efectivamente. A lo largo de su construcción y diferentes pruebas de puesta en servicio la CFE se ha hecho cargo de supervisar cada una de estas, para lo cual se ha hecho un análisis exhaustivo para que las centrales generadoras de electricidad estén en óptimas condiciones para su próxima puesta en servicio. La necesidad actual de tener la Central Generadora de electricidad en las mejores condiciones mantiene a los ingenieros revisando cada una de las pruebas de protecciones y han centrado su atención en los generadores eléctricos de las diferentes turbinas de gas y vapor. Los generadores eléctricos de potencia son una parte primordial de esta central generadora de electricidad, por esto se mantiene una especial atención a sus relevadores de protección eléctrica para tener su mayor confiabilidad y vigilar el funcionamiento de los equipos eléctricos principales, para detectar una condición anormal de operación para enviar señales de alarma para que se tomen las medidas correctivas o en su caso de disparo para aislar el equipo fallado de los demás equipos conectados. Si los relevadores de protección eléctrica están mal calculados el equipo no podrá operar correctamente ante una anomalía o en un caso mayor una falla eléctrica, y podría sacar de servicio a la central generadora de potencia, lo cual causaría la desconexión a la red eléctrica y la desenergización de ciudades y estados que se estén alimentando de esta; por lo que CFE tendría problemas al no proporcionar la correcta demanda eléctrica a los diferentes clientes a los que ofrece sus servicio, al igual que los equipos se podrían dañar por su mal uso continuo.

# Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

---

## Objetivos

### Objetivos generales

El presente trabajo se tiene como objetivo establecer las pruebas de estado estable a que se deben realizar en el relevador de protección SEL-300G a un generador de turbina de vapor para comprobar el funcionamiento y garantizar su confiabilidad de protección a los diferentes circuitos eléctricos.

### Objetivos particulares

- Acceder al relevador SEL-300G.
- Calcular los parámetros de los relés del SEL-300G.
- Establecer los parámetros de prueba del relevador SEL-300G.
- Configurar los ajustes del relevador SEL-300G.
- Comprobar el funcionamiento de los parámetros de prueba al generador de turbina de vapor.
- Garantizar su confiabilidad de la protección del relevador SEL-300G.
- Obtener una mayor precisión en las protecciones.
- Reducción de alambrado y dispositivos en los tableros.

# Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

---

## Justificación

En la actualidad hay diferentes tipos de plantas generadoras, las cuales producen energía para enviarla a la SEP que debe de funcionar eficientemente la planta generadora para poder suministrar la demanda de energía que se requiere. Por lo tanto, es necesario tener una gama de protecciones bien diseñadas y aprobadas para que los generadores estén en constante funcionamiento para cualquier adversidad.

Con un funcionamiento adecuado de un relevador de protección nos permite desconectar el equipo fallado más rápido posible del sistema eléctrico de potencia y evitarle, en lo posible, serios daños al mismo y a las personas que se encuentren en el área de trabajo de la planta generadora, cuando este empieza a funcionar de forma anormal y que pueda originar daño.

Un mantenimiento cuidadoso y el registro de datos, no solo de las pruebas durante el mantenimiento sino también del funcionamiento del relevador durante el servicio real, son la mejor seguridad de que el generador está en condiciones apropiadas.

Se va a considerar utilizar un esquema basado en relevadores digitales multifunción de manera que se pueda obtener lo más posible de las nuevas tecnologías para su mayor precisión.

De igual modo, esta información es concreta y sencilla y puede servir como apoyo para ingenieros y/o estudiantes para conocer y calcular próximos proyectos de plantas generadoras de ciclo combinado.

# Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

---

## Metodología

Se iniciará describiendo las partes importantes de los generadores eléctricos para conocer el funcionamiento de este equipo y así podremos comprender que es lo que se va a proteger.

Se analizará las funciones de bajo voltaje, falla a tierra del estator, sobrevoltaje, sobrefrecuencia, baja frecuencia, sobre excitación alta relación Voltz/Hertz, desbalance de tensión, potencia inversa, energización inadvertida, desbalance secuencia negativa, pérdida de excitación, protección de distancia, máxima potencia homopolar, vector de fase y protección diferencial; del relevador para conocer las adecuadas protecciones para esta planta generadora de electricidad.

Se conocerán y analizaran los diferentes procedimientos para los relevadores de protección del generador de esta planta Generadora de Electricidad, de cada una de estas protecciones para tener un mayor conocimiento de su aplicación.

El análisis de procedimiento de puesta en servicio de los relevadores de protección de la planta Generadora de Electricidad, Centro Morelos 264, para su correcto cálculo de sus protecciones en base a la norma NOM-008-SCFI-2002 y al procedimiento CFE G0100-07.

## CAPÍTULO 2

## CAPÍTULO 2. GENERADOR DE POTENCIA

### Principio de funcionamiento del generador

Los generadores síncronos o alternadores son máquinas síncronas que se usan para convertir potencia mecánica en potencia eléctrica de CA. Fundamentalmente consta de un inductor (rotor) que produce un campo magnético a base de electroimanes y un inducido (estátor) formado por un núcleo de hierro ranurado, donde son alojadas las bobinas.

A continuación se menciona una definición (Russell Manson, 1955) explica que “siempre que exista movimiento relativo entre un campo magnético y un conductor, de tal manera que las líneas de flujo magnético incidan sobre el conductor en forma perpendicular, se provocará que se induzca una fuerza electromotriz (voltaje) en las terminales del conductor.” Como se muestra en la figura 2.1 observamos esquemáticamente un generador simple, donde el campo magnético (inductor) es el que se mueve y está constituido por un imán permanente, el inducido lo constituye una sola espira en cuyas terminales se encuentra conectado un amperímetro. Al empezar a girar el inductor (rotor) las líneas de campo magnético cortarán al inducido, generándose una fuerza

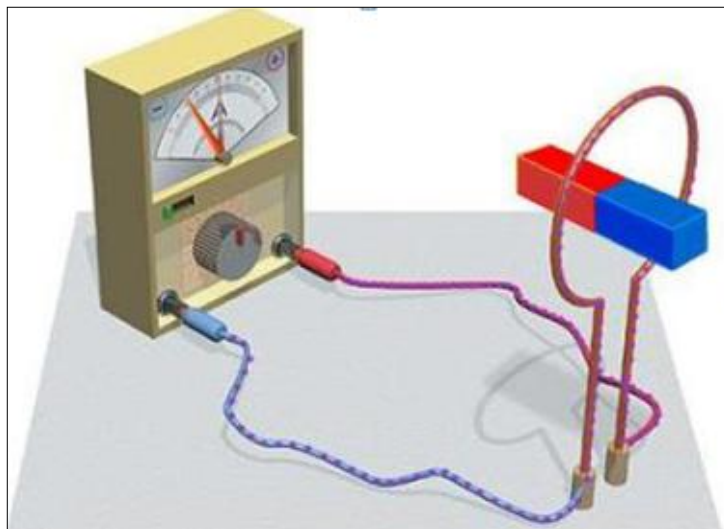


Figura 2.1 Principio de funcionamiento de un generador eléctrico. (CFE, 2011)

# Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

---

electromotriz (voltaje) en las terminales de la bobina cumpliéndose de esta manera el principio de funcionamiento.

## Partes principales del Generador

### Carcasa

El manual de generadores (CFE, 2011) define “la carcasa del generador es una cubierta de acero de gran resistencia mecánica, la cual sirve de soporte del núcleo magnético y bobinas del estátor, sus tapas son también fuertemente reforzadas ya que en ellas se encuentran las chumaceras que soportan el peso del rotor y el sello que mantiene la presión del interior sin sufrir distorsión.”

La carcasa contiene también a los enfriadores, ya sea de aire o hidrógeno y su diseño interior permite una circulación en diversas trayectorias por el interior del generador y luego a través de ellos. En la figura 2.2 podremos observar la carcasa del generador de la turbina de vapor de la obra C.C. Centro Morelos 264.



Figura 2.2 Carcasa del generador eléctrico

### Estátor

El estátor está constituido por un núcleo formado por una serie de láminas de acero circulares recubiertas de un barniz aislante, las cuales contienen ranuras donde se alojan las bobinas del estátor.

## Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

---



Figura 2.3 Núcleo del estátor con bobina del generador eléctrico

Las bobinas del estátor están formadas por una serie de barras que se conectan en los extremos para crear las fases del generador. Cada barra se compone de conductores de cobre, aislados individualmente y ensamblados en forma rectangular, recubierta con varias capas de aislamiento; como en la obra C.C. Centro Morelos 264, figura 2.3. Los extremos de las barras se unen por medio de conexiones que se unen para formar las terminales del generador.

### **Rotor**

El rotor de un generador síncrono es esencialmente un gran electroimán. Los polos magnéticos del rotor pueden ser de construcción saliente o no saliente. El termino saliente significa protuberante o resaltado; y un polo saliente es un polo magnético que resalta de la superficie del rotor. Por otra parte, un polo no saliente es un polo magnético construido a ras con la superficie del rotor.

Los rotores de polo no salientes se usan normalmente para rotores de dos y cuatro polos, mientras que los de polo saliente se utilizan normalmente en rotores de cuatro o más polos. Como el rotor está sujeto a cambios en los campos magnéticos, se construye de láminas delgadas para reducir pérdidas por corriente parasita.

## Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

---

El rotor está también formado por un núcleo laminado de forma cilíndrica con ranuras longitudinales, dentro de las cuales se colocan las bobinas de campo como se muestra en la figura 2.4, la cual se puede ver en diferentes generadores. Estas bobinas están sujetas a lo largo, por medio de cuñas y en los extremos por dos anillos de retención de gran resistencia mecánica para asegurarlas contra la fuerza centrífuga. Las bobinas se conectan en serie para formar un solo circuito,



de manera que al  
corriente de excitación  
polos magnéticos.

Figura 2.4 Rotor del generador eléctrico

circular la  
se forman dos

Según el autor (Harper, 2004) los generadores síncronos son por definición síncronos, lo que significa que la frecuencia eléctrica que produce está atada o sincronizada con la velocidad mecánica de rotación del generador. El rotor de un generador síncrono se compone de un electroimán al cual se le suministra una corriente continua. El campo magnético del rotor se mueve según sea la dirección en que se haga girar dicho rotor. Ahora la velocidad de rotación de los campos magnéticos de la máquina se relaciona con la frecuencia eléctrica.

En los extremos del rotor se dispone de ventiladores que hacen circular el aire o hidrógeno por el entrehierro y a través de ranuras y orificios en el núcleo del rotor y estátor, con trayectorias hacia los enfriadores alojados en la carcasa.

# Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

Las terminales de las bobinas se conectan a dos barras en el interior del rotor, las cuales conectan las bobinas de campo con los anillos colectores para que por medio de escobillas se suministre una corriente de excitación.

## Turbina

El termino de turbina de acuerdo a algunos autores de (CFE, 2011); el generador eléctrico de la turbina de vapor es trifásico, con los devanados conectados en estrella y el neutro a tierra, cuenta con un sistema de excitación del tipo estático que se alimenta de la salida del generador a través del transformador de excitación y un sistema de enfriamiento con aire que es una de las características especiales de este generador.

Los datos de diseño se muestran en la figura 2.5 y su arreglo de conexión del generador de turbina de vapor de la obra C.C. Centro Morelos 264, en la figura 2.6.

TOSHIBA			
GENERADOR DE TURBINA DE VAPOR			
FASES	3	TIPO	TAKS
POLOS	2	kVA	290000
VOLT	18000	AMPERES	9302
CAPACIDAD CONTINUA		PRESION DE GAS	3.1barg
FACTOR DE POTENCIA	0.9	AMPERES DE CAMPO	1690
VOLT DE EXCITACION	510	ALTITUD	1430m
ELEVACION TEMPERATURA ESTATOR	60°C	ELEVACION DE TEMP. CAMPO	76°C
TEMP. ENFRIAMIENTO PRIMARIA	44°C	CONEXION ESTATOR	Y
TEMP. ENFRIAMIENTO SECUNDARIA	34°C	CLASE DE AISLAMIENTO ROTOR	F
CLASE DE AISLAMIENTO ESTATOR	F	ESPECIFICACION ESTANDAR	IEEE Std C50.13-2005
No. SERIE	1215001	FABRICADO EN	2013
TOSHIBA CORPORATION			
HECHO EN JAPON			

Las terminales del generador se conectan a través del bus de fase aislada, con el

Figura 2.5 Datos del diseño del generador eléctrico

transformador de excitación, con el transformador auxiliar que reduce el voltaje de 18 a 4.16 kV para alimentar los servicios auxiliares de la unidad y después del

# Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

---

interruptor de máquina con el transformador principal que eleva el voltaje de 18 a 400 kV. En la figura 2.6 observaremos un diagrama para mayor comprensión.

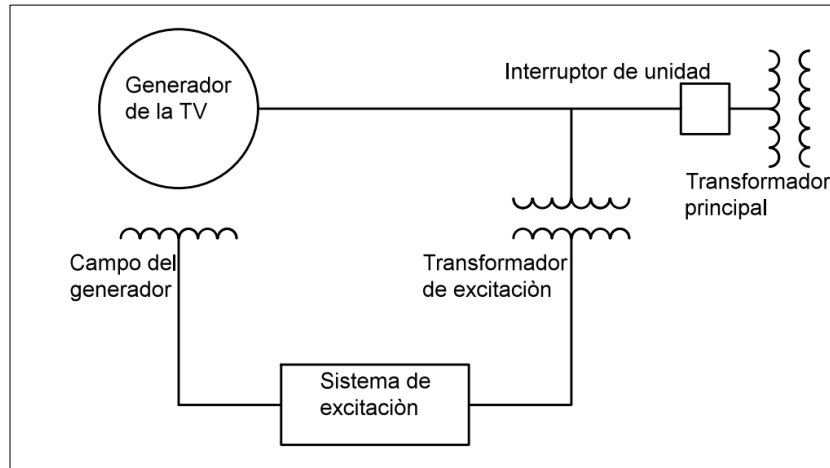


Figura 2.6 Conexión del generador eléctrico

## Sistema de excitación

De acuerdo a (CFE, 2011), en generadores y motores más grandes, se usan excitatrices sin escobillas para suministrarle la corriente de campo a la máquina. Una excitatriz sin escobilla es un generador de CA pequeño con su circuito de campo montado sobre el estátor y su circuito inducido montado sobre el eje del rotor.

La salida trifásica de excitatriz se rectifica a corriente continua con un puente de diodos, montado también sobre el eje del generador y luego inyectado al circuito de campo principal.

Controlando la escasa corriente de campo de cc, en la excitatriz (localizada en el estátor), es posible ajustar la corriente de campo en la máquina principal sin anillos rozantes ni escobillas. Puesto que nunca ocurre un contacto mecánico entre el rotor y el estátor, una excitatriz sin escobillas, requiere mucho menos mantenimiento que los anillos rozantes y las escobillas.

## Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

---

Este sistema está constituido principalmente por un transformador de excitación, un puente de rectificación de onda completa a base de tiristores y un sistema de control para regular el voltaje, en la figura 2.7 observaremos un diagrama de un sistema de excitación del generador.

La forma en que se regula la corriente de excitación y por lo tanto el voltaje de salida del generador, es por medio de una señal de control que regula la corriente de salida de los tiristores, esta señal de control suministrada al puente de rectificación, proviene ya sea del regulador manual o del regulador automático de voltaje (AVR) dependiendo de la posición en que se encuentre el circuito de transferencia.

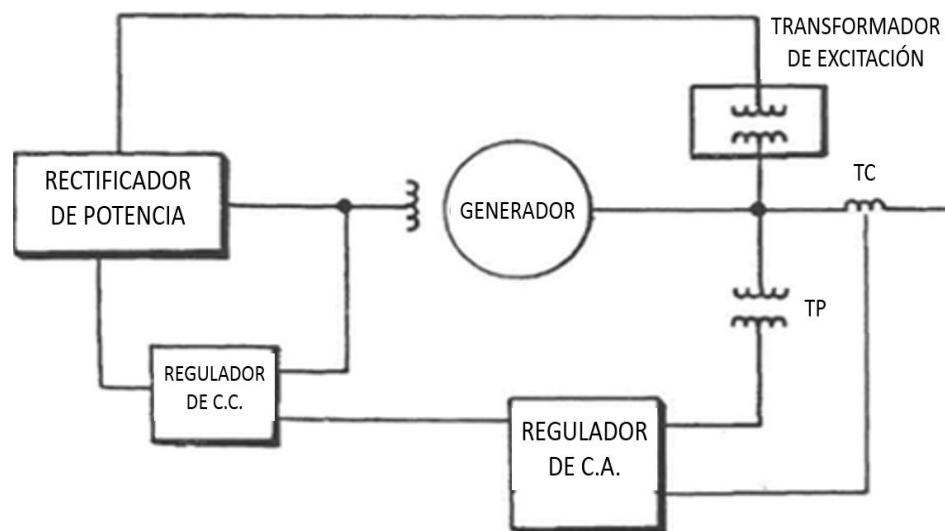


Figura 2.7 Sistema de excitación del generador

### Transformador de excitación

El transformador trifásico que podemos observar en figura 2.8 está localizada en la obra C.C. Centro Morelos 264, conectado al bus de fase aislada que conduce la salida del generador y del lado de baja tensión se conecta al tablero de excitación donde a través del interruptor de campo se conecta al puente rectificador de tiristores.

## Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

---



Figura 2.8 Transformador de excitación

El sistema de excitación tiene la función de producir, regular y suministrar la corriente de excitación al devanado de campo al igual de controlar el voltaje, el factor de potencia y la generación de potencia reactiva.

## Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

---

La potencia reactiva puede provocar una sobre carga en líneas, transformadores y generadores, sin llegar a producir un rendimiento útil.

En esta sección se tienen los controles para vigilar el sistema en modo manual y automático, con el regulador de voltaje en el modo manual se regula la CD de la excitatriz subiendo o bajando el ajustador del regulador automático de tensión. Tanto el voltaje en las terminales y/o carga reactiva, puede ser controlado manualmente en toda la gama de carga de la unidad.

Los manuales de generadores de (CFE, 2011) “cuando el control lo tiene el regulador automático, el voltaje se mantiene constante en las terminales del generador de acuerdo a la señal del ajustador automático de tensión, si existiera diferencia entre estas dos señales se crea una señal de error que pasa por una serie de compuertas limitadoras antes de llegar al regulador y la salida de este llega al circuito de control de los tiristores. Se cuenta con limitadores y señales adicionales para mantener el voltaje dentro de límites de seguridad”.

## CAPÍTULO 3

### **CAPÍTULO 3. PROTECCIÓN DEL GENERADOR DE TURBINA DE VAPOR**

El sistema de protección con que cuenta el generador tiene la finalidad de detectar rápidamente cualquier falla o condición anormal y provocar la apertura inmediata de los interruptores para aislarlo del resto del sistema eléctrico.

El uso del sistema de protección se justifica por las siguientes razones:

- La reparación de una falla en el generador requiere de tiempo y es costosa, por eso se debe minimizar o eliminar los daños cuando ésta se presente.
- El margen de tolerancia para operar el generador fuera de los límites nominales, es mucho menor que en cualquier otro equipo eléctrico.
- La transferencia de energía al sistema eléctrico debe ser de forma segura y confiable.

El sistema de protección del generador está constituido por relevadores de alta sensibilidad que lo protegen contra diversos tipos de fallas como pueden ser: fallas internas, fallas en el equipo auxiliar, fallas externas o condiciones anormales del sistema, errores del operador y contra cualquier posible combinación de éstas.

Cuando un instrumento de protección genera una señal de disparo, o cuando el operador dispara el generador a consecuencia de la activación de una alarma, o por otra indicación de falla, es muy importante que la causa del problema sea determinada y corregida antes de volver a sincronizar.

Existen varias maneras en las que el turbogenerador puede ser disparado, desconectado del sistema o derrateado.

Para determinar cuál manera utilizar hay que tomar en cuenta varios factores como:

## Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

---

- La severidad de la falla en el generador.
- La probabilidad de que la falla se propague.
- La magnitud de la sobrevelocidad que puede ser producida.
- Si es necesario o no quitar la excitación.
- Si se requiere un paro total de la unidad.
- El efecto sobre el sistema, etc.

Algunos de los disparos producidos por los relevadores de protección son los siguientes:

- Disparo simultáneo: Este disparo provoca el cierre de válvulas de turbina y la apertura de interruptores de máquina y del interruptor de campo del generador. Un disparo simultáneo es aplicable para todas las fallas del generador. Proporciona el más alto grado de protección para el turbogenerador, sin embargo, permite una ligera sobrevelocidad, quedando latente una pequeña probabilidad de llegar a una velocidad alta.
- Disparo del generador: Este disparo provoca simultáneamente la apertura de los interruptores de máquina y del interruptor de campo del generador, pero deja a la turbina girando a la velocidad de régimen. Este disparo proporciona un alto grado de protección para el generador, al igual que el disparo simultáneo.
- Disparo del interruptor principal: En este disparo se abren los interruptores de máquina, pero no el interruptor de campo, tampoco dispara la turbina. Las ventajas son similares al disparo del generador, cuando la falla permite que se pueda mantener la excitación. Permite sostener el consumo de auxiliares, si no se ha realizado en automático.

## Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

---

- Disparo secuencial: En este caso, es la turbina la que dispara inicialmente y una vez que las válvulas de la turbina cierran completamente, al operar el relevador de potencia inversa se produce la apertura de los interruptores principales con un retardo, una vez abiertos los interruptores principales, abrirá el interruptor de campo.

### **Problemas factibles en el generador**

Los problemas que pueden ocurrir a un generador eléctrico son los siguientes:

- Sobrecorriente del estátor.
- Falla entre fase y tierra.
- Falla entre fases del estátor.
- Alta relación Volt-Hertz.
- Falla a tierra en el rotor.
- Pérdida de excitación.
- Errores de sincronización.
- Motorización.
- Operación con alta o baja frecuencia.

Desde el punto de vista general, las protecciones del generador se clasifican en primarias y secundarias, asociadas éstas con fallas internas y fallas externas al generador, respectivamente.

## Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

En el diagrama simplificado del sistema, ver figura 3.1, se muestran los diferentes relevadores de protección con que cuenta el generador de la obra C.C. Centro Morelos 264; de una forma simple, de igual manera nos muestra como se distribuyen las diferentes protecciones en el sistema de protección de un generador de ciclo combinado.

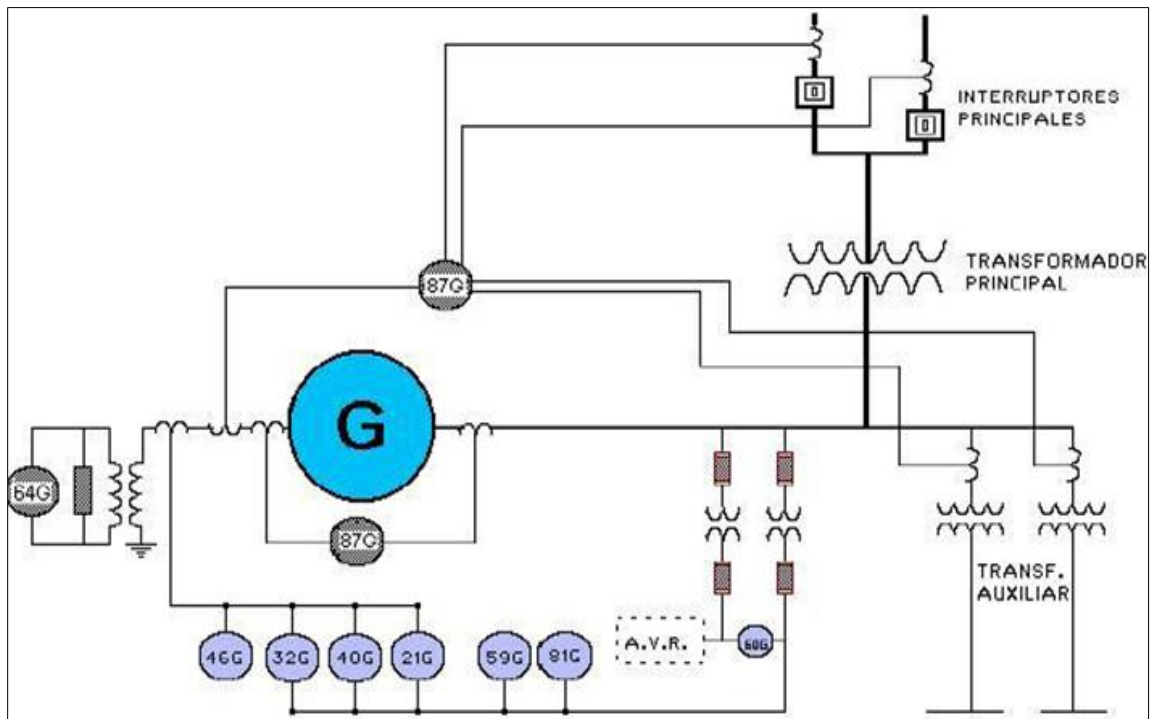


Figura 3.1 Sistema de protección de un generador eléctrico (CFE, 2011)

## CAPÍTULO 4

# Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

---

## CAPÍTULO 4. PROTECCIONES DIGITALES DE GENERADOR DE TURBINA DE VAPOR

Los esquemas de protección digitales de un generador de potencia se enlistan, como en la tabla 4.1, y nos permiten protegerlo de manera confiable ante la posibilidad de falla bajo distintas condiciones de operación.

Tabla 4.1 Esquemas de protección de un generador de potencia

No. ANSI	Descripción
21	Función de protección de distancia
24	Sobre excitación alta relación Volts / Hertz
27	Función de bajo Voltaje
27TN	Función de falla a tierra estátor
32	Función de protección inversa
40	Función de pérdida de excitación
46	Función de desbalance de tensión
50/27	Función de energización inadvertida
59	Función de sobre voltaje
59N	Función de máxima potencia homopolar
60FL	Función de desbalance de tensión
78	Función de protección vector de fase
81O	Función de sobre frecuencia
81U	Función de baja frecuencia
87	Función de protección diferencial

### (27) Función de bajo voltaje

De acuerdo al (Procedimiento G0100-07 CFE, 2011)“los generadores están diseñados para operar en forma continua a un valor de tensión del 95% de la tensión nominal a factor de potencia y frecuencia nominal. Operar al generador a una tensión menor al 95% en terminales, puede causar efectos indeseables tales como reducción en el límite de estabilidad, excesiva potencia reactiva de la red a la cual está conectada, y mal funcionamiento de equipos sensibles a la tensión”.

## Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

---

### **(27TN) Función de falla a tierra estátor**

La función 27TN proporciona protección para fallas a tierra en el estátor cercanas al neutro, en una central generadora con puesta a tierra de alta impedancia.

### **(59) Función de sobre voltaje**

Acorde al (Procedimiento G0100-07 CFE, 2011) “la sobretensión puede ocurrir en el generador y no necesariamente debe exceder el límite de V/Hz de la máquina, afectando de esta manera a los aislamientos aún cuando no presentan condiciones de sobreexcitación en el generador eléctrico”.

### **(81O) Función de sobrefrecuencia**

La sobrefrecuencia es usualmente resultado de una súbita reducción en la carga y por lo tanto es usualmente asociada con operación a carga ligera o sin carga. Durante la operación con sobrefrecuencia, la ventilación de la máquina es mejorada y las densidades de flujo para un voltaje en terminales dado son reducidas. Por lo tanto, la operación dentro de los límites de sobrefrecuencia de la turbina no producirá sobrecalentamiento del generador si la potencia aparente y voltaje nominal no son excedidos. Si el regulador de voltaje del generador es mantenido en servicio a frecuencias significativamente reducidas, los límites de V/Hz de un generador podrían ser excedidos. Sin embargo, la mayoría de los incidentes de V/Hz excesivos ocurren por otras razones diferentes a la operación a frecuencia reducida.

### **(81U) Función de baja frecuencia**

Conforme al (Procedimiento G0100-07 CFE, 2011) “La operación de generadores con frecuencias anormales (ya sea alta frecuencia o baja frecuencia) es generalmente resultado de rechazo de carga o sobrecarga del generador; se analiza únicamente la protección de baja frecuencia ya que la protección de sobrefrecuencia generalmente no se requiere, pues el regulador de velocidad

## Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

---

normalmente posee un limitador para esta condición. En aquellos casos en los reguladores de velocidad que no dispongan de funciones de esta naturaleza o bien no dispongan de la redundancia necesaria, la aplicación de protecciones para el efecto es obligatorio”.

### **(24) Sobre excitación alta relación volts/Hertz**

Esta protección protege ante una mala operación del sistema de excitación y/o sistema de regulación de velocidad, que haga variar la relación nominal de V/Hz. Si aumentamos la excitación con velocidad nominal, forzamos en el transformador a que circulen corrientes por el núcleo y que estas aumenten fuera de lo normal y aumente el flujo de dispersión. Esto provoca que el flujo empiece a circular por lugares que no están diseñados para soportar o conducir flujo magnético, ocasionando con esto un calentamiento rápido y localizado en el generador y transformador de unidad. El daño debido a la operación con V/Hz excesivos ocurre más frecuentemente cuando la unidad está fuera de línea, antes de la sincronización. La probabilidad de una sobreexcitación del generador se incrementa dramáticamente si los operadores preparan manualmente la unidad para la sincronización, particularmente si las alarmas de sobreexcitación o circuitos inhibidos son inadecuadas o si los circuitos de transformadores de potencial (TP's) son formados inapropiadamente. También es posible que una unidad esté sujeta a una operación de V/Hz excesivos mientras está sincronizada a la red.

### **(60FL) Función de desbalance de tensión**

Alarma y bloqueo de las funciones 21G, 32G y 40G por pérdida de fusible.

### **(32) Función de potencia inversa**

La potencia inversa también llamada motorización del generador ocurre cuando se pierde fuerza mecánica en la flecha para transferirse al generador. Cuando esto sucede el generador se comporta como un motor síncrono que

## Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

---

convierte potencia eléctrica en potencia mecánica, la función principal de esta protección es la de proteger la turbina.

Se realizan la aplicación de relevadores de protección monofásica, asumiendo que las pérdidas de motorización son suministradas equitativamente por las 3 fases, sin embargo, evitar que en unidades muy grandes puedan llegar a presentarse errores considerables si se toma en cuenta que se trata de valores porcentuales de potencia muy pequeños. Por lo anterior se debe utilizar relevadores que operen basados en medición trifásica de potencia. Esta protección tiene como finalidad respaldar la incorrecta operación del disparo de secuencia por motorización del generador y es independiente del mismo.

### **(50-27) Función energización inadvertida**

La energización inadvertida de generadores síncronos ocurre cuando una unidad estando fuera de operación totalmente parada, en proceso de paro o girando en tornaflecha es energizada súbitamente en forma involuntaria. Este evento es un fenómeno trifásico, a diferencia del “flashover” en interruptores que sucede por lo general en forma monofásica. Cuando un generador es energizado completamente parado o a muy baja velocidad, va a trabajar como un motor de inducción, sufriendo un arranque a tensión plena en caso de que sea energizado, a través de alguno de los interruptores de máquina. Otra forma de ocurrencia de este esquema, es que la energización inadvertida sea a través del interruptor del transformador de servicios auxiliares. Durante el periodo de arranque, el estátor produce un campo magnético rotatorio que se desliza a frecuencia nominal sobre la superficie del rotor. En este último se inducen corrientes parasitas por partes metálicas en las que normalmente no circularían en funcionamiento normal, incluyendo los devanados amortiguadores (si los tiene). Esta situación es parecida a aquella donde el generador opera con corriente de secuencia negativa, la impedancia de la máquina durante el periodo de alto deslizamiento es la reactancia de secuencia negativa.

# Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

---

## **(46) Función de desbalance secuencia negativa**

La corriente de secuencia negativa en el estátor provoca calentamiento en el rotor e induce una corriente de doble frecuencia, que circula por la estructura del rotor, las cuñas y otras áreas de baja impedancia, debido a la corriente de secuencia negativa se presenta un calentamiento severo que inclusive puede llegar a aflojar y hasta derretir las cuñas del rotor. Esta función tiene un elemento de tiempo definido y un elemento de tiempo inverso. El valor de operación (pickup) del tiempo definido y el tiempo de operación definido son normalmente asociados con una función de alarma. El elemento de tiempo inverso esta usualmente asociado con una función de disparo y tiene un pickup y un tiempo de operación definido por la ecuación:

$$I_2^2 t = k$$

K es el ajuste del Dial de Tiempo (Time Dial)

$I_2$  es la corriente de secuencia negativa por

unidad

## **(40) Función de pérdida de excitación**

En el (Procedimiento G0100-07 CFE, 2011) señala que la pérdida o disminución de la corriente de campo en el generador síncrono da como consecuencia el sobrecalentamiento en los extremos del núcleo, rotor y cabezales del generador al operar como motor o generador de inducción; y condiciones de inestabilidad y pérdida de sincronismo del generador con secuencias negativas para el generador y el sistema.

## **(21) Función de protección de distancia**

Los transformadores de corriente que alimentan la protección de respaldo para fallas entre fases deben estar conectas en el lado del neutro del generador para proporcionar en cierto grado protección de respaldo para el devanado del generador. Los transformadores de potencial deben estar conectados en terminales del generador. Se utilizan relevadores de distancia de fase como protección de respaldo de generadores para coordinar su operación con los relés primarios de protección de distancia de fase de las líneas de trasmisión del

## Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

---

sistema. Los relés de respaldo de fase 21G deben ser supervisados por un relé 60FL para prevenir un disparo en falso por pérdida de fusibles de TP's. Se debe programar en los relevadores digitales, la compensación de la conexión delta-estrella del transformador principal de unidad. Se debe utilizar un esquema de protección basada en 2 zonas de operación.

### **(59N) Función máxima potencia homopolar**

La sobretensión puede ocurrir en el generador y no necesariamente debe exceder el límite de V/Hz de la máquina, afectando de esta manera a los aislamientos aún cuando no se presenten condiciones de sobreexcitación en el generador eléctrico.

### **(78) Función de protección vector de fase**

La función fuera de paso es usada para proteger al generador de condiciones de fuera de paso o deslizamiento de polos. Esta función usa un grupo de persianas (blindings), junto con un elemento Mho que es la conductancia para la supervisión.

### **(87) Función de protección diferencial**

La función diferencial de fase (87) es una diferencial de porcentaje con una pendiente ajustable de 1–100%. Aunque esta protección es usada para proteger la máquina de todas las fallas internas en su devanado, fallas de una fase a tierra con aterrizamiento de alta impedancia podrían tener corrientes menores que la sensibilidad del relevador diferencial. Las fallas de espira–espira de una misma fase no son detectadas por los relevadores diferenciales debido a que las corrientes que entran al generador son iguales a las corrientes que salen. Aunque el relevador diferencial de porcentaje es más tolerante a los errores de los TC, todos los TC's deben tener las mismas características y exactitud. Para proporcionar restricción contra la saturación del TC con corrientes asimétricas grandes, la pendiente se ajusta automáticamente (a una corriente de restricción igual a dos veces la corriente nominal) a cuatro veces el ajuste de pendiente. Para

## Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

---

corrientes muy altas en generadores grandes, la proximidad de los TC's y los conductores en diferentes fases puede causar que fluyan corrientes desbalanceadas en los secundarios. Estas corrientes deben ser menores que la sensibilidad mínima del relevador.

## CAPÍTULO 5

## CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DE PRUEBA EN BASE A PROCEDIMIENTO CFE G0100-07” Y NOM – 008 – SCFI- 2002

### (27) Función de bajo voltaje

Se debe habilitar un elemento de baja tensión entre fases para alarma que operen en 95% de la tensión nominal del generador con un retardo de tiempo de 1 s y que bloquee cuando exista pérdida de fusible por la protección 60FL (pérdida de fusibles de TP´s).

La protección 60FL debe tener una alarma independiente de baja tensión.

Propósito: Protección bajo voltaje, en la figura 5.1 observaremos un diagrama unifilar de la protección para su mejor entendimiento.

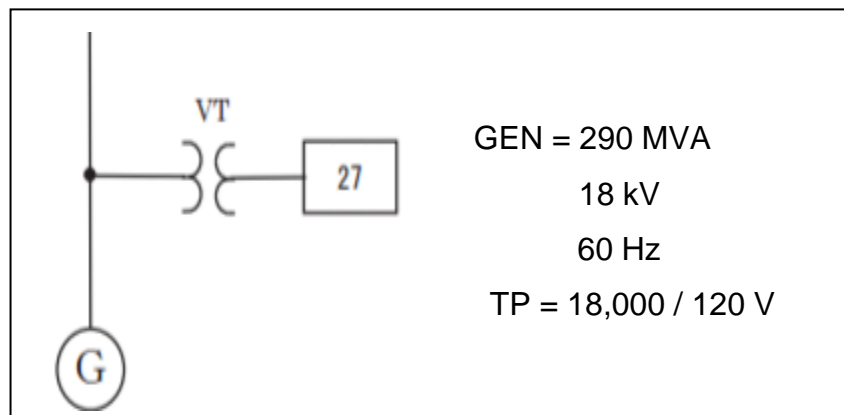


Figura 9 Diagrama unifilar "Función de bajo voltaje" (Toshiba, 2012)

Para su operación los ajustes serán de acuerdo a la tabla 5.1:

Tabla 5.1 Alarma de ajustes "27"

Pick Up	P.U.	Voltz	Vp.u.	Tiempo de retardo (s)
1	0.95	120	114	1

# Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

## (27TN) Función de falla a tierra estátor

Propósito: Para la protección de falla a tierra del estátor al 100%, en la figura 5.2 observaremos un diagrama unifilar de la protección para su mejor entendimiento.

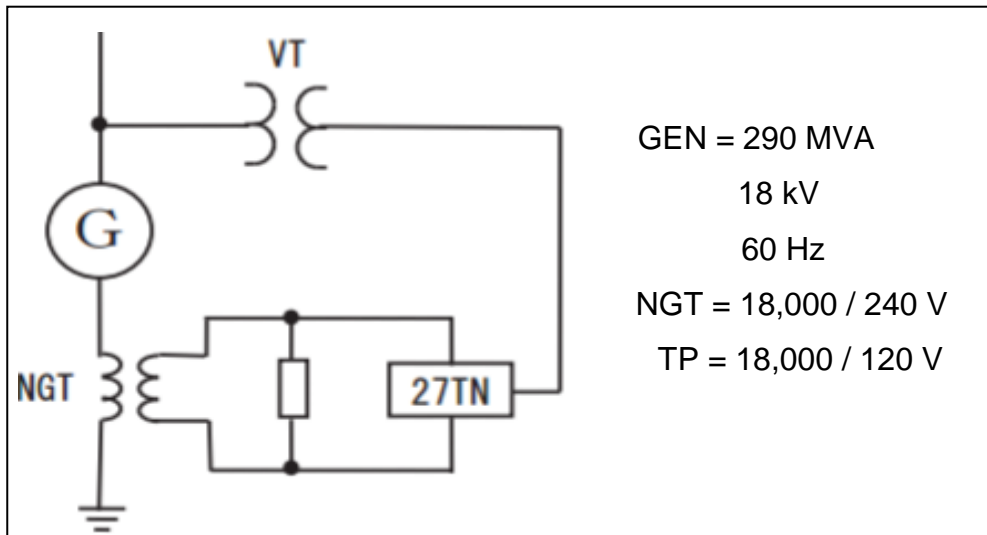


Figura 10 Diagrama unifilar "Función de falla a tierra estátor" (Toshiba, 2012)

Los ajustes se realizan después de la medición de la tercera armónica de voltaje durante la puesta en marcha.

Ajuste de disparo serán de acuerdo a la tabla 5.2.

Pickup #1 Se puede establecer a 50 % del voltaje medido en el generador con factor de potencia 1.0 a la potencia nominal de la turbina con voltaje de secuencia positiva.

Tabla 5.2 Ajuste de disparo "27TN"

Pick Up	P.U.	Volts	Vp.u. (V)	Tiempo de retardo (s)
1	0.9	120	180	3

## (59) Función de sobrevoltaje

La protección 59G debe ser insensible a la frecuencia, detectar tensión entre fases y debe tener dos pasos de ajustes. El primer paso se debe ajustar al 112% de la tensión nominal con un tiempo de operación de 5s. El segundo paso

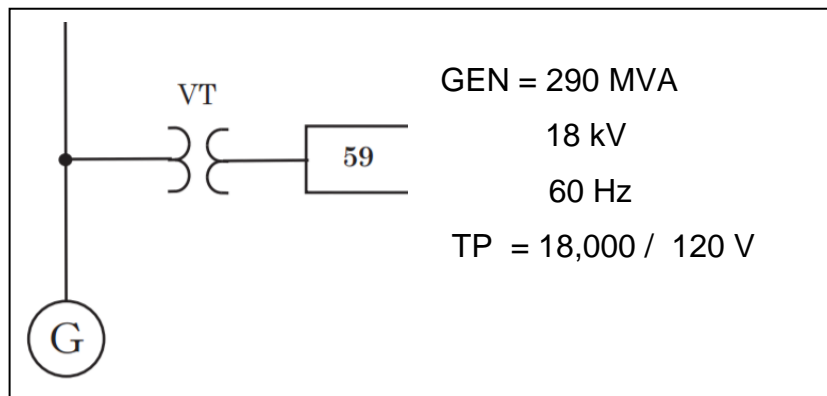
## Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

---

se debe ajustar a 115% de la tensión nominal con un tiempo de operación de 0.3 s. El esquema debe contar con una alarma al 106% con un retardo de 1 s.

Se debe habilitar una lógica para efectuar un disparo con el arranque del elemento ajustado al 112% con un retardo de 0.5 s cuando el interruptor de máquina se encuentre abierto.

Propósito: Protección sobre voltaje, en la figura 5.3 observaremos un diagrama unifilar de la protección para su mejor entendimiento.



Figuras 11 Diagrama unifilar "Función de sobre voltaje" (Toshiba, 2012)

Para su operación los ajustes serán de acuerdo a la tabla 5.3:

Tabla 5.3  
de disparo "59"

Ajuste

Pick Up	P.U.	Voltz	Vp.u. (V)	Tiempo de retardo (s)
1	1.3	120	156	0.5

### (810) Función de sobrefrecuencia

Se deben considerar las siguientes condiciones para el ajuste:

1. Coordinar los ajustes de tiempo y valores de disparo por sobre frecuencia de acuerdo con el programa de corte de carga / generación automático del sistema.

## Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

---

2. Asegurar que dichos puntos se encuentren dentro de la parte operativa de la curva de daño de la turbina por sobre frecuencia.
3. Agregar los puntos de disparo y tiempos de retardo de operación de la protección de sobre frecuencia para cubrir la parte que no quedó comprendida por los ajustes propuestos por el área de control, asegurándose de lograr la cobertura total de la curva.

Propósito: Para la protección de sobre frecuencia, en la figura 5.4 observaremos un diagrama unifilar de la protección para su mejor entendimiento, al igual su curva de operación de frecuencia, mostrado en la figura 5.5.

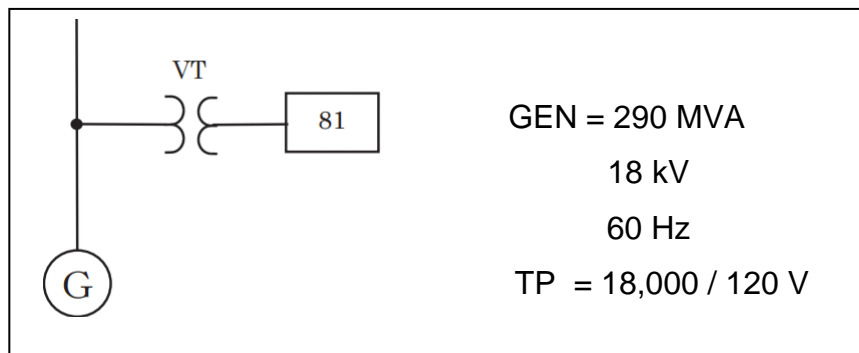


Figura 12 Diagrama unifilar "Función de sobrefrecuencia" (Toshiba, 2012)

Para su operación los ajustes serán:

Nota: Para ajustar todos los parámetros de sobre frecuencia primero se necesitan ajustar los de baja frecuencia.

### 1 Ajustes de disparo de sobrefrecuencia (81O)

Pickup #4 configurar a 61.2 Hz.

Tiempo de retardo #4; 36,000 ciclos (10 min)

# Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

---

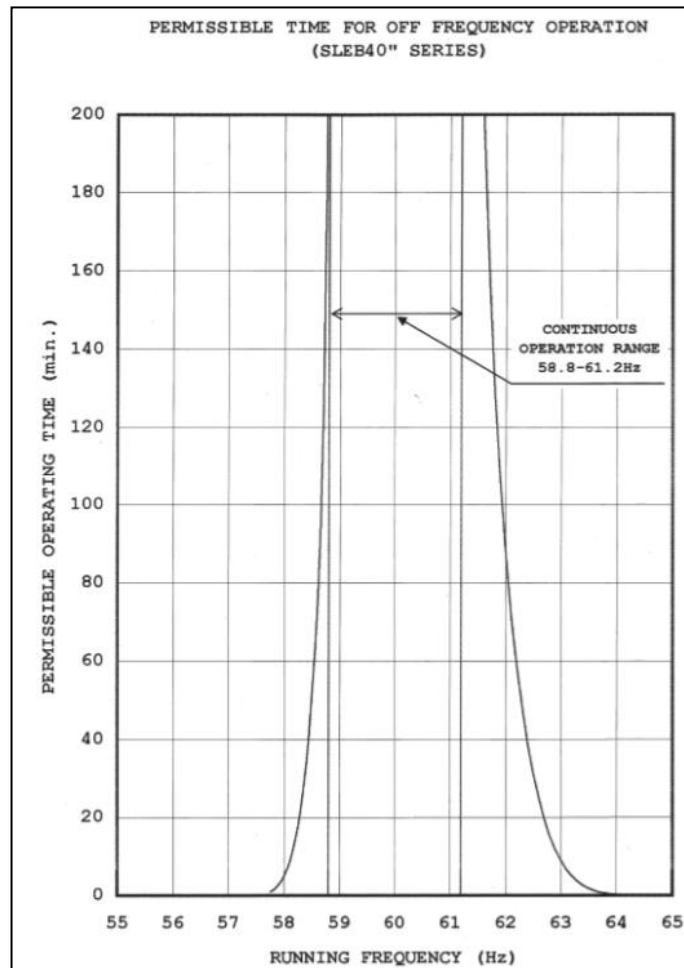


Figura 13 Curva de operación de frecuencia (Toshiba, 2012)

## (81U) Función de baja frecuencia

Para la función de baja frecuencia se deben considerar las siguientes condiciones para el ajuste:

1. Coordinar los ajustes de tiempo y valores de disparo por baja frecuencia de acuerdo con el programa de corte de carga / generación automático del sistema.
2. Asegurar que dichos puntos se encuentren dentro de la parte operativa de la curva de daño de la turbina por baja frecuencia.

## Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

3. Agregar los puntos de disparo y tiempos de retardo de operación de la protección de baja frecuencia para cubrir la parte que no quedó comprendida por los ajustes propuestos por el área de control, asegurándose de lograr la cobertura total de la curva.

El sistema de protección de baja frecuencia de la turbina debe estar en servicio si la unidad está sincronizada al sistema o mientras está separada del sistema, pero alimentando a los servicios auxiliares. Se debe proporcionar una alarma separada para alertar al operador de una frecuencia en el sistema menor que la normal a un valor de 59.5 Hz, según su diseño. El esquema debe contar por un bloqueo de pérdida de fusibles, si el equipo cuenta con bloqueo por baja tensión, este debe quedar al mínimo o bloqueado.

Propósito: Para la protección de baja frecuencia, en la figura 5.6 observaremos un diagrama unifilar de la protección para su mejor entendimiento.

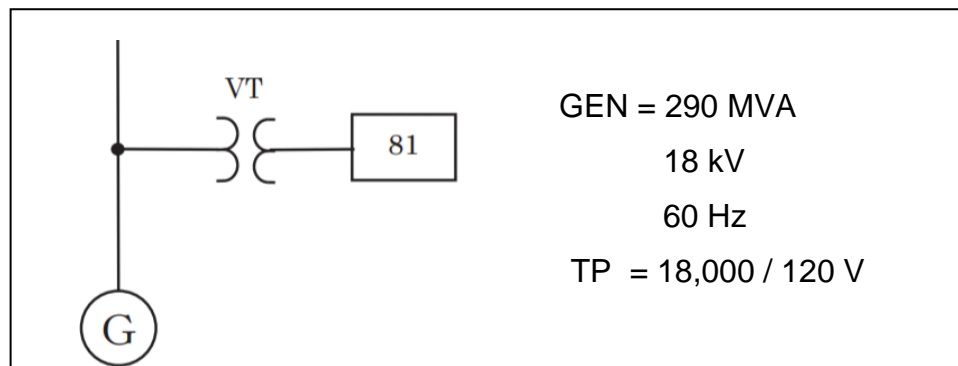


Figura 14 Diagrama unifilar "Función de baja frecuencia" (Toshiba, 2012)

Para su operación los ajustes serán de acuerdo a la tabla 5.4:

Tabla 5.4 Ajuste de disparo "81U"

Pick Up	Hz	Tiempo de retardo (s)
1	58	0.03
2	58.4	3
3	58.8	600

# Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

## (24) Sobre excitación alta relación V/Hz

Aún cuando se sabe que la curva de V/Hz no es una curva de daño, sino una curva de límite operativo (La protección puede ser ajustada ligeramente por encima de ella), el hecho que algunos fabricantes no suministren esta información de referencia en forma general, obliga a considerar ajustes conservadores que deben ser ubicados por debajo de la curva de referencia estándar con que se cuenta de un generador.

Se recomienda un primer paso al 106% de la velocidad V/Hz con un retardo de 100 s para disparo, considerando la habilitación de una alarma a esta misma relación V/Hz con un tiempo de 1 s de retardo. Un segundo paso de disparo al 108% de la relación V/Hz con un retardo de 30 s y un tercer paso de disparo al 116% de la relación V/Hz con un retardo de 0.5 s. Independientemente de la recomendación hecha en este procedimiento, en todas las ocasiones debe verificarse que las características de los transformadores conectados en las terminales del transformador queden también cubiertas por la protección. En esquemas donde se tenga la característica de "RESET" temporizado lineal en solo dos de los tres pasos, se debe utilizar para el primero y segundo paso lo que si cuentan con este tipo de "RESET" y el tercer paso (116%) debe habilitarse con el elemento que no cuenta esta función. El tiempo de ajuste del "RESET" temporizado lineal debe ser de 240 s.

Propósito: Protección por sobre excitación, en la figura 5.7 observaremos un diagrama unifilar de la protección para su mejor entendimiento.

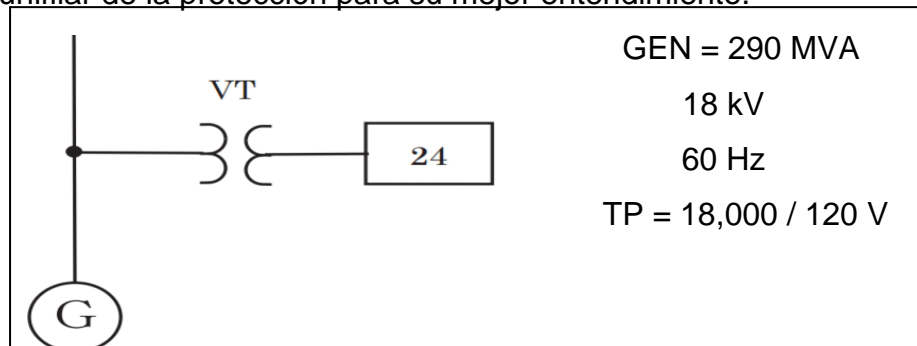


Figura 15 Diagrama unifilar "Función sobre excitación alta relación" (Toshiba, 2012)

# Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

Se ajustara la curva de coordinación. En la figura 5.8 observaremos un ejemplo de cómo funciona la protección por medio de la curva.

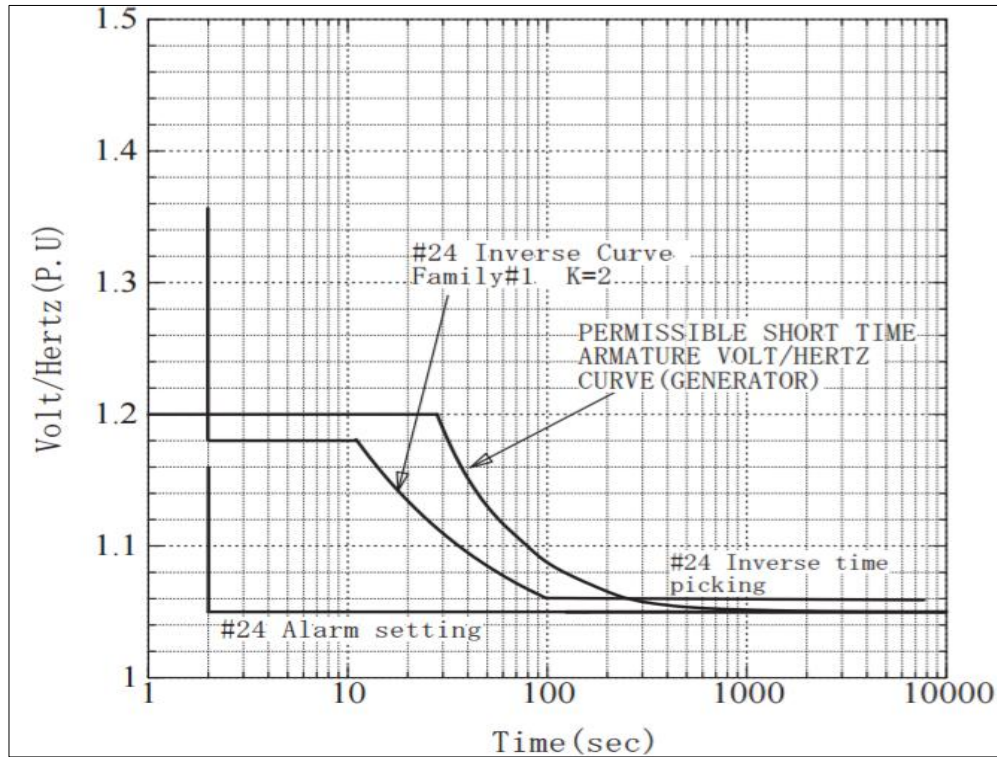


Figura 16 Curva de coordinación de la protección de sobre excitación (Toshiba, 2012)

## (60FL) Función de desbalance de tensión

Propósito: Detección de pérdida de fusible de VT, en la figura 5.9 observaremos un diagrama unifilar de la protección para su mejor entendimiento.

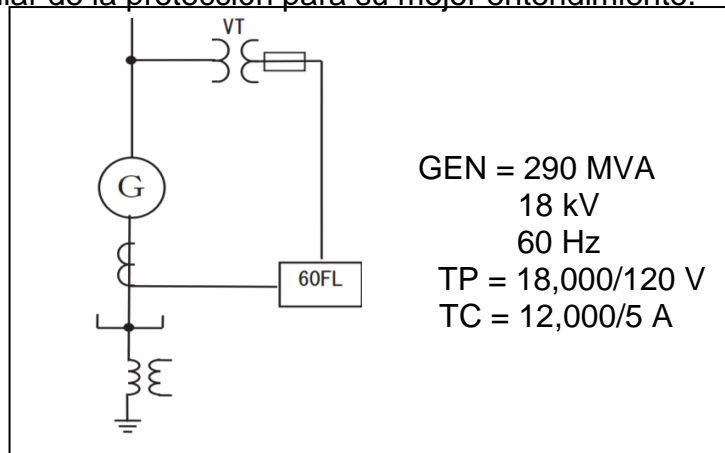


Figura 17 Diagrama unifilar "Función desbalance de tensión" (Toshiba, 2012)

# Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

---

## **(32) Función de potencia inversa**

Para turbinas de vapor se recomienda que el “pick up” de la potencia inversa sea del orden del 0,25% de la potencia nominal del primomotor.

En caso de que el ajuste de “pick up” del relevador este dado en porcentaje del valor nominal del generador, se debe tomar en cuenta que el criterio de ajuste está basado en la potencia nominal de la turbina y debe ser cambiado a la potencia base del generador.

Para máquinas de vapor el tiempo de retardo será de 15 s a menos que el fabricante especifique tiempos menores.

## **(50-27) Función energización inadvertida**

Debe asegurarse que cuando el generador esta fuera de línea no se deben desenergizar los relevadores de protección ni los circuitos de disparo, así como también se debe asegurar que estén permanentemente en servicio todas las señales que intervengan en la lógica de energización inadvertida, incluyendo los transformadores de corriente.

Para obtener los ajustes:

1. Negar el elemento de sobretensión. Se debe ajustar al 80% de la tensión nominal del generador.
2. Se debe ajustar al 5% de la corriente nominal del generador.
3. EL “pick up” debe ser ajustado mayor que cualquier falla del sistema que pueda abatir la tensión en terminales del generador. Se debe ajustar a 3 s.
4. El “drop out” se debe ajustar para desarmar la protección cuando la tensión es incrementada arriba del valor de “pick up” o el generador es regresado a línea. Debe ajustarse a 2 s. Este tiempo debe de ser mayor al “pick up” del ajuste de 110% de la corriente nominal del generador.

## Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

5. Se debe ajustar al 110% de la corriente nominal del generador.
6. El "pick up" para el disparo se debe ajustar a 50 ms.
7. El "drop out" se debe ajustar a 1s.

En aquellos casos en los que se bloquea el 50FI con el conmutador de bloqueo para mantenimiento, se debe considerar mantener desbloqueado el esquema; es decir se debe asegurar que siempre el esquema de falla de interruptor este habilitado durante la energización inadvertida y que esta lo arranque.

Propósito: Protección por energización inadvertida, en la figura 5.10 observaremos un diagrama unifilar de la protección y la lógica de energización en la figura 5.11.

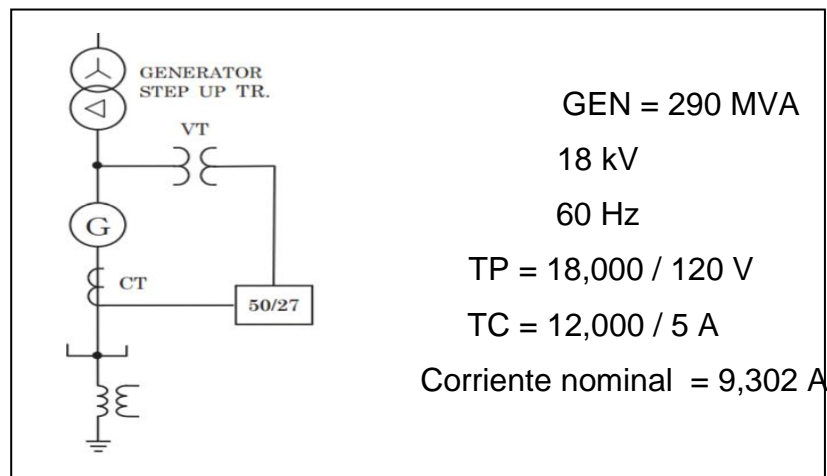


Figura 18 Diagrama unifilar "Función de energización inadvertida" (Toshiba 2012)

Para su operación los ajustes serán:

1 (50) Ajuste de sobre voltaje

Pickup configurado a 20% de corriente nominal del generador

$$(0.2) \times (9,302A) \times (5 / 12,000) = 0.775 A = 0.78 A$$

2 (27) Ajuste de bajo voltaje

Pickup configurado a 50% de voltaje nominal del generador

$$(0.5) \times (18,000V) \times (120 / 18,000) = 60 V$$

3 Pickup tiempo de retardo; 150 ciclos (2.5 s)

# Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

---

4 Drop-out tiempo de retardo; 30 ciclos (0.5 s)

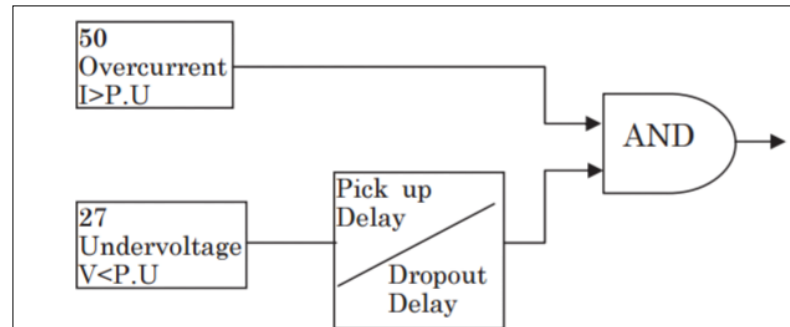


Figura 19 Lógica de energización inadvertida (Toshiba, 2012)

## (46) Función de desbalance secuencia negativa

Esta función tiene un elemento de tiempo definido y un elemento de tiempo inverso. El valor de operación (pickup) del tiempo definido y el tiempo de operación definido son normalmente asociados con una función de alarma. El elemento de tiempo inverso está usualmente asociado con una función de disparo y tiene un pickup y un tiempo de operación definido por la ecuación  $I_2^2 t = K$ , donde K es el ajuste del Dial de Tiempo (Time Dial) e  $I_2$  es la corriente de secuencia negativa por unidad. En la tabla 5.5 observaremos el tipo generador de la obra C.C. Centro Morelos 264, para su mejor entendimiento.

Tabla 5.5 Datos del generador

TIPO DE GENERADOR		
Rotor cilíndrico	% $I_2$ Permitida	$I_2^2 t = K$ Permitida
Enfriamiento directo hasta 350 MVA	8	10

El valor de “pick up” para esta protección debe definirse igual al valor máximo permisible de corriente de secuencia negativa definido.

En relación a los retardos de este elemento y considerando que el disparo de esta función opera únicamente sobre el interruptor de máquina, se debe armar una lógica de disparo que arranque otro temporizador, ajustado a 0.150 s después

## Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

---

del disparo de la protección 46 (función con características de tiempo inverso) siempre y cuando el elemento de "pick up" del 46 siga activado. Opera sobre un relevador de bloqueo (86), provocando el disparo total de la unidad. Este segundo temporizador cubre la contingencia de una falla no librada situada antes del interruptor de unidad. En caso de que la unidad no tenga la posibilidad de quedarse generando únicamente con sus equipos auxiliares, solo se debe usar el primer temporizador y el disparo debe ser sobre el relevador 86 de paro total.

El tiempo máximo de operación de esta protección se debe ajustar al tiempo máximo permisible por el relevador y el tiempo de "reset" lineal en 240 s.

Propósito: Protección contra posibles sobrecalentamientos del rotor y el daño debido al desbalance, en la figura 5.12 observaremos un diagrama unifilar de la protección para su mejor entendimiento.

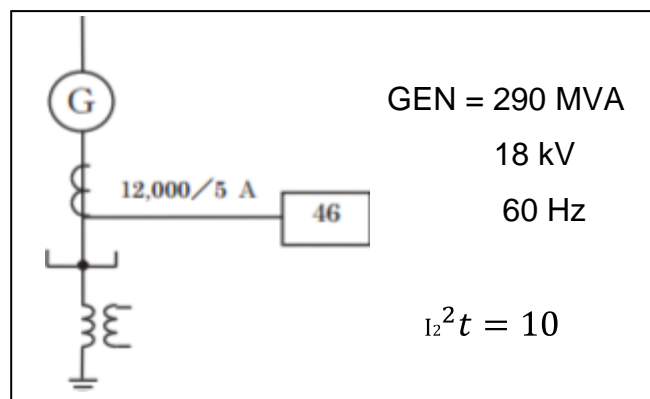


Figura 20 Diagrama unifilar "Función desbalance secuencia negativa" (Toshiba, 2012)

Generador permisible a continuas corriente de secuencia negativa:

$I_2 (\infty) = 8\%$  Corrientes nominal del generador, para el ajuste de la tabla 5.6:

Tabla 5.6 Ajuste de operación "46"

Ajuste	% Pick up	Tiempo
Tiempo definido (alarma)	7	3 s
Tiempo inverso (disparo)	8	9 DIAL

# Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

Tiempo máximo definido para disparar Tt: 1000 s (60,000 ciclos).

En la figura 5.13 observaremos un ejemplo de cómo funciona la protección por medio de la curva para su mejor entendimiento.

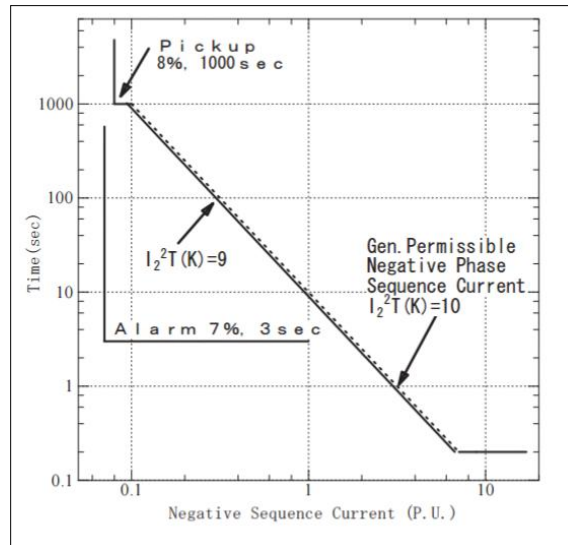


Figura 21 Curva de corriente de secuencia negativa (Toshiba, 2012)

## (40) Función de pérdida de excitación

El criterio de ajuste tiene como objetivo evitar la operación del generador en el límite de subexcitación de la curva de capacidad y el límite de estabilidad del sistema. Las zonas de protección deben ser supervisadas por un relé 60FL para prevenir un disparo en falso por pérdida de fusible de TP's.

Se debe utilizar dos zonas de protección tipo "Offset Mho":

### Zona 1.

Debe tener un diámetro igual a la reactancia síncrona no saturada en eje directo ( $X_d$ ) de la unidad, un "Offset" negativo igual a la mitad de la reactancia transitoria no saturada en eje directo de la máquina ( $-X_d'/2$ ) y un retardo de tiempo de operación de 0.75 s.

### Zona 2

## Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

---

Las características de ajuste de la zona 1 debe ser aproximado a la de la zona 2. El tiempo de operación de la zona 2 debe ser de 2 s en condiciones de aceleración.

El valor para permitir el aceleramiento por baja tensión de secuencia positiva se debe ajustar al 90% de la tensión nominal y el aceleramiento por corriente debe ajustar al 110% de la capacidad nominal a la condición de operación real del sistema de enfriamiento del generador.

Propósito: Protección por pérdida de campo, en la figura 5.14 observaremos un diagrama unifilar de la protección para su mejor entendimiento.

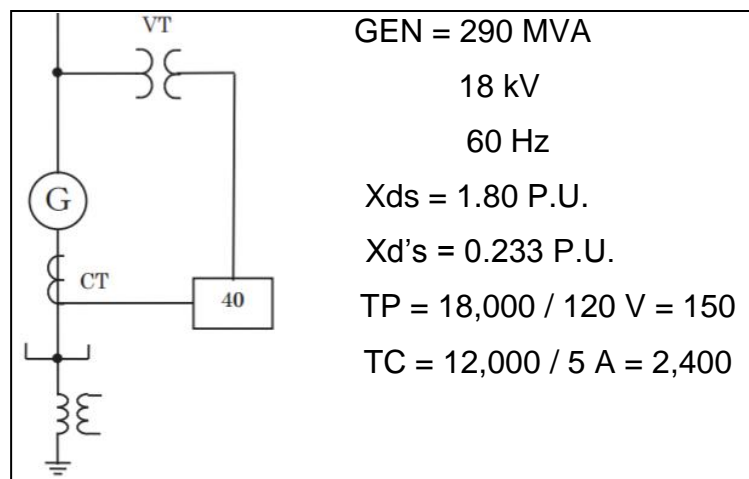


Figura 22 Diagrama unifilar "Función pérdida de excitación" (Toshiba, 2012)

Para su operación los ajustes serán:

$$\text{TP,CT -impedancia base del secundario : } X_{\text{base}} = \frac{18^2}{290} \times \frac{2400}{150} = 17.9 \, \Omega$$

$$\text{Reactancia síncrona (VT,CT base secundaria) } X_{ds_2} = 1.80 \times 17.9 = 32.2 \, \Omega$$

$$\text{Reactancia transitoria (VT,CT base secundaria) } X_{d's_2} = 0.233 \times 17.9 = 4.17 \, \Omega$$

$$\text{Diámetro del circulo \#1} = X_{\text{base}} = 17.9 \, \Omega$$

$$\text{Offset \#1} = \frac{X_{d's_2}}{2} = 2.1 \, \Omega$$

Time delay #1 se configura a 6 ciclos (0.1 s).

$$\text{Diámetro del circulo \#2} = X_{ds_2} = 32.2 \, \Omega$$

# Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

$$\text{Offset \#2} = \text{Offset \#1} = 2.1 \Omega$$

Time delay #2 se configura a 30 ciclos (0.5 s).

En la figura 5.15 observaremos como se aplicarían los cálculos de la protección de pérdida de excitación mediante la curva Mho.

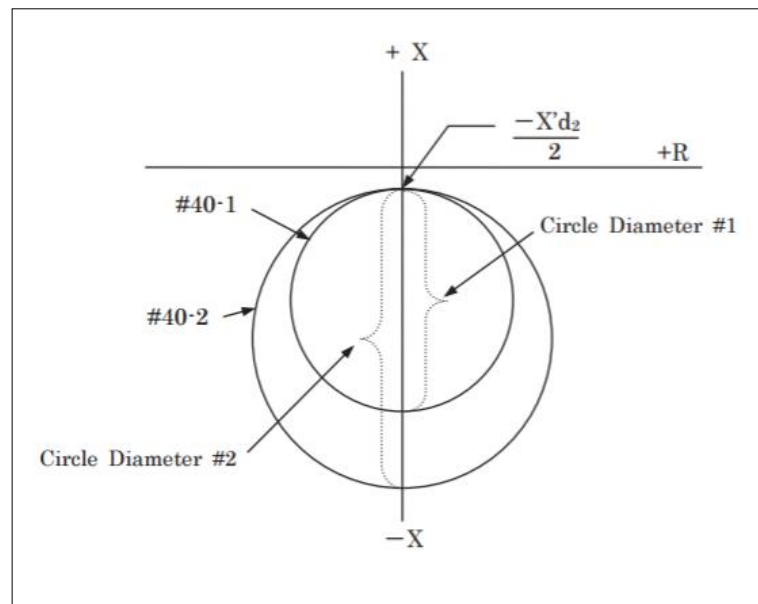


Figura 23 Curva para la aplicación de pérdida de campo (Toshiba, 2012)

## (21) Función de protección de distancia

En los relevadores de distancia se debe programar la compensación de la conexión delta estrella del transformador principal de la unidad. Las cuales usan diferentes zonas de protección

En las zonas de protección Zona 1, Zona 2 y Zona 3 son usadas para protección de respaldo del transformador de unidad y para fallas en el sistema de transmisión. La Zona 3 en conjunto con la Zona 2 puede ser usada para detectar una condición de pérdida de sincronismo y puede ser programada para bloquear la función 21. Si la Zona 3 está siendo usada para bloqueo por pérdida de sincronismo, esta no disparará.

Si la Zona 1 no es ajustada para ver al sistema de transmisión, no se recomienda el bloqueo de la Zona 1 por condiciones de pérdida de sincronismo.

## Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

Todos los ajustes de impedancia son cantidades secundarias y pueden ser derivadas de la siguiente fórmula:

$$Z_{SEC} = Z_{PRI} \times (RC \div RV)$$

Donde:  $Z_{SEC}$  = impedancia secundaria reflejada

$Z_{PRI}$  = Impedancia primaria

$RC$  = relación del transformador de corriente

$RV$  = relación del transformador de voltaje.

La sensibilidad de corriente mínima depende del alcance programado (diámetro y offset). Si la corriente es menor que la corriente de sensibilidad mínima, la impedancia calculada se saturará, y no será exacta. Esto no causará la mala operación del relevador. Una característica de supervisión de sobrecorriente puede ser habilitada, la cual bloqueará a la función 21 cuando las corrientes de las tres fases estén abajo del valor de operación.

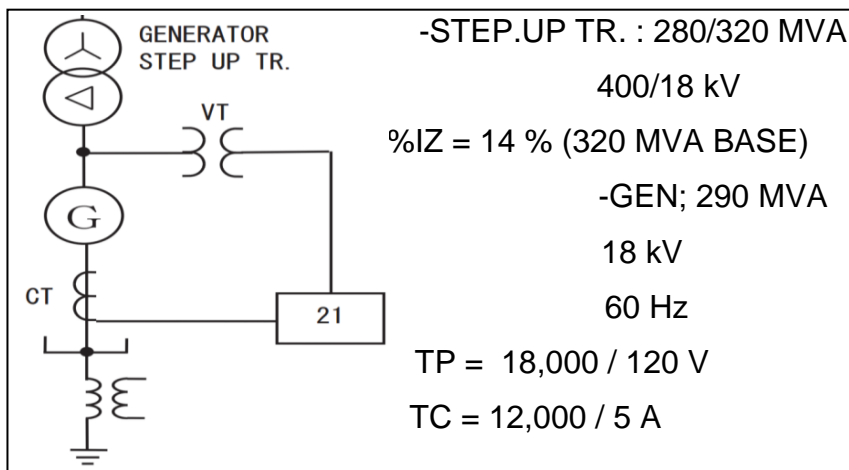
Para la zona 1

El alcance a un MTA 85° debe ser igual a  $0.5 \times XT$ . El factor de 0.5 es para cubrir el 50% de la impedancia del transformador.

El tiempo de retardo de la zona 1 debe ser de 0.1s.

El "offset" debe ser  $25\% \times XT$  (dependiendo al generador).

Propósito: Sistema de protección de respaldo de falla de fase, en la figura 5.16 observaremos un diagrama unifilar de la protección para su mejor entendimiento.



# Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

Figura 24 Diagrama unifilar "Función protección de distancia" (Toshiba, 2012)

Para su operación los ajustes serán:

(1) Ajuste de impedancias

$$\text{TP radio } r_v = 18,000 / 120 = 150$$

$$\text{TC radio } r_c = 12,000 / 5 = 2,400$$

$$\text{Impedancia del transformador generador: } \frac{290 \text{ MVA}}{320 \text{ MVA}} \times \frac{18 \text{ kV}^2}{18 \text{ kV}^2} = 14\% = 12.96\%$$

$$\text{(Impedancia primaria) } Z_t = \frac{18 \text{ kV}^2}{290} \times 0.1269 = 0.142$$

Ajuste de valores de impedancia: #1:  $Z_{s1} = Z_t \times r_c / r_v \times$  (Valores permitidos de CFE)

$$= 0.142 \times 2,400 / 150 \times 100\% = 2.3 \Omega$$

Offset#1: 0.0  $\Omega$

Por lo tanto, Diámetro del círculo #1 = 2.3  $\Omega$  + 0.0  $\Omega$  = 2.3  $\Omega$

Angulo de impedancia #1 se configura a 89° X/R radio.

(2) Ajustes de Time delay

Desde que la protección aplicada para protección de back up, el time delay se configura a 60 ciclos (1 segundo).

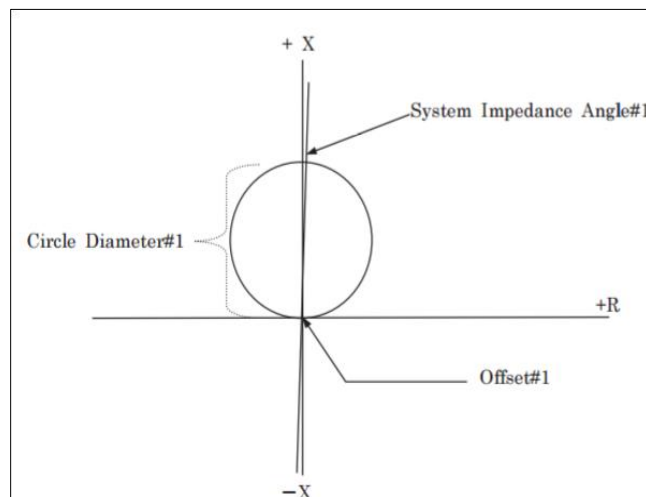


Figura 25 Curva R - X para la protección de respaldo para falla externa (Toshiba, 2012)

## Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

---

En la figura 5.17 podremos observaremos la zona de protección de este relevador, y el ángulo al cual maneja la protección.

### (59N) Función máxima potencia homopolar

La función 59 puede ser programada para usar como entrada el voltaje de fase (cualquiera de las tres fases) o el voltaje de secuencia positiva. El ajuste debe ser dependiendo de la tensión secundaria NGTR en caso de falla. El "pick up" será ajustado al 10 % de la tensión nominal con un tiempo de operación de 3 s.

Propósito: Protección neutral de sobre voltaje, en la figura 5.18 observaremos un diagrama unifilar de la protección para su mejor entendimiento.

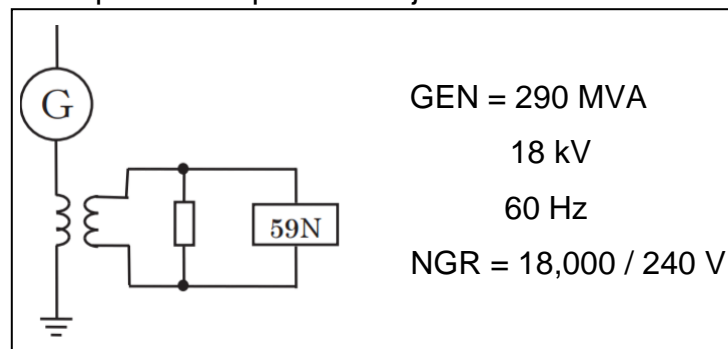


Figura 26 Diagrama unifilar "Función máxima de potencia homopolar" (Toshiba, 2012)

Para su operación los ajustes serán de acuerdo a la tabla 5.7:

Tensión secundaria NGTR en caso de falla a tierra es

$$V = \frac{18000}{3} \times \frac{240}{18000} = 139 \text{ V}$$

Tabla 5.7 Ajuste de operación "59N"

Ajuste	% Pick Up	Voltaje (F-T)	Voltaje de Pick up (V)	Tiempo de retardo (s)
1	10	139	13.9	3

### (78) Función de protección vector de fase

El área de pickup es restringida al área triangular de la circunferencia, características del relevador de fuera de paso, definida por la región interior del

## Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

círculo MHO, la región a la derecha del blinder A y la región a la izquierda del blinder B, de la figura 29.

Para la operación del esquema blinder, el punto de operación (impedancia de secuencia positiva) debe originarse fuera de los blinder A o B, y la oscilación atravesar el área de pickup por un tiempo mayor que o igual al ajuste de retardo de tiempo y progresar al blinder opuesto de donde la oscilación se originó. Cuando esto sucede, el circuito de disparo se completa.

El contacto permanecerá cerrado por la cantidad de tiempo ajustado por el retardo de tiempo del sello.

XT = Reactancia del Transformador.

Xs = Reactancia del Sistema.

X'd = Reactancia Transitoria del Generador.

Propósito: Protección del generador de pérdida de paso o sincronismo del generador, en la figura 5.19 observaremos un diagrama unifilar de la protección.

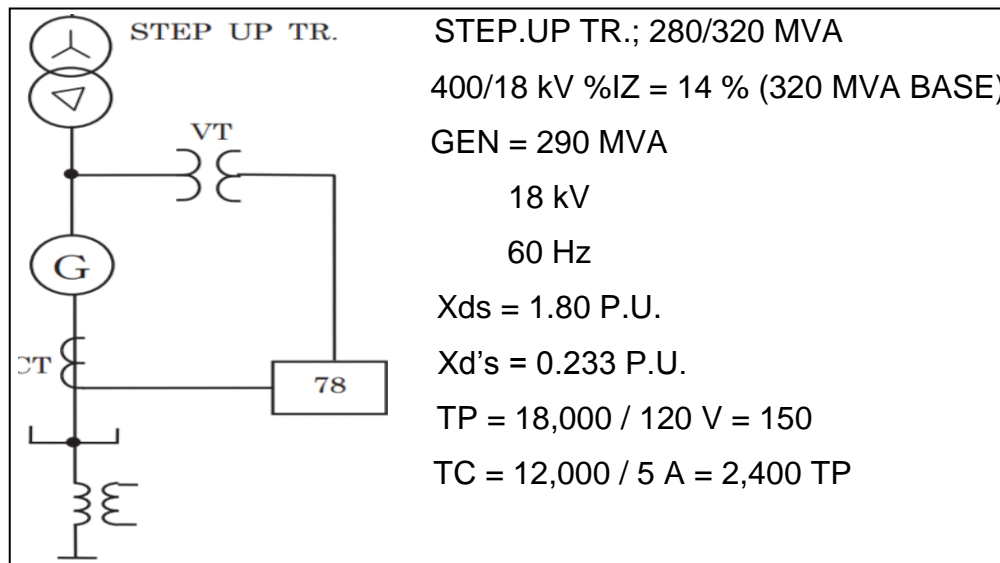


Figura 27 Diagrama unifilar "Función protección vector de fase" (Toshiba, 2012)

Para su operación los ajustes serán:

$$TP \text{ ratio } r_v = 18,000 / 120 = 150$$

$$TC \text{ ratio } r_c = 12,000 / 5 = 2,400$$

## Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

---

TP, CT Impedancia base del secundario :

$$X_{base} = \frac{18^2}{290} \times \frac{2400}{150} = 17.9 \Omega$$

Reactancia transitoria (VT, CT base secundaria):

$$X_{d's} = 0.233 \text{ P.U.} \times 17.9 \Omega = 4.17 \Omega$$

Impedancia del transformador del generador:  $\frac{290 \text{ MVA}}{320 \text{ MVA}} \times \frac{18 \text{ kV}^2}{18 \text{ kV}^2} = 14\% = 12.96\%$

$$\text{(Impedancia primaria)} \quad Z_t = \frac{18 \text{ kV}^2}{290} \times 0.1269 = 0.142$$

$$\begin{aligned} \text{Valores de ajustes de impedancia:} \quad X_t &= Z_t \times r_c / r_v \\ &= 0.142 \times 2,400 / 150 = 2.27 \Omega \end{aligned}$$

Líneas de impedancia del sistema de potencia:  $Z_s = 0.01 \Omega$

$$\begin{aligned} \text{Valores de ajustes de impedancia:} \quad X_t &= Z_t \times r_c / r_v \\ &= 0.01 \times 2,400 / 150 = 0.16 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ajustes del diámetro de círculo} &= 1.5X_t + 2 X'_{d's} \\ &= 1.5 \times 2.27 + 2 \times 4.17 = 11.7 \Omega \end{aligned}$$

$$\text{Ajustes de offset} = -2 X'_{d's} = -2 \times 4.17 = -8.3 \Omega$$

Ajuste de ángulo de impedancia =  $90^\circ$

Time delay: 3 ciclos ( 60 ms)

También podemos observar la curva de protección de paso, en la figura 5.20, para conocer los ajustes.

# Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

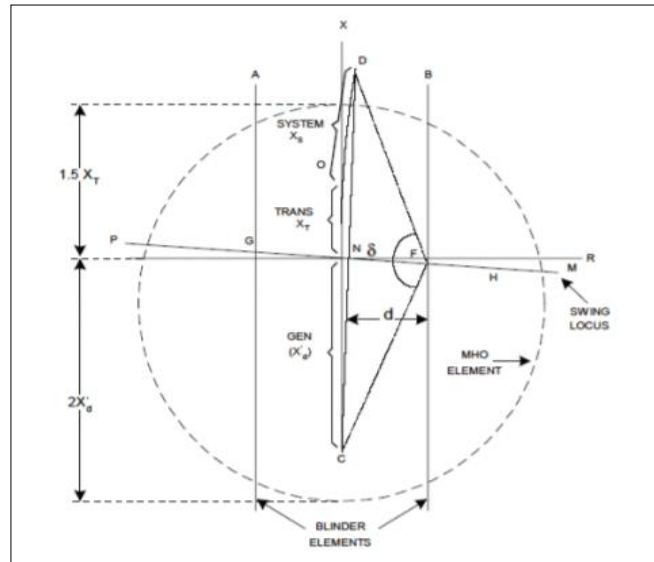


Figura 28 Curva de protección de paso (Toshiba, 2012)

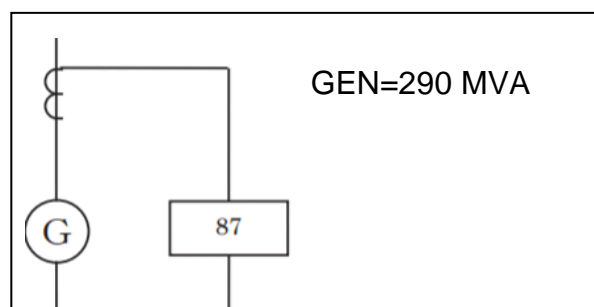
## (87) Función de protección diferencial

El ajuste del “pick up” recomendado para el elemento diferencial (cuando se tengan TC's idénticos en ambos lados del arreglo diferencial y con error máximo de 10 al 20 % veces su corriente nominal) debe ser de 15 % de la corriente nominal del generador vista en el secundario del TC, con un mínimo de 0.3 A.

En caso de que se tengan errores significativos por diferencias en TC, “burden” y en la exactitud de la protección, entre otras, se debe utilizar un ajuste mayor de “pick up” que considere la suma de todos los errores existentes, que debe ser como máximo de 25 % de la corriente nominal del generador vista en el secundario del TC.

Con relación a la pendiente, el ajuste recomendado es de 25 % para la pendiente 1 y del 100 % para la pendiente 2. La pendiente 2 debe iniciar entre 2 y 3 veces la corriente nominal secundaria de restricción del generador.

Propósito: Protección de fallo interno del generador, en la figura 5.21 observaremos un diagrama unifilar de la protección para su mejor entendimiento.



## Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

---

18 Kv

60 Hz

TC = 12,000 / 5 A

Figura 29 Diagrama unifilar "Función protección diferencial" (*Toshiba, 2012*)

Esta protección se encuentra contemplada en la protección diferencial de transformador de auxiliares.

## CAPÍTULO 6

## CAPÍTULO 6. PROCEDIMIENTO DE PUESTA EN SERVICIO DE RELEVADORES DE PROTECCIÓN DEL GENERADOR

### Ajustes generales

Con el software del relevador SEL-300G, acceder a los ajustes iniciales del relevador y parametrizarlo de acuerdo al cálculo de ajustes de las protecciones del generador.

#### (27P) Función de bajo voltaje

Acceder al relevador y configurar los ajustes de la figura 6.1.

Relevador SEL- 300G.

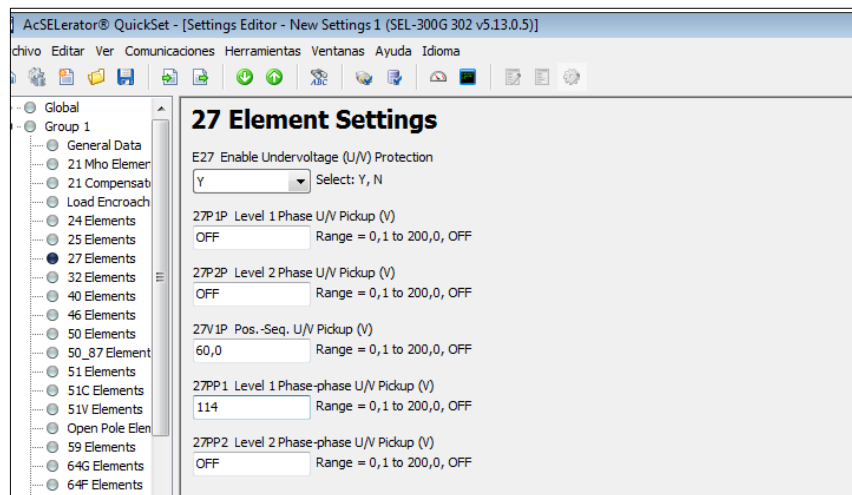


Figura 30 Configuración del SEL 300 G "27P"

Probar con las siguientes configuraciones y los ajustes de las tablas 6.1, 6.2 y 6.3 para su correcta prueba :

- Configurar V1 y desde el valor normal realizar una rampa descendente de voltaje hasta el valor esperado.
- Para esta prueba se deberá tener las siguientes condiciones:  
Que la función 21, 27TN, 32, 40 y 78 no este operada, que el interruptor de máquina se encuentre cerrado y revisar la salida de

# Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

---

esta función.

Tabla 6.1  
Tiempo de operación "27P"

Múltiplo de TAP	Inyección [F-T]	Fase AB	Fase BC	Fase CA	3P
		Tiempo Real (s)	Tiempo Real (s)	Tiempo Real (s)	Tiempo Real (s)
0.9	59.23 V				
0.8	52.65 V				
0.7	46.00 V				
0.6	39.50 V				

Tabla 2 Prueba de bloqueo "27P"

Bloqueo	Inyección [F-T] (V)	Fase AB	Fase BC	Fase CA
		Tiempo Real (s)	Tiempo Real (s)	Tiempo Real (s)
	59.23			

T

Prueba	Teórico (V)	Fase AB	Fase BC	Fase CA
		Real (V)	Real (V)	Real (V)
Pick Up	114 V			
Drop Out	116.28 V			

Prueba de Pick Up y Drop Out "27P"

## (27TN) Función de falla a tierra estátor (64G2)

Acceder al relevador y configurar los ajustes de la figura 6.2.

Relevador SEL-300G.

# Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

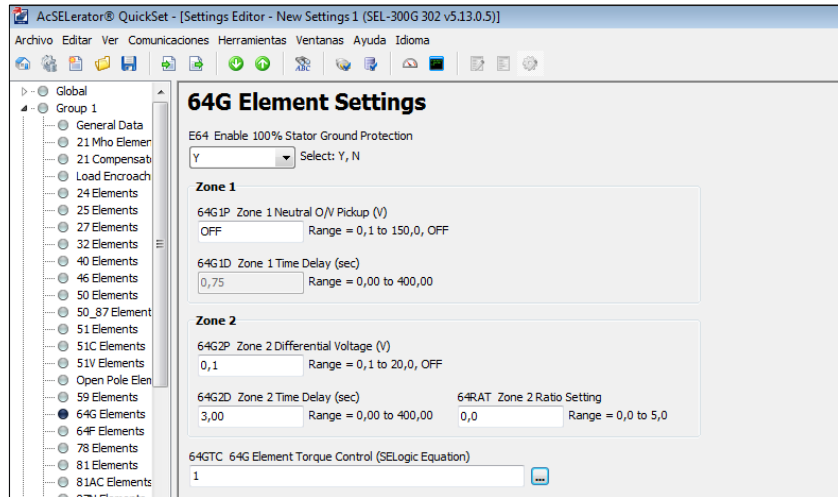


Figura 31 Configuración del SEL 300 G "27TN"

Probar con los ajustes de las tablas 6.4 y 6.5.

Tabla 4 Tiempo de operación a 60 Hz "27TN"

TAP	Tensión 3 $\emptyset$ [Vf-f] (V)	Corriente 3 $\emptyset$ A	Potencia 3 $\emptyset$ Esperada (W)	Tiempo Esperado [s]	Tiempo Real (s)
11.5	120	10	8100	< 50ms	
22	144	22.5	10 800	< 50ms	
2.5	180	25	13 500	< 50ms	

Tabla 5 Prueba de Pick up y Drop Out "27TN"

Prueba	Teórico [W]	3 $\emptyset$
		Real ( W )
Pick Up	5400	
Drop Out	5292	

## (59P) Función de sobre voltaje

Acceder al relevador y configurar los ajustes de la figura 6.3.

Relevador SEL-300G.

# Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

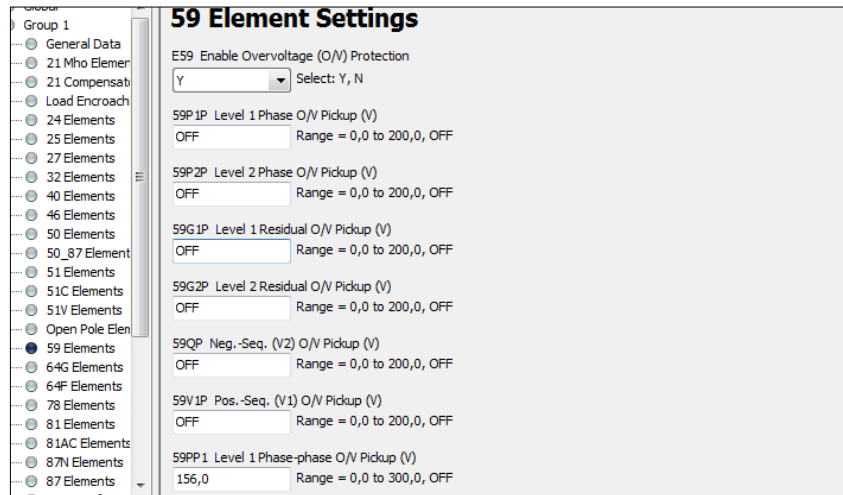


Figura 32 Configuración del SEL 300 G "59P"

Probar con la siguiente configuración y los ajustes de las tablas 6.6 y 6.7 para su correcta prueba:

- Configurar V1.
- Desde el Valor normal realizar una rampa descendente de voltaje hasta el valor esperado.

Tabla 6 Tiempo de operación "59P"

Múltiplo de TAP	Inyección [F-T] (V)	Fase AB	Fase BC	Fase CA	3P
		Tiempo Real (s)	Tiempo Real (s)	Tiempo Real (s)	Tiempo Real (s)
1.5	110.15				
1.4	102.81				
1.3	95.47				
1.2	88.12				

Tabla 7 Prueba de Pick up y Drop Out "59P"

Prueba	Teórico (V)	Fase AB	Fase BC	Fase CA
		Real (V)	Real (V)	Real (V)
Pick Up	127.2 V			
Drop Out	123.38 V			

## (81U) Función de Baja Frecuencia

Probar con las siguientes configuraciones:

## Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

---

- Desde el valor nominal realizar una rampa ascendente de frecuencia hasta el valor esperado.
- Para realizar esta prueba deberá tener las siguiente condición:
- Que la función 24 y 27TN estén bloqueadas.

Probar con los ajustes de las tablas 6.8,6.9 y 6.10.

Tabla 8 Tiempo de operación "81U"

Inyección Tensión (V)			Inyección Corriente (A)			Tiempo de operación teórico	Tiempo de operación real (s)
Vag	Vbg	Vcg	Ia	Ib	Ic		
69.30∠0°	69.30∠-120°	69.30∠120°	0.5∠0°	0.5∠-120°	0.5∠120°	20.00 s	
54 Hz			54 Hz				

Tabla 9 Prueba de bloqueo "81U"

Inyección Tensión (V)			Inyección Corriente (A)			Bloqueo	Tiempo de operación real (s)
Vag	Vbg	Vcg	Ia	Ib	Ic		
69.30∠0°	69.30∠-120°	69.30∠120°	0.5∠0°	0.5∠-120°	0.5∠120°	60 FL	
						52cerr.	
54 Hz			54 Hz			52abier.	

Tabla 10 Tiempo de operación y prueba "81U"

Prueba	Teórico (Hz)	Trifásico
		Real (Hz)
Pick Up	56.4	
Drop Out	56.43	

### (81O) Función de Sobre Frecuencia

Acceder al relevador y configurar los ajustes de la figura 6.4.

Relevador SEL-300G.

# Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

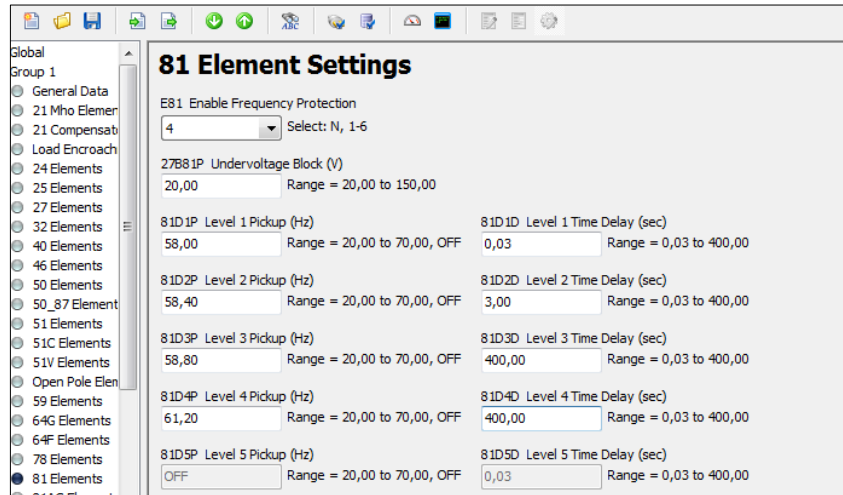


Figura 6.4 Configuración del SEL 300 G "81O"

Probar con la siguiente configuración y con los ajustes de las tablas 6.11, 6.12 y 6.13:

- Desde el valor nominal realizar una rampa ascendente de frecuencia hasta el valor esperado y la función 24 este bloqueada.

Tabla 11 Tiempo de operación "81O "

Inyección Tensión (V)			Inyección Corriente (A)			Tiempo de operación teórico (s)	Tiempo de operación real (s)
Vag	Vbg	Vcg	Ia	Ib	Ic		
69.30∠0°	69.30∠-120°	69.30∠120°	0.5∠0°	0.5∠-120°	0.5∠120°	600	
63 Hz			63 Hz				

Tabla 12 Prueba de bloqueo "81O"

Inyección Tensión (V)			Inyección Corriente (A)			Tiempo de operación teórico (s)	Tiempo de operación real (s)
Vag	Vbg	Vcg	Ia	Ib	Ic		
69.30∠0°	69.30∠-120°	69.30∠120°	0.5∠0°	0.5∠-120°	0.5∠120°	A1040 / A0040	
63 Hz			63 Hz				

Tabla 13 Prueba de Pick up y Drop Out "81O"

	Teórico (Hz)	Trifásico

# Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

Prueba		Real (Hz)
Pick Up	61.3	
Drop Out	61.27	

## (24) Sobre Excitación Alta Relación V / Hz

Acceder al relevador y configurar los ajustes de la figura 6.5.

Relevador SEL-300G.

The screenshot shows the configuration interface for a SEL-300G relay. On the left is a tree view of protection elements, with '24 Elements' selected. The main area is divided into 'Level 1' and 'Level 2' settings.

**Level 1 Settings:**

- 24D1P Level 1 Volts/Hertz Pickup (%): 105 (Range = 100 to 200)
- 24D1D Level 1 Time Delay (sec): 2,00 (Range = 0,00 to 400,00)

**Level 2 Settings:**

- 24CCS Level 2 Composite Curve Shape: ID (Select: OFF, DD, ID, I)
- 24IP Level 2 Inverse-time Pickup (%): 106 (Range = 100 to 200)
- 24IC Level 2 Inverse-time Curve: 1.0 (Select: "0.5, 1.0, 2.0")
- 24ITD Level 2 Inverse-time Factor (sec): 1,5 (Range = 0,1 to 10,0)
- 24D2P1 Level 2 Pickup One (%): 175 (Range = 100 to 200)
- 24D2D1 Level 2 Time Delay One (sec): 3,00 (Range = 0,00 to 400,00)
- 24D2P2 Level 2 Pickup Two (%): 118 (Range = 101 to 200)
- 24D2D2 Level 2 Time Delay Two (sec): 2,00 (Range = 0,00 to 400,00)
- 24CR Level 2 Reset Time (sec): 60 (Range = 0,00 to 400,00)

Figura 33 Configuración del SEL 300 G "24"

Probar con las siguientes configuraciones y con los ajustes de las tablas 6.14, 6.15, 6.16 y 6.17:

- Bloquear funciones 27, 27TN, 32, 81 y 59.
- Para poder probar los tiempos de operación de esta función se debera deshabilitar la característica térmica cambiando durante la prueba el ajuste del tiempo de enfriamiento.
- Configuración V1.
- En la operación de esta protección, se hacen variaciones de frecuencia hasta el punto en que la relación V/Hz alcance el valor permisible (106%); después, el valor de alarma y posteriormente los valores de disparo.

Tabla 14  
operación "24"

Tiempo de

Múltiplo de TAP	Inyección	Tiempo	Tiempo Real
-----------------	-----------	--------	-------------

## Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

---

	[F-T] (V)	Teórico (s)	(s)
Fase A			
1.5	$V_a = 114.3 \angle 0^\circ$ $V_b = 69.3 \angle -120^\circ$ $V_c = 69.3 \angle 120^\circ$	1.60 s	
1.45	$V_a = 114.3 \angle 0^\circ$ $V_b = 69.3 \angle -120^\circ$ $V_c = 69.3 \angle 120^\circ$	1.810 s	
1.4	$V_a = 114.3 \angle 0^\circ$ $V_b = 69.3 \angle -120^\circ$ $V_c = 69.3 \angle 120^\circ$	2.08 s	
1.35	$V_a = 114.3 \angle 0^\circ$ $V_b = 69.3 \angle -120^\circ$ $V_c = 69.3 \angle 120^\circ$	2.430 s	
1.3	$V_a = 114.3 \angle 0^\circ$ $V_b = 69.3 \angle -120^\circ$ $V_c = 69.3 \angle 120^\circ$	2.890 s	
1.25	$V_a = 114.3 \angle 0^\circ$ $V_b = 69.3 \angle -120^\circ$ $V_c = 69.3 \angle 120^\circ$	3.550 s	
1.2	$V_a = 114.3 \angle 0^\circ$ $V_b = 69.3 \angle -120^\circ$ $V_c = 69.3 \angle 120^\circ$	4.54 s	

Tabla 15 Prueba de Pick Up y Drop Out de tensión "24"

Prueba	Teórico (V)	Fase AB	Fase BC	Fase CA
		Real (V)	Real (V)	Real (V)
Pick Up	76.23			
Drop Out	73.94			

Tabla 16 Prueba de Pick Up y Drop Out frecuencia "24"

Prueba	Teórico (Hz)	Trifásico
		Real (Hz)
Pick Up	54.54	
Drop Out	55.63	

# Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

Tabla 17 Tiempo de Reset "24"

Múltiplo de TAP	Tiempo teórico (S)	Tiempo real Fase A (s)	Tiempo real 3P (s)
1.2	600		

## (60FL) Función de Desbalance de Tensión

Acceder al relevador y configurar los ajustes de la figura 6.1.

Relevador SEL-300G.

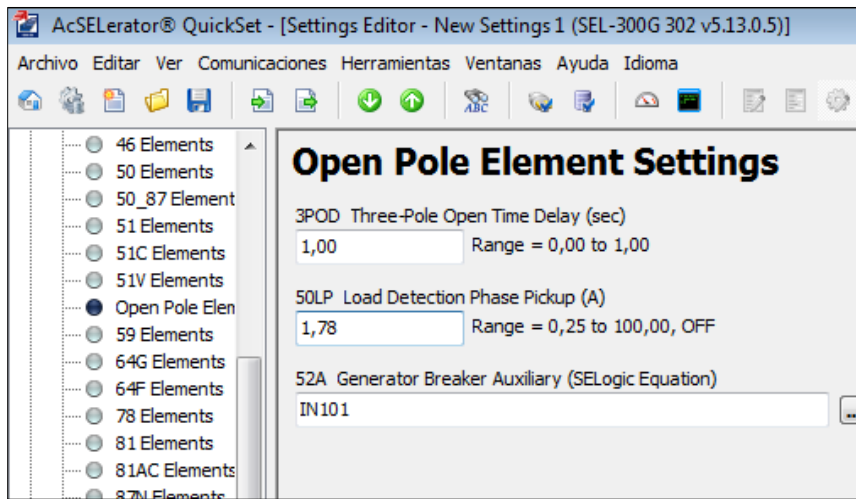
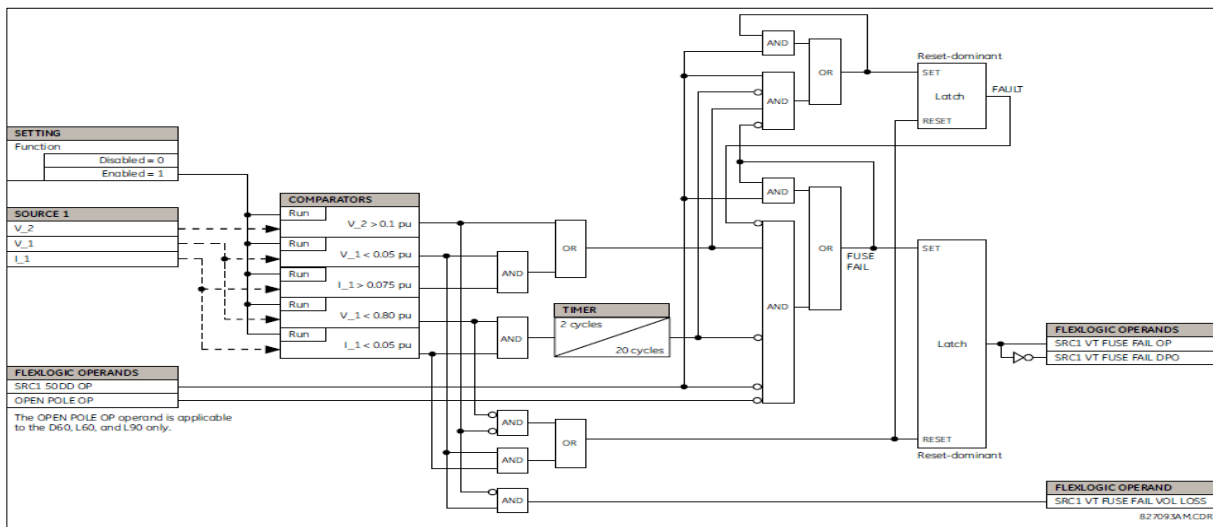


Figura 34 Configuración del SEL 300 G "60"

## Falla de Fusible



# Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

Figura 35 Lógica de la protección "60"

Probar con las siguientes configuraciones y con los ajustes de la tabla 6.18:

- Configuración V1.
- Aplicar valores de tensión trifásica.
- Quitar la tensión de una de las fases para hacer operar la protección.

**Nota General:** El bloqueo de las funciones (21, 32,40 y 78) actúan de acuerdo a la lógica de operación de la función 60.

Tabla 18 Prueba de tiempo de operación "60FL"

Inyección Tensión (V)			Inyección Corriente (A)			Función 60
Vag	Vag	Vbg	Ia	Ib	Ic	Tiempo Real (s)
0∠0°	50∠-120°	50∠120°	∠0°	1∠120°	1∠120°	

## (32) Función de Potencia Inversa

Acceder al relevador y configurar los ajustes de la figura 6.8.

Relevador SEL-300G.

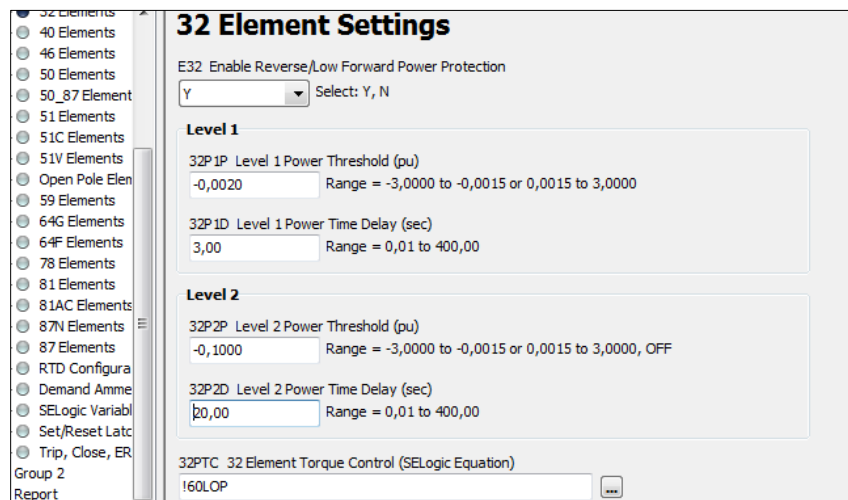


Figura 36 Configuración del SEL 300 G "32"

# Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

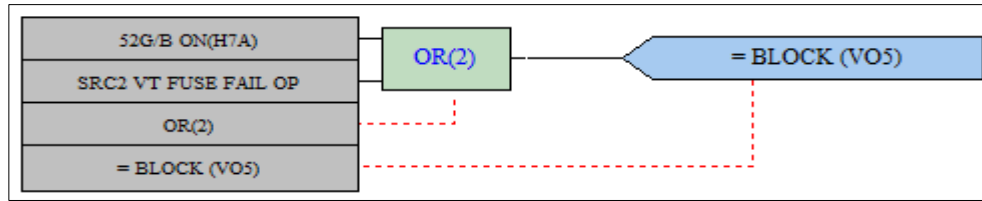


Figura 37 Lógica de la protección "32"

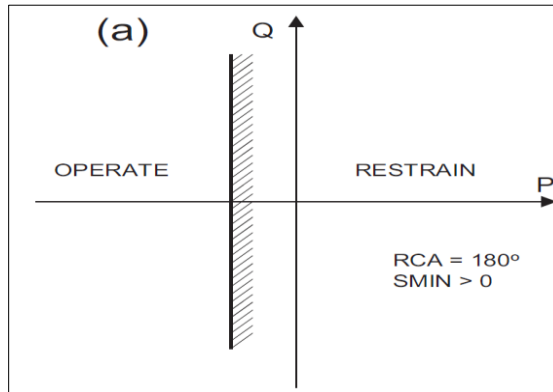


Figura 38 Gráfica de operación de la protección de la función de potencia inversa

Probar con las siguientes configuraciones al igual que la logica de la figura 6.9 y su grafica de la figura 6.10, con los ajustes de las tablas 6.19 y 6.20:

- Bloquear las funciones 50/27 y 87.
- Configuración de V1 con C1.
- Aplicar una tensión y una corriente trifasica defasada 180° la corriente con respecto a la tensión.
- Inyectar una corriente menor, realizando una rampa ascendente hasta llegar y pasar el valor pick up teorico igual a 0.002 pu esperando el tiempo de retraso de 2 s.

Tabla 19 Tiempo de operación "32"

Múltiplo de TAP	Potencia [MW]	Inyección		3P
		Tensión 3 [Vf-f] (V)	Corriente 3 (A)	Tiempo Real (s)
50	29	120	0.387	
60	34.8	120	0.465	
70	40.6	120	0.542	

# Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

Tabla 20 Prueba de Pick Up y Drop Out "32"

Prueba	Teórico (MW)	Trifásico
		Real (W)
Pick Up	0.58	
Drop Out	0.58	

## (50-27) Función Energización Inadvertida

Acceder al relevador y configurar los ajustes de la figura 6.11.

Relevador SEL-300G.

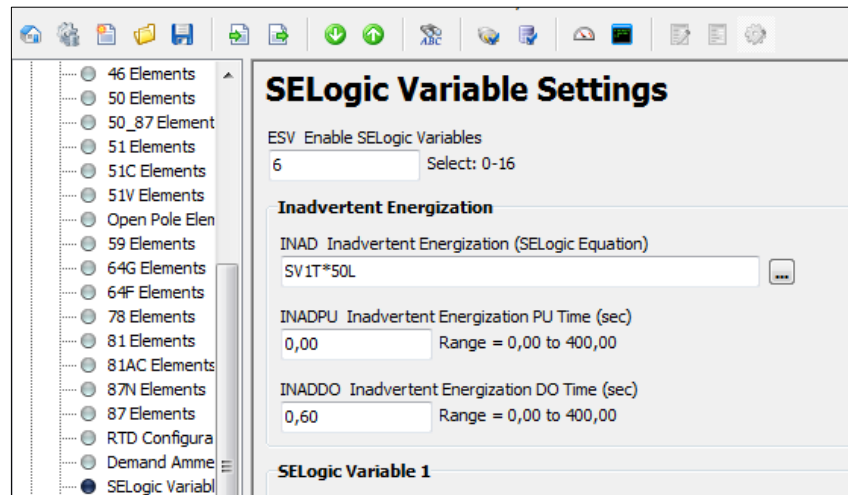


Figura 39 Configuración del SEL 300 G "50/27"

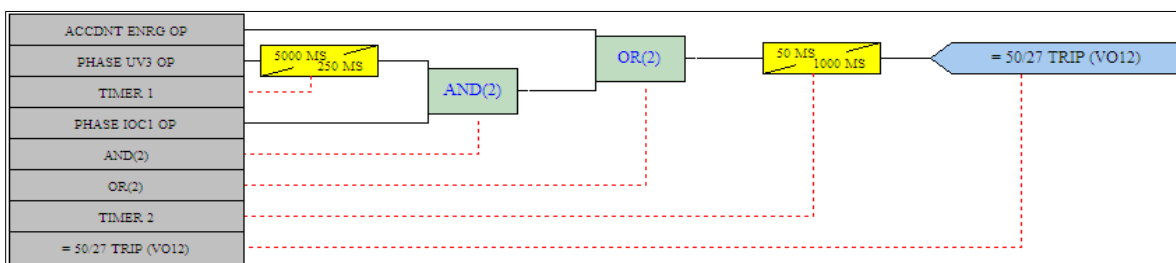


Figura 40 Lógica de la protección "50/27"

Probar con las siguientes configuraciones y con los ajustes de la tabla 6.21:

- La protecciones operadas inyectando valores de tensión y corriente trifásicos en la que la tensión por ajuste debe de ser menor a los 0.5

# Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

pu y la corriente debe pasar el ajuste de pick up de 0.78 pu.

- Probar los tiempos de operación del pick up, drop up y disparo.

Tabla 21 Tiempo de operación "50-27"

## (46) Función de Desbalance de Secuencia Negativa

Acceder al relevador y configurar los ajustes de la figura 6.13.

Relevador SEL-300G.

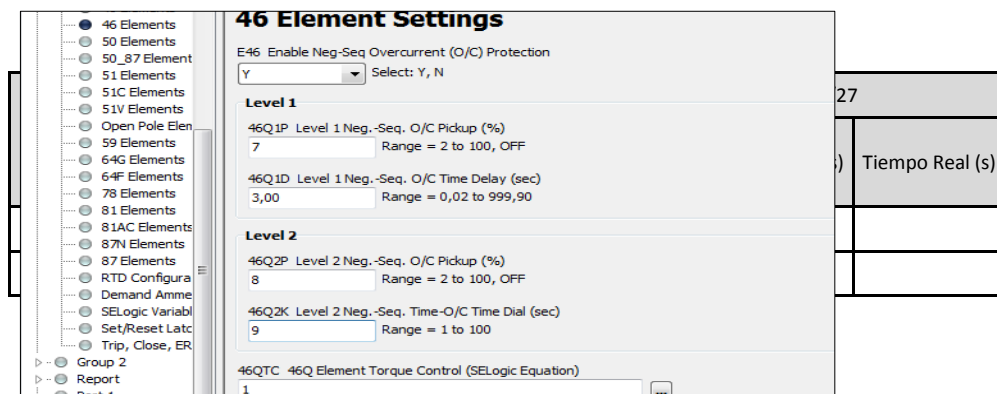


Figura 41 Configuración del SEL 300 G "46"

Probar con las siguientes configuraciones y con los ajustes de las tablas 6.22 y 6.23:

- Bloquear la función 50/27.
- Los tiempos de operación se verifican con el ajuste de tiempo para enfriamiento 3 s.
- Configuración V1 con C1 modificada.
- Aplicar una corriente trifásica según la configuración C1 con un cambio entre las fases B y C, se realizará una inyección trifásica de corriente aumentando desde un valor menor al pick up.
- Realizar pruebas de tiempos de operación.

# Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

- En la figura 6.14 podremos observar la lógica de protección.

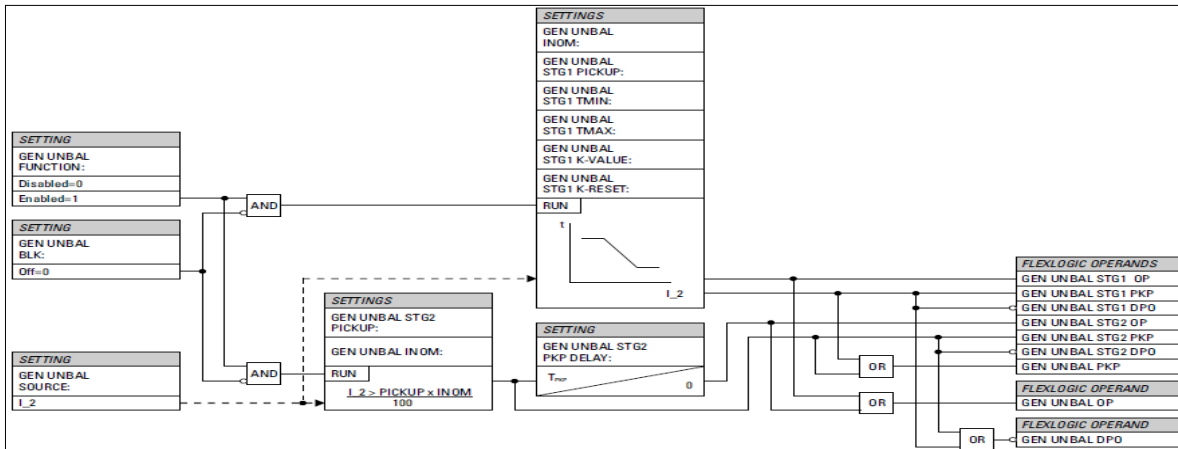


Figura 42 Lógica de la protección "46"

Tabla 22 Tiempo de operación "46"

Falla	Inyección Corriente (A)			Tiempo Teórico (s)	Tiempo Real (s)
	I <sub>a</sub>	I <sub>b</sub>	I <sub>c</sub>		
1	2∠-120°	2∠-120°	2∠-120°	21.64	
2	4∠-120°	4∠-120°	4∠-120°	5.41	
3	6∠-120°	6∠-120°	6∠-120°	2.4	
4	8∠-120°	8∠-120°	8∠-120°	1.35	
5	10∠-120°	10∠-120°	10∠-120°	0.865	
6	12∠-120°	12∠-120°	12∠-120°	0.601	
7	14∠-120°	14∠-120°	14∠-120°	0.441	

Tabla 23 Prueba de Pick

Up y Drop Out "46"

Prueba	Teórico (A)	Trifásico
		Real (A)
Pick Up	0.2632	
Drop Out	0.2553	

## (40) Función de Pérdida de Excitación

Acceder al relevador y configurar los ajustes de la figura 6.15.

Relevador SEL-300G.

# Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado



Figura 43 Configuración del SEL 300 G "40"

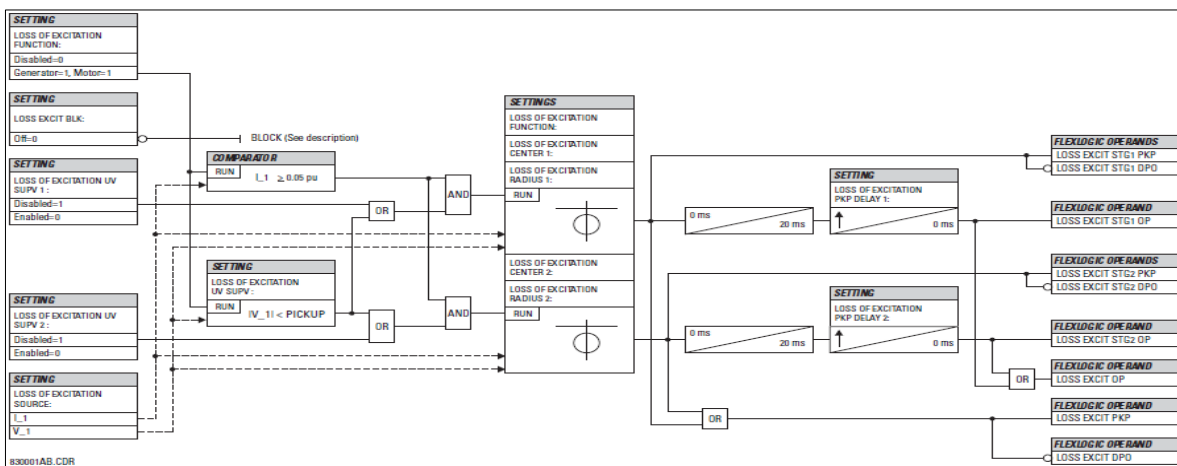


Figura 44 Lógica de la protección "40"

Probar con las siguientes configuraciones y con los ajustes de las tablas 6.24 y 6.25:

- Configurar V1 con C1.
- Realizar inyección de tensión y corriente trifásica. El ángulo de fase de la corriente adelantada  $90^\circ$  con respecto a la tensión. La magnitud de la corriente se debe de incrementar en las tres fases hasta alcanzar el valor de Pick Up para que el relevador dispare por función 40. Los valores de corriente y tensión, se designarán de acuerdo a la capacidad del equipo.

## Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

---

- Probar la característica 1.
- Probar la característica 2.
- Esta función es bloqueada por la función 60 por lo que se deberá realizar la función lógica de operación con y sin operación de la función 60. Así como la prueba con interruptor abierto. Apoyarse con la lógica de la figura 6.16.

Tabla 24 Tiempo de operación "40"

Falla	Inyección tensión (V)			Inyección Corriente (A)			Tiempo teórico (s)	Tiempo Real (s)
	Vag	Vbg	Vcg	Ia	Ib	Ic		
1	35.05∠0°	35.05∠-120°	35.05∠120°	5∠90°	5∠-30°	5∠210°	0.06	
2	61.40∠0°	61.40∠-120°	61.40∠120°	5∠90°	5∠-30°	5∠210°	0.06	
3	87.75∠0°	87.75∠-120°	87.75∠120°	5∠90°	5∠-30°	5∠210°	0.06	

Tabla 25 Prueba de bloqueo "40"

Falla	Inyección tensión (V)			Inyección Corriente (A)			Bloqueo	Tiempo real (s)
	Vag	Vbg	Vcg	Ia	Ib	Ic		
1	35.05∠0°	35.05∠-120°	35.05∠120°	5∠90°	5∠-30°	5∠210°		
2	61.40∠0°	61.40∠-120°	61.40∠120°	5∠90°	5∠-30°	5∠210°		
3	87.75∠0°	87.75∠-120°	87.75∠120°	5∠90°	5∠-30°	5∠210°		

### (21) Función de Protección de Distancia

Acceder al relevador y configurar los ajustes de la figura 6.17.

Relevador SEL-300G.

# Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

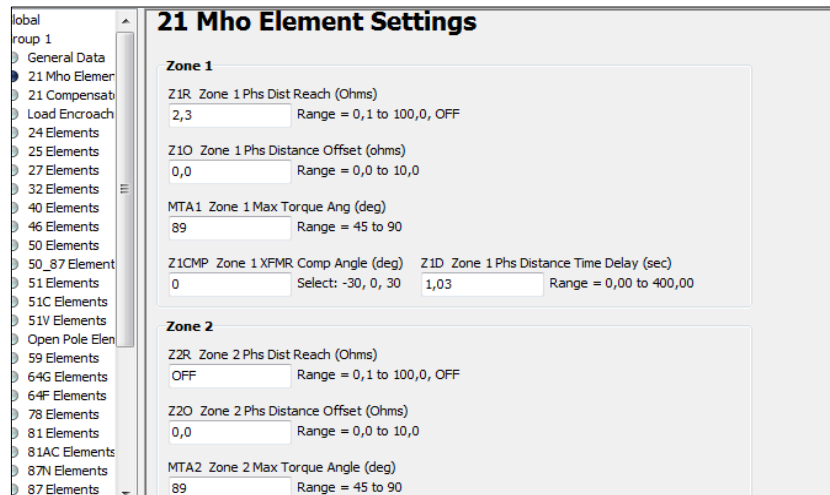


Figura 45 Configuración del SEL 300 G "21"

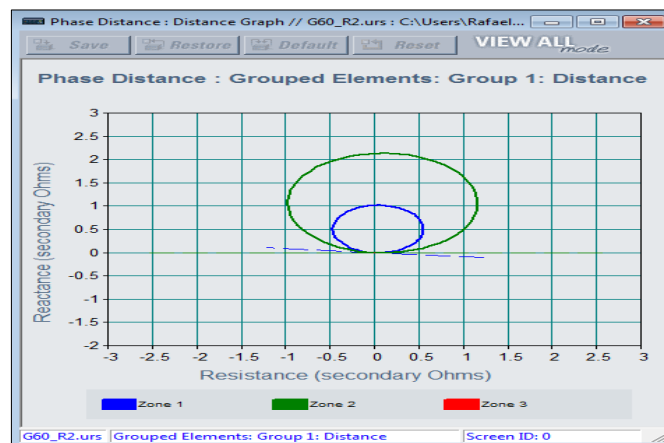


Figura 46 Curva característica tipo MHO de dos zonas

Podemos observar en la figura 6.18 la curva MHO para la protección del sistema.

Probar con las siguientes configuraciones:

- Se utilizará la configuración de V1 con C1.
- Se aplicaran valores de tensión y corriente, simulando fallas trifásicas, bifásicas y monofásicas, verificando principalmente los alcances de zona para  $0^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $90^\circ$  y  $270^\circ$ , y los tiempos de operación, esta prueba se realizará con una corriente de prueba constante de 10 amperes.
- Para esta prueba se deberá cumplir que la protección 60 no esté

## Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

---

operada, por lo que se deberá realizar con ambas condiciones.

- Probar las zonas 1 y 2.
- En la tabla 6.26 las fallas serán al 60% del alcance total.

Tabla 26 Prueba de alcance total de distancia "21"

Fase	$Z_{Falla} (\Omega)$	Inyección		Falla AB	
		Tensión (V)	Corriente (A)	Tiempo Teó (ms)	Tiempo Real (s)
A	1.224∠85°	39.87∠51.17°	10∠-145°	100	
B		39.87∠68.83°	10∠95°	100	
C		50∠60°	0	100	
Fase	$Z_{Falla} (\Omega)$	Inyección		Falla BC	
		Tensión (V)	Corriente (A)	Tiempo Teó (ms)	Tiempo Real (s)
A	1.224∠85°	50∠60°	0	100	
B		39.87∠51.17°	10∠-145°	100	
C		39.87∠68.83°	10∠95°	100	
Fase	$Z_{Falla} (\Omega)$	Inyección		Falla CA	
		Tensión (V)	Corriente (A)	Tiempo Teó (ms)	Tiempo Real (s)
A	1.224∠85°	39.87∠68.83°	10∠95°	100	
B		50∠60°	0	100	
C		39.87∠51.17°	10∠-145°	100	

### (59N) Función Máxima Potencia Homopolar

Acceder al relevador y configurar los ajustes de la figura 6.19.

Relevador SEL-300G.

# Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

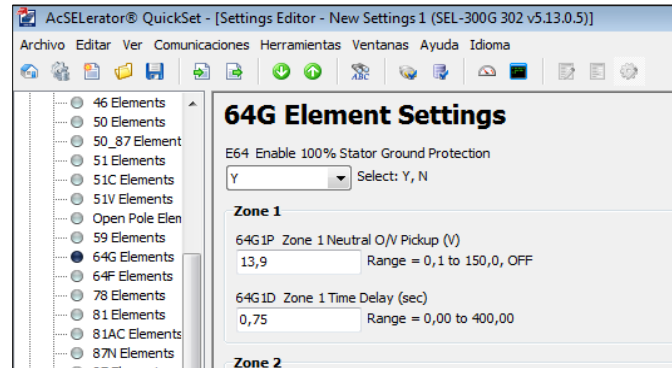


Figura 47 Configuración del SEL 300 G "59N"

- Probar con la siguiente configuración y con los ajustes de las tablas 6.27 y 6.28:
- Se deberá aplicar tensión en el neutro VN e incrementar el valor hasta el ajuste Pick Up.

Tabla 27 Tiempo de operación "59N"

Múltiplo de TAP	Inyección [F-T] (V)	Tensión Vn
		Tiempo Real (s)
1.5	7.56	
1.4	7.05	
1.3	6.55	
1.2	6.04	

Tabla 28 Pruebas de Pick Up y Drop Out "59N"

Prueba	Teórico	Tensión Vn
		Real
Pick Up	5.04 V	
Drop Out	4.88 V	

## 78) Función vector de fase

Acceder al relevador y configurar los ajustes de la figura 6.20.

Relevador SEL-300G.

# Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

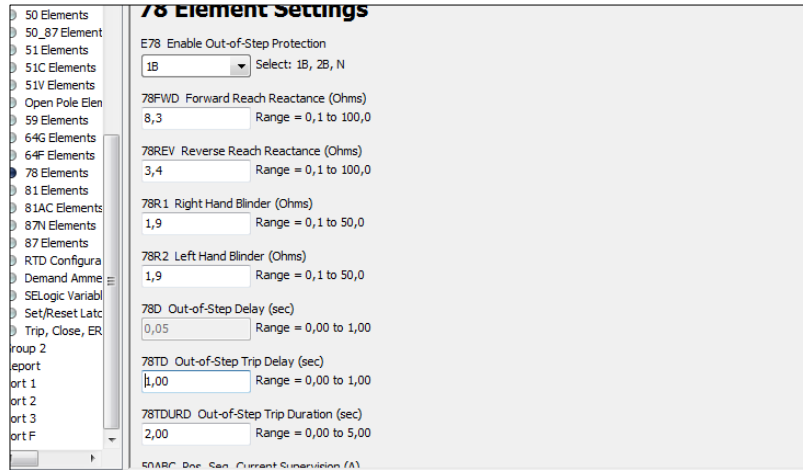


Figura 48 Configuración del SEL 300 G "78"

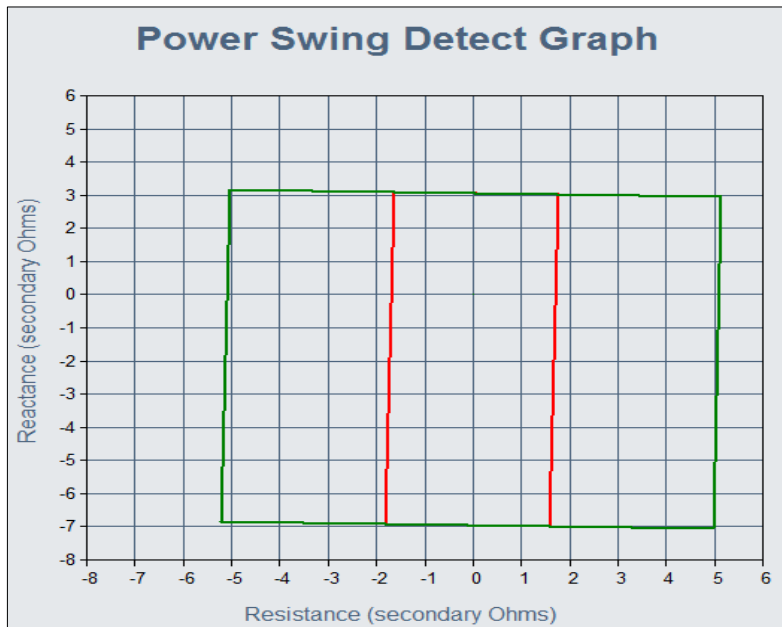


Figura 49 Gráfica de detección de oscilación de potencia

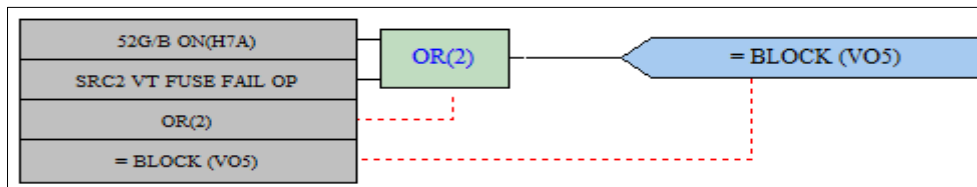


Figura 6.22 Lógica de la protección de bloqueo "78"

# Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

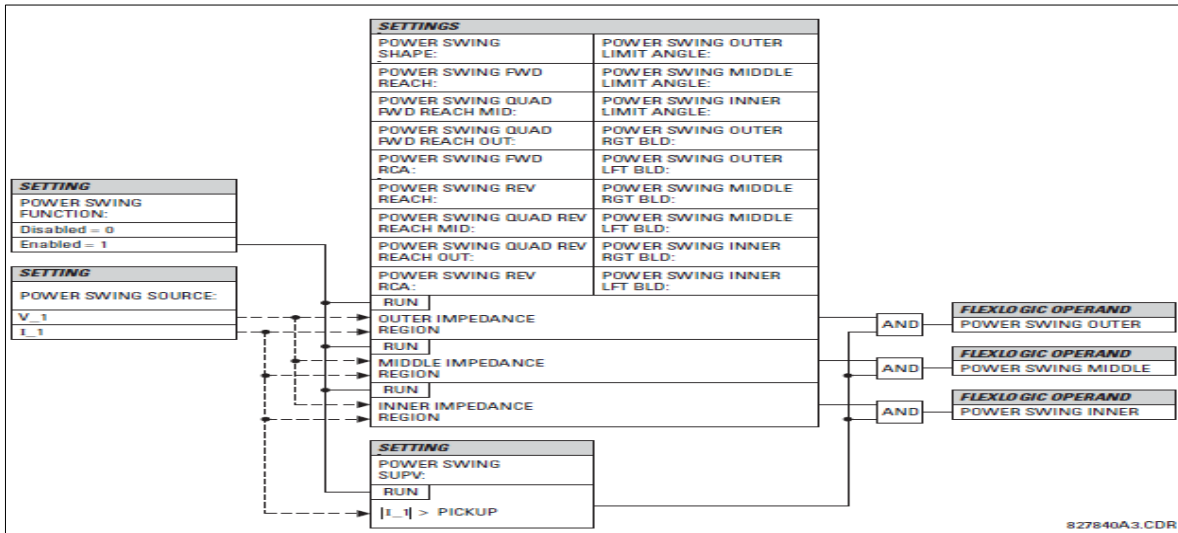


Figura 50 Lógica de protección "78"

En la figura 6.21 podremos analizar la detección de oscilaciones que el sistema nos arroja por medio de la reactancia y resistencia. Y en la figura 6.22, observaremos con mejor detalle la lógica de bloqueo y en la figura 6.23 la lógica de protección, la cual se usó para el funcionamiento de esta protección.

## (87G) Función Protección Diferencial

Acceder al relevador y configurar los ajustes de la figura 6.24.

Relevador SEL-300G.



Figura 51 Configuración del SEL 300 G "87G"

## Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

---

Probar con las siguientes configuraciones:

- Configurar V1 y las corrientes se aplicarán con las entradas de la corriente de la fase a del relevador.
- Inyectar valores de corriente por fase en ambos lados (Neutro y Línea) incrementar hasta llegar al valor Pick Up, se verificaran los tiempos de operación por fase, la pendiente y la estabilidad.
- Pruebas de arranque: realizar una rampa de corriente hasta alcanzar el calor de ajuste del relevador, realizar la prueba en las tres fases.
- Pruebas de tiempo de operación: aplicar corriente de operación al relevador y registrar los tiempos de operación.
- Prueba de estabilidad: inyectar corriente trifásica en el devanado uno y en el devanado dos, revisar la corriente de operación y deberá ser aproximadamente cero, el relevador no deberá operar.
- Pruebas de la pendiente devanado uno contra devanado dos: en base a los ajustes calcular la corriente trifásica a inyectar en el devanado uno y dos de tal forma que operé esta función. Comprobar que la respuesta de la pendiente es la misma que esta seleccionada en el relevador.

## CAPÍTULO 7

# Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

---

## Capítulo 7. CONCLUSIÓN

A través del desarrollo de esta tesina se puede concluir que los esquemas de protección digitales de un generador de potencia son de primordial importancia ante la ocurrencia de cualquier tipo de falla durante la operación del generador. Y por lo tanto es necesario probarlos de acuerdo a los procedimientos normalizados, para que se cumplan perfectamente el modo de ajuste y prueba.

Es importante calcular correctamente las protecciones de una turbina de vapor porque es el elemento fundamental para que una central generadora de ciclo combinado de turbina de gas y vapor, sea totalmente eficiente, ya que si estas no están correctamente calculadas, se puede ocasionar operaciones de relevadores sin ningún sentido, mal funcionamiento de los relevadores o peor aún, que la turbina se llegue a doblar. Normalmente el cambio o reparación de una turbina de vapor demanda una gran cantidad de inversión, y se puede prevenir la reparación haciendo las pruebas necesarias para comprobar su correcto funcionamiento. También se debe tener a la mano las lógicas de operación para saber cómo reaccionará la protección.

En las empresas que son generadoras eléctricas, normalmente tienen que aplicar procedimientos para unificar criterios en la realización de pruebas de protecciones en una puesta en servicio, al igual que deben de contar con diagramas unifilares y los correctos equipos para las pruebas correctas de las protecciones, para así poder evaluar los resultados con las normas, las cuales deben ser aceptadas con las normativas de mexicanas.

Actualmente el esquema de protección, así como las estrategias de prevención de fallas y el correcto cálculo de las protecciones de un ciclo combinado se están estudiando y diseñando con la finalidad de ser más exactas y confiables para contar con el menor porcentaje de error a la hora de calcular cada una de estas protecciones.

# Pruebas normalizadas a esquemas de protección de plantas de ciclo combinado

---

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CFE. (07 de 09 de 2011). Generador eléctrico de la turbina de gas y turbina de vapor C.C. 450 MW. Ixtapantongo.

G. Fink, D., & Wayne Beaty, H. (2012). *Manual de la ingeniería eléctrica*. Mc Graw Hill.

Harper, E. (2004). *El libro práctico de los generadores, transformadores y motores eléctricos*. Noriega Editores.

Heinz, P. (1998). *Guía práctica para la tecnología de las turbinas de vapor*. Interamericana editores.

J. Grainger, J., & William D., S. (1996). *Análisis de sistema de potencia*. Mc Graw Hill.

Procedimiento G0100-07 CFE. (mayo de 2011). Ajustes de las protecciones eléctricas de las unidades generadoras, transformadores de unidad e interruptores de potencia. México.

Russell Manson, C. (1955). *The art and science of protective relaying*. ge.

Sanz Feito, J. (2002). *Máquinas eléctricas*. Pentice Hall.

Toshiba. (2012). Steam turbine generator 250 MW recommender relay settings for GPR. CCC Centro Combined Cycle Project.

W. H., S., H. E., D., & J. C., M. (2010). *Energía mediante vapor, aire o gas*. Reverté.