

METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE UN ESQUEMA DE PROTECCIÓN ELÉCTRICA Y EL DIAGNÓSTICO DE FALLAS EN GRUPOS TURBINA-GENERADOR-TRANSFORMADOR DE CENTRALES HIDRÁULICAS.

SERGIO ALEXANDER ARISTIZABAL NARVAEZ

Calle 15 # 29B-30 Autopista Cali-Yumbo

E.mail: saristizabal@celsia.com

Cali. – Colombia

1. Resumen

Proteger un grupo turbina-generador-transformador es importante para evitar pérdidas económicas debido al lucro cesante por la no operación de un equipo afectado por una falla o por la pérdida total del equipo.

Por lo tanto, es fundamental conocer cómo opera el sistema de protección, como se programa y se ajustan los parámetros de cada una de sus funciones de protección, con el fin de identificar las funciones y variables asociadas a una falla, para definir cuál función de protección origina el disparo que desconecta el equipo del sistema eléctrico de potencia. En este sentido, un buen diagnóstico de las causas de fallas depende en gran medida del ajuste correcto de las funciones de protección de acuerdo con lo establecido en las normas internacionales y de los fabricantes.

Para obtener el correcto diagnóstico de una falla se debe garantizar un buen desempeño de cada función de protección asociada a la falla; sin embargo evaluar el desempeño del sistema de protección se torna dispendioso debido a la cantidad y complejidad de funciones con las que cuenta, por lo anterior, el análisis de desempeño del sistema de protección es una tarea que requiere un conocimiento muy especializado en el campo de protecciones, lo que hace que un número reducido de personas esté capacitado en el área.

Bajo estas condiciones, se presenta una metodología establecida en CELSIA para realizar el diagnóstico de fallas electromecánicas y la evaluación del desempeño de un esquema de

protección eléctrica de un grupo turbina generador transformador en centrales Hidráulicas, mediante el análisis de archivos Comtrade y tipo SOE utilizando la experiencia del personal experto en protecciones y la información registrada en el sistema de protección. Se soporta la metodología mediante la presentación de casos de éxitos en diferentes fallas ocurridas al interior de nuestras centrales.

2. Introducción

A nivel mundial cerca del 90% de las regiones desarrolladas o emergentes, tienen acceso al suministro de energía eléctrica [1]. En Colombia, el sistema de generación hidroeléctrico tiene una participación aproximada del 60% del total de energía producida [2]. Debido al nivel de importancia que representa el suministro hidroeléctrico, se debe asegurar la confiabilidad de la prestación del servicio, por tal razón, los sistemas actuales de generación disponen de dispositivos de protección, denominados dispositivos electrónicos inteligentes, en adelante IEDs, para evitar daños en los equipos o en el personal cuando se presentan fallas o anomalías propias o en el área de influencia del proyecto.

Así pues, dependiendo del tipo de falla o anomalía que se presenta, se activan determinado número de funciones del IED de protección. El personal de ingeniería experta en el tema debe analizar la información suministrada por el IED para identificar el tipo de falla presentada y de esta manera tomar las acciones

correctivas, Esta tarea es compleja y demorada debido a la gran cantidad de información que se debe analizar. Por tal razón, este artículo se centra en describir la metodología establecida por el equipo de generación hidráulica de CELSIA para evaluar el comportamiento de las variables y funciones de protección ante la presencia de fallas del grupo generador – transformador, posteriormente con esta evaluación establecer los datos de entrada para una futura herramienta computacional basada en Sistemas Expertos (SE) [3] para el diagnóstico de fallas eléctricas del grupo generador – transformador y la evaluación de desempeño del esquema de protección, que permita reducir los tiempos de análisis de fallas para retornar rápidamente el proceso de generación a su condición normal de operación. El SE propuesto permitirá identificar varias características, tales como: el tipo de falla, la ubicación y su evolución en el tiempo. La base del conocimiento del SE será adquirida de la experiencia de los ingenieros expertos y la lógica de las funciones del dispositivo de protección, (IED), lo cual será el objeto de mostrar en este artículo.

3. Materiales y métodos

3.1 Contexto de una central hidroeléctrica con embalse.



Fig 1. Central hidroeléctrica con embalse.

Metafóricamente hablando, una central hidroeléctrica es una creación grandiosa de

ingeniería, que, ayudada de la naturaleza, la regulan, para generar riqueza y preservar la vida. La figura 1 muestra el contexto general de una central hidroeléctrica con embalse. el embalse es donde se almacenan grandes cantidades de metros cúbicos de agua, la presa (el corazón de la central) su función, mantener el agua almacenada, la torre de toma; lugar donde se capta el agua para el ingreso a la casa de máquinas. El agua se transporta por medio de la tubería de carga y es controlada por medio de la válvula de entrada. Al ingresar a la casa de máquinas, el agua pasa a través de la turbina, la cual está acoplada al eje y a su vez este acoplado al generador. Por medio de la física del electromagnetismo se genera la energía que pasa a través del transformador elevador para ser transmitida por las líneas de transmisión en alta tensión, disminuyendo las pérdidas hasta las zonas de consumo. El agua después del proceso de transformación de energía es dirigida por el tubo de aspiración hacia la descarga en donde es depositada nuevamente al río. El proceso de generación de energía con embalse es un proceso peligroso, que almacena grandes cantidades de energía y que contiene en el proceso el movimiento de piezas mecánicas de grandes dimensiones. Una falla crítica en alguno de los elementos principales de una instalación como estas, que no sea detectada y controlada de manera correcta; puede atentar directamente contra la vida de las personas, los animales y el medio ambiente tanto al interior de la central, como también, en la zona de influencia.

3.2 Ciclo de actualización tecnológica y mantenimiento del esquema de protección eléctrica en las centrales de generación.

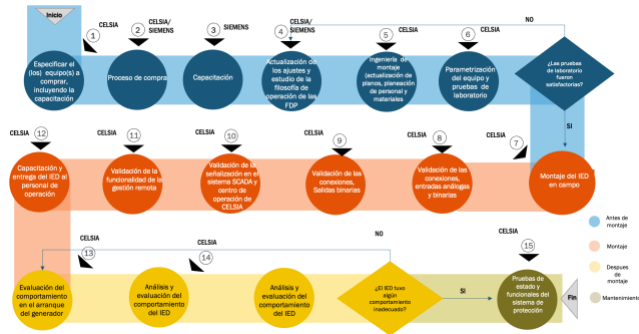


Fig 2. Ciclo de actualización tecnológica y mantenimiento protecciones eléctricas centrales de generación.

La figura 2, muestra el ciclo de actualización tecnológica y mantenimiento que se realiza en las centrales de generación de CELSIA. Como punto de partida de lograr diagnosticar fallas y evaluar el desempeño de un esquema de protección, es indispensable que exista un equipo humano de trabajo que se dedique desde el principio del ciclo, al cuidado de los activos que hacen parte de un sistema de protección. Lo anterior es importante ya que, al ser un área tan especializada de la ingeniería, tercerizar estas labores, expone el proceso a depender en un alto porcentaje de servicios contratados especializados; que, por tener la necesidad de una disponibilidad continua y 24/7, termina siendo costoso. El contar con un equipo especializado, permite tener el conocimiento de las instalaciones, los equipos instalados, la filosofía de funcionamiento y parametrización de los equipos, el conocimiento en pruebas de diagnóstico y verificación, el conocimiento rápido en la lectura de planos y la capacidad de lectura de logs de eventos y archivos tipo comtrade oscilograficos. Lo anterior se convierte en un factor importante si se quiere actuar de manera rápida, dado el caso de tener una falla o un evento fortuito en la instalación a proteger.

3.3 Descripción de los modos de falla eléctrica asociados a los elementos de un grupo generador transformador de una central hidroeléctrica.

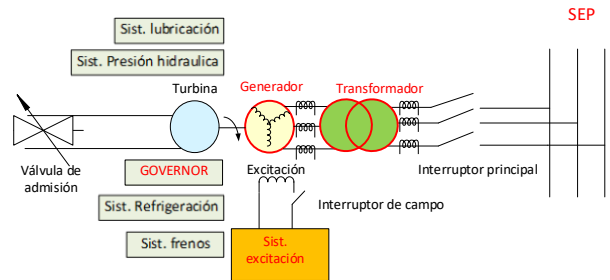


Fig 3. Grupo generador-transformador y sus elementos asociados.

La Figura 3 muestra los diferentes subsistemas asociados al grupo generador transformador. Con base a esta figura se analizan los diferentes tipos de falla que se pueden presentar.

3.3.1 Fallas Internas en el generador.

Los incrementos de corrientes en la máquina causan deterioro progresivo en el aislamiento y en los dos devanados del generador [4]. Con el fin de evitar grandes costos de mantenimiento, paros extensos, sobrecalentamientos, daños en el laminado del núcleo, es necesario contar con un sistema de protección que aisle las diferentes fallas en corto tiempo para evitar daños graves en la máquina.

Se resaltan las siguientes fallas eléctricas internas:

- Cortocircuito trifásico en el estator.
- Cortocircuito bifásico en el estator.
- Cortocircuito bifásico a tierra en el estator.
- Cortocircuito monofásico en el estator.
- Falla a tierra rotor.

3.3.2 Fallas internas en el transformador de potencia

La naturaleza de las fallas en un transformador está relacionado a sobrecalentamientos, sobrecargas, pérdida de aislamiento, cortocircuitos externos, cortocircuitos internos entre otros factores. Los incrementos en las variables eléctricas ocasionan sobrecarga en un transformador lo que genera un sobrecalentamiento y posteriormente deterioro en



el aislamiento. Con el fin de evitar daños costosos de mantenimiento es necesario que el sistema de protección actué ante las diferentes fallas que puedan ocurrir, en este estudio se presentan los siguientes casos de falla:

- Cortocircuito trifásico devanado primario o secundario.
- Cortocircuito bifásico en el estator.
- Cortocircuito bifásico a tierra en el devanado primario y secundario
- Cortocircuito monofásico
- Falla a tierra rotor.

3.3.3 Fallas externas del Grupo Generador – Transformador.

Se consideran las siguientes fallas externas al grupo: falla interruptor, las asociadas a las líneas de transmisión y al SEP al cual está conectado, estos elementos del sistema de potencia tienen sus protecciones principales que detectan este tipo de fallas, al no ser fallas internas del grupo, las FDP del grupo actúan como respaldo a estas fallas con un retardo de tiempo predeterminado.

- Cortocircuito trifásico en líneas de transmisión
- Cortocircuito bifásico en líneas de transmisión
- Cortocircuito bifásico en líneas de transmisión
- Cortocircuito monofásico en líneas de transmisión
- Falla a tierra rotor.

3.3.4 Falla interruptor

La protección contra fallas del interruptor está concebida para detectar si el interruptor asociado abrió correctamente ante la presencia de una falla inicial. Una no apertura del interruptor puede darse por:

- Falla en el cableado de control.
- Falla de las bobinas de apertura (bobinas quemadas).
- Falla en el mecanismo o en la apertura de los contactos.
- Deterioro o pérdida de la capacidad dieléctrica.

3.3.5 Falla en el sistema de excitación

El sistema de excitación de un generador eléctrico es el encargado de proveer corriente continua al devanado de campo, lo cual permite controlar la tensión de salida en bornes del generador y la potencia reactiva, además el sistema de excitación protege y limita la potencia reactiva del generador y la corriente de la excitación [5]. De esta forma, garantiza la operación de la máquina sincrónica dentro de sus límites de capacidad. Ya que este sistema es tan importante dentro del comportamiento del generador, se analizó que condiciones operativas podrían generar las distintas fallas eléctricas. En este caso se estudiaron las siguientes fallas:

- Aumento de la corriente de excitación en el arranque.
- Aumento de la corriente de excitación cuando el generador está en línea.
- Pérdida de excitación.

3.3.6 Cierre inadvertido sin condiciones de sincronismo

Cuando un generador no posee todas las condiciones para realizar sincronismo, y se conecta a la red puede provocar que el generador se convierta en un motor de inducción, el comportamiento será obtener de la red corriente eléctrica para generar un movimiento mayor al sincrónico.

3.3.7 Fallas en el GOV

El gobernador es un sistema de control asociado a la unidad de generación, permite regular la velocidad de rotación del generador realizando la comparación de la señal de velocidad de la máquina con la velocidad de referencia implementada en el control, si estas variables son iguales la señal de salida será un cero que indica que el gobernador no debe originar cambios en las



condiciones de operación, dado que la maquina está a la velocidad deseada. Pero si por el contrario la señal de error es diferente de cero el gobernador deberá enviar una señal servomotor para que abra o cierre la válvula de entrada de agua a la turbina. Esta acción permite en la turbina incrementar o disminuir la potencia mecánica de la unidad para corregir la desviación de velocidad.

Ya que este sistema es muy importante para el buen funcionamiento del generador se realiza el estudio para determinar las fallas que pueden presentarse y que funciones de protección actúan sobre ellas, estas fallas estudiadas son:

- Apertura de alabes en el arranque.
- Cierre inadvertido válvula de entrada.
- Cierre inadvertido de alabes

3.3.8 Fallas en TI's y TP's

Se debe realizar un mantenimiento continuo a los transformadores de potencial y de corriente, que son los encargados de llevar la señal a los IED's, ya que de ellos depende que las funciones de protección actúen de manera correcta.

Los mantenimientos a los transformadores pueden conllevar a que después de realizado el mantenimiento se presente un error humano o un daño en los transformadores y se presente una mala operación del sistema de protecciones.

Las fallas en los ti's se presentan por saturación de los ti's y por apertura del secundario, mientras que las fallas de los tp's se presentan por la apertura de los fusibles en el lado de alta.

3.4 Descripción del sistema y esquema de protección eléctrica de un grupo generador transformador de una central hidroeléctrica.

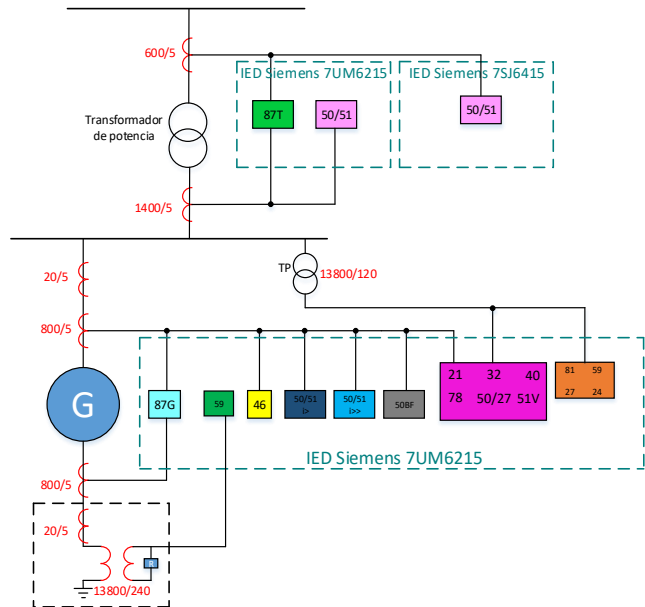


Fig 4. Diagrama unifilar típico de un esquema de protección para un grupo generador transformador.

Cada grupo generador-transformador tiene su sistema de protección (fig 4.), esta protección puede ser de tipo eléctrica o mecánica. A continuación, se describen los elementos que hacen parte de un sistema de protección eléctrica y las diferentes funciones de protección del grupo generador – transformador que generan alarma y parada total.

También se clasificaron las funciones de protección (FPD) eléctricas de un grupo generador- transformador: FPD del generador ante fallas internas, FDP de los equipos asociados al generador (Gobernador y sistemas de excitación), FDP del transformador ante fallas internas y FDP del grupo ante fallas externas.

3.4.1 Descripción del sistema de protección de una central hidroeléctrica.

A continuación se listan los elementos que hacen parte de un sistema de protección en una central hidroeléctrica

- IED de protección eléctrica
- Transformadores de corriente y potencial

- Transformador y resistencia del neutro del generador
- Sistema de DC para alimentación y circuito de disparo
- Interruptor de potencia
- Relés auxiliares
- Cableado eléctrico
- Cableado estructurado para comunicación y digitalización de subestaciones

3.4.2 Modos de fallas eléctricas en los elementos principales de un grupo generador transformador de una central hidroeléctrica.

Ubicación de la falla	Causa de la falla	ANSI	Nombre de la función	
Transformador	Cortocircuito trifásico	87	Diferencial	
		21	Distancia	
		50/51	Sobrecorriente	
	Cortocircuito monofásico o bifásico	27	Subtensión	
		87	Diferencial	
		21	Distancia	
Falla externa	Cortocircuito trifásico	50/51	Sobrecorriente	
		27	Subtensión	
		87	Diferencial	
	Cortocircuito monofásico O bifásico	46	Secuencia Negativa	
		27	Subtensión	
		87G	Diferencial	
	Falla Interna del generador	Cortocircuito trifásico en el estator	51V	Sobrecorriente de tiempo inverso con restricción de tensión
			50/51	Sobrecorriente
			21	Distancia
		Cortocircuito bifásico en el estator	27	Subtensión
			87G	Diferencial
			78	Perdida de paso
Cortocircuito monofásico en el estator		50/51	Sobrecorriente	
		46	Secuencia Negativa	
		27	Subtensión	
GOV		Apertura de alabes en el arranque	59	Sobretensión
			32	Potencia inversa
			32	Potencia inversa
	Cierre inadvertido de alabes	59	Sobretensión	
		24	Sobrecarga	
		40	Perdida de excitación	
	Aumento corriente de excitación en el arranque	59	Sobretensión	
		27	Subtensión	
		78	Perdida de paso	
	Aumento corriente de excitación en línea	50/27	Energización inadvertida	
		21	Distancia	
		27	Subtensión	
AVR	Perdida de excitación	40	Perdida de excitación	
		27	Subtensión	
		78	Perdida de paso	
Cierre inadvertido sin condiciones de sincronismo	50/27	Energización inadvertida		
	50/51	Sobrecorriente		
	27	Subtensión		

Tabla 1. Relación entre las FDP y los casos de falla de cada elemento del grupo generador transformador.

Después de describir de manera general el contexto de una central hidroeléctrica con embalse, el ciclo de actualización tecnológica y de mantenimiento, los elementos críticos del proceso de transformación de energía, el sistema de protección, los tipos de falla eléctrica y las funciones de protección que dan lugar a su

despeje, a continuación se presenta el diagrama funcional construido que facilita la concepción de una metodología para la detección de la ubicación y el tipo de falla eléctrica, como también la evaluación del desempeño de un esquema de protección.

3.5 Diagrama funcional para la concepción de una metodología para la identificación y ubicación de las fallas eléctricas en el grupo generador - transformador y la evaluación del desempeño del respectivo esquema de protección

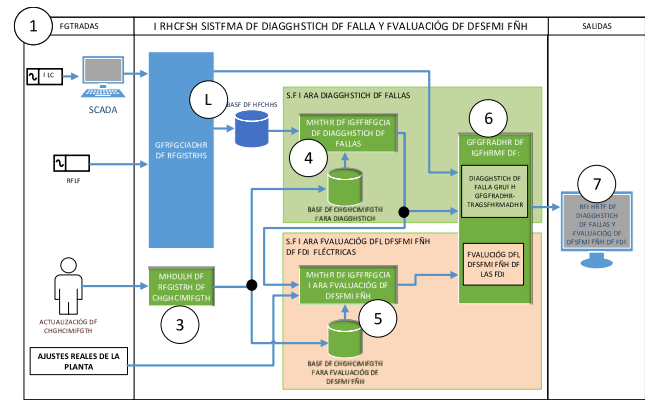


Fig 5. Diagrama funcional para la identificación y ubicación de las fallas eléctricas y la evaluación del desempeño del esquema de protección en el grupo generador – transformador.

En la Figura 5 se presenta la arquitectura propuesta, la cual, está compuesta por las fuentes de información de entrada que dan origen a una consulta sobre una falla, el proceso el cual cuenta con dos SE encargados de realizar el diagnóstico de la falla y la evaluación del desempeño de las FDP, además, dentro del proceso se cuenta con elementos externos a los sistemas expertos, los cuales son encargados de adecuar y estructurar la información que se encuentra en las entradas para que pueda ser utilizada por los sistemas expertos. Por otro lado, en la salida se tiene el reporte de fallas con la que interactúan los usuarios, en esta se reciben los resultados del diagnóstico de falla en el grupo generador transformador y también el



8º CONGRESO MUNDIAL
DE MANTENIMIENTO Y
GESTIÓN DE ACTIVOS



21 · 22 · 23
MAYO · 2025
Centro de Convenciones
Cartagena de Indias - Colombia



22º Congreso Iberoamericano de Mantenimiento

27º Congreso Internacional de Mantenimiento y Gestión de Activos - CIMGA

resultado de la evaluación de desempeño de las FDP eléctricas frente a la falla diagnosticada.

Entradas (1): Compuesta por las fuentes de información que brindan los datos sobre una falla.

- PLC/SCADA
- IED de protección
- Conocimiento bibliográfico y experto humano
- Ajustes reales de las FDP en la central.

Gerenciador de registros/base de hechos (2): Módulos ubicados en la parte del proceso. Recibe la información del PLC/SCADA para las variables mecánicas y relés de protección para las variables eléctricas en diferentes etapas de tiempo (antes, durante y después de la falla). Por medio del gerenciador de registros se filtra los datos requeridos para el sistema experto y se depuran los datos que no son necesarios para que sean organizados y almacenados en la base de hechos.

Módulo de registro del conocimiento (3): Como su nombre lo indica, es donde se almacena el conocimiento de diferentes fuentes literarias, eventos ocurridos, y experto humano, tanto para el diagnóstico de fallas en donde se almacenan casos de fallas mecánicas, fallas eléctricas y fallas híbridas (combinación entre fallas eléctricas y mecánicas) como para la evaluación del desempeño en donde se almacena el desempeño teórico que debe tener el esquema de protección para cada tipo de falla y los ajustes teóricos de las diferentes funciones de protección de acuerdo a manuales de los fabricantes y normas internacionales de recomendación.

Motor de inferencia para el diagnóstico de fallas (4): hace parte del sistema experto para el diagnóstico de fallas. Es el módulo en donde se compara la información almacenada en la base de hechos por la ocurrencia de una falla y la información almacenada en la base de conocimiento en búsqueda de una similitud, con el objetivo de que el sistema experto emita una conclusión determinística sobre la ubicación y tipo de falla. En el caso en que no se encuentre una similitud determinística de la falla ocurrida con la base del conocimiento, se realiza entonces un

diagnóstico con redes bayesianas en donde probabilísticamente se trata de encontrar el tipo y ubicación de la falla. Cuando se encuentran múltiples casos coincidentes se elige el que se ubique en la parte superior después de realizar una ponderación.

Motor de inferencia para la evaluación del desempeño (5): hace parte del sistema experto para la evaluación del desempeño. Es el módulo que recibe la información que concluye el motor de inferencia sobre el diagnóstico de fallas y la información almacenada en la base de conocimiento para la evaluación del desempeño con el objeto de concluir que, de acuerdo al tipo y ubicación de la falla ocurrida, el esquema de protección opero correctamente al tener presente todas las señales binarias eléctricas o por el contrario, el sistema experto realiza la recomendación de los ajustes que se deben realizar para que la actuación del esquema de protección sea correcta.

Generador de informe y reporte (6-7): Es el módulo encargado de clasificar y organizar la información que sale del sistema experto del diagnóstico de fallas y del sistema experto de la evaluación del desempeño con el objeto de generar el respectivo informe. Después de generado el informe desde el módulo generador de informe, este se publica de manera automática en una HMI para que sea vista por la persona que requiera analizar la información.

4. Resultados

4.1 Caso real de falla: falla a tierra estator CH

PRADO

El día 19 de Julio del 2020 se presentó una falla tierra estator en el generador 1 de la central hidráulica de hidroprado. Como consecuencia de la falla se presentaron perforaciones del aislamiento de las barras del estator, siendo la fase C la más afectada y la que se aterrizó a tierra.

no.	time	event / value	status
1	0 ms	Pow.Sys.Fit.	1875 ON
2	0 ms	Failc Event	1875 ON
3	0 ms	Relay PICKUP	ON
4	0 ms	UD> picked up	ON
5	196 ms	inst. start R/F	ON
6	196 ms	Relay TRIP	ON
7	196 ms	R/R/F TRIP	ON
8	216 ms	IL1 S1:	0.00 KA
9	216 ms	IL2 S1:	0.00 KA
10	216 ms	IL3 S1:	0.00 KA
11	216 ms	IL1 S2:	0.00 KA
12	216 ms	IL2 S2:	0.00 KA
13	216 ms	IL3 S2:	0.00 KA
14	216 ms	UL1R:	1.58 KV
15	216 ms	UL2R:	1.59 KV
16	216 ms	UL3R:	1.58 KV
17	216 ms	P:	0.00 MW
18	216 ms	Q:	0.00 MVAR
19	216 ms	F:	57.70 Hz
20	216 ms	DIFF L1:	0.01 I/IND
21	216 ms	DIFF L2:	0.00 I/IND
22	216 ms	DIFF L3:	0.01 I/IND
23	216 ms	Res L1:	0.01 I/IND
24	216 ms	Res L2:	0.00 I/IND
25	216 ms	Res L3:	0.01 I/IND
26	216 ms	IO-DIFF:	0.00 I/IND
27	216 ms	IO-Res:	0.00 I/IND
28	500 ms	UD> picked up	OFF
29	500 ms	inst. start R/F	OFF
30	500 ms	Pow.Sys.Fit.	1875 OFF

Fig 6. Secuencia ordenada de eventos de la falla extraída del IED de protección.

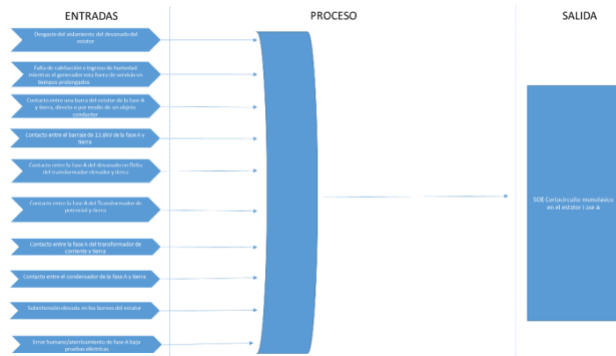


Fig 7. Posibles hipótesis de falla descrita en la base de conocimiento de la metodología para el diagnóstico de fallas de acuerdo a la información de entrada de la falla real



5. Conclusiones

- Es de gran importancia conocer el funcionamiento de la planta, los diferentes componentes que hacen parte de ella y sus respectivas funciones, ya que con esta información es posible relacionar los aspectos físicos que pueden generar fallas eléctricas y determinar de manera más acertada la ubicación y el tipo de falla ocasionada.
- Es fundamental conocer el sistema de protección de la planta y las funciones de protección que se encuentran activas, ya que permite realizar la clasificación de las funciones de protección asociadas a cada uno de los elementos del grupo generador transformador.
- En este tipo de trabajos se resalta la funcionalidad de tener relés digitales o IEDS, ya que además de poseer la función principal de proteger los activos y disminuir las consecuencias de fallas eléctricas, tiene funciones complementarias como el registro de eventos y oscilografías que complementan la información del contexto analizado y que permite realizar un diagnóstico más riguroso y exacto sobre las fallas eléctricas ocurridas en la planta.
- Se resume el diagrama funcional propuesto para el sistema experto de diagnóstico de fallas y la evaluación del desempeño del esquema de protección para el caso del grupo generador transformador de una central hidroeléctrica. En este artículo se profundizo en el uso de la base de conocimiento de las fallas de origen eléctrico que son detectadas por los IEDS multifuncionales de protección para ambos sistemas expertos.
- El sistema experto para el diagnóstico de fallas evalúa la presencia de las señales binarias asociadas a cada función de



protección que da lugar al despeje del tipo de falla eléctrica presentada y de acuerdo a ello concluye el resultado de la ubicación y el tipo de falla eléctrica. Además presenta una serie de hipótesis de la causa de la falla, lo cual es muy importante pues le ayuda al personal en campo acotar la búsqueda y las pruebas necesarias para ratificar la falla.

- Se construyó la base de conocimiento que se utilizó para alimentar el proceso de inferencia del sistema experto de evaluación del desempeño. Se elaboró el orden de actuación correcto de las funciones de protección para cada tipo de falla eléctrica y se integraron los criterios de ajuste recomendados por las normas internacionales de protecciones, el grupo nacional de protecciones y la experiencia operativa de los ingenieros de protecciones de CELSIA.
 - El sistema experto para la evaluación del desempeño primero evalúa si el orden de actuación de las funciones de protección de acuerdo al tipo de falla presentada es el correcto, evalúa el resultado del reporte del sistema experto de diagnóstico de fallas y si se presenta una omisión de disparo de una función de protección que debe operar de acuerdo al tipo de falla, se recomienda un mejor desempeño presentando los ajustes recomendados.
 - Para el caso presentando, se obtuvo la información de los IEDs de protección que actuaron en el momento del evento, después de analizar la información tipo SOE (secuencia ordenada de eventos), oscilograficos y comparar con la base de conocimiento descrita en la metodología, de manera rápida con los síntomas en campo y demás Información del personal de operación, se pudo concluir que la unidad de generación se encontraba en falla monofásica en el estator. Lo anterior permitió activar de manera rápida al personal de mantenimiento para realizar el respectivo desarme y reparación.
- El software desarrollado con el código de programación de los sistemas expertos no es objeto de este artículo, sin embargo con el fin de mostrar el resultado de toda una propuesta de investigación y desarrollo, se muestra el macro de toda la metodología.
 - En la actualidad no se dispone de un material bibliográfico estructurado para el diagnóstico de las fallas y la evaluación del desempeño de un esquema de protección de un grupo generador – transformador, por esta razón, la concepción de este documento permite facilitar los trabajos de diagnóstico post fallas con el fin de mejorar los tiempos de análisis para elaborar los reportes a las áreas gerenciales y compañías de seguros, además de disminuir la indisponibilidad de los activos fallados.
 - Con el presente documento se abre la puerta a la investigación y desarrollo de este tipo de sistemas para los esquemas de protección de líneas de transmisión y distribución, barrajes, compensadores y subestaciones.
 - Por cuestión de no hacer mas extenso el documento, se plantea de manera resumida un caso de falla real. En Celsia contamos con un amplio archivo de fallas que pueden ser compartidas para aquellas personas que deseen tener mas conocimiento acerca del tema.

6. Bibliografía

- [1] NU (Naciones Unidas), «Energía para todos», 2015. [En línea]. Disponible en:http://www.un.org/esa/sustdev/csd/csd14/bgrounder_energyforall_sp.pdf.
- [2] Unidad de planeación minero energética UPME, «Informe mensual de variables de

generación y del mercado eléctrico colombiano», 12, 2016. [En línea]. Disponible en: http://www.siel.gov.co/portals/0/generacion/2016/Segui_variables_dic_2016.pdf. [Accedido: 18-abr-2017].

[3] S. Badaró et al., «Sistemas Expertos: Fundamentos, Metodologías y Aplicaciones», vol. 13, pp. 349-364, 2013.

[4] M. Maldonado, «ARQUITECTURA DE UN SISTEMA EXPERTO | Maricelamaldonado's Blog», 2011. [En línea]. Disponible en: <https://maricelamaldonado.wordpress.com/2011/03/23/arquitectura-de-un-sistema-experto/>. [Accedido: 13-sep-2017].

[5] R. L. Norton, DISEÑO DE MÁQUINAS Un enfoque integrado, Cuarta. México: Pearson Educación, 2011.

Sergio Alexander Aristizábal. MSc en ingeniería eléctrica de la universidad del valle, 2020. Ingeniero Electricista de la Universidad del Valle, 2014. Apasionado por la docencia y las protecciones eléctricas, desde el 2014 se desempeña como el líder del área de protecciones eléctricas automatización y control en las centrales hidroeléctricas de Celsia S.A. E.S.P.

Calle 15 No. 29B-30 Autopista Cali –Yumbo

E.mail: saristizabal@celsia.com
Cali. – Colombia