



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**INSTRUCTIVO OPERATIVO DE ACTUACIÓN ANTE LA
ACTIVACIÓN DE LAS PROTECCIONES ELÉCTRICAS
EN UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA.**

Autor

Julián Estiben Mesa Calle

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería
Eléctrica.

Medellín, Colombia

2021



Instructivo Operativo de Actuación Ante la Activación de las Protecciones Eléctricas en
una Central Hidroeléctrica.

Julián Estiben Mesa Calle

Informe de práctica como requisito para optar al título de:
Ingeniero Electricista

Asesores:

Hervin Padilla Mayo

Profesional Gestión Técnica, Analítica Y Planeación

Walter Mauricio Villa Acevedo

Docente del Departamento Ingeniería Eléctrica

Línea de Investigación:

Protecciones eléctricas para centrales hidroeléctricas

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Eléctrica.

Medellín, Colombia

2021

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS.....	2
2.1. Objetivo general.....	2
2.2. Objetivos específicos	2
3. MARCO TEÓRICO	3
3.1. Puesta a tierra de un generador síncrono	3
3.2. Relé de protección	3
3.2.1. Funciones de protección.....	3
3.2.2. Esquemas de protección	3
3.3. Esquemas de disparo.....	4
3.3.1. Disparo simultaneo.....	4
3.3.2. Disparo del generador.....	4
3.3.3. Separación del generador.....	4
3.4. Matriz de disparos.....	4
4. FUNCIONES DE PROTECCIÓN EN UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA	6
4.1. Funciones de protección para el generador.....	6
4.1.1. Protección diferencial del generador (ANSI 87G)	6
4.1.2. Protección diferencial del grupo generador-transformador elevador (ANSI 87O)	7
4.1.3. Protección de sobreexcitación (ANSI 24)	8
4.1.4. Protección de potencia inversa (ANSI 32)	9
4.1.5. Protección de subexcitación (ANSI 40)	11
4.1.6. Protección de sobrecarga (ANSI 49).....	12
4.1.7. Protección de energización inadvertida (ANSI 50/27).....	13
4.1.8. Protección de falla interruptor (ANSI 50BF)	15
4.1.9. Protección de falla a tierra 95% estator (ANSI 59GN)	16
4.1.10. Protección de falla a tierra estator con tercer armónico (ANSI 27TH)	17
4.1.11. Protección de falla a tierra 100% estator (ANSI 64S).....	18
4.1.12. Protección de falla a tierra del rotor (ANSI 64F).....	19
4.1.13. Protección de pérdida de señal del transformador de tensión (ANSI 60FL)..	21
4.1.14. Protección de impedancia o distancia (ANSI 21).....	22

4.1.15.	Protección de baja tensión (ANSI 27)	23
4.1.16.	Protección de sobretensión (ANSI 59)	25
4.1.17.	Protección de secuencia negativa (ANSI 46)	26
4.1.18.	Protección de sobrecorriente restringida/controlada por tensión (ANSI 51V) 27	
4.1.19.	Protección de pérdida de sincronismo (ANSI 78)	29
4.1.20.	Protección sobre y baja frecuencia (ANSI 81)	30
4.2.	Funciones de protección para el transformador elevador	31
4.2.1.	Protección diferencial del transformador elevador (ANSI 87T)	31
4.2.2.	Protección sobrecorriente de fases (ANSI 51)	33
4.2.3.	Protección sobrecorriente de neutro (ANSI 51N)	34
4.2.4.	Protección sobrecorriente de tierra (ANSI 51G)	35
4.2.5.	Protección de sobrecarga (ANSI 49T).....	36
4.2.6.	Protección Buchholz del transformador (ANSI 63)	38
4.3.	Funciones de protección para la línea de conexión	39
4.3.1.	Protección diferencial de línea (ANSI 87L).....	39
4.3.2.	Protección sobrecorriente de fases (ANSI 51)	40
4.3.3.	Protección sobrecorriente de neutro (ANSI 51N)	41
5.	METODOLOGÍA.....	43
6.	RESULTADOS	44
7.	CONCLUSIONES.....	47
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

RESUMEN

El objeto de este proyecto es realizar un instructivo operativo general de actuación con el cual el personal de operación y mantenimiento de una central hidroeléctrica se podrá apoyar para atender rápidamente los eventos que involucran las protecciones eléctricas del generador, transformador de potencia y línea de conexión de la central hidroeléctrica. Mediante este instructivo se da una guía rápida de actuación al personal de operación y mantenimiento de la central podrá identificar de manera general las causas de fallas y las actividades de inspección para determinar los efectos en los diferentes equipos eléctricos de la central.

Esta guía proporciona herramientas para tomar decisiones rápidas y diagnosticar, o si es posible, restaurar ágilmente los equipos afectados. Además, proporciona lineamientos de actuación que pueden ser ampliados para diferentes centrales de generación, al considerar las particularidades de cada central, subestación o equipos eléctricos bajo estudio.

Palabras clave: Protecciones eléctricas, instructivo operativo, central hidráulica.

ABSTRACT

The purpose of this project is to carry out a general operating instructions for action with which the operation and maintenance personnel of a hydroelectric plant can be supported to quickly attend to events that involve the electrical protections of the generator, power transformer and connection line of the hydroelectric power station. Through this instruction manual, a quick guide to action is given to the plant's operation and maintenance personnel, they will be able to generally identify the causes of failures and the inspection activities to determine the effects on the different electrical equipment of the plant.

This guide provides tools to make quick decisions and diagnose, or if possible, nimbly restore affected computers. In addition, it provides guidelines for action that can be expanded for different generation plants, considering the particularities of each power plant, substation or electrical equipment under study.

Keywords: Electrical protections, operating instructions, hydraulic power station.

1. INTRODUCCIÓN

Las centrales de generación eléctrica podrían estar sujetas a fallas tanto internas como externas a la central, o simplemente estar bajo condiciones anormales de operación, las cuales serán detectadas y eventualmente despejadas por los relés de protección eléctrica que sean implementados en la central. La función de los relés de protección es interrumpir el servicio de cualquier equipo eléctrico de la central o sus dispositivos asociados cuando operen bajo alguna condición anormal que pueda causar daño o interferir la operación normal del sistema de potencia.

En el momento en que una función de protección se activa, los operadores del sistema eléctrico deben actuar rápidamente siguiendo una serie de pasos para determinar si es posible restablecer el servicio de la central de generación y el sistema de potencia, o de acuerdo con la función de protección activada, deberá restringirse completamente la operación de los equipos involucrados para evitar daños mayores y consecuencias negativas adicionales en la operación de otros equipos. Adicionalmente, en las centrales de generación están los equipos del sistema de potencia a los que más se le implementan diferentes tipos de funciones de protección y las causas por las cuales se activan son diversas. Todo lo anterior demuestra la importancia de una guía con instrucciones operativas ante la activación de una función de protección, lo cual es el objeto de este proyecto.

Para llevar a cabo la elaboración de este instructivo primero se desarrolla una exhaustiva investigación sobre los sistemas de protección que comprenden las centrales hidroeléctricas, luego se indaga las acciones que habitualmente practica el personal de operación y mantenimiento para atender los eventos que involucran sus protecciones eléctricas; con esta información es desarrollado el instructivo operativo.

Esta guía aplica al personal de operación y mantenimiento de una central hidroeléctrica, contiene acciones de inspección generales, sin embargo, las recomendaciones aquí planteadas pueden ser ampliadas y especificadas dependiendo de las particularidades de la central hidroeléctrica bajo estudio.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Realizar una guía de acción rápida ante la activación de las funciones de protección en los sistemas de protección eléctrica de una central hidroeléctrica.

2.2. Objetivos específicos

- Describir las funciones de protección más utilizados en los sistemas de protecciones eléctricas de una central hidroeléctrica.
- Desarrollar figuras de los diferentes esquemas de conexión de cada función de protección para brindar mayor comprensión y un documento más didáctico.
- Identificar las causas de fallas en una central hidroeléctrica y describir las actividades de inspección llevadas a cabo por el personal de operación y mantenimiento para determinar los efectos en los diferentes equipos eléctricos de la central.
- Realizar los instructivos operativos basados en estudios y análisis técnicos, además, apoyados por la experiencia del personal de operación y manteniendo de una central hidroeléctrica.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Puesta a tierra de un generador síncrono

El propósito de conectar a tierra un generador síncrono es reducir la corriente de falla a tierra a través del generador, limitar los esfuerzos mecánicos por fallas a tierra externas al generador, limitar las sobretensiones transitorias en el aislamiento del generador, así como proporcionar un medio para detectar las fallas a tierra en el generador [1]. Los métodos que generalmente son usados para conectar a tierra un generador síncrono son:

- Puesta a tierra de alta impedancia; alta resistencia o reactor inductivo sintonizado.
- Puesta a tierra de baja resistencia.
- Puesta a tierra de reactancia inductiva.

3.2. Relé de protección

La función del relé de protección es que, al detectar una falla o condición anormal de operación en alguno de los equipos eléctricos del sistema de potencia, el relé de protección del elemento fallado debe iniciar la acción apropiada del circuito de control, aislar la zona donde se ha producido la falla buscando minimizar la interrupción del servicio y prevenir daños de equipos eléctricos adyacentes [2].

3.2.1. Funciones de protección

Las funciones de protección son elementos o dispositivos de protección integrados en los relés de protección electrónicos basados en microprocesadores. Estas funciones de protección son denotadas por números establecidos en [3] para identificar las características de cada dispositivo instalado en el equipo eléctrico.

3.2.2. Esquemas de protección

Los esquemas de protección son diseños topológicos de conexión de los sistemas de protección eléctrica, los cuales varían en función de los elementos a proteger, de los requerimientos del sistema y de la aplicación en la que se implemente el sistema de protección [4].

3.3. Esquemas de disparo

Se describe los métodos que típicamente son usados para aislar un generador en una central hidroeléctrica cuando está bajo condiciones de operación anormales o fallas eléctricas [1].

3.3.1. Disparo simultaneo

Este esquema proporciona los medios más rápidos para aislar al generador. Este modo de disparo es usado para todas las fallas internas en el generador y anomalías severas en la zona de protección del generador. Se realizan las acciones de disparo al mismo tiempo de los interruptores del generador, el interruptor de campo, y el cierre de las válvulas de la turbina.

3.3.2. Disparo del generador

Este modo de aislamiento dispara los interruptores del generador y del campo. El esquema no cierra las válvulas de la turbina ya que puede ser utilizado donde sea posible corregir la anomalía ágilmente de tal modo que permita rápidamente de nuevo la conexión del generador al sistema de potencia. Las funciones de protección que aíslan al generador según este esquema de disparo son las protecciones contra disturbios en el sistema de potencia, en lugar de fallas/anormalidades internas en el generador.

3.3.3. Separación del generador

Este esquema inicia únicamente la apertura del interruptor del generador cuando se desea mantener las cargas de los servicios auxiliares de la unidad conectadas al generador. La ventaja de este esquema es que la unidad puede ser de nuevo conectada al sistema de potencia en el mínimo tiempo. Este modo de disparo requiere que la unidad sea capaz de operar con baja carga enseguida de un disparo con rechazo de plena carga.

3.4. Matriz de disparos

La matriz de disparos es la lógica de disparos que sigue cada función de protección dependiendo del esquema de protección y de disparos que se implemente en la central de generación. La tabla 1 muestra un ejemplo de matriz de disparos para un generador conectado al sistema de potencia en forma unitaria con un transformador elevador [1].

Tabla 1. Ejemplo de matriz de disparos para un generador conectado al sistema de potencia en forma unitaria.

Dispositivo	Disparo interruptor generador	Disparo interruptor del campo	Disparo de la turbina	Transferencia Sistemas Auxiliares	Solo alarma
87G	X	X	X	X	
87O	X	X	X	X	
24	X	Nota 1	X	X	
32	X	X	X	X	
40	X	X	X	X	
49					X
50/27	X	X	X	X	
59GN	X	X	X	X	
27TH	X	X	X	X	
64S	X	X	X	X	
64F	Nota 2	Nota 2			
60FL				X	
21	X	X	X	X	
27					X
59	Nota 3				X
46	X				
51V	X	X	X	X	
78	X				
81	X				
87T	X	X	X	X	
51	X	X	X	X	
51N	X	X	X	X	
51G	X	X	X	X	
49T					X
63	X	X	X	X	
87L	X				
51	X				
51N	X				

Nota 1. Si el generador está fuera de línea, dispara únicamente al interruptor de campo.

Nota 2. Puede ser conectado para disparar, por el fabricante del generador.

Nota 3. El dispositivo 59 puede ser conectado para disparo en unidades generadores hidráulicos.

Para tomar decisiones en caso de un disparo de esta función de protección se debe considerar si el disparo de esta protección se da bajo condiciones normales de operación, donde el generador debe permanecer fuera de servicio hasta determinar la causa raíz de la falla, o durante la sincronización luego de una actividad de mantenimiento, donde la posible causa de la falla sea por un error en la conexión de los circuitos secundarios de los transformadores de corriente de los extremos del generador. En cualquier caso, el personal de mantenimiento deberá verificar el estado del aislamiento del devanado del estator, del transformador de excitación y del barraje entre los bornes del generador y los transformadores de corriente.

4.1.2. Protección diferencial del grupo generador-transformador elevador (ANSI 87O)

La función de protección diferencial del grupo generador-transformador elevador es usada como protección de respaldo del generador para fallas de fase, extendiendo la zona de protección del esquema de relé diferencial del transformador elevador para incluir el generador, los cables de conexión y a menudo el transformador de los servicios auxiliares, como se muestra en la figura 2. Funciona bajo el mismo principio que la función de protección de diferencial del generador ANSI 87G [1].

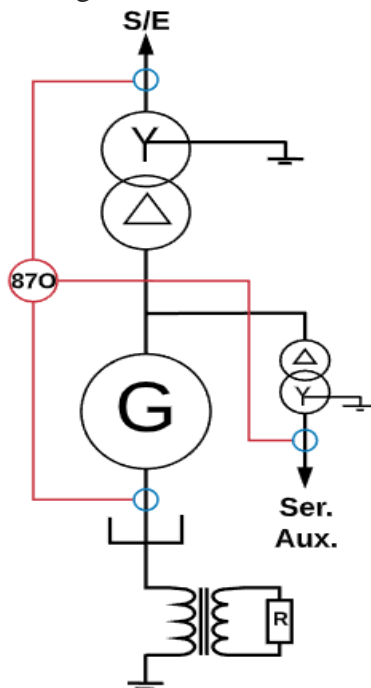


Figura 2. Esquema general de conexión para protección diferencial del grupo generador-transformador elevador.

Para realizar las acciones de inspección posterior a un disparo de esta función de protección se debe considerar sí el disparo ha sido durante el proceso de sincronización, especialmente en modo manual, en proceso de paro programado o bajo la operación manual del generador, donde el personal de mantenimiento debe comprobar sí la causa fue por errores operativos o por una falla en el regulador automático de tensión y de velocidad.

Sí previo al disparo se tenía el generador en condiciones normales de operación, el generador debe permanecer fuera de servicio hasta que el personal de mantenimiento examine:

- Posibles daños por esfuerzos térmicos en los núcleos y demás objetos metálicos no laminados del estator del generador y de los transformadores asociados.
- El aislamiento entre láminas del núcleo del estator.
- El regulador automático de tensión y de velocidad, verificando alarmas y su correcto funcionamiento.

Además, esta protección actúa ya sea por el no bloqueo de la protección ante la pérdida del fusible del circuito primario del transformador de tensión o el resultado de una mala conexión del transformador de tensión luego de una intervención por mantenimiento. En este caso revisar el circuito primario y conexiones del transformador de tensión.

4.1.4. Protección de potencia inversa (ANSI 32)

La función de protección de potencia inversa evita que el generador supere los límites de absorción de potencia activa cuando hay una reducción súbita o pérdida completa de la energía mecánica de entrada a la turbina. Estos límites corresponden principalmente a la turbina debido a que recibe un mayor esfuerzo mecánico bajo estas condiciones. Esta función de protección permite un tiempo máximo de motorización del generador en el instante exacto de la sincronización o cuando este bajo oscilaciones normales en el sistema de potencia. Esta protección detecta el flujo inverso de la potencia activa usando las señales medidas de tensión y corriente [1]. El esquema general de conexión para esta función de protección se muestra en la figura 4.

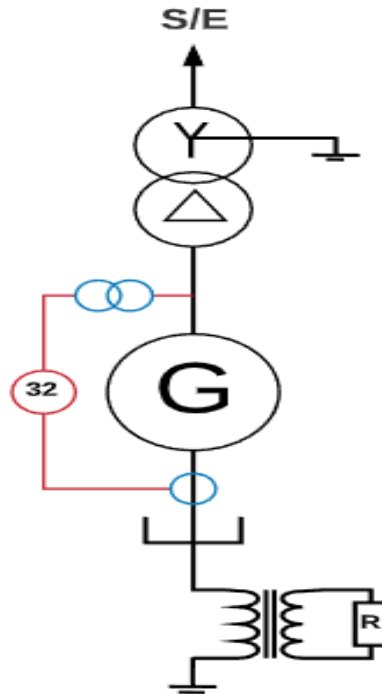


Figura 4. Esquema general de conexión para la protección de potencia inversa del generador.

Sí previo al disparo de esta función de protección el generador se encontraba bajo condiciones normales de operación, el generador no debe entrar en servicio hasta hallar la procedencia de la falla, esto debido a que es una posible falla en la turbina y haya podido sufrir daños por esfuerzos mecánicos. El personal de mantenimiento debe examinar:

- El regulador automático de velocidad; modos de control, sistema hidráulico.
- La correcta apertura y cierre de la válvula esférica de la turbina.
- Los álabes de la turbina.
- No haya restricción para el flujo de agua de entrada a la turbina.

Una causa probable de disparo es el cierre accidental del interruptor de generador y no se tenga primero la activación de la protección de energización inadvertida (ANSI 50/27). Además, en proceso de sincronización se produce un arranque normal de esta protección.

- Fallo en el sistema de excitación; transformador de excitación, elementos de rectificación, regulador automático de tensión o interruptor de campo.

En caso de que se identifique que la falla ha sido externa, el generador puede ser nuevamente sincronizado cuando las condiciones de operación en el sistema hayan sido restauradas, de lo contrario, este permanecerá fuera de servicio hasta que el personal de mantenimiento examine:

- El estado del aislamiento del devanado, las cuñas de las ranuras y anillos de retención del rotor.
- El circuito de autoexcitación del devanado de campo.
- El sistema de excitación general con sus dispositivos de control y protección.
- La configuración del regulador de tensión.
- Posibles malos contactos en escobillas.

4.1.6. Protección de sobrecarga (ANSI 49)

La función de protección de sobrecarga previene que el estator del generador este sujeto a un excesivo esfuerzo térmico, ocasionado ya sea por sobrecargas de larga duración o por fallas en el sistema de refrigeración. Sin embargo, en condiciones de emergencia se permite sobrepasar la capacidad térmica del devanado del estator del generador por un tiempo corto. La capacidad térmica del devanado está dada por el tiempo de sobrecarga al cual se encuentre expuesto. Una tendencia actual de funcionamiento de esta función de protección es mediante el cálculo de la elevación de temperatura del generador usando la mayor de las corrientes medidas en el generador, la constante de tiempo de calentamiento (τ) y la corriente máxima permitida de operación continua (factor k) del estator del generador. Se puede configurar etapas de alarma y disparo [1]. El esquema general de conexión para esta función de protección se muestra en la figura 6.

La mayoría de los generadores de gran capacidad tienen integrados sensores de temperatura para monitorear los devanados del estator. Estos sensores suelen ser detectores de temperatura por resistencia (RTD) y termocuplas que pueden ser conectados a un sistema de adquisición de datos con fines de registro, alarma, iniciar una acción correctiva

- El funcionamiento de los circuitos de control.
- La secuencia del control del interruptor del campo, interruptor de generador y cierre de la válvula esférica.

4.1.8. Protección de falla interruptor (ANSI 50BF)

La función de protección de falla interruptor actúa como respaldo al disparo de las demás funciones de protección al supervisar la apertura correcta del interruptor dentro de los tiempos establecidos, verificando la presencia de corriente en las tres fases del circuito asociado y la posición del contacto auxiliar del interruptor del generador. Si no se han cumplido las condiciones para determinar la apertura exitosa del interruptor del generador después del tiempo ajustado, ésta dispara los interruptores de los elementos del sistema de potencia que aportan corriente a la falla para así aislarla completamente [1]. El esquema general de conexión para esta función de protección se muestra en la figura 8.

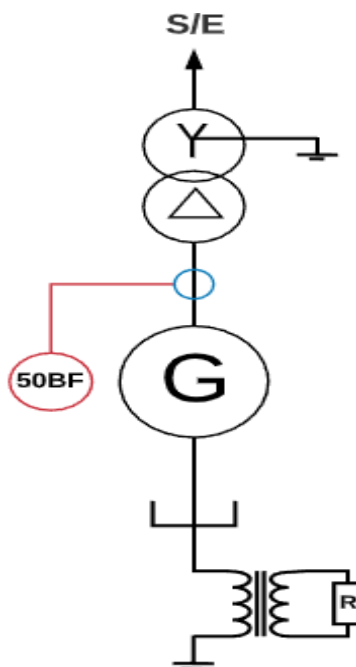


Figura 8. Esquema general de conexión para la protección de falla interruptor del generador.

Al activarse la etapa 1 reitera el disparo en interruptores asociados que despejan la falla normalmente. Al activarse la etapa 2 produce el disparo en los interruptores adyacentes que alimentan la falla si esta no es despejada por el interruptor correspondiente.

Si la apertura del interruptor del generador no es satisfactoria ante la activación de una función de protección que intenta aislar el generador, se activa la etapa 2 de la función de protección de falla interruptor. En este caso, el personal de mantenimiento debe revisar:

- La conexión y funcionamiento de los circuitos de disparo, así como los contactos del interruptor asociado que despejaría la falla normalmente.

Si se activa la etapa 2 de esta protección durante una energización inadvertida, verificar:

- La capacidad dieléctrica del interruptor por posible arco eléctrico entre sus contactos cuando estos están separados.
- Las acciones a realizar ante la activación de la protección de energización inadvertida u otras funciones activas.
- En cualquier caso, el interruptor del generador no debe cerrarse sin una adecuada inspección de este y del generador.

4.1.9. Protección de falla a tierra 95% estator (ANSI 59GN)

La función de protección de falla a tierra 95% del estator es una función de protección que respalda la función de protección diferencial del generador (ANSI 87G), ya que esta última generalmente no detecta este tipo de fallas debido a la baja corriente que se presenta en generadores conectados a la puesta a tierra usando una alta impedancia por medio de un transformador. El valor de la tensión medida es máximo para una falla a tierra en terminales del generador y disminuye cuando el lugar de la falla se desplaza hacia el neutro del generador, lo que no permite detectar fallas a tierra alrededor del 5% restante del devanado del estator, es decir, muy cercanas al neutro. Solo es sensible a la componente fundamental de la tensión [4]. El esquema general de conexión para esta función de protección se muestra en la figura 9.

Ante el disparo de esta función de protección el generador no debe entrar nuevamente en servicio y se le deben realizar los bloqueos respectivos. El personal de mantenimiento deberá desconectar el devanado del estator del generador para localizar y determinar la magnitud de la falla al examinar:

- El estado del aislamiento del devanado del estator, del barraje de conexión hasta el devanado de baja tensión del transformador elevador y el aislamiento de los transformadores asociados al generador; transformador elevador, de servicios auxiliares, de excitación y de puesta a tierra. Esto para identificar alguna ruptura del aislamiento por sobretensiones.
- El núcleo del estator debido a posibles daños por arco eléctrico.
- Los devanados del estator por posible deterioro térmico.
- Los bujes terminales del generador.
- El estado mecánico del generador en general.

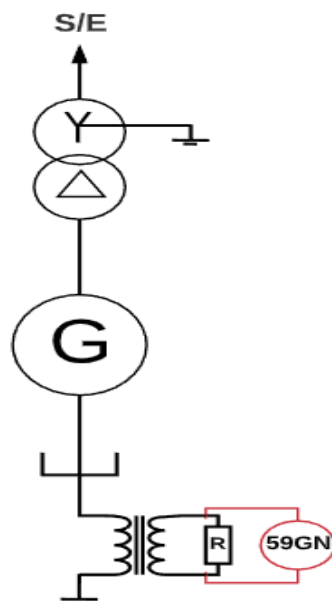


Figura 9. Esquema general de conexión para la protección de falla a tierra en el 95% del estator del generador.

4.1.10. Protección de falla a tierra estator con tercer armónico (ANSI 27TH)

La función de protección de falla a tierra estator con tercer armónico detecta fallas a tierra cercanas al neutro del generador, ya que el nivel de tensión de la tercera armónica en el neutro disminuye con fallas. La combinación de esta función de protección con la ANSI 59GN proporciona protección para el 100% del devanado del estator. Se debe asegurar que en el neutro del generador se presente el suficiente nivel de tensión de tercer armónico para el correcto funcionamiento de esta función de protección [4]. El esquema general de conexión para esta función de protección se muestra en la figura 10.

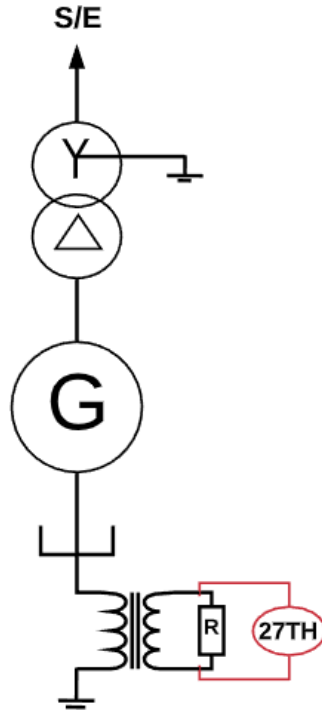


Figura 10. Esquema general de conexión para la protección de falla a tierra estator con tercer armónico.

Ante el disparo de esta función de protección, por tratarse de una protección que complementa la protección ANSI 59GN, el personal de mantenimiento deberá realizar las mismas acciones de inspección ya mencionadas para una falla a tierra en el estator del generador, esta vez inspeccionando detalladamente cerca al neutro del generador.

4.1.11. Protección de falla a tierra 100% estator (ANSI 64S)

La función de protección de falla a tierra 100% estator protege totalmente el devanado del estator ante fallas a tierra desde el punto neutro hasta los bornes del generador, incluyendo también el barraje de conexión hasta el devanado de baja tensión del transformador elevador. Esta protección inyecta una tensión a baja frecuencia en los devanados del estator del generador a través de su transformador de puesta a tierra, para ello, utiliza una fuente de tensión típica de 15 a 20 Hz y un filtro pasabanda sintonizado para bloquear la señal de medida a frecuencia fundamental. La corriente medida a baja frecuencia se incrementa cuando ocurre una falla a tierra y causa la operación del relé de protección. Esta protección permanece habilitada cuando el generador está fuera de

servicio [5]. El esquema general de conexión para esta función de protección se muestra en la figura 11.

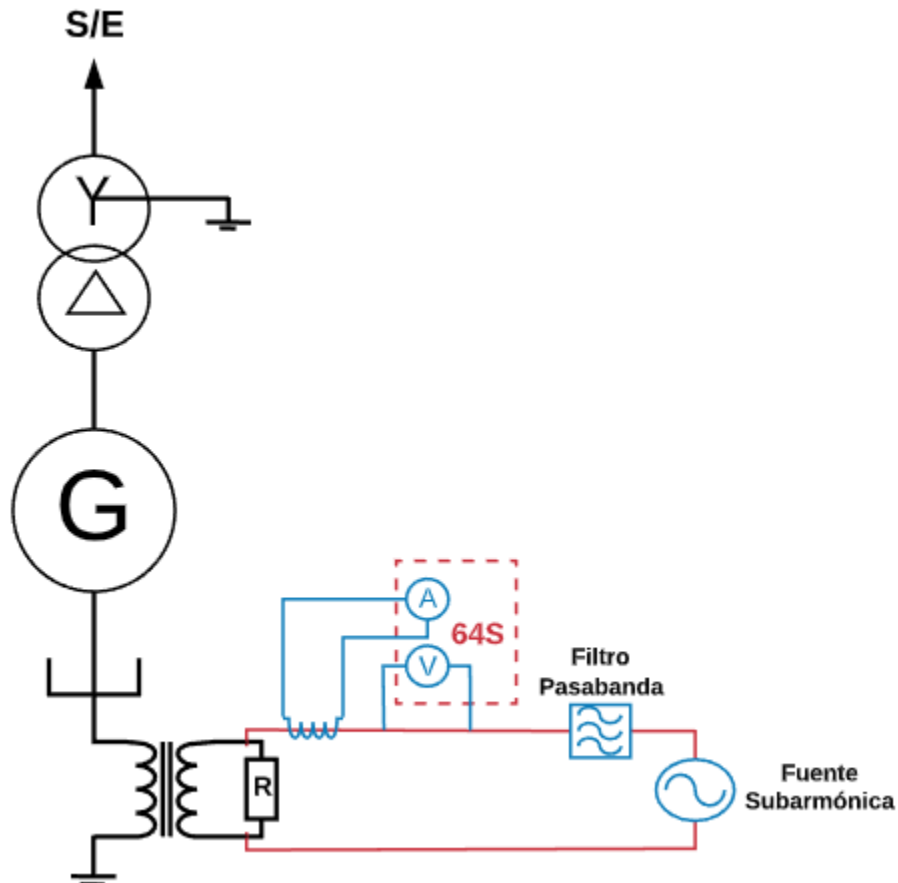


Figura 11. Esquema general de conexión para la protección de falla a tierra 100% del estator del generador.

Ante el disparo de esta función de protección, por tratarse de una función de protección que detecta fallas a tierra en el estator del generador, el personal de mantenimiento deberá realizar las mismas acciones de inspección ya mencionadas para este tipo de fallas, inspeccionando el devanado del estator en su totalidad.

4.1.12. Protección de falla a tierra del rotor (ANSI 64F)

La función de protección de falla a tierra del rotor detecta fallas a tierra en el devanado de campo del generador a través del cálculo de la resistencia de aislamiento a tierra en el rotor. Esta protección inyecta una tensión a baja frecuencia en el circuito de excitación del generador mediante una fuente de tensión de 1 a 3 Hz y una resistencia externa de acoplamiento. La resistencia de aislamiento calculada disminuye cuando ocurre

una falla a tierra en el rotor causando la operación del relé de protección. Esta protección permanece habilitada cuando el generador esta fuera de servicio [5]. El esquema general de conexión para esta función de protección se muestra en la figura 12.

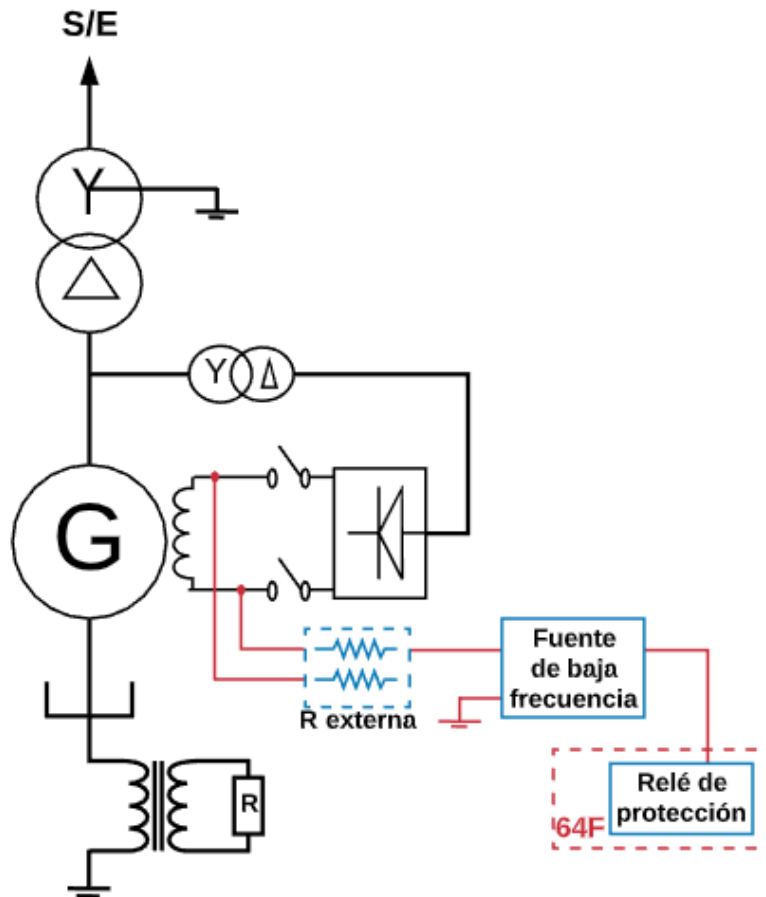


Figura 12. Esquema general de conexión para la protección de falla a tierra en el rotor del generador.

Ante el disparo de esta función de protección, el generador debe permanecer fuera de servicio hasta que el personal de mantenimiento solucione el problema en el aislamiento del rotor. Generalmente, una sola falla a tierra no produce efectos de daño inmediato en el aislamiento y núcleo del rotor, sin embargo, esta debe ser corregida ya que la probabilidad de que una segunda falla a tierra ocurra es mayor y sus efectos en el generador son más notorios, produciendo flujos desbalanceados en el entrehierro del generador seguido de grandes esfuerzos mecánicos y daño en el eje del rotor.

Ante estas condiciones revisar otras funciones de protección activas y en conjunto con el personal de mantenimiento examinar:

- El estado del aislamiento y núcleo del rotor.
- Devanados del rotor por posible deterioro térmico.
- El estado mecánico general del generador.

4.1.13. Protección de pérdida de señal del transformador de tensión (ANSI 60FL)

En caso de la pérdida súbita de la señal de tensión, debido a un cortocircuito o circuito abierto en los conductores del transformador de tensión, puede simularse algunos circuitos de medida con una tensión cero en ausencia de falla, provocando la operación errónea del regulador de tensión o algunas funciones de protección dependientes de la tensión, lo cual podría producir una reacción innecesaria de estas funciones de protección. Una tendencia actual para supervisar la pérdida de la señal de tensión es mediante el análisis de las componentes simétricas de la tensión y la corriente para fallas en una o en dos fases o con la desviación del valor de la corriente actual con respecto a la nominal para fallas trifásicas [5]. El esquema general de conexión según la tendencia actual para esta función de protección se muestra en la figura 13.

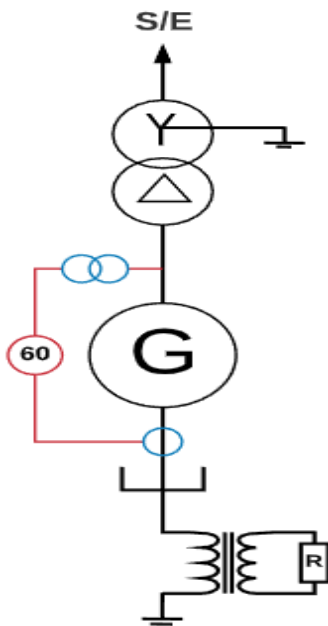


Figura 13. Esquema general de conexión para la protección de pérdida de la señal del transformador de tensión del generador.

El relé bloqueará las funciones de protección que hacen uso de la señal de tensión y generará una alarma. Luego de que la condición anormal desaparezca, se habilita nuevamente las funciones de protección antes bloqueadas.

Las funciones que dependen de la tensión son: ANSI 21, ANSI 24, ANSI 27, ANSI 32, ANSI 40, ANSI 50/27, ANSI 51V, ANSI 59, ANSI 78, ANSI 81.

Luego de la activación de esta función de protección debe ubicarse la falla lo más rápido posible, de lo contrario las funciones de protección dependientes de la señal de tensión estarán fuera de servicio permanentemente. El personal de mantenimiento debe revisar:

- Una condición de falla o apertura del fusible del primario o secundario del transformador de tensión.
- El estado de los contactos en los devanados primario y secundario del transformador de tensión.
- Anormalidades en el cableado del transformador de tensión.
- Si no se encuentra ninguna de las irregularidades ya mencionadas, verificar el funcionamiento del regulador de tensión o la acción de otras funciones de protección.

4.1.14. Protección de impedancia o distancia (ANSI 21)

La función de protección de impedancia o distancia es una protección de respaldo en caso de una falla trifásica, bifásica, bifásica a tierra o monofásica entre el devanado del estator del generador y el devanado de alta tensión del transformador elevador, incluso si el grupo generador transformador está desconectado del sistema. La relación entre la tensión y la corriente se usa para calcular la impedancia o distancia entre la falla y el punto de medida. Los tiempos y alcances de operación de esta protección son escalonados, en función de la impedancia o distancia, y dependen de la zona a proteger [4]. El esquema general de conexión para esta función de protección se muestra en la figura 14.

Si el generador estaba bajo condiciones normales de operación previo al disparo de esta función de protección, dependiendo de las demás funciones activadas se determina el sitio aproximado de la falla y se decide, junto con el personal de mantenimiento y el grupo de protecciones eléctricas, si es necesario diagnosticar en detalle el estado del generador. Se comprueba la posible activación de funciones de protección como:

- Protección diferencial del generador (ANSI 87G).

- Protección diferencial del transformador elevador (ANSI 87T) o del grupo generador-transformador elevador (ANSI 87O).
- Protección de falla a tierra estator (ANSI 64S).
- Protección de sobrecorriente restringida/controlada por tensión (ANSI 51V) o de baja tensión (ANSI 27).
- Protección de secuencia negativa (ANSI 46).

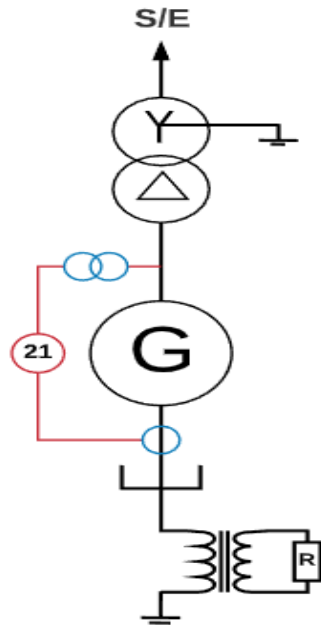


Figura 14. Esquema general de conexión para la protección impedancia del generador.

Si el disparo de esta función de protección se da cuando el grupo generador-transformador elevador se encuentra desconectado del sistema de potencia, revisar los equipos, líneas y barrajes de conexión entre el devanado del estator del generador y la subestación de alta tensión a la cual se conecta la central.

Las oscilaciones de potencia no amortiguadas por el sistema podrían activar esta función de protección, para comprobar esto se analizan las condiciones operativas previas al disparo.

4.1.15. Protección de baja tensión (ANSI 27)

La función de protección de baja tensión es una protección ante fallas dentro del generador o cercanas a los bornes, en el regulador automático de tensión, por exceso de

- El regulador automático de tensión.
- El circuito de campo y el sistema de excitación general.
- Las acciones operativas por el operador.

4.1.16. Protección de sobretensión (ANSI 59)

La función de protección de sobretensión protege especialmente el aislamiento del estator del generador ante un aumento excesivo de la tensión, ya sea por presentarse un rechazo de carga con la subsiguiente sobrevelocidad y el regulador de velocidad no responda rápidamente o por la posible existencia de una falla en el regulador automático de tensión; estas situaciones pueden causar un deterioro acelerado del aislamiento [1]. Esta protección se complementa con la protección de sobreexcitación (ANSI 24) para abarcar cualquier falla interna o externa que cause sobretensiones en el generador. El esquema general de conexión para esta función de protección se muestra en la figura 16.

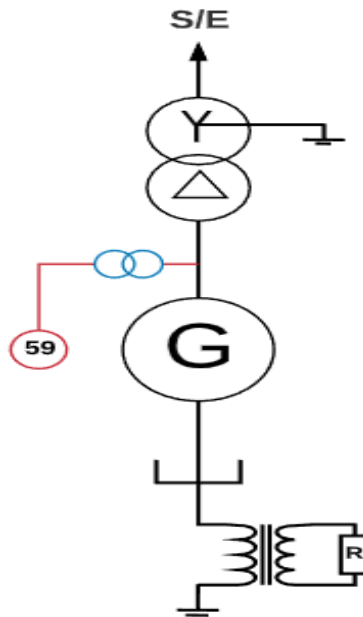


Figura 16. Esquema general de conexión para la protección de sobretensión del generador.

Ante el disparo de esta función de protección el generador estará fuera de servicio hasta evaluar su estado físico real. Si el generador estuvo sujeto a velocidades superiores a las permitidas debido a una pérdida súbita de carga, ya sea por el disparo de una línea de enlace importante o por algún otro incidente, el personal de mantenimiento debe examinar:

- El aislamiento del devanado y núcleo del estator del generador y transformadores asociados por posibles rupturas de aislamiento por arco eléctrico.
- El regulador automático de velocidad.

Si el generador no fue expuesto a altas velocidades, además de los ítems anteriores, verificar:

- El funcionamiento del regulador automático de tensión.
- El manejo efectivo del manual del sistema de excitación.

4.1.17. Protección de secuencia negativa (ANSI 46)

La función de protección de secuencia negativa evita el sobrecalentamiento en el rotor del generador a causa de alta carga desequilibrada en el sistema. En estas condiciones el rotor alcanza altas temperaturas por corrientes inducidas en su superficie al doble de la frecuencia del sistema. El generador, de acuerdo con su capacidad térmica, soporta corrientes de secuencia negativa permanentes o de corta duración según el máximo desbalance que se espera en el sistema. Las corrientes de secuencia negativa se presentan frecuentemente por fallas monofásicas o bifásicas; las fallas bifásicas a tierra aportan mayor corriente de secuencia negativa [6]. El esquema general de conexión para esta función de protección se muestra en la figura 17.

Si una falla asimétrica en el sistema activa esta función de protección, el generador puede ser nuevamente sincronizado si al chequear el registro de datos durante el evento no se tienen consecuencias graves para la unidad de generación, por el contrario, el generador debe permanecer fuera de servicio hasta examinar si presentó:

- Sobrecalentamientos en las partes metálicas de la superficie del rotor, anillos de retención, cuñas de las ranuras y, en menor grado, en los devanados del rotor.
- Deterioro en el aislamiento del rotor.

- Vibración excesiva por fuerzas magnéticas desbalanceadas; desgaste del cojinete y reducción de la vida útil del generador.

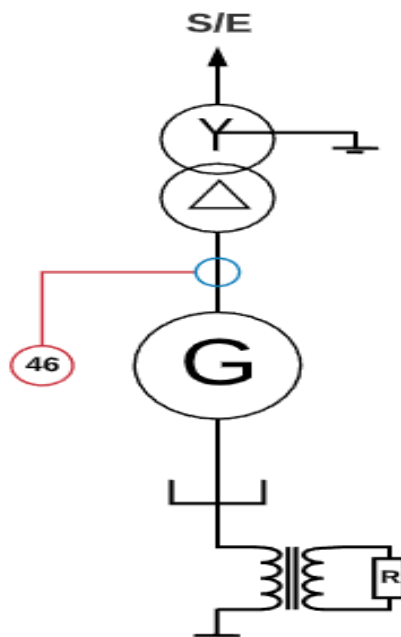


Figura 17. Esquema general de conexión para la protección de secuencia negativa del generador.

Si se produce una alarma, arranque o pick-up de esta función de protección ante una condición de desbalance en el sistema, si no existen anomalías, se recomienda reducir la carga en el generador y notificar al Centro Nacional de Despacho (CND), además, desconectar el generador del control automático hasta que desaparezca la alarma. Verificar el ajuste de la función de protección de secuencia negativa de fase.

4.1.18. Protección de sobrecorriente restringida/controlada por tensión (ANSI 51V)

La función de protección de sobrecorriente puede ser restringida o controlada por tensión y es implementada como una protección de respaldo para fallas entre fases. Detecta cortocircuitos en el generador o en el sistema de potencia que no son despejadas apropiadamente, por ello, esta función de protección reduce su sensibilidad para una condición de sobrecarga de emergencia, mientras que incrementa su sensibilidad para corrientes de falla que presentan subtensión, esto debido a que la corriente de cortocircuito en el generador disminuye rápidamente [5].

La función de protección de sobrecorriente restringida por tensión tiene la capacidad de cambiar la corriente de arranque disminuyéndola proporcionalmente a la caída de tensión cuando esta cae por debajo de un ajuste seleccionado. Por otra parte, la función de protección de sobrecorriente controlada por tensión se activa cuando el nivel de tensión en el generador se encuentra por debajo de un valor mínimo establecido, por ello, un dispositivo de baja tensión se usa para controlar la operación de esta protección hasta que la tensión caiga por debajo del valor ajustado. El arranque del elemento de sobrecorriente es fijo y ajustado por debajo de la corriente nominal del generador para que pueda operar en condiciones de falla [5]. El esquema general de conexión para esta función de protección se muestra en la figura 18.

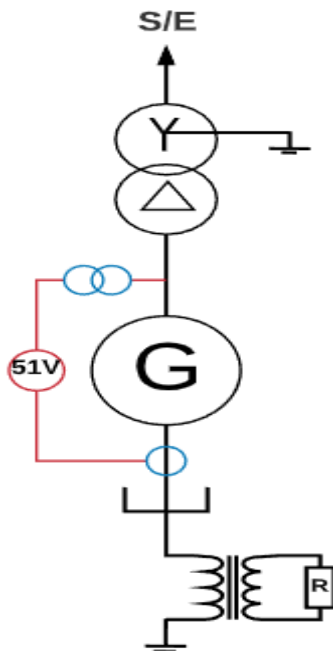


Figura 18. Esquema general de conexión para la protección de sobrecorriente restringida/controlada por tensión del generador.

Ante el disparo de esta función de protección el generador debe permanecer fuera de servicio hasta determinar el impacto sobre este y hallar la causa de la falla. El personal de mantenimiento debe chequear:

- Los equipos, líneas y barrajes de conexión entre el devanado del estator del generador y la subestación de alta tensión a la cual se conecta la central.
- Los ajustes y el buen funcionamiento del relé de protección.

- La conexión de los circuitos primarios y secundarios de los Transformadores de corriente.

4.1.19. Protección de pérdida de sincronismo (ANSI 78)

Esta función de protección evita la pérdida de sincronismo, deslizamiento de polos o pérdida de paso entre el generador y el sistema de potencia. Detecta condiciones de pérdida de estabilidad al diferenciar entre oscilaciones de potencia estables e inestables, ya que realiza el cálculo de la impedancia en bornes del generador a partir de la relación entre las tensiones y corrientes de secuencia positiva, evalúa la variación de la impedancia durante su trayectoria en el plano R-X y ubica el centro eléctrico de la oscilación de potencia para determinar si es necesario o no desconectar el generador [5]. El esquema general de conexión para esta función de protección se muestra en la figura 19.

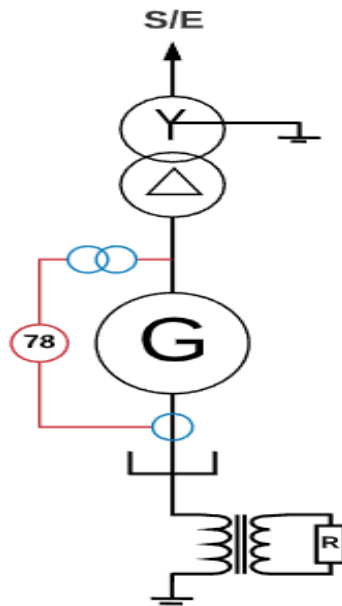


Figura 19. Esquema general de conexión para la protección de pérdida de sincronismo del generador.

Ante el disparo de esta función de protección se recomienda examinar las condiciones operativas previas al evento y comprobar si la falla fue por:

- Oscilaciones de potencia no amortiguadas; falla externa no despejada a tiempo.
- Subexcitación o pérdida de campo; verificar activación de la función de protección ANSI 40.

En caso de que la falla haya sido externa y las condiciones de operación requeridas en el sistema hayan sido restauradas, el generador puede ser nuevamente sincronizado, por el contrario, este permanecerá fuera de servicio hasta que el personal de mantenimiento verifique que no se haya presentado:

- Altos esfuerzos mecánicos y térmicos en el aislamiento, devanados y extremos del núcleo del estator del generador.
- Altos esfuerzos mecánicos y térmicos en los devanados del banco de transformadores elevadores.
- Esfuerzos mecánicos de rotación indebidos en el eje del generador y la turbina.

4.1.20. Protección sobre y baja frecuencia (ANSI 81)

La función de protección de frecuencia detecta sobre y bajas frecuencias en el generador causadas por mala operación del regulador de velocidad o por condiciones atípicas en el balance de generación y demanda entre el generador y el sistema de potencia. Estas condiciones anormales ocasionan en el generador y la turbina incrementos súbitos de tensión y temperatura por altas frecuencias o vibraciones y esfuerzos mecánicos por bajas frecuencias. Los límites de operación bajo estas condiciones son de acuerdo con la capacidad térmica de corto tiempo del generador y las exigencias del código de redes (CREG 025 – 1995) [4]. El esquema general de conexión para esta función de protección se muestra en la figura 20.

Si el disparo de esta función de protección es por sobrefrecuencia debido a un rechazo de carga, revisar:

- Condiciones atípicas en el sistema de potencia sin consecuencias graves en el generador y turbina. Posible resincronización luego de la normalización del sistema.
- Posibles esfuerzos mecánicos en los cojinetes y álabes de la turbina. Generador fuera de servicio hasta comprobar el estado físico de la turbina.

Si el disparo ha sido por subfrecuencia debido a un incremento de demanda en el sistema de potencia, el generador debe estar fuera de servicio hasta revisar:

- Esfuerzos mecánicos en los cojinetes y álabes de la turbina.
- Sobrecarga ante disminución en la ventilación del generador e incremento en el flujo magnético. Revisar activación de la función de protección ANSI 24.

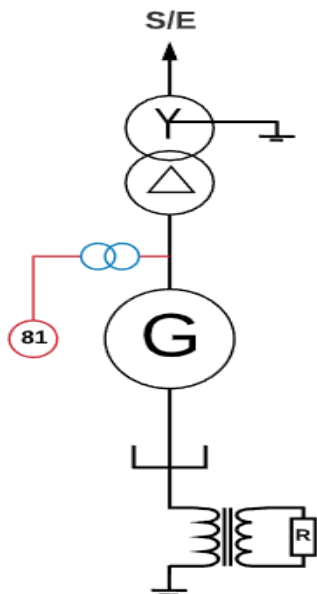


Figura 20. Esquema general de conexión para la protección de sobre y baja frecuencia del generador.

En todos los casos revisar el desempeño del regulador automático de velocidad durante la operación bajo frecuencia anormal. Se debe considerar que la operación a baja frecuencia debe ser a kVA reducidos y que los daños en la turbina a frecuencia anormal son acumulativos.

4.2. Funciones de protección para el transformador elevador

4.2.1. Protección diferencial del transformador elevador (ANSI 87T)

La función de protección diferencial es la protección principal del transformador elevador, la cual se basa en la comparación de las corrientes medidas en cada devanado del transformador. Esta protección detecta fallas en el interior del transformador y en sus conexiones externas hasta los transformadores de corriente asociados con esta protección. Impide el disparo ante corrientes "Inrush" de energización y condiciones de sobreexcitación en el transformador. Puede que no sea lo suficientemente sensible para fallas a tierra cercanas al neutro puesto a tierra del devanado en Y del transformador, esto

debido a que esta función de protección requiere eliminar la corriente de secuencia cero en el devanado con neutro puesto a tierra lo que causa una reducción a $2/3$ en su sensibilidad para detectar fallas a tierra [7]. El esquema general de conexión para esta función de protección se muestra en la figura 21.

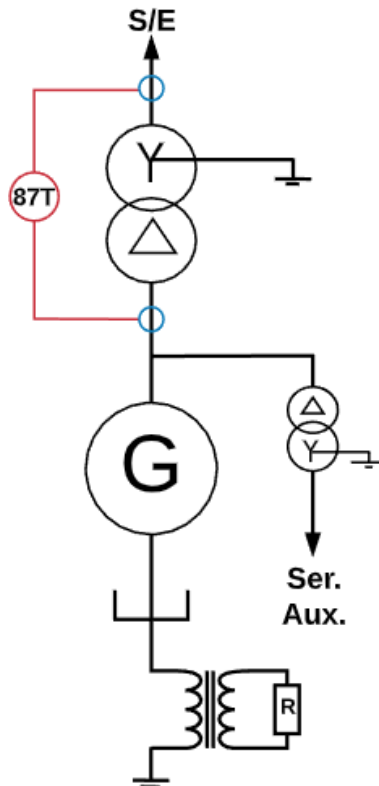


Figura 21. Esquema general de conexión para protección diferencial del transformador elevador.

Ante el disparo de esta función de protección el transformador debe permanecer fuera de servicio hasta determinar el impacto sobre este y hallar la causa de la falla. Se recomienda chequear la activación de la protección Buchholz para confirmar que la falla es interna al transformador. Además, el personal de mantenimiento deberá examinar:

- El estado del aislamiento de los devanados del transformador y de sus conexiones externas hasta los transformadores de corriente asociados a esta protección.
- Si el núcleo del transformador presenta un deterioro considerable causado por altos flujos magnéticos.
- El estado de los bujes del transformador.
- Esfuerzos mecánicos por vibraciones debido al flujo de corrientes de falla.

- Si el disparo de esta función de protección se da luego de una actividad de mantenimiento, se debe realizar estas mismas acciones de verificación junto con la inspección de las conexiones de los transformadores de corriente.

4.2.2. Protección sobrecorriente de fases (ANSI 51)

La función de protección de sobrecorriente de fases para el transformador con característica de operación de tiempo inverso, relacionada siempre con cortocircuitos en sus fases, se utiliza como una protección de respaldo para la protección diferencial del transformador (ANSI 87T) y ante fallas externas que no son despejadas apropiadamente. Esta función de protección proporciona tiempos cortos de disparo para altas corrientes de falla y viceversa, lo cual permite que el transformador pueda llegar a valores de carga nominal más un margen tolerable de sobrecarga para condiciones de emergencia [4]. El esquema general de conexión para esta función de protección se muestra en la figura 22.

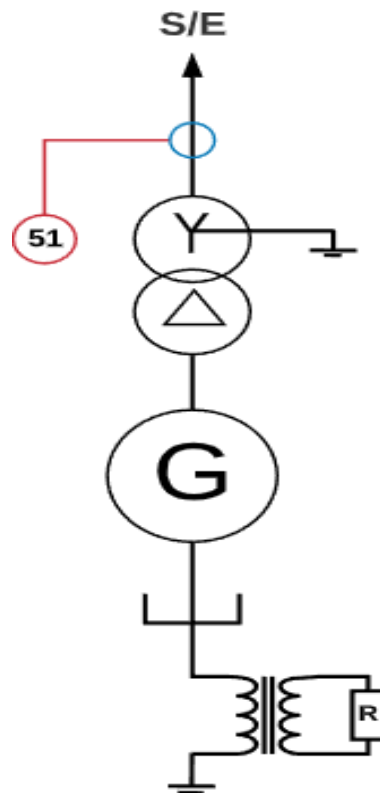


Figura 22. Esquema general de conexión para protección de sobrecorriente de fases del transformador elevador.

Las acciones recomendadas a tomar en caso de un disparo de esta función de protección será primero examinar las condiciones operativas previas al evento y luego comprobar si:

- El disparo corresponde a una sobrecarga o por una falla en el sistema de potencia que no fue despejada a tiempo. Bajo esta situación, cuando las condiciones operativas en el sistema de potencia hayan sido restauradas, el transformador puede ser nuevamente puesto en servicio sí al chequear el registro de datos durante el evento no se tienen consecuencias graves para el transformador.
- Es una falla interna del transformador, se recomienda chequear la activación de la protección ANSI 63 o ANSI 87T para confirmar que la falla es interna al transformador.

Ante fallas internas el personal de mantenimiento deberá examinar:

- El estado del aislamiento del núcleo y devanados del transformador.
- Esfuerzos mecánicos por grandes vibraciones y sobrecalentamiento en los devanados y núcleo del transformador.
- El estado de los bujes del transformador.

4.2.3. Protección sobrecorriente de neutro (ANSI 51N)

La función de protección de sobrecorriente de neutro o residual para el transformador con característica de operación de tiempo inverso se utiliza como protección de fallas a tierra a partir del devanado de alta tensión del transformador. Con las corrientes medidas en cada fase de este devanado, esta protección calcula la corriente que pasa a través del neutro del transformador. Si la corriente de neutro es lo suficientemente alta, la protección detecta una falla a tierra en su zona de protección. Esta función de protección proporciona mayor sensibilidad y tiempos largos de disparo para bajas corrientes de falla a tierra y viceversa [4]. El esquema general de conexión para esta función de protección se muestra en la figura 23.

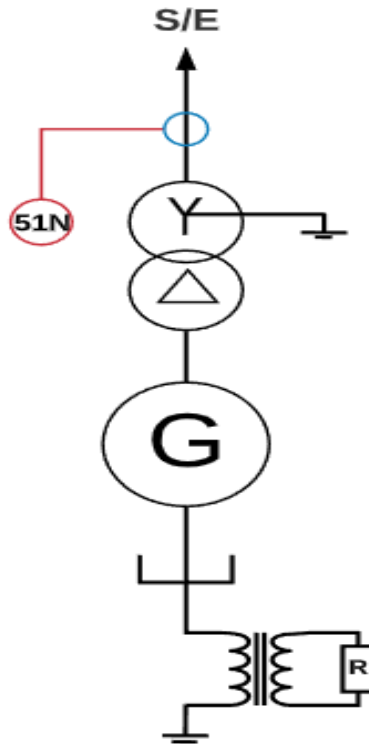


Figura 23. Esquema general de conexión para protección de sobrecorriente de neutro del transformador elevador.

Las acciones recomendadas a tomar en caso de un disparo de esta función de protección en general son las mismas que las mencionadas para la protección ANSI 51, tomando en consideración que corresponde a una falla a tierra.

4.2.4. Protección sobrecorriente de tierra (ANSI 51G)

La función de protección de sobrecorriente de tierra para el transformador con característica de operación de tiempo inverso se utiliza como protección contra fallas a tierra a partir del devanado de alta tensión del transformador. Usa la corriente que es medida directamente en el neutro del transformador para supervisar la corriente a tierra, que, si llega a ser lo suficientemente alta indica la presencia de una falla a tierra en su zona de protección. Esta función de protección proporciona gran sensibilidad y tiempos de disparo cortos para altas corrientes de falla a tierra y viceversa [4]. El esquema general de conexión para esta función de protección se muestra en la figura 24.

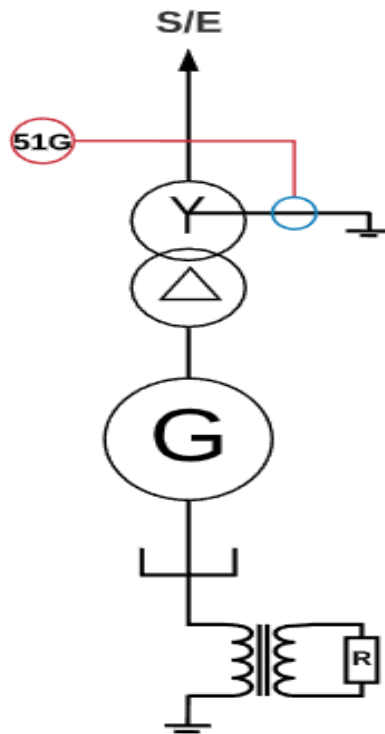


Figura 24. Esquema general de conexión para protección de sobrecorriente de tierra del transformador elevador.

Las acciones recomendadas a tomar en caso de un disparo de esta función de protección en general son las mismas que las mencionadas para la protección ANSI 51, tomando en consideración que corresponde a una falla a tierra.

4.2.5. Protección de sobrecarga (ANSI 49T)

La función de protección de sobrecarga previene que el transformador este sujeto a grandes esfuerzos térmicos, ya sea por sobrecargas de larga duración, por fallas en el sistema de refrigeración o por condiciones anormales en el sistema de potencia. Una tendencia actual para desarrollar el cálculo de la elevación de temperatura del transformador usando las corrientes medidas en el transformador, la constante de tiempo de calentamiento (τ) y la corriente máxima permitida de operación continua (factor k) del transformador. Se puede configurar para dar alarma o disparo [7]. El esquema general de conexión para esta función de protección se muestra en la figura 25.

La mayoría de los transformadores de potencia tienen integrados sensores para monitorear la temperatura de sus devanados. Estos sensores suelen ser detectores de temperatura por resistencia (RTD) que pueden ser usados para arrancar las bombas o

ventiladores de refrigeración, activar una alarma o disparar el transformador si se exceden los límites de temperatura preestablecidos, pero generalmente es usado solo como alarma.

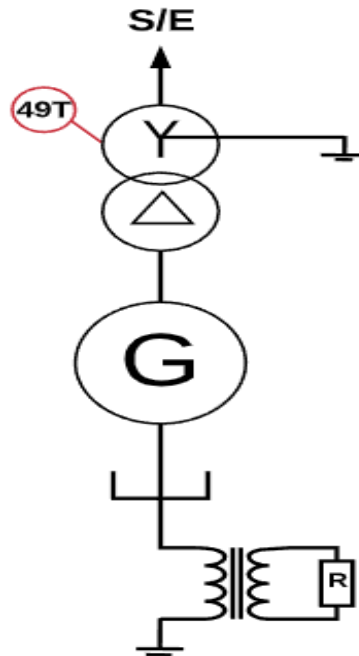


Figura 25. Esquema general de conexión para protección de sobrecarga del transformador elevador.

Al activarse la alarma de sobrecarga en el transformador, el operador debe revisar el estado de variables del transformador tales como tensiones, corrientes, potencias y temperaturas, para así determinar si es necesario realizar una acción correctiva, como lo es reducir la carga que pasa a través del transformador. Será una buena opción tener presente los análisis históricos del aceite y si es necesario realizar pruebas eléctricas basado en los resultados de estos análisis.

Si la alarma es permanente y no se presentan anomalías en las variables eléctricas del transformador, el personal de mantenimiento debe determinar si la operación del transformador debe ser interrumpida al examinar:

- El sistema de refrigeración del transformador; fallas en bombas de aceite, fugas o contaminación del aceite.
- Deterioro acelerado en el aislamiento del núcleo y devanados del transformador.
- Los sensores de temperatura del transformador.

4.2.6. Protección Buchholz del transformador (ANSI 63)

La protección Buchholz o acumulador de gases complementa la protección diferencial del transformador (ANSI 87T), dado que éstos protegen para fallas dentro del tanque del transformador. Esta protección detecta la acumulación de los gases causados por sobrecalentamiento debido a una mayor transferencia de potencia, falla total o parcial del sistema de refrigeración, juntas o empalmes de alta resistencia, altas corrientes de Foucault entre laminaciones, arcos de baja y alta energía o envejecimiento acelerado del aislamiento debido a sobrecarga. El relé se coloca en la tubería entre el tanque del transformador y el tanque conservador. Al acumularse cierta cantidad de gas se activa la protección Buchholz [7]. El esquema general de conexión para esta función de protección se muestra en la figura 26.

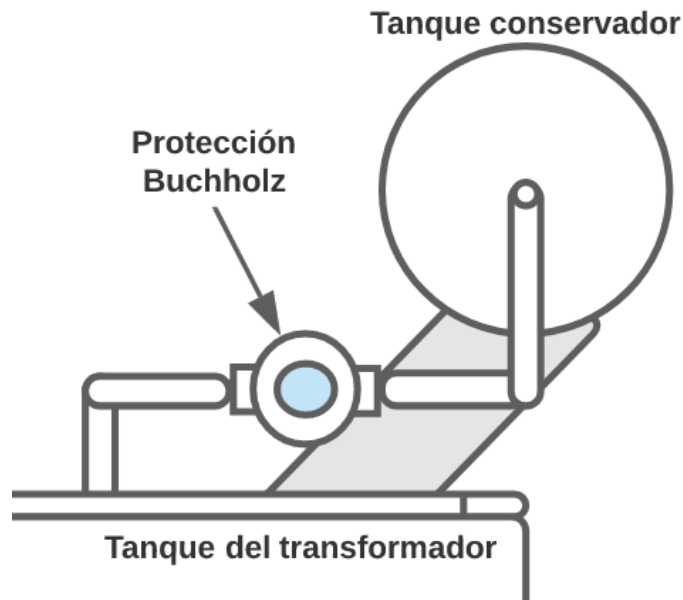


Figura 26. Esquema general de conexión para protección Buchholz del transformador elevador.

Con la activación de ambas protecciones, ANSI 87T y ANSI 63, será señal de una falla franca en el aislamiento del devanado del transformador de potencia. Deberá tomarse la muestra correspondiente de los gases producidos para ser analizados en el laboratorio y realizar las pruebas correspondientes al transformador. Debe consultarse el procedimiento de toma de estas muestras para evitar que se escapen.

4.3. Funciones de protección para la línea de conexión

4.3.1. Protección diferencial de línea (ANSI 87L)

La función de protección diferencial es la protección principal de la línea. Esta protección utiliza elementos de medida y protección en cada extremo de la línea, los cuales intercambian sus valores de corriente a través de enlaces de comunicación. De esta manera, los dispositivos de protección de cada extremo de la línea realizan la comparación de las corrientes y en caso de una diferencia importante entre estas, será clara señal de una falla dentro de la zona delimitada por los transformadores de medida ubicados en cada lado de la línea [8]. El esquema general de conexión para esta función de protección se muestra en la figura 27.

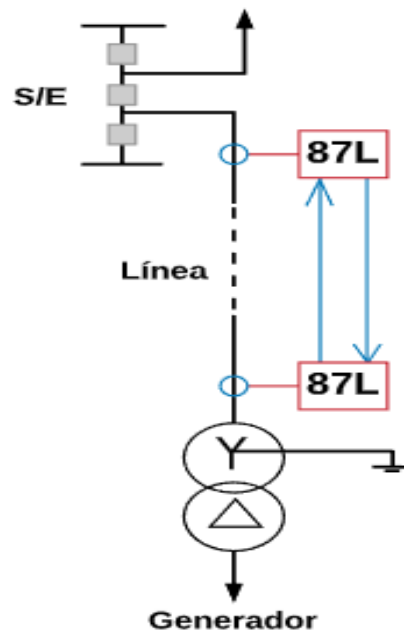


Figura 27. Esquema general de conexión para la protección diferencial de la línea de conexión.

Si previo al disparo se tenía la línea en condiciones normales de operación, esta debe permanecer fuera de servicio hasta que:

- Se envié a un grupo de redes o personal de la central a que realicé una inspección en tramos aéreos de la línea, visualizando posibles rupturas de aislamiento de las torres eléctricas o contactos a tierra con algún objeto.
- Se revise alarmas de alta temperatura y baja presión en tramos de cable aislado en aceite y se envié personal de mantenimiento para que este sea examinado.

- El personal de mantenimiento realice una inspección en puente de cables, si la central cuenta con este.
- Se revise la integridad y buen desempeño del canal de comunicación entre los relés de protección en cada extremo de la línea.

Si el disparo fue luego de una actividad de mantenimiento, además de realizar estas mismas acciones de verificación, confirmar la normalización de seccionadores de puesta a tierra o tierras portátiles; retiro de tierras en subestación de alta tensión, puente de cables y demás.

4.3.2. Protección sobrecorriente de fases (ANSI 51)

La protección de sobrecorriente de fases para la línea con característica de operación de tiempo inverso, es utilizada como una protección de respaldo para la protección diferencial de línea (ANSI 87L) y para fallas fuera de la línea que no son despejadas apropiadamente. La protección detecta todo tipo de falla en su zona de protección si la corriente en cualquiera de las fases de la línea es mucho mayor que la corriente de operación normal. Esta función de protección proporciona tiempos cortos de disparo para altas corrientes de falla y viceversa [4]. El esquema general de conexión para esta función de protección se muestra en la figura 28.

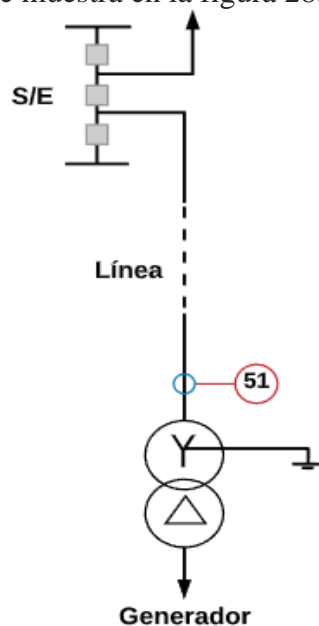


Figura 28. Esquema general de conexión para la protección de sobrecorriente de fases de la línea de conexión.

Ante el disparo de esta función de protección se debe verificar que otra función de protección resulta activa, tal como la protección de distancia (ANSI 21), la protección de secuencia negativa (ANSI 46) o la protección de sobrecorriente restringida/controlada por tensión (ANSI 51V) del relé de protección del generador, esto con el fin de determinar el tipo y la localización de la falla. Si se encuentra que la falla ha sido en el sistema de potencia, se recomienda que la línea permanezca fuera de servicio hasta que:

- Se consulte con el personal del Centro Nacional de Despacho (CND) o XM el estado del sistema de potencia.
- Se determine los efectos en los equipos, líneas y barrajes de conexión entre el punto neutro del devanado del estator del generador y la subestación de alta tensión a la que se conecta la central.

4.3.3. Protección sobrecorriente de neutro (ANSI 51N)

La protección de sobrecorriente de neutro o residual para la línea con característica de operación de tiempo inverso se utiliza como protección contra fallas a tierra en la línea y en el sistema de potencia que no son despejadas apropiadamente. Con las corrientes medidas en cada fase de la línea, esta protección calcula la corriente de neutro o residual y si es lo suficientemente alta, la protección detecta una falla a tierra en su zona de protección. Esta función de protección proporciona mayor sensibilidad y tiempos largos de disparo para bajas corrientes de falla a tierra y viceversa [4]. El esquema general de conexión para esta función de protección se muestra en la figura 29.

Las acciones recomendadas a tomar en caso de un disparo de esta función de protección en general son las mismas que las mencionadas para las protecciones ANSI 87L y ANSI 51, tomando en consideración que corresponde a una falla a tierra.

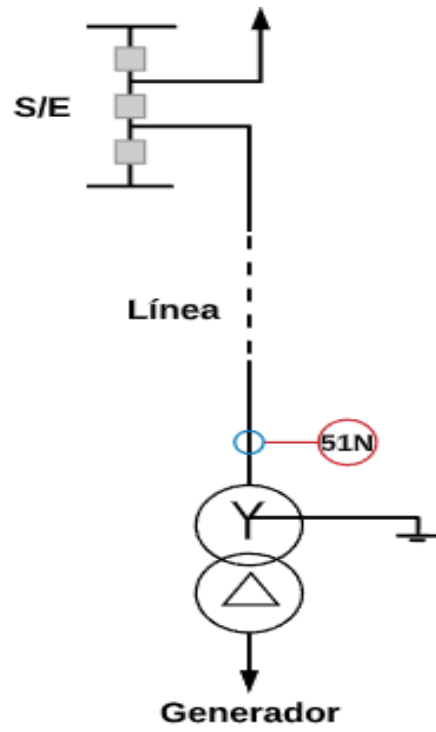


Figura 29. Esquema general de conexión para la protección de sobrecorriente de neutro de la línea de conexión.

5. METODOLOGÍA

Para alcanzar los objetivos planteados en este proyecto se realizaron las siguientes actividades:

- Se desarrolla una amplia investigación sobre los sistemas de protección que comprenden las centrales hidroeléctricas, considerando las diferentes guías y normas nacionales e internacionales, así como manuales de algunos relés de protección.
- Se adquiere conocimiento de los diferentes planos de protección y control de una central hidroeléctrica.
- Se realiza una visita técnica para validar en sitio esquemas y dispositivos de protección usados en una central hidroeléctrica.
- Se investiga las acciones que habitualmente practica el personal de operación y mantenimiento para atender los eventos que involucran las protecciones eléctricas de una central hidroeléctrica.
- Se elabora los instructivos de operación ante la actuación de las funciones de protección que generalmente son usadas en los esquemas de protección de una central hidroeléctrica.

6. RESULTADOS

El instructivo operativo es un documento que presenta de manera concisa y didáctica las acciones operativas que debe realizar el personal de operación y mantenimiento ante la activación de cualquier función de protección como las descritas anteriormente, ya que estas son las que generalmente se implementan en centrales hidroeléctricas que se conectan al sistema de potencia a través de un transformador elevador. En la figura 30 se muestra un ejemplo del instructivo operativo para la función de protección ANSI 87G.

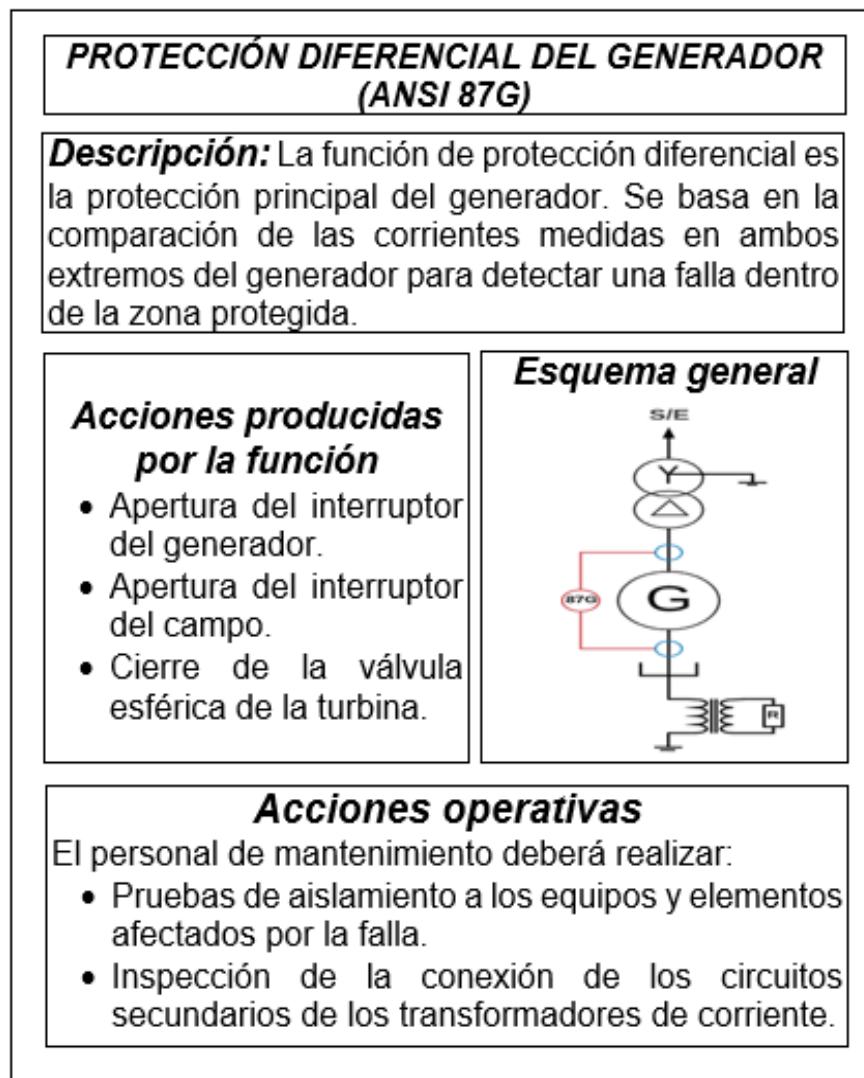


Figura 30. Ejemplo del instructivo operativo para la función de protección ANSI 87G.

Este documento proporciona para cada función de protección una hoja que contiene su descripción general de operación, las acciones que produce esta función de acuerdo con el esquema

de protección usado en una central hidroeléctrica en particular, un esquema general de conexión de la protección para una mayor comprensión y finalmente las acciones operativas de actuación que deberá realizar el personal de operación y mantenimiento. En la figura 31 se muestra un ejemplo del instructivo operativo para la función de protección ANSI 63.

PROTECCIÓN BUCHHOLZ DEL TRANSFORMADOR (ANSI 63)	
Descripción: Esta protección detecta la acumulación de los gases causados por sobrecalentamiento debido a una mayor transferencia de potencia, falla total o parcial del sistema de refrigeración, arcos de baja y alta energía, entre otros.	
<p>Acciones producidas por la función</p> <ul style="list-style-type: none"> • Apertura del interruptor del generador. • Apertura del interruptor del campo. • Cierre de la válvula esférica de la turbina. 	<p>Esquema general</p>
<p>Acciones operativas</p> <p>Realizar por el personal de mantenimiento:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Confirmar si la protección ANSI 87T se activa, lo cual indica falla interna del transformador. • Deberá tomarse la muestra de los gases producidos para ser analizados en el laboratorio. 	

Figura 31. Ejemplo del instructivo operativo para la función de protección ANSI 63.

Otras características del instructivo operativo son:

- Está basado en la experiencia del personal de manteniendo, estudios y análisis técnicos.
- Proporciona una guía de acción rápida para cada función de protección.
- Tendrá que estar conforme al sistema de protecciones de la central hidroeléctrica en particular.
- Describe posibles causas y efectos con recomendaciones rápidas y concretas de las acciones a realizar.

- Provee información precisa para tomar decisiones adecuadas que no pongan en riesgo los equipos de la central.
- Se apoya visualmente con imágenes de los esquemas de conexión para cada función de protección.

El instructivo desarrollado en este trabajo contiene 29 funciones de protección analizadas para una central hidroeléctrica típica, cada una con su respectivo esquema de conexión para apoyarse visualmente. Además, proporciona un marco de referencia para realizar cualquier otra guía de actuación ante la activación de protecciones eléctricas para otras centrales de generación en particular, tales como centrales térmicas o centrales con diferentes configuraciones de conexión, como generadores compartiendo un transformador elevador, entre otros. En la figura 32 se muestra un ejemplo del instructivo operativo para la función de protección ANSI 87L.

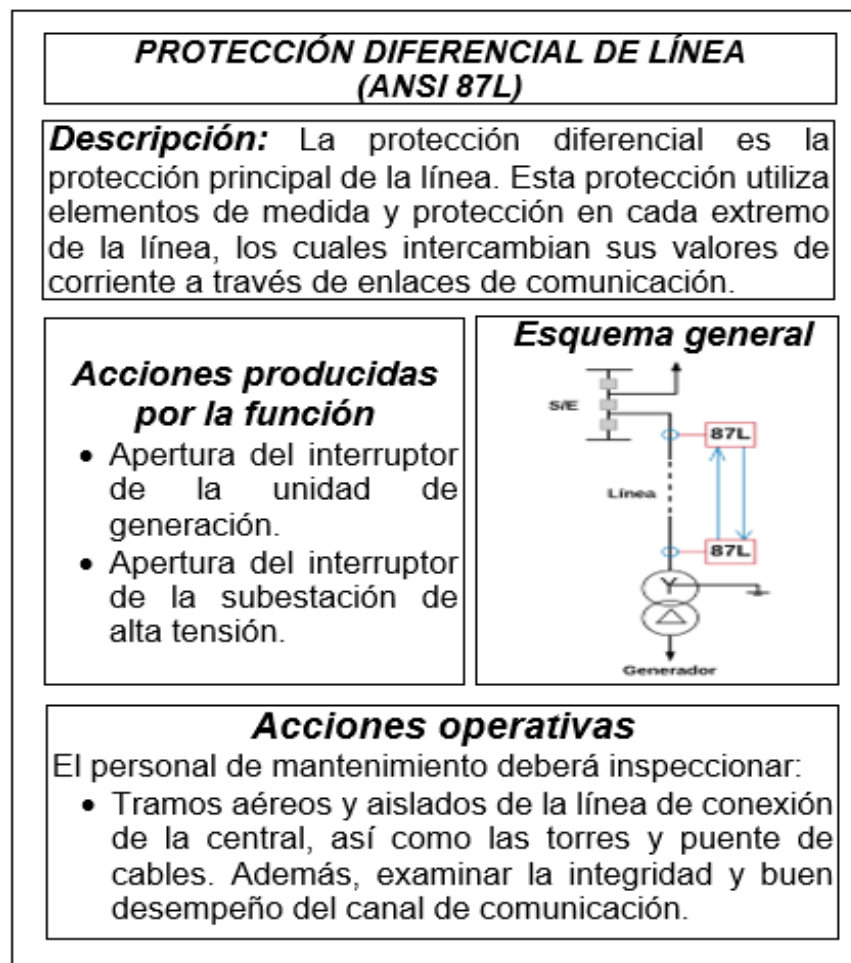


Figura 32. Ejemplo del instructivo operativo para la función de protección ANSI 87L.

7. CONCLUSIONES

Se realiza una guía de actuación rápida para atender los eventos que involucren las protecciones eléctricas de una central hidroeléctrica mediante una guía precisa con la cual se identifican las causas de fallas y se describen las actividades de inspección para determinar los efectos en los diferentes equipos de la central.

Las consideraciones y recomendaciones de acción que son contempladas en esta guía de actuación son de gran apoyo para el personal de una central de generación al momento de tomar decisiones luego de un evento que involucre las protecciones eléctricas, así que resalta la importancia de este instructivo para el personal de operación y mantenimiento ante las tantas variedades de fallas que pueden surgir en una central de generación. Sin embargo, ante la activación de una función de protección es necesario un análisis más detallado por parte del grupo de protecciones de la central.

Este instructivo de actuación es desarrollado de manera general para una central hidroeléctrica, así que los lineamientos para actuar ante la activación de las protecciones eléctricas presentados en este documento pueden ser ampliados para diferentes centrales de generación al considerar las particularidades de cada central, subestación y equipos eléctricos bajo estudio.

Aprendizajes:

- Un gran progreso en el desarrollo e investigación de un problema real de ingeniería.
- Fortalecimiento de habilidades como compromiso, gestión del tiempo, autonomía y capacidad de adaptarme al cambio.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Power System Relaying Committee of the IEEE Power Engineering Society (2006). IEEE Standard C37.102 Guide for AC Generator Protection.
- [2] Blackburn, J. L., & Domin, T. J. (2014). Protective relaying: principles and applications. CRC press.
- [3] Power System Relaying Committee of the IEEE Power Engineering Society (2008). IEEE Standard C37.2 Standard for Electrical Power System Device Function Numbers Acronyms and Contact Designations.
- [4] Guías para el Ajuste y la Coordinación de Protecciones del SIN. Documento XM CND. Julio de 2018.
- [5] Protección Multifuncional de Máquinas 7UM62. SIPROTEC. Manual. V4.6 2006.
- [6] Reimert, D. (2006). Protective Relaying for Power Generation Systems (1st ed.). CRC Press.
- [7] Power System Relaying Committee of the IEEE Power Engineering Society (2008). IEEE Standard C37.91 Guide for Protecting Power Transformers.
- [8] Power System Relaying Committee of the IEEE Power Engineering Society (2015). IEEE Standard C37.113 Guide for Protective Relay Applications to Transmission Lines.