

**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ**

INGENIERÍA ELÉCTRICA

RESIDENCIA PROFESIONAL

DEPENDENCIA: COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD

REPORTE FINAL DE RESIDENCIA

NOMBRE DEL PROYECTO:

**DISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN Y MONITOREO EN LINEA
DE GASES QUE PUEDEN PRODUCIR UNA PROBABLE FALLA AL
BANCO DE TRANSFORMADORES DE POTENCIA.**

ALUMNO:

MONTERO DOMÍNGUEZ GERHARD ANTONY

NUM DE CONTROL

15270555

TUXTLA GUTIÉRREZ CHIAPAS A 30 DE ENERO DEL 2020

AGRADECIMIENTOS

El amor, la motivación y la paciencia que recibo constantemente de todos mis seres queridos, principalmente de mis padres y a mis hermanos, quienes se han preocupado por mi superación.

Gracias principalmente a mis padres por ser los principales motores en mi vida, gracias por cada día confiar y creer en mí, gracias a mi madre por siempre estar dispuesta a acompañarme en cada larga noche de estudio; gracias a mi padre por siempre desear y anhelar lo mejor para mi vida, gracias por cada consejo, por cada regaño que a pesar de mis enojos siempre fueron para mi propio bien.

Gracias al personal de la C.H. Belisario Domínguez, por haberme permitido realizar mi residencia profesional, por brindarme las herramientas necesarias para poder desarrollarme en el ámbito profesional y laboral, al departamento de protección y medición el cual me apoyo para poder cosechar aprendizajes que solo dentro de la central pueden adquirirse.

Gracias a dios porque siempre me ha dado un techo donde dormir, por poder llevar comida mi boca y por siempre consolarme en los días donde yo decía que ya no podía más.

RESUMEN

La central hidroeléctrica Belisario Domínguez mejor conocido como “La Angostura” cuenta con 5 unidades generadoras de 180 MW cada una, produciendo un total 900 MW, actualmente los transformadores que están en servicio desde su apertura en el año 1976, el esquema de protecciones de los transformadores existente es un poco pobre, y por consecuencia de los años que tienen los transformadores , es necesario modernizar el esquema de protección, esto en conjunto con un análisis de aceite constante, en este reporte podremos observar el estudio que se realizó para poder dejar un esquema actualizado para mayor seguridad de la generación de dicha central.

Se realizaron contactos con diferentes proveedores para poder así elegir el mejor equipo que se adecue a las necesidades que cuenta la central.

INDICE

1 INTRODUCCION	6
2 DESCRIPCION DE LA EMPRESA Y PUESTO O AREA DE TRABAJO DEL ESTUDIANTE	7
3 PROBLEMAS A RESOLVER.....	8
4 OBJETIVOS	9
5 JUSTIFICACION	10
6 FUNDAMENTO TEÓRICO	11
6.1 Sistema eléctrico de potencia	11
6.1.1 Generación de energía eléctrica.....	12
6.1.2 Redes de transmisión.....	12
6.1.3 Redes de distribución.....	13
6.2 Transformadores.....	13
6.2.1 Clasificación de los transformadores.....	14
6.2.2 Aislamiento en los transformadores.....	15
6.2.3 Tipos de transformadores.....	16
6.2.4 Conexiones del transformador.....	18
6.2.5 Curva de daño del transformador.....	21
6.3 Fallas y sistemas de protección en equipos eléctricos.....	24
6.3.1 Tipos de falla.....	24
6.3.2 Métodos para el estudio de corto circuito.....	26
6.4 Sistemas de protección.....	28
6.4.1 Elementos de un sistema de protección.....	28
6.5 Generación de gases disueltos en aceite de los transformadores de potencia	38
6.5.1 Identificación de la falla con la ayuda del análisis de gases disuelto.....	38
7 DESARROLLO	40
7.1 Características específicas de los transformadores de potencia.....	40
7.2 Esquema de protecciones con el que cuenta actualmente los transformadores de potencia de la C.H. Belisario Domínguez.....	48
7.3 Contacto con proveedores.....	53
7.4 Especificación de equipos para el esquema de protecciones y el equipo para análisis de aceite del transformador de potencia.....	60
7.5 Realización de esquemas y diagramas eléctricos de la modernización del esquema de protecciones de los transformadores.....	62

8 RESULTADOS	63
9 CONCLUSIONES	65
10 COMPETENCIAS DESARROLLADAS Y/O APLICADAS.....	66
11 FUENTES DE INFORMACION	67
12 ANEXOS.....	68

1 INTRODUCCION

La etapa de Residencia Profesional, es primordial para cualquier estudiante próximo a egresar porque es donde se nos da la oportunidad de comenzar a ejercer como verdaderos profesionistas en una empresa real, donde existen diversos desafíos como el enfrentarnos al verdadero mundo laboral y cumplir con las expectativas deseadas, pero también, beneficios como el carácter curricular que se obtiene de esta experiencia.

En el presente documento corresponde al reporte de residencia profesional con el tema “Diseño del sistema de protección y monitoreo en línea de gases que pueden producir una probable falla al banco de transformadores de potencia” con el cual se pretende dar a conocer los conocimientos adquiridos y las actividades realizadas durante la estancia, dicha residencia realizada en la empresa Comisión Federal de Electricidad, específicamente en la central hidroeléctrica Belisario Domínguez, también conocida como “Presa la Angostura”.

El documento se enfoca en dos propuestas:

La primera propuesta conlleva al monitoreo en línea del aceite de los transformadores, actualmente la central cuenta con un banco de transformadores de potencia que están en servicio desde la apertura, el análisis de aceite proporcionará una seguridad en la generación de energía, ya que se tendrán datos con los cuales podremos conocer si podría ocurrir una falla dependiendo de la lectura que se obtenga.

La segunda propuesta es proponer una modernización al esquema de protecciones ya existente, ya que en la actualidad existen equipos con los cuales podemos tener un esquema con mucho mayor protección.

2 DESCRIPCION DE LA EMPRESA Y PUESTO O AREA DE TRABAJO DEL ESTUDIANTE.

La Comisión Federal de Electricidad (CFE) es una empresa productiva del estado mexicano encargada de controlar, generar, transmitir y comercializar energía eléctrica en todo el país. Fue fundada el 14 de agosto de 1937 por el Gobierno Federal y sus primeros proyectos se realizaron en Teloloapan, Guerrero; Pátzcuaro, Michoacán; Suchiate y Xía, en Oaxaca, y Ures y Altar, en Sonora. La CFE abastece cerca de 26.9 millones de clientes e incorpora anualmente más de un millón. Desde octubre de 2009, se hace cargo del área que atendía la extinta compañía Luz y Fuerza del Centro. La CFE es la empresa más grande del sector eléctrico de Latinoamérica.

Dentro de la generación eléctrica que realiza la comisión federal de electricidad, cuenta con una infinidad de centrales generadoras en todo el territorio mexicano, la central hidroeléctrica Belisario Domínguez o comúnmente llamada presa la angostura, es una central ubicada en el estado de Chiapas, en el municipio de Venustiano Carranza, una central que cuenta con 5 unidades de generación, las cuales producen 180 MW individualmente, es decir con una capacidad máxima de 900 MW.

El puesto que ocupó en estudiante fue como residente dentro del departamento de protección y medición de la C.H. Belisario Domínguez, estando a cargo del jefe de departamento el ing. Víctor Hugo García Kassab.

3 PROBLEMAS A RESOLVER.

Los problemas específicos de la central hidroeléctrica Belisario Dimínguez, son que los transformadores de potencia tienen una edad de 44 años, por consecuencia los transformadores deben de estar en constante vigilancia, ya que la vida útil mínima es alrededor de los 20 años.

Las normas que existen en nuestro país al paso de los años poco a poco se van realizando modificación, todos estos cambios para que nuestro sistema eléctrico nacional tenga una seguridad y una eficiencia mayor a la que actualmente tenga y uno de los principales cambios que se solicitaran a futuro son que las centrales cuenten con un análisis permanente de aceite de los transformadores de potencia.

4 OBJETIVOS

Objetivo general:

Diseñar el sistema de protecciones del banco de transformadores de potencia, así como, realizar la memoria de ajustes de protecciones, para mejorar la calidad en el aprovechamiento del sistema.

Objetivos específicos:

Conocer el esquema de protección con el que cuenta actualmente la central hidroeléctrica Belisario Domínguez.

Realizar la investigación necesaria para conocer el proceso que conlleva el análisis de aceite para los transformadores de potencia.

Proponer un esquema de protección que proporcione una mayor seguridad al proceso de generación de la central hidroeléctrica.

5 JUSTIFICACION

Dentro de una empresa tan grande como lo es Comisión Federal de Electricidad, uno de sus principales objetivos es la seguridad dentro de todas sus instalaciones, tanto la seguridad de su personal, la de su consumidor y de todos los equipos con que puede contar.

Es por eso que la modernización del esquema de protecciones, es un proyecto de prioridad ya que estos equipos son parte muy importante para la generación de energía de dicha central.

Con el paso de los años los transformadores de potencia cada día se degeneran más, esto aumenta una probabilidad de que ocurra una probable falla, el análisis de aceite en línea nos proporcionará los tipos de gases que pueden contener dentro del aceite y así prevenir una falla.

6 FUNDAMENTO TEÓRICO

6.1 Sistema eléctrico de potencia

Un sistema eléctrico de potencia está conformado por un conjunto de elementos que permiten que la energía eléctrica generada, transformada, transmitida, distribuida y consumida de la manera más eficiente.

Un sistema eléctrico de potencia se comprende básicamente por tres subsistemas principales.

- Generación de energía eléctrica: esta conformada por plantas o centrales generadoras, son el punto inicial del sistema eléctrico de potencia; producen la energía eléctrica a partir de fuentes de energía primarias, convirtiendo la energía mecánica en energía eléctrica.
- Sistemas de transmisión: este sistema está conformado por las líneas o redes de transmisión, las cuales tienen la función de transportar a grandes distancias la energía eléctrica producida en las centrales de generación hasta los centros de consumo.
- Sistema de distribución: dentro de estos sistemas están comprendidas las líneas o redes de subtransmisión como las líneas de distribución, estas cumplen la función de distribuir la energía eléctrica dentro de los centros de consumo y entregarla a los usuarios.

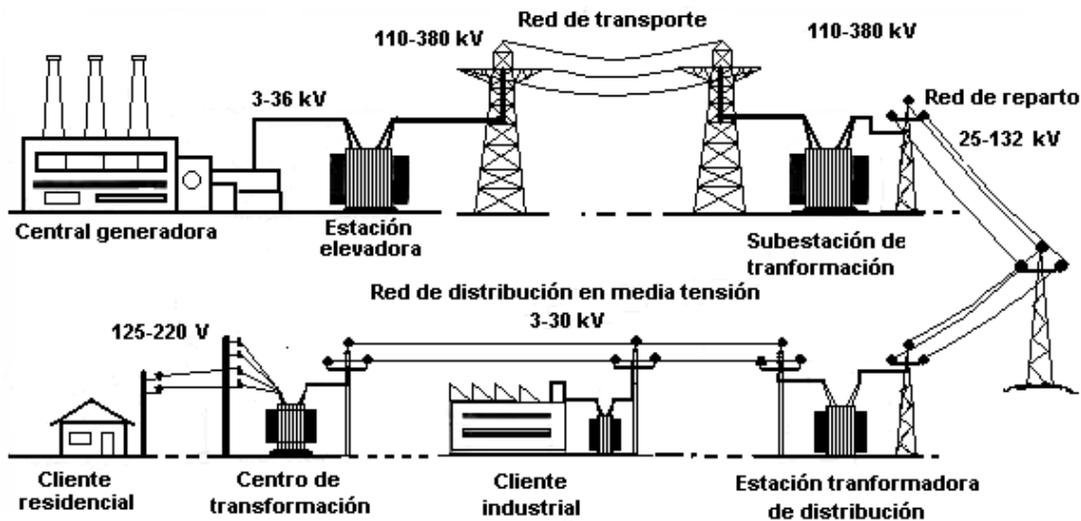


Ilustración 1 Sistema eléctrico de potencia.

6.1.1 Generación de energía eléctrica.

La generación de energía eléctrica es la encargada de suministrar la energía al sistema. Las unidades generadoras son llamadas centrales o plantas de generación.

La energía eléctrica es producida en las centrales o plantas de generación, donde se transforma una energía primaria a energía eléctrica, mediante diferentes procesos de transformación que van de acuerdo al tipo de energía primaria empleada se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Centrales hidroeléctricas.
- Centrales termoeléctricas.
- Centrales geotermoeléctricas.
- Centrales nucleoeeléctricas.
- Centrales mareomotrices.
- Centrales eólicas.
- Centrales solares.
- Centrales de biomasa.

6.1.2 Redes de transmisión.

El sistema de transmisión es muy diferente, tanto en funcionamiento y en características, comparado al sistema de distribución.

Son aquellas que se utilizan para transportar la energía eléctrica a grandes distancias, a niveles de voltaje superiores a las 34.5 kV. Estas constituyen al eslabón de unión entre las centrales generadoras y las redes de distribución. Para la construcción de estas líneas se utilizan casi exclusivamente conductores metálicos desnudos.

No solo maneja bloques más grandes de energía, si ni también interconecta las plantas de generación y los principales puntos de carga del sistema. La energía se puede dirigir en cualquier dirección que se desee en los distintos enlaces del sistema de transmisión.

Los sistemas de transmisión también sirven para interconectar plantas de servicio eléctrico permitiendo el intercambio de energía cuando el sistema lo requiera, esto para ayudarse unas con otras cuando las plantas generadoras estén fuera de servicio por alguna falla o mantenimiento.

Los sistemas de transmisión principalmente constan de los siguientes elementos:

- Estaciones transformadoras elevadoras.
- Líneas de transmisión.

- Estaciones de maniobra.
- Estaciones transformadoras reductoras.

6.1.3 Redes de distribución.

La distribución eléctrica es parte fundamental en el sistema eléctrico de potencia, ya que es la etapa final en el proceso de transporte de la energía eléctrica; esta constituido desde la subestación de distribución hasta el dispositivo de medición de los consumidores.

La principal función del sistema de distribución es recibir la potencia eléctrica de las líneas de transmisión y distribuirla a los consumidores, con niveles de tensión de que van desde 4.6, 13.2, 13.8, 23 y 34.5 kV.

El objetivo de los sistemas de distribución es entregar energía eléctrica de calidad sin variaciones de altas tensiones o interrupciones de servicio; es por eso que su diseño y construcción son una tarea difícil, ya que involucran diferentes factores como lo son: la densidad de carga, confiabilidad del sistema, criterios de operación, características de la carga y su crecimiento. Por lo tanto, el diseño debe tener la característica de tener flexibilidad, ya que en un futuro debe tener la capacidad de un incremento o una expansión de carga.

6.2 Transformadores.

Es una maquina eléctrica estática que opera en base al principio de la inducción electromagnética, transformando parámetros de tensión y corriente sin variar la frecuencia.

Esta formado por dos o más circuitos eléctricos aislados entre sí, enlazados únicamente por el flujo magnético común y sus dispositivos no presentan movimientos mecánicos.

El principio básico de funcionamiento sucede cuando se induce una corriente alterna en el devanado primario, lo cual crea un flujo magnético en el núcleo del transformador, y, por lo tanto, también se crea en el devanado secundario. En consecuencia, se produce un voltaje variable en el devanado secundario, puede ser mayor o menor dependiendo del tipo de transformador.

Un transformador simple se compone esencialmente de tres partes.

- Devanado primario:

El devanado primario está conectado a la fuente de energía y recibe la FEM de corriente alterna que se quiere aumentar o disminuir desde la línea de suministro. Puede ser un devanado de bajo o alto voltaje, dependiendo de la aplicación y tipo de transformador.

- Núcleo:

Es en donde se enrollan los devanados y donde se produce el flujo magnético alterno, por lo regular están contruidos por una serie de láminas aisladas eléctricamente. para minimizar corrientes parásitas.

- Devanado secundario:

El devanado secundario es el que suministra el potencial transformado a la carga y es donde se genera la fuerza electromotriz (voltaje) por el cambio de magnetismo en el núcleo al cual rodea. Puede ser un devanado de bajo o alto voltaje, dependiendo de la aplicación del transformador.

6.2.1 Clasificación de los transformadores.

Los transformadores se pueden clasificar de la siguiente manera:

- A. Número de fases.
 - a. Monofásico, 1 fase.
 - b. Polifásico, 2 fases o más.
- B. Operación.
 - a. De gran potencia, 10 MVA o más.
 - b. Mediana potencia, de 7.5 a 10 MVA.
 - c. De baja potencia, de 500 a 7500 kVA.
 - d. De distribución 500 kVA.
- C. Aplicación.
 - a. Elevador.
 - b. Reductor.
 - c. De aislamiento para falla.
 - d. De instrumento.
- D. Núcleo.
 - a. Acorazado.
 - b. Columna.
- E. Preservación del aceite
 - a. Con tanque conservador.
 - b. Sin tanque conservador.
- F. Refrigeración.
 - a. Aire natural.
 - b. Aire forzado.
 - c. Aceite.
 - d. Aceite forzado.
 - e. Agua.

De acuerdo a esto, existe una clasificación de acuerdo a las normas ANSI y estas tienen su equivalente en las normas mexicanas NMX-J-116-ANCE, la cual esta expresada en la Tabla 2.1.

Tabla 1 Tipos de refrigeración para transformadores.

TIPO	DESCRIPCIÓN DEL TRANSFORMADOR	MEDIO
OA	En aceite con ventilación natural	Aceite-Aire natural
OA/FA	En aceite, enfriamiento forzado con aire	Aceite, aire/ventilador
FOA	En aceite, enfriamiento forzado con aceite	Aire, aceite/bomba
FOA/FA	En aceite, enfriamiento forzado con aceite y aire, pueden operar simultáneamente	Aceite/bomba Aire/ventilador
FOW	En aceite, enfriamiento forzado con agua	Aceite, agua/radiadores
AA	Seco con enfriamiento natural	Aire natural
AA/FA	Seco con enfriamiento forzado	Aire/ventilador

Obtenida de la norma NMX-J.116-ANCE-2005.

6.2.2 Aislamiento en los transformadores.

Debido a que las diferentes partes eléctricas de un transformador se encuentran a distintas tensiones, es necesario aislarlas entre sí para evitar la aparición de arcos eléctricos y consecuente degradación de los componentes. Existen varios tipos de aislamiento en un mismo transformador.

- Aislamiento entre arrollamiento y núcleo - En transformadores de alta tensión suele ser una lámina de papel impregnada en aceite mineral.
- Aislamiento entre distintos arrollamientos - En transformadores de alta tensión suele ser una lámina de papel impregnada en aceite mineral.
- Aislamiento entre espiras no consecutivas de un mismo arrollamiento - Dos espiras diferentes de un transformador tienen distintos niveles de tensión y

deben ser aisladas. En transformadores de alta tensión puede ser una lámina de papel impregnada en aceite mineral o una capa de laca sobre el cobre.

- Aislamiento entre espiras consecutivas de un mismo arrollamiento - Incluso dos espiras consecutivas tienen distintos niveles de tensión y deben ser aisladas entre sí. Una fina capa de laca sobre el cobre suele hacer esta función.

6.2.3 Tipos de transformadores.

Existen diferentes tipos de transformadores, el uso de cada uno de ellos depende directamente de la aplicación que se requiere, a continuación, se hace mención de los diferentes transformadores que existen.

- Autotransformador.

El autotransformador puede ser considerado simultáneamente como un caso particular del transformador o del bobinado con núcleo de hierro. Tiene un solo bobinado arrollado sobre el núcleo, pero dispone de cuatro bornes, dos para cada circuito, y por ello presenta puntos en común con el transformador. El principio de funcionamiento es el mismo que el del transformador común.

- Transformador de impedancia.

Este tipo de transformador se emplea para adaptar antenas y líneas de transmisión (tarjetas de red, teléfonos, etc.) y era imprescindible en los amplificadores de válvulas para adaptar la alta impedancia de los tubos a la baja de los altavoces.

Los transformadores de impedancia se construyen generalmente a partir de un núcleo de ferrita o hierro pulverizado que puede encontrarse en forma de anillo, toroide o barra casi siempre cilíndrica.

- Transformador de potencia.

Son los que se utilizan en las subestaciones y transformación de energía en alta y media tensión. Son dispositivos de grandes tamaños, los transformadores de potencia deben ser muy eficientes y deben disipar la menor cantidad posible de energía en forma de calor durante el proceso de transformación.

Las tasas de eficacia se encuentran normalmente por encima del 99% y se obtienen utilizando aleaciones especiales de acero para acoplar los campos magnéticos inducidos entre las bobinas primaria y secundaria.

- Transformador de comunicaciones.

Previstos para trabajar con tensiones y frecuencias variables. Se emplean, fundamentalmente, en aplicaciones electrónicas.

- Transformador de medida.

Los transformadores de medida permiten aislar los dispositivos de medición y protección de la alta tensión. Trabajan con corrientes o tensiones proporcionales las cuales son objeto de monitoreo, y consiguen evitar perturbaciones que los campos magnéticos pueden producir sobre los instrumentos de medición.

- Transformador elevador/reductor de voltaje.

Los Transformadores Reductores y Elevadores permiten a los operadores aumentar o disminuir la tensión eléctrica (VCA) para coincidir con los requisitos de carga.

- Transformador de aislamiento.

Los transformadores de aislamiento tienen una relación de 1:1 entre sus devanados primario y secundario. Lo que significa que ambos devanados tienen las mismas espiras (vueltas), por lo cual su salida entrega el mismo voltaje que se aplicó a la entrada. Se utiliza principalmente como medida de protección.

- Transformador de alimentación.

Pueden tener una o varias bobinas secundarias y proporcionan las tensiones necesarias para el funcionamiento del equipo. A veces incorpora un fusible térmico que corta su circuito primario cuando el transformador alcanza una temperatura excesiva, evitando que éste se queme. Es utilizado principalmente para alimentar circuitos electrónicos.

- Transformador con diodo dividido.

Es un tipo de transformador de línea que incorpora diodos rectificadores para proporcionar la tensión continua de MAT directamente al tubo. Se llama diodo dividido porque está formado por varios diodos más pequeños repartidos por el bobinado y conectados en serie, de modo que cada diodo sólo tiene que soportar una tensión inversa relativamente baja. La salida del transformador va directamente al ánodo del tubo, sin diodo ni triplicador.

- Transformador de frecuencia variable.

Son pequeños transformadores de núcleo de hierro que funcionan en la banda de audiofrecuencias. Se utilizan a menudo como dispositivos de acoplamiento en circuitos electrónicos para comunicaciones, medidas y control.

- Transformador de pulsos.

Un transformador de pulso es un transformador mejorado que produce pulsos eléctricos de gran velocidad y amplitud constante. Suelen utilizarse en la transmisión de información digital y en transistores (especialmente con circuitos conductores de compuerta).

- Transformador flyback.

Es un caso particular de transformador de pulsos. Se emplea en los televisores con tubo de rayos catódicos para generar la alta tensión y la corriente para las bobinas de deflexión horizontal. Además, suele proporcionar otras tensiones para el tubo (foco, filamento, etc.). Tiene la característica de mantener diferentes niveles de potencia de salida debido a sus diferentes arreglos entre sus bobinados.

- Transformador híbrido.

Es un transformador de aplicación en los teléfonos, tarjetas de red, etc. Este transformador se encarga de dividir las señales de entrada y las de salida. Convierte la comunicación bidireccional sobre dos hilos en dos conexiones unidireccionales a dos hilos, que entonces se le conoce como comunicación a 4 hilos.

6.2.4 Conexiones del transformador.

En los transformadores trifásicos se tienen diferentes conexiones de los devanados de sus fases y las más usuales son las siguientes:

- Conexión estrella- estrella (Y-Y).

Los devanados de las 3 fases se encuentran conectados en un punto común conocido como el neutro de la estrella, esto para ambos lados del transformador, como se muestra en la figura 2.2.

Con esta conexión se tienen problemas con los armónicos, especialmente el tercero, se suelen emplear dos métodos muy eficientes para poder solucionarlos:

- El neutro de la estrella del lado primario se conecta a tierra para evitar una sobretensión debido a que la corriente de la tercera armónica circula por el neutro.
- Otro método eficiente es integrar un devanado terciario conectado en delta, el cual encierra las corrientes circulantes dentro de la delta ayudando de esta manera, a eliminar los componentes de tercer armónico de voltaje.

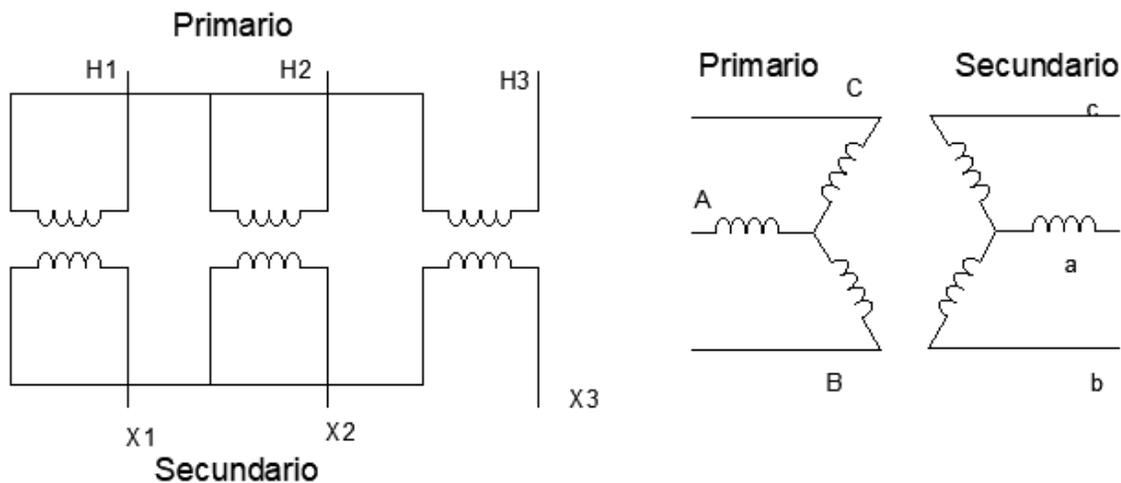


Ilustración 2 Conexión estrella-estrella de transformadores y esquema eléctrico.

- Conexión estrella-delta (Y- Δ).

En esta conexión el lado primario tiene sus tres devanados conectados en un punto común, formando una estrella y el lado secundario tiene sus devanados conectados en delta o triángulo, como se observa en la figura 2.3. Los transformadores con este tipo de conexión son empleados con poca frecuencia, y se utilizan como reductores al final de las líneas de transmisión.

Esta conexión tiene la característica de disminuir los efectos de la componente del tercer armónico debido a la delta que presenta en el lado secundario, así mismo la tensión en el lado secundario del transformador se encuentra desplazada 30° respecto a la tensión del lado primario.

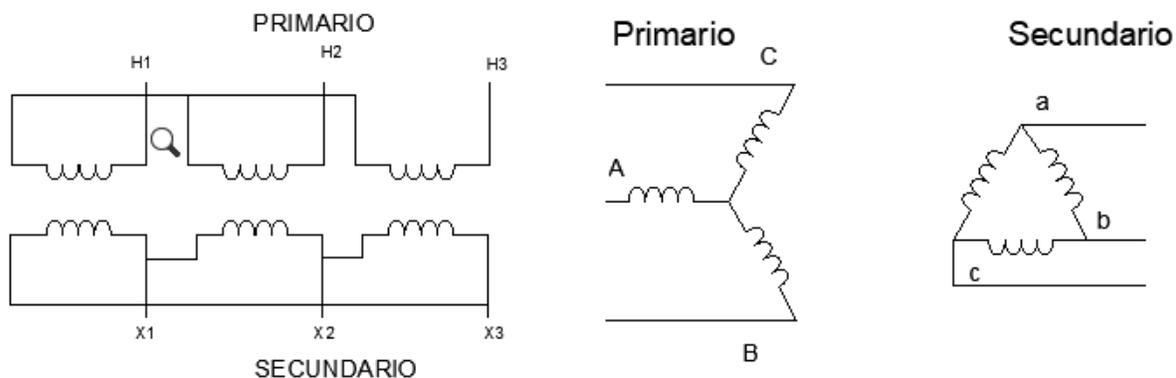


Ilustración 3 Conexión estrella-delta de transformadores y esquema eléctrico.

- Conexión delta-delta (Δ - Δ).

Estos transformadores poseen la misma conexión en ambos lados, tanto el primario como el secundario están conectados en delta por lo que las características de las tensiones de línea y de fase son iguales, esto también implica que no exista desfasamiento entre tensiones secundarias y primarias.

La ventaja de esta conexión es que cuando se presenta una falla en un banco de transformadores monofásicos, el banco ahora con dos transformadores sigue suministrando energía al sistema alcanzando un 58% de la potencia.

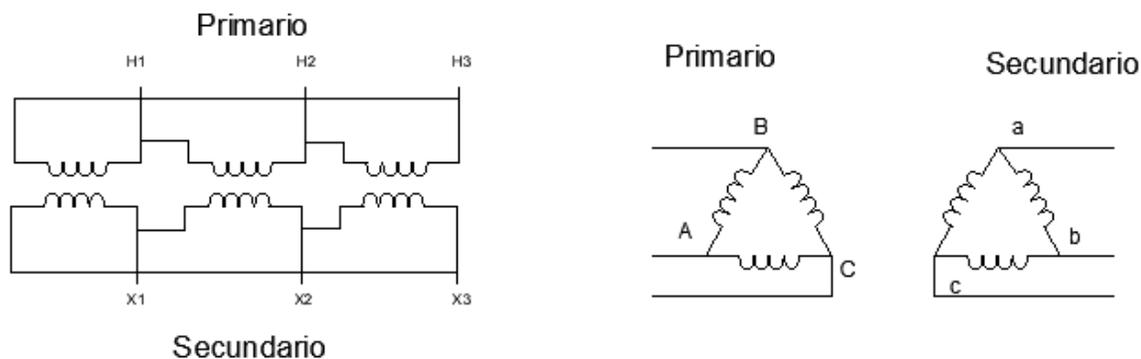


Ilustración 4 Conexión delta-delta de transformadores y esquema eléctrico.

- Conexión delta-estrella (Δ -Y).

En estos transformadores los devanados de lado primario se encuentran conectados en delta y por su parte el lado secundario en estrella.

Este tipo de conexión en los transformadores son empleados como elevadores en las centrales generadoras, el neutro de la estrella suele conectarse a tierra para lograr que las tensiones de fase no superen el valor nominal del sistema. Así mismo son muy empleados para la distribución de energía ya que posee tensiones monofásicas y tensiones trifásicas.

Poseen la ventaja de aislar las corrientes de falla entre circuitos del primario y el secundario, es decir, si se presenta una falla en un lado del transformador, el circuito del otro lado no se ve afectado por la corriente de falla.

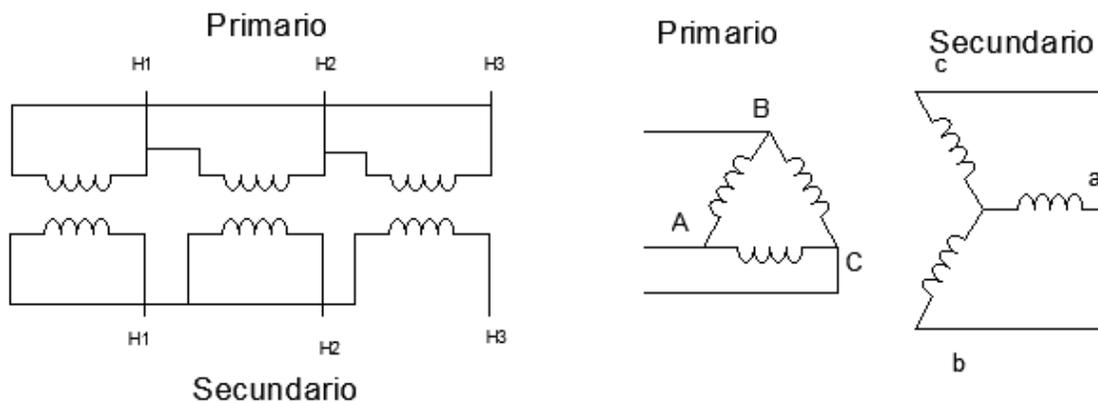


Ilustración 5. Conexión delta-estrella en los transformadores y esquema eléctrico.

6.2.5 Curva de daño del transformador.

Es muy importante tomar en cuenta, en el estudio de protecciones eléctricas del transformador, que este se encuentre protegido de las corrientes de fallas externas que, en un determinado tiempo puede dañarlo.

El documento ANSE-IEEE C57.109-1993 que se titula “guía para la duración de corriente de falla a través de transformadores” establece los límites teóricos de las sobrecorrientes que pueden soportar los transformadores y brinda información acerca de la capacidad de sobrecarga térmica de corto tiempo, así como, los efectos mecánicos sobre los devanados, siendo estos los más significativos en transformadores mientras sea mayor su capacidad.

El documento nos ayuda a establecer las protecciones necesarias de sobrecorriente que ayuden a limitar el tiempo de las corrientes de corto circuito en el transformador, impidiendo que exista algún daño.

La curva de daño del transformador, es una representación gráfica de las corrientes y tiempos que los transformadores son capaces de soportar sin dañarse.

Tabla 2. Clasificación de los transformadores.

Categoría	Monofásico Capacidad mínima en kVA.	Trifásica Capacidad mínima en kVA
I	5-500	15-500
II	501-1667	501-5000
III	1667-10000	5001-30000
IV	Mayores de 10000	Mayores de 30000

Obtenida de la norma ANSI-IEEE C57.109-1993.

Los transformadores con categoría I y IV cuentan con una sola curva de daño en donde se observan los efectos mecánicos y térmicos, mientras los transformadores con categoría II y III cuentan con dos curvas de daño; esto debido a las ocurrencias y niveles de corriente de falla, así como el tiempo de vida.

Cuando los transformadores son afectados por fallas continuamente se representan por dos porciones de curva; una parte sólida donde se expresa la duración de la falla alcanzada por daño térmico y una parte punteada donde se observa los efectos mecánicos.

La curva de los transformadores se puede obtener gracias a las ecuaciones de la tabla 3.

Tabla 3. Ecuaciones para el cálculo de los puntos de la curva de daño.

Punto	Categoría	Tiempo	Corriente
1	I	$T=1250(Zt)$	$I = \frac{Ln}{Zt}$
	II, III, IV	$T=2$	$I = \frac{Ln}{Zt}$
2	II	$T=4.08$	$I = \frac{Ln}{Zt} (0.5)$
	III, IV	$T=8.0$	$I = \frac{Ln}{Zt + Zs} (0.5)$
3	II	$T = 2551(Zt)^2$	$I = \frac{Ln}{Zt} (0.7)$

	III, IV	$T = 5000(z_t + z_s)^2$	$I = \frac{I_n}{Z_t + Z_s} (0.5)$
4	I, II, III, IV	T=50	$I = I_n(5)$
Parte de la curva térmica	I, II, III	T=60	$I = I_n(4.47)$
		T=300	$I = I_n(3)$
		T=1800	$I = I_n(2)$

Obtenida de la norma ANSI-IEEE C57.109-1993.

Donde:

T= tiempo en segundos

I= corriente en amperes

Z_t=impedancia del transformador referida a su capacidad OA en p.u.

Z_s= Impedancia del sistema hasta la conexión del transformador en p.u.

I_n= Corriente nominal del transformador en amperes.

6.2.5.1 Corriente de magnetización.

La corriente de magnetización o también conocida como inrush es una corriente transitoria mayor a la corriente nominal que fluye cuando el transformador es energizado. El estudio de dicha corriente es importante, ya que las protecciones de los transformadores deben de estar ajustadas de tal forma que no operen cuando la corriente inrush fluya desde la fuente hasta el transformador.

La duración de esta corriente se considera de 0.1 segundo y depende principalmente de cuatro puntos los cuales son:

- Capacidad de transformación.
- Magnetismo residual o remanente del núcleo.
- Punto sobre la onda de tensión cuando ocurre la energización.
- Ubicación el transformador en el sistema.

En la tabla 4 se observan los múltiplos de corriente nominal correspondientes a la corriente de magnetización (inrush), correspondiente a la capacidad del transformador.

Tabla 4. Múltiplos de corriente nominal correspondientes a la corriente de magnetización (inrush).

Capacidad del transformador (kVA)	Corriente de magnetización (rsm)
500 a 2500	8 veces la corriente nominal
Mayores de 2500	10-12 veces la corriente nominal

Obtenida de la norma ANSI-IEEE C57.109-1993.

6.2.5.2 Corriente de carga fría.

Esta corriente se manifiesta cuando se alimenta súbitamente la carga, esta se toma en consideración para evitar que las protecciones operen de una forma errónea cuando circule en el sistema. Para las cargas puramente resistivas el valor de esta corriente es igual a la corriente nominal; pero para cargas altamente inductivas esta corriente llega a alcanzar una magnitud de seis veces la corriente nominal. El tiempo de duración de esta corriente suele tomarse con valor de 1 segundo.

6.3 Fallas y sistemas de protección en equipos eléctricos.

6.3.1 Tipos de falla.

Existen muchas causas que pueden perturbar el funcionamiento normal de los transformadores, barras, generadores y redes eléctricas, estas causas se pueden clasificar según su naturaleza:

- Fallas de naturaleza transitoria: la pérdida de aislamiento de los elementos o equipos con potencial eléctrico, es momentáneo. En estas fallas se encuentra los arcos por descargas atmosféricas y flameo por contaminación.

- Falla por naturaleza permanente: En estas fallas el aislamiento se pierde por completo, esto requiere la reparación o mantenimiento del equipo.

Existen otras fallas que se pueden clasificar mediante su tipo y causa:

- Aislamiento: envejecimiento del aislamiento, contaminación e incluso defectos de fabricación o instalación errónea.
- Eléctrico: descargas atmosféricas, y sobretensiones por maniobras en el sistema.
- Térmica: falla del enfriamiento, sobretensiones, sobrecorriente y hasta la temperatura del ambiente en el cual opera el equipo.
- Mecánica: Impactos por objetos externos, sismos y esfuerzos por sobrecorriente.

Para el análisis de los sistemas de protección de sobrecorriente, es necesario analizar las fallas por sobrecorriente:

- Sobrecarga: esta falla se produce cuando existe un aumento en la carga, lo cual provoca que se sobrepase la corriente nominal de un circuito. Las sobrecargas son por lo regular un incremento de la corriente nominal, por lo que la instalación o red eléctrica puede soportar durante un periodo de tiempo corto. La sobrecarga que ocurre durante un tiempo cualquiera produce que los aislamientos de los conductores se calienten excesivamente y por esta razón es necesario proteger los sistemas ante estas condiciones.
- Corto circuito: el corto circuito es una conexión anormal de relativamente baja impedancia, ocasionada de forma accidental o intencional, entre dos puntos de diferente potencial. La corriente de corto circuito tiene una magnitud dada directamente por la capacidad del sistema eléctrico de potencia que proporciona la energía de la red o el punto donde se produce la falla y esta corriente no depende de las condiciones de la carga conectada al sistema.

La corriente de falla en el corto circuito circula en un circuito eléctrico una vez existe un contacto directo entre los conductores o al perderse el aislamiento con que se cuenta entre los mismos conductores o entre conductores a tierra. De acuerdo con lo mencionado en un sistema trifásico se pueden establecer cuatro tipos de fallas de corto circuito.

- Falla monofásica a tierra.
- Falla bifásica.
- Falla bifásica a tierra
- Falla trifásica.

6.3.2 Métodos para el estudio de corto circuito.

Para el cálculo de las corrientes de corto circuito se pueden emplear diferentes métodos de solución como los que a continuación se mencionan:

- Método directo o método óhmico.
- Método de los MVA.
- Método de las componentes simétricas.
- Método de la matriz de impedancias
- Método del bus infinito.
- Método de valores por unidad.

El último método mencionado es el utilizado en el proyecto dado en este documento.

Para representar los elementos de un sistema eléctrico en por unidad (p.u.) se siguen los siguientes pasos:

- Seleccionar las cantidades base.
 - Potencia base (S_B)
 - Tensiones base (V_B), por lo general se seleccionan de las tensiones nominales de cada uno de los devanados de los transformadores.
- Se calculan las impedancias base en cada nivel de tensión del sistema.
- Calcular los valores de impedancias de secuencias de líneas.
- Obtener los valores de impedancias de secuencias de líneas en p.u.
- Referir las impedancias de los transformadores a las bases seleccionadas.
- Elaborar los circuitos equivalentes monofásicos del sistema para cada una de las redes de secuencia (positiva, negativa y cero).

A continuación, se mencionan fórmulas para el cálculo por unidad (p.u.).

Cálculo de la corriente base e impedancia base:

$$I_B = \frac{S_B}{\sqrt{3}V_B} \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde:

I_B =corriente base

S_B =potencia base

V_B =voltaje base

$$Z_B = \frac{(V_B)^2}{S_B} \quad \text{Ecuación (2)}$$

Donde:

Z_B =Impedancia base

s_B =potencia base

V_B =voltaje base

Cálculos de los valores por unidad:

$$I_{pu} = \frac{I(\text{amp})}{I_B} \quad \text{Ecuación (3)}$$

Donde:

I_{pu} =corriente dado en pu

I_B =corriente base

$I(\text{amp})$ =corriente de placa en amperes

$$z_{pu} = \frac{Z\Omega}{Z_B} \quad \text{Ecuación (4)}$$

Donde=

z_{pu} =impedancia en pu

$Z\Omega$ =impedancia de placa en ohms

Z_B =impedancia base

Calculo para referir impedancias de transformadores a bases seleccionadas:

$$Z_{pu(\text{base})} = Z_{pu} \left(\frac{S_B}{S_{\text{equipo}}} \right) \left(\frac{V_{\text{equipo}}}{V_B} \right)^2 \quad \text{Ecuación (5)}$$

Donde:

$z_{pu(base)}$ =impedancia pu base

Z_{pu} =impedancia en pu

S_B =potencia base

S_{equipo} =potencia del equipo

V_{equipo} =voltaje del equipo

V_B =voltaje base

6.4 Sistemas de protección.

Los objetivos de los sistemas de protección son minimizar los siguientes puntos:

- El coste de operación de una falla
- La probabilidad de que las fallas se propaguen o involucren otro equipo.
- Tiempo que un equipo permanezca inactivo, reduciendo la necesidad de reservas.
- Las pérdidas económicas.

Una protección no debe de operar en ningún caso, si la falla se encuentra fuera de su zona de control, si la falla si se encuentra de su zona, su funcionamiento debe de ser exactamente como se esperaba para que los equipos puedan estar seguros ante posibles perturbaciones.

6.4.1 Elementos de un sistema de protección.

Los sistemas de protección emplean dispositivos y equipos fundamentales para poder cumplir sus funciones de protección, estos equipos son los siguientes:

- Transformadores de instrumento.
 - Transformador de corriente.
 - Transformador de potencial.
- Interruptores.
- Cuchillas.
- Banco de baterías.

- Relevadores.

6.4.1.1 Transformadores de instrumentos.

Los transformadores de instrumentos son utilizados para la medición y protección de circuitos eléctricos, su función principal es tomar valores de tensión y corriente de los sistemas de potencia y disminuirlos; para así conectar instrumentos de medición y protección, los cuales trabajan en baja tensión; esto ayuda a que los instrumentos sean de menor tamaño y que los operadores no corran peligro al utilizar magnitudes mayores.

- Transformador de corriente.

Los transformadores de corriente también conocidos como TC's son equipos que se utilizan para reducir los valores de corriente sin afectar sus características eléctricas.

Funcionan por medio de inducción electromagnética entre sus devanados primario y secundario.

El símbolo que representa un TC se muestra en la figura 10.6, la línea horizontal representa el devanado primario, que en algunos casos es la línea de alta tensión y la línea en forma de "M" representa el devanado secundario del transformador.



Ilustración 6 Símbolo de un TC

La función principal de los TC's, es transformar los valores de corriente de un circuito a un valor normalizado que pueda ser aplicado a diversos equipos, como lo que son equipos de medición y protección. El transformador de corriente se conecta en serie con el circuito donde se tiene planeado hacer la medición o protección.

- Relación de transformación.

La relación de transformación tiene que ver directamente con los devanados ya que se define como la corriente que circula en el devanado primario entre la corriente que circula en el devanado secundario.

$$RTC = \frac{I_p}{I_s} \qquad \text{Ecuación (6)}$$

Donde:

RTC=relación de transformación de corriente

I_p =corriente del primario

I_s =corriente del secundario

Es importante señalar que por fabricación los transformadores de instrumento tienen relaciones de transformación ya normalizados; por ejemplo, en las normas referidas a transformadores de instrumento se establece que la corriente secundaria debe tener un valor de 5A; pero en las normas europeas se maneja una corriente de 1^a. Asimismo por cuestiones de facilitación de producción los rengos de corriente de lado primario están estandarizados.

- Clase de precisión.

La clase de precisión se refiere a la exactitud de transformación de la corriente entre los devanados primarios y secundarios; por lo general existen dos tipos de errores; uno de ellos es el error de ángulo, el cual causa algún desajuste en la transformación, debido a la corriente de excitación del mismo; por lo que afecta en un desplazamiento vectorial entre dos corrientes.

Por otro lado, se encuentra el error de relación el cual es provocado por diferencia existente en los devanados; pequeñas diferencias entre el diseño en el numero de espiras de los devanados y su posterior fabricación. Estos errores siempre están presentes ya que es imposible fabricar un TC con 100% de efectividad.

- Carga o burden.

Se le llama burden a las cargas que son alimentadas por el TC; ya que cada equipo ya sea de protección o medición, consume un porcentaje de potencia, por igual los conductores utilizados para alambrear los equipos tienen perdidas que se contemplan como una carga extra al transformador.

- Transformadores de potencial.

Su función principal es reducir la tensión de una magnitud muy elevada a tensiones proporcionales de utilización, estos son conectados por su devanado

primario entre las terminales de las líneas del circuito en donde se desea obtener la magnitud de tensión y en su lado secundario son conectados instrumentos de medición o protección.

Existen dos tipos de TP's, el tipo inductivo y el tipo capacitivo:

- El tipo inductivos trabajan internamente por medio de inducción electromagnética.
- El tipo capacitivo son aquellos que realizan divisores de tensión del tipo capacitivo.

Los transformadores de potencial cuentan con características principales con las cuales se permite su selección.

- Relación de transformación.

Es la relación de tensión primaria entre la secundaria; esta tensión está establecidas como tensiones de fase, en México la tensión en el lado secundario se establece con un valor mínimo de 120 Volts.

$$RT = \frac{\frac{v_p}{\sqrt{3}}}{\frac{v_s}{\sqrt{3}}} \quad \text{Ecuación (7)}$$

RT=relación de transformación

v_p =voltaje del lado primario

v_s =voltaje del secundario

6.4.1.2 Interruptores.

Es un dispositivo que permite la interrupción o restablecimiento de la continuidad en un circuito eléctrico, el proceso de interrupción se lleva a cabo cuando existe una separación entre sus contactos. Existen interruptores de potencia y de baja tensión.

También se clasifican con base al medio de extinción del arco eléctrico:

- Interruptor de aire

Estos interruptores son comúnmente empleados en instalaciones interiores, pero pueden ser empleados en instalaciones exteriores siempre y cuando sus controles y el mecanismo interruptor se instalen en casetas o instalaciones que los protejan de la intemperie. Por lo general opera entre tensiones de 24 Kv a 34.5 Kv.

- Interruptores de vacío.

Este tipo de interruptores presenta una mayor ventaja ya que se pueden emplear en alta tensión y además son mucho mas rápidos a la hora de llevar acabo el proceso de interrupción y por consecuencia la extinción del arco eléctrico es más rápida.

- Interruptor en aceite.

Estos interruptores operan a tensiones entre 2.4 Kv y 400 Kv, usados por lo regular en instalaciones de tipo exterior. Los contactos y el mecanismo de operación se encuentran sumergidos en aceite dieléctrico que extingue el arco eléctrico cuando se opera.

- Interruptor en gas.

Por lo general emplean como medio aislante el SF6, estos interruptores se utilizan normalmente en alta y extra alta tensión, la cámara donde se lleva a cabo la separación de los contactos se encuentra llenas con el aceite inerte.

6.4.1.3 Banco de baterías.

Las baterías tienen como función proporcionar alimentación al circuito de disparo, enviando señal de disparo a través de los contactos de los reveladores a los interruptores. Preferentemente la alimentación al circuito de disparo debe ser de corriente directa, ya que la corriente alterna puede no ser de la adecuada magnitud durante el corto circuito.

6.4.1.4 Relevadores.

Un relevador de protección, es un dispositivo que detectan las condiciones anormales de operación en un sistema. Estos equipos pueden ser accionados por señales ya sean de corriente o tensión en incluso ambas, son ajustados para operar e indicar y asi mismo aislar las condiciones de la falla.

Un relevador de protección se compone de un elemento de operación y un conjunto de contactos. La señal de los dispositivos sensores es tomada por el elemento de operación, y esta proviene de los transformadores de instrumento como los transformadores de corriente y de potencial.

Cuando un relevador opera, puede funcionar sobre una señal o también complementar un circuito para que opere un interruptor, el cual es el encargado de desconectar la sección del sistema que se encuentra bajo falla.

- Tipos de relevadores.

Existen diferentes tipos de relevadores para protección eléctrica y se clasifican de acuerdo a su funcionamiento en:

- Relevadores de tensión.
- Relevadores de potencia.
- Relevadores de frecuencia.
- Relevadores diferenciales.
- Relevadores térmicos.
- Relevadores de presión.
- Relevadores de sobrecorriente.

Relevadores de tensión:

Operan por la acción de la tensión a la cual están expuestos, son de sobretensión cuando operan debido a una tensión de magnitud superior al establecido y de baja tensión cuando operan debido a una tensión de menor magnitud al establecido.

Relevadores de potencia:

Responde al producto de la magnitud de la tensión y la corriente por encima de un valor ajustado.

Relevadores de frecuencia:

Operan cuando el valor de la frecuencia en el sistema donde se encuentra varía en relación al valor especificado.

Relevadores diferenciales:

Operan cuando la diferencia entre dos o más corrientes excede un valor especificado.

Relevadores térmicos:

Operan cuando se presenta una temperatura por encima de un valor especificado en la zona de equipo a proteger.

Relevadores de presión:

Estos operan cuando se produce un cambio brusco en la presión de un fluido o gas.

Relevadores de sobrecorriente:

Este relevador esta diseñado para operar cuando existe un flujo de corriente superior al valor establecido en alguna parte de un sistema eléctrico.

El diseño de los relevadores de sobrecorriente no permite que estos sean selectivos por si mismos, ya que estos no detectan únicamente las fallas del equipo bajo protección sino también lo hace para los equipos aledaños a este.

La selectividad de un relevador de sobrecorriente se obtiene ajustando la sensibilidad o el tiempo de operación, o en su caso ambas condiciones. Un relevador de sobrecorriente opera con una alimentación comúnmente en corriente directa y a una tensión de 50V a 150V.

De acuerdo con los tiempos de operación también se les puede clasificar de dos maneras:

- Relevadores de sobrecorriente instantáneo. (50)
- Relevadores de tiempo. (51)

Relevadores de sobrecorriente instantáneo (50) :

El relevador de sobrecorriente instantáneo opera sin retraso deliberado, cuando la magnitud de corriente sobrepasa el valor para el cual se ajusto el relevador. Los rangos de tiempo que tarda en operar este relevador son de 0.016 seg y 0.10 seg.

El relevador de sobrecorriente instantáneo como su nombre lo indica opera de manera instantánea para valores excesivos de corriente, además indica la falla en el equipo o circuito bajo protección. El tiempo de operación es aproximadamente de 0.05 segundos (3 ciclos).

Relevadores de sobrecorriente de tiempo (51):

El relevador de sobrecorriente de tiempo, su característica esencial es que el tiempo de operación varia en forma inversa con la corriente que circula por el relevador, es decir entre mayor sea la magnitud de corriente, mucho menor será el tiempo de operación del relevador.

Este relevador es el mas usado por su simplicidad en el diseño y su confiabilidad. Su característica de tiempo definido e inverso, actúa cuando la corriente en el circuito sobrepasa la magnitud establecida. Consecuentemente de acuerdo a la característica inversa, a mayor corriente, menor tiempo.

Y por las características de tiempo y corriente estos pueden ser:

- Tiempo definido.

Estos relevadores se aplican donde no existe la necesidad de coordinarlos con otros dispositivos y que la corriente de falla no presente variaciones entre la condición máxima y mínima, o bien entre una falla local o un bus alejado.

- Tiempo inverso.

Estos relevadores se aplican en instalaciones eléctricas donde existen cambios en la potencia suministrada o cambios en los elementos de la red debidos a la conexión y desconexión de elementos, lo cual provoca que exista una variación en la corriente de falla.

- De tiempo muy inverso.

Estos relevadores se utilizan en instalaciones eléctricas donde requiere coordinarlos con otros equipos de protección como fusibles y donde para pequeñas fallas existen variaciones de corriente y por consecuencia el tiempo de interrupción es pequeño.

- De tiempo extremadamente inverso.

Estos relevadores son los mas recomendables para la protección de redes de distribución ya que permiten su coordinación con fusibles y restauradores en el mismo circuito.

Dependiendo de la construcción de los relevadores de sobrecorriente también se clasifican en:

- Relevadores electromecánicos.

Estos relevadores se encuentran clasificados de acuerdo con el principio de funcionamiento bajo el cual operan en:

- Atracción electromagnética.

Estos se emplean la construcción de relevadores de sobrecorriente instantáneos. Habitualmente esta conformado por un electroimán en la cual su bobina se alimenta a través de un TC. El embolo se construye de material ferromagnético, el cual se atrae por el flujo que existe en el entrehierro o mantenido estáticamente por la acción de un resorte o simplemente por la gravedad.

- Inducción electromagnética.

Este relevador es básicamente un motor de inducción de fase auxiliar con contactos. La fuerza actuante se despliega en el elemento móvil, el cual tiene la forma de un disco hecho de material no magnético pero que conduce la corriente, debido a la interacción que ocurre en el rotor entre las corrientes parasitas y los flujos electromecánicos.

El contacto fijo se encuentra situado en el armazón del relevador, mientras que el contacto móvil se encuentra en la flecha del rotor. La separación entre los contactos se puede ajustar mediante la palanca o dial, variando la distancia es como se varía el tiempo de operación en este tipo de relevadores.

- Relevadores estáticos.

Estos relevadores tienen funciones semejantes a los electromecánicos, estos carecen de partes móviles, pero a pesar de esta característica su ajuste y operación son parecidas a los relevadores electromecánicos.

- Relevadores microprocesados.

Estos relevadores son trifásicos y cuentan con un solo modulo, además de estar contenidos en unidades de fase y neutro y fijados en los tableros de control, medición y protección.

Características de la protección por relevadores.

- Confiabilidad

Uno de los criterios para la protección es su fiabilidad, es decir, su seguridad de funcionamiento. La protección debe responder con seguridad y efectividad ante cualquier situación que se produzca. La seguridad debe estar siempre mantenida aun para las condiciones más extremas, con excesivos valores de corrientes de corto circuito.

- Rapidez

Este criterio se refiere a la velocidad con que es interrumpida la parte afectada de un sistema eléctrico ante alguna falla. Tras haber sido detectada, una falla debe ser despejada lo más rápidamente posible. Si la protección tarda demasiado tiempo en actuar y librar la falla, los conductores y aparatos sufrirán un calentamiento excesivo destruyendo si, sus aislamientos e incluso hasta el equipo mismo. Las destrucciones son proporcionales a la duración de la falla por lo que se requiere una protección eficiente y lo más rápida posible.

- Simplicidad

El uso en menor cantidad de equipo y conexión del mismo es fundamental para que el sistema de protecciones opere de manera funcional, cabe mencionar que un esquema de protección en un sistema eléctrico debe evitar ser demasiado complejo evitando así riesgos la hora de su funcionamiento y facilitando posibles cambios o modificaciones a futuro.

- Selectividad

Cuando la falla es detectada, la protección debe ser capaz de distinguir si la falla se ha producido dentro o fuera de su área de monitoreo y dar orden de operar los interruptores correspondientes al área donde se encuentra la falla. Si la falla se ha producido dentro del área vigilada por la protección esta debe dar la orden de abrir los interruptores que aíslen el circuito en falla. Si, por el contrario, la falla se ha producido fuera de su área de vigilancia, la protección debe dejar que sean otras protecciones las que actúen para despejarla, ya que su actuación en caso de no ser necesaria dejaría fuera de servicio un número de circuitos más elevado que el estrictamente necesario para aislar la falla y, consecuentemente, implicaría un necesario debilitamiento del sistema.

- Economía.

La instalación de una protección debe estar justificada tanto por motivos técnicos como económicos. La protección de un sistema es importante, pero es más importante pedir que los efectos de la falla alcancen los equipos que alimentan o suministran la energía eléctrica y evitar que queden fuera de servicio. El sistema de protección es una pieza clave de cualquier sistema eléctrico de potencia ya que permite:

- Impedir que la falla se avance a otros puntos del sistema y alcance a otros equipos e instalaciones provocando pérdida de calidad y continuidad del servicio.
- Disminuir los gastos por reparaciones debidos a daños causados por falla.
- Reducir los lapsos de tiempo en que se encuentran fuera de servicio de equipos e instalaciones.

Es por esto que el criterio económico no debe despreciarse o restringirse solo al elemento directamente bajo protección, sino que también debe considerar las posibles consecuencias que existirían ante una falla o funcionamiento erróneo de los sistemas de protección.

6.5 Generación de gases disueltos en aceite de los transformadores de potencia

Las dos causas principales de la formación de gas dentro de un transformador de funcionamiento son perturbaciones térmicas y eléctricas. Pérdidas del conductor debido a la carga producen gases de la descomposición térmica del aceite asociado y aislamiento sólido. Gases también se producen a partir de la descomposición de aceite y aislamiento expuesto al arco temperaturas. En general, cuando se forman gases de descomposición principalmente por bombardeo iónico, hay poco o nada de calor asociado con descargas de baja energía y corona.

Todos los transformadores generan gases en cierta medida a temperaturas normales de funcionamiento. Pero de vez en cuando una anomalía generador de gas se produce dentro de un transformador que opera como un sobrecalentamiento local o general, problemas dieléctricos, o una combinación de éstos. En el equipo eléctrico, estas anomalías son llamados "defectos". Térmica, efecto corona, y las fallas de arco.

Cuando el transformador se somete a esfuerzos térmicos y eléctricos anormales, debido a la degradación del aceite y de los materiales aislantes, se generan ciertos gases combustibles. El tipo y las concentraciones de gases generados son importantes, por cuanto el proceso de envejecimiento normal produce cantidades extremadamente pequeñas de gases, mientras que condiciones incipientes o fallas declaradas generan cantidades grandes. Los gases típicos generados por algunas fallas incipientes en transformadores de fuerza son: Hidrógeno (H₂), Oxígeno (O₂), Nitrógeno (N₂), Metano (CH₄) Monóxido de carbono (CO), Etano (C₂H₆), Dióxido de carbono (CO₂), Etileno (C₂H₄) y Acetileno (C₂H₂) [4]. El Hidrógeno, Metano, Monóxido de carbono, Etano, Etileno y Acetileno son gases combustibles. Cuando se detectan gases en cantidad suficiente como para suponer la existencia de una falla, es necesario conocer la severidad de ella, lo cual se determina en base a la tasa de crecimiento por día de cada gas en particular, o del total de gases combustibles disueltos en el aceite.

Los mecanismos de falla más comunes son: Arcos eléctricos en el aceite y en el aislamiento sólido; Corona, Descargas eléctricas de baja energía en el aislamiento sólido y Sobrecalentamiento general o puntos calientes.

6.5.1 Identificación de la falla con la ayuda del análisis de gases disuelto

La detección de una condición anormal requiere de una evaluación de la concentración del gas generado y de la tendencia de generación. La cantidad de cada gas, con respecto al volumen total de la muestra, indica el tipo de falla que está en proceso [5], [6].

Existen dos maneras de representar los resultados de gases disueltos: A partir de las concentraciones individuales y por las relaciones entre gases.

- Acetileno

La presencia del acetileno en los gases disueltos en el aceite siempre se debe a una falla eléctrica. Si el acetileno está acompañado solamente de CH₄ y de H₂, se trata de arco eléctrico de duración limitada en el aceite. Si estos elementos son acompañados de CO y CO₂, este arco eléctrico implica o compromete el aislamiento sólido. Si esos mismos elementos (C₂H₂; CH₄ y H₂) sin CO ni CO₂ son acompañados de C₂H₆, C₃H₈, C₂H₄ y C₃H₆, significa que existen descargas parciales fuertes o arcos eléctricos en el aceite. Si, además se observa CO, significa que las descargas se producen en un aislamiento sólido.

- Etileno

Si los productos de degradación contienen C₂H₄ (sin C₂H₂) se trata siempre de una degradación térmica. Si no hay CO₂, en el punto caliente no interviene el aislamiento sólido. La temperatura de esta falla será superior o inferior a 500°C, según sea mayor la cantidad de C₂H₄ o de CH₄ respectivamente, entre los productos detectados. En general están acompañados de H₂, C₂H₆, C₃H₈ y C₃H₆. Cuando, además de estos compuestos (H₂, C₂H₆, C₃H₈ y C₃H₆), se constata la presencia de CO₂, y eventualmente de CO, la falla consiste en un punto caliente de temperatura igual o superior a 130°C. Mientras no se alcance 300°C la relación CO/CO₂ permanece en el orden de 0,1.

- Dióxido de Carbono

En ausencia de C₂H₂ y del C₂H₄, el CO₂, solo acompañado de un poco de CO o de CH₄, es característico de un envejecimiento térmico normal del papel. Cuando predomina el H₂ y los hidrocarburos saturados, tales como C₂H₆, C₃H₈ y C₃H₆, con una relación CO/CO₂ superior a 0,1, se trata de la existencia de pequeñas descargas parciales en el aislamiento sólido.

- Hidrógeno

La presencia de H₂, solo acompañado eventualmente de una cantidad de CH₄ se debe a descargas parciales, ya sea en el aislamiento, en la superficie libre de aceite, o bien, es la primera manifestación de una falla eléctrica más grave.

- Compuestos del aire (O₂, N₂)

En el caso de fallas en el relé bucholz o de gas, puede ser que el gas extraído de este contenga o₂ y n₂. Si la proporción o₂, n₂ es similar a la del aire, se puede tratar de una entrada de aire. Si la proporción de o₂ es mucho menor que la del aire, esto puede deberse a un punto caliente de temperatura superior a 100°C.

Ambigüedad de ciertos diagnósticos

Es frecuente que un transformador en servicio presente dos fallas simultáneas o, simplemente, una falla superpuesta al envejecimiento térmico normal. Para discernir la incertidumbre pueden utilizarse algunos criterios: Una relación CO/CO₂>0,1 debe ser siempre considerado como índice de descarga eléctrica que compromete el aislamiento. Desgraciadamente, se trata de una codificación necesaria pero no suficiente. Una ambigüedad típica proviene de la superposición de una pequeña falla térmica con pequeñas descargas parciales en el aislamiento sólido; en este caso, aparece C₂H₄ sin C₂H₂ y el diagnóstico que se da es “punto caliente en el aislamiento sólido”, lo que es cierto, pero se ignora la existencia de descargas parciales en el aislamiento sólido. Si en este caso la relación CO/CO₂ > 0,1, debe suponerse la superposición de estos dos efectos; igualmente una relación C₂H₆/C₂H₄> 1 indica siempre descargas parciales.

7 DESARROLLO

7.1 Características específicas de los transformadores de potencia.

Presa la Angostura o formalmente llamada central hidroeléctrica Dr. Belisario Domínguez, es una presa ubicada en el cauce del Río Grijalva en el municipio de Venustiano Carranza, Chiapas, México. Fue puesta en operaciones el 14 de julio de 1976, cuenta con una central hidroeléctrica la cual tiene una capacidad de generar 900 megawatts de energía eléctrica, tiene el mayor embalse del país con una capacidad aproximada de 10,727 de hectómetros cúbicos de agua.

El tipo de cortina que se seleccionó es de enrocamiento con un delgado núcleo impermeable de arcilla, además de tener un importante volumen de arena y grava producto de varios depósitos aluviales ubicados a distancias de 4 a 7 (km) aguas abajo del sitio.

El río fue desviado por medio de dos túneles revestidos de concreto de 13 (m) de diámetro interior, uno por la margen izquierda y el otro por la margen derecha, y dos ataguías, aguas arriba de 60 (m) de altura y 30 (m) la de aguas abajo, construidas de grava, arena y arcilla.

La obra de excedencias cuenta con dos vertedores ubicados en el margen izquierdo, son dos canales abiertos dotados de tres compuertas radiales cada uno.

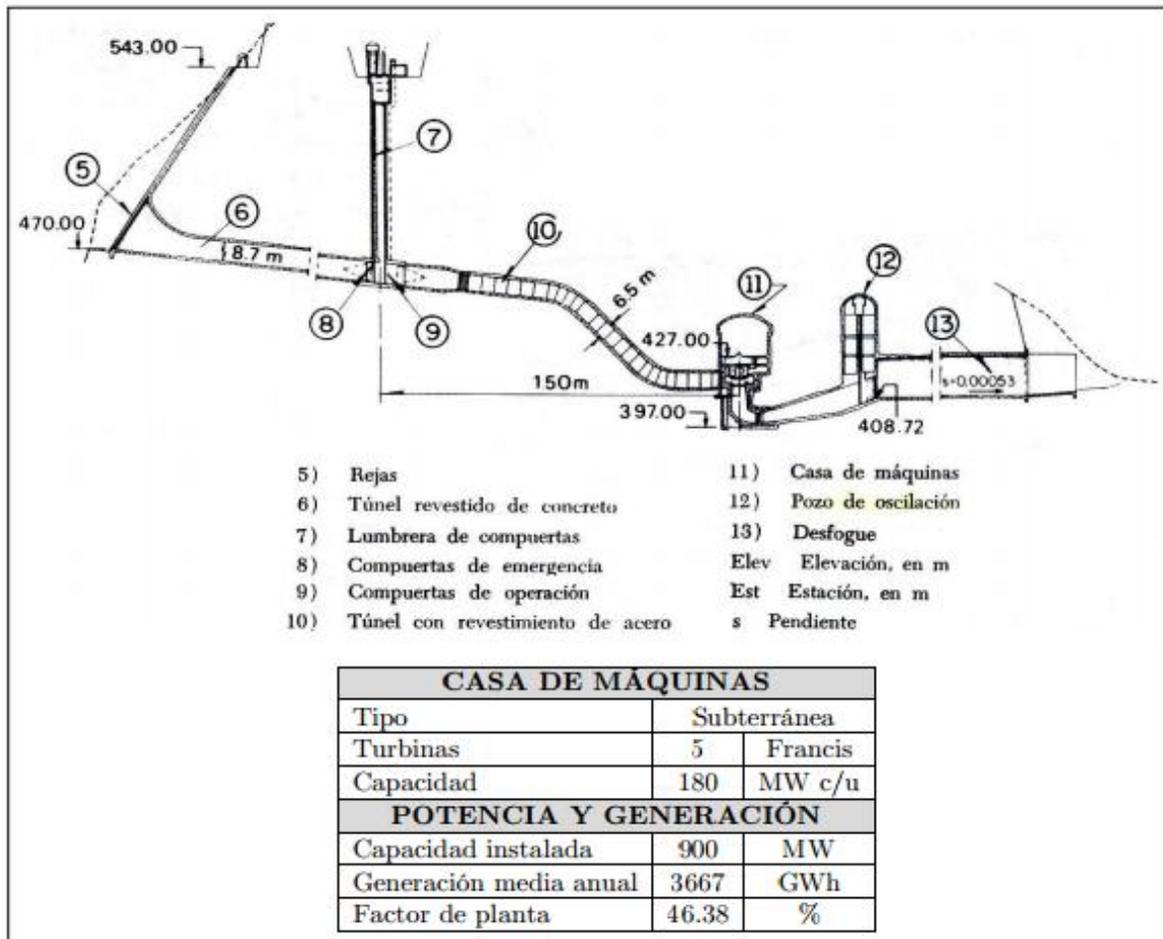


Ilustración 6. Capacidad y ubicaciones. C.H. Belisario Domínguez (Angostura)

Los canales tienen una longitud aproximada de 800 (m). El vertedor se diseñó para una descarga máxima total de 6,000 (m³ /s). La elevación de la cresta del vertedor se fijó en 519.60 (msnm).

La planta hidroeléctrica, se localiza en el margen izquierdo, la cual consta de una obra de toma, conducción a presión y casa de máquinas. El diámetro de la tubería a presión es de 8.7 (m). La casa de máquinas es subterránea, tiene dimensiones de 22 (m) de ancho, 100 (m) de longitud y 40 (m) de altura aproximadamente. Está diseñada para alojar 5 unidades, cada una constituida por una turbina tipo Francis, con capacidad de 180 (MW) cada una.

Estas 5 unidades con las que cuenta esta central son llamadas “unidades gemelas”, ya que son equipos fabricados por la misma empresa y con las mismas capacidades de generación, esto conlleva a que los demás equipos tengan las mismas características.

Cada unidad generadora cuenta con su respectivo transformador de potencia de la marca "JEUMONT-SCHNEIDER", de tipo acorazado con año de fabricación en 1975, con una tensión nominal del lado primario de 13800 V y del lado secundario con tensión nominal de 400000 V. Estos transformadores están en servicio desde la apertura de la central, tienen aproximadamente 43 años de edad cada transformador.

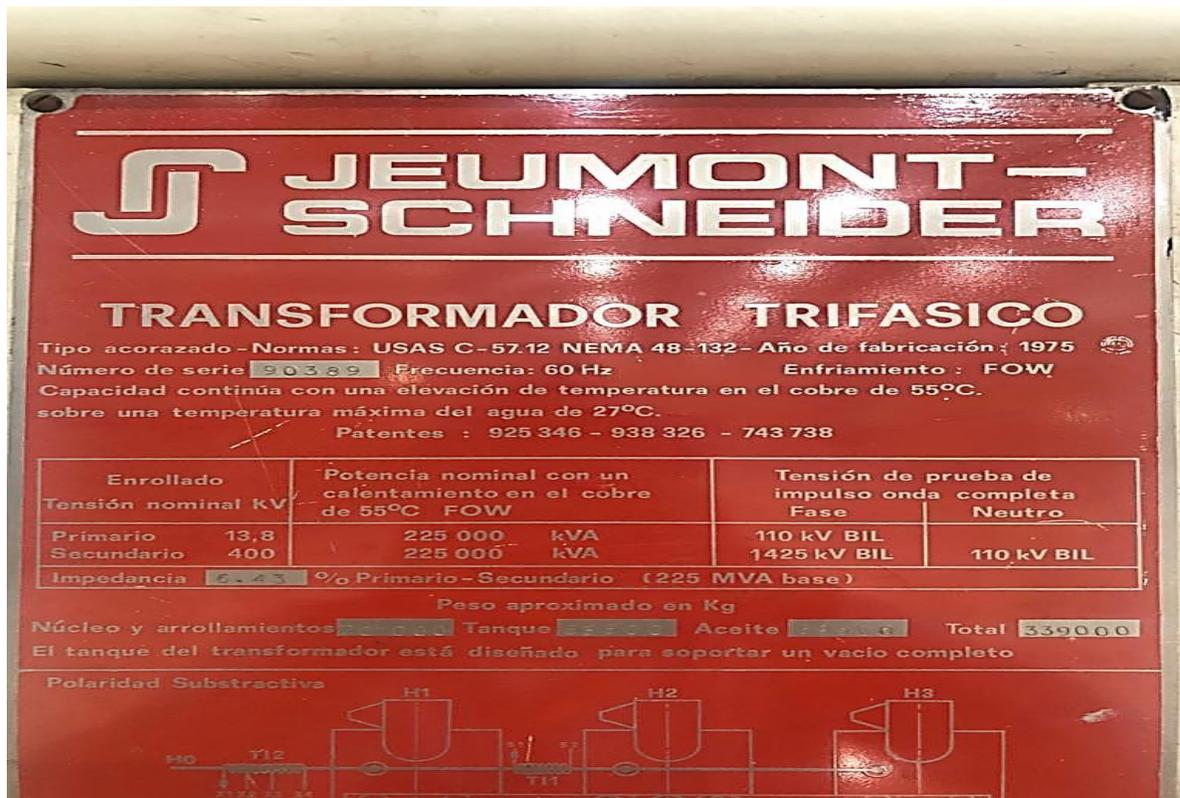


Ilustración 7. Placa de datos del transformador de potencia de la C.H. Belisario Domínguez

Los transformadores de la marca JEUMONT-SCHNEIDER” son llamados "gemelos" ya que las 5 unidades cuentan con los mismos transformadores de potencia.

Los transformadores cuentan diferentes TAPS; el TAP de un transformador es un selector mecánico que le adapta al bobinado primario un número de espiras para que la tensión de salida sea la adecuada según la regulación de tensión que se ha de operar.

Los unidades de generación cuentan con un “cuadro de reactancias” que proporciona directamente los que diseñaron y crearon el equipo, este cuadro es muy importante para saber cuáles son las corrientes que puede soportar el cuando ocurre una falla.

Enclosure 1

Reactances and time constants for Mal Paso, Angostura and Chicoasen. All p.u. constants in machine ratings.

Character	Mal Paso G1-G4	Mal Paso G4-G5	Angostura G1-G5	Chicoasen G1-G5	
S_N	218	218	191	300	MVA
U_N	15	15	13,8	17	kV
H	4,05	4,23	4,3	4,63	Ws/VA
R	0,0029	0,0029	0,003	0,0018	p.u.
REACTANCIA SUBTENDIDA DE EN DISEÑO AN SATURADA X_{du}	0,86	0,79	0,79	0,78	p.u.
SATURADA X_{ds}	0,82	0,75	0,75	0,72	p.u.
REACTANCIA SUBTENDIDA DE EN DE LABORATORIO AN SATURADA X_{du}^u	0,52	0,47	0,49	0,47	p.u.
SATURADA X_{ds}^u	0,46	0,41	0,43	0,40	p.u.
REACTANCIA SUBTENDIDA DE EN DISEÑO AN SATURADA X'_{du}	0,28	0,28	0,27	0,28	p.u.
SATURADA X'_{ds}	0,25	0,25	0,24	0,25	p.u.
REACTANCIA SUBTENDIDA DE EN DISEÑO AN SATURADA X''_{du}	0,20	0,19	0,19	0,20	p.u.
SATURADA X''_{ds}	0,18	0,17	0,17	0,18	p.u.
REACTANCIA SUBTENDIDA DE EN DISEÑO AN SATURADA X'''_{du}	0,22	0,21	0,18	0,22	p.u.
SATURADA X'''_{ds}	0,20	0,19	0,16	0,20	p.u.
X_{LU}	0,13	0,13	0,12	0,12	p.u.
X_{LS}	0,12	0,12	0,11	0,11	p.u.
CONSTANTE DE TIEMPO INDUCTIVA DE EJE DIRECTO T'_d ESTIMA EN E-C.	1,8	1,7	1,3	3,0	sec
CONSTANTE DE TIEMPO INDUCTIVA DE EJE INDIRECTO T''_d ESTIMA EN E-C.	0,06	0,08	0,045	0,09	sec
CONSTANTE DE TIEMPO INDUCTIVA DE EJE DE CARTENA. T'''_d ESTIMA EN E-C.	0,09	0,11	0,065	0,12	sec

U means unsaturated
S means saturated

Ilustración 8. Cuadro de reactancias de las C.H. Mal paso, Angostura y Chicoasen.

El cuadro de reactancias esta dado en valores de pu, el valor numérico de los parámetros eléctricos (tensiones, potencias, impedancias, corrientes) para un análisis de un Sistema Eléctrico de Potencia, está generalmente expresado en un valor relativo, ya sea en por ciento [%] o en por unidad [pu]. Esto resulta como consecuencia de referenciar los valores absolutos de dichos parámetros (dados en kV, MW, Ω , kA) a sus correspondientes valores bases.

Si se especifica por ejemplo una tensión base de 132 KV,

entonces una tensión medida de 135,6 KV en una estación transformadora, puede quedar expresada como:

$$135,6 \text{ KV}/132 \text{ KV} = 1,027 \text{ pu} \equiv 102,7 \%$$

Esta forma relativa de expresar los valores numéricos presenta las siguientes ventajas:

- a) Brinda información de magnitud relativa, comparando mejor las máquinas, los elementos de diferentes valores nominales y los parámetros eléctricos (una pérdida de 1MW en una línea de transmisión no tiene mayor sentido si no se menciona la potencia activa que circula por dicha línea).
- b) El circuito equivalente de un transformador puede ser simplificado, desapareciendo la relación de transformación en la representación del mismo. Las impedancias, tensiones, corrientes, expresadas en [pu] no cambian cuando se refieren a un lado del transformador o al otro.
- c) Las impedancias en [pu] de equipos eléctricos similares se encuentran en una estrecha faja de valores cuando los valores nominales de estos equipos son usados como valores Bases.

Conociendo esto las reactancias importantes que debemos tener en cuenta son la reactancia síncrona transitoria que ocurren entre $25 \leq x^l d \leq 6$ ciclos y la subtransitoria que ocurre entre $x^{ll} d = 0 \leq 6$ ciclos. Estas reactancias son las que nos darán la información de en que momento tienen que actuar las protecciones, sin estos cálculos no se realizan o se realizan de mala manera, pueden ocurrir fallas como golpes de ariete o tiros de carga.

Se realizó el cálculo para saber las corrientes de falla mediante las reactancias transitorias y las subtransitorias, estos cálculos mediante los valores que nos proporciona el cuadro de reactancias:

Tensión nominal

Primario=13.8 Kv

Secundario=400 Kv

Potencia nominal= 225000 kVA

Impedancia= 6.43%

$$\text{impedancia en pu} = \frac{6.43}{100} = 0.0643 \text{ pu} \quad \text{Ecuación (8)}$$

$$I_{base} = \frac{KVA}{\sqrt{3} V} \quad \text{Ecuación (9)}$$

Donde:

I_{base} =corriente base

KVA =potencia de placa

V =voltaje de placa

Ya que el transformador cuenta con un lado primario y un lado secundario se tienen que calcular las corrientes bases de los dos lados.

$$I_{baseP} = \frac{225000 \text{ KVA}}{\sqrt{3} (13.8 \text{ kV})}$$

$$I_{baseP} = 9424 \text{ A}$$

$$I_{baseS} = \frac{225000 \text{ KVA}}{\sqrt{3} (400 \text{ kV})}$$

$$I_{baseS} = 317.21 \text{ A}$$

Se calcula el valor de la impedancia base.

$$Z_{base} = \frac{TENSION^2}{POTENCIA}$$

Donde:

Z_{base} =impedancia base

POTENCIA=potencia del equipo

TENSIÓN=tensión del equipo

Ecuación (10)

$$Z_{baseP} = \frac{(13.8 \text{ kV})^2}{225 \text{ kVA}} = 0.84 \text{ ohm}$$

$$Z_{baseS} = \frac{(400kV)^2}{225 kVA} = 747 \text{ ohm}$$

Posteriormente se realiza el cálculo de la reactancia subtransitoria:

$$x''d_p = (0.0643 pu)(0.84) = 0.054 \text{ ohm}$$

$$x''d_p = (0.0643 pu)(747) = 48.03 \text{ ohm}$$

El resultado está dado en pu para saber cuál es el valor real, es decir, cuál es la corriente de falla, simplemente se multiplica por la corriente base.

$$I_{falla} = \frac{\tilde{\mathcal{E}}}{x''d} \quad \text{Ecuación (11)}$$

Donde:

I_{falla} = Corriente de falla

$x''d$ = Reactancia subtransitoria

$\tilde{\mathcal{E}}$ = Voltaje sano trifásico

$$\tilde{\mathcal{E}} = \frac{V}{\sqrt{3}} \quad \text{Ecuación (12)}$$

Donde:

$\tilde{\mathcal{E}}$ = Voltaje sano trifasico

V = Voltaje de placa

$$I_{fallaP} = \frac{7967 V}{0.054 \text{ ohm}} = 147537.03 A$$

$$I_{fallaS} = \frac{236713.61 V}{48.03 \text{ ohm}} = 4928.45 A$$

Las corrientes de fallas nos ayudarán a que podamos configurar las protecciones con respecto a estos valores que corresponden a cada lado del transformador.

Los transformadores de potencia cuentan con una pequeña gráfica llamada “curva de daño o curva ANSI”, la cuál representa el límite máximo de protección del transformador y establece las características que deben cumplir los devanados para soportar los esfuerzos térmicos y magnéticos causados por un cortocircuito en sus terminales sin resultar dañados, considerando periodos definidos.

Las normas ANSI/IEEE Std. C57.12.00-2010 y IEEE Std. C57.109-1993 recomiendan la protección basada en el tamaño del transformador y el número de fallas directas estimadas en el transformador que se esperan encontrar. Las curvas de protección de fallas directas contenidas en la norma IEEE Std. C57.109-1993 son utilizadas como base para el ajuste de relevadores de protección de sobrecorriente para transformadores sumergidos en líquido aislante.

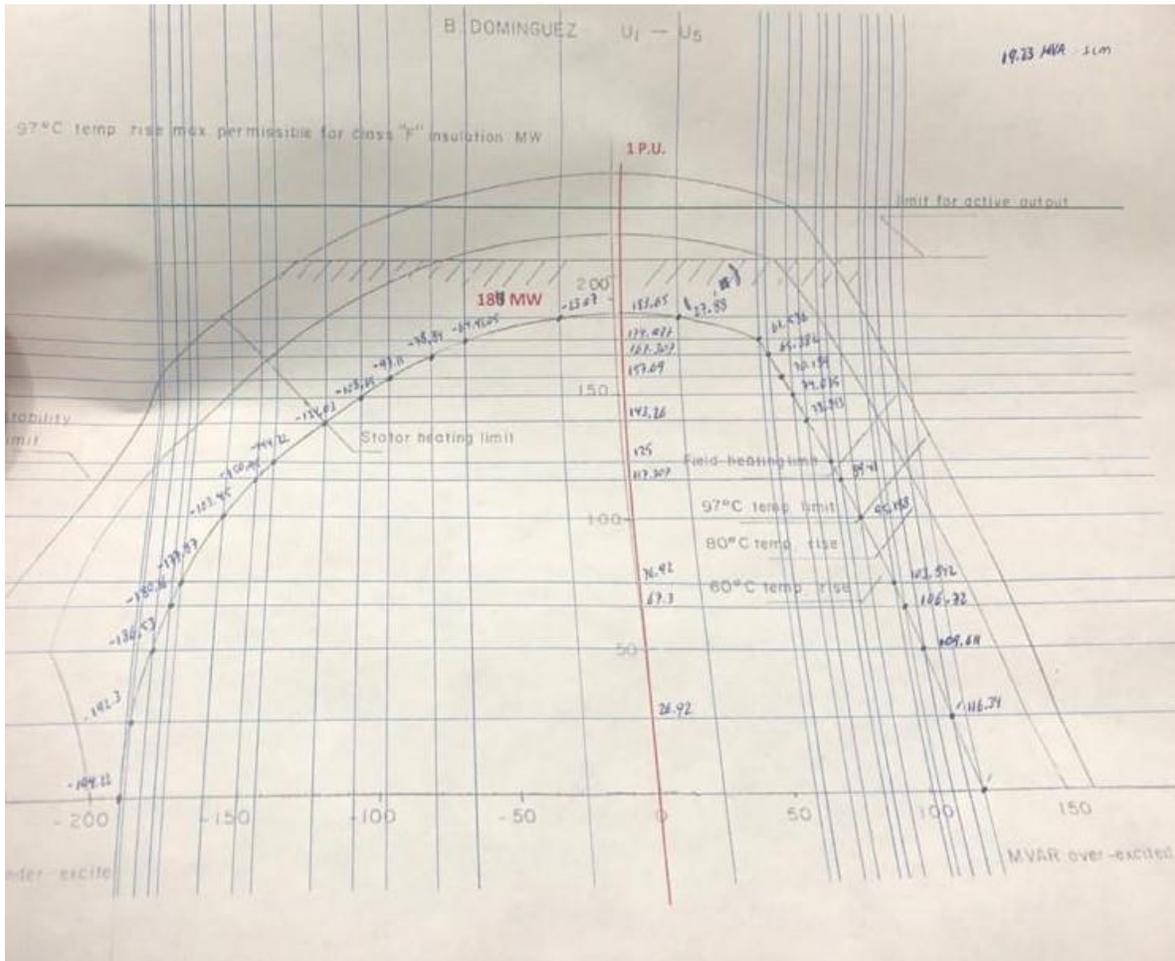


Ilustración 9. Curva de daño del transformador de potencia de la C.H. Belisario Domínguez.

La antigüedad de estos transformadores nos conlleva a tener una vigilancia o un constante monitoreo, ya que a pesar de que no han existido fallas en ninguno de los 5 transformadores pero debido a tu edad debemos tener vigilancia, para evitar daños a personal, daños a los equipos o las instalaciones de la central.

7.2 Esquema de protecciones con el que cuenta actualmente los transformadores de potencia de la C.H. Belisario Domínguez.

Para los transformadores el esquema de protección existente dentro de la central son los que a continuación se indicaran.

Las protecciones van en conjunto a los transformadores de corriente los llamas "tipo dona" que van conectados a cada fase del transformador para que tenga una precisión más exacta.

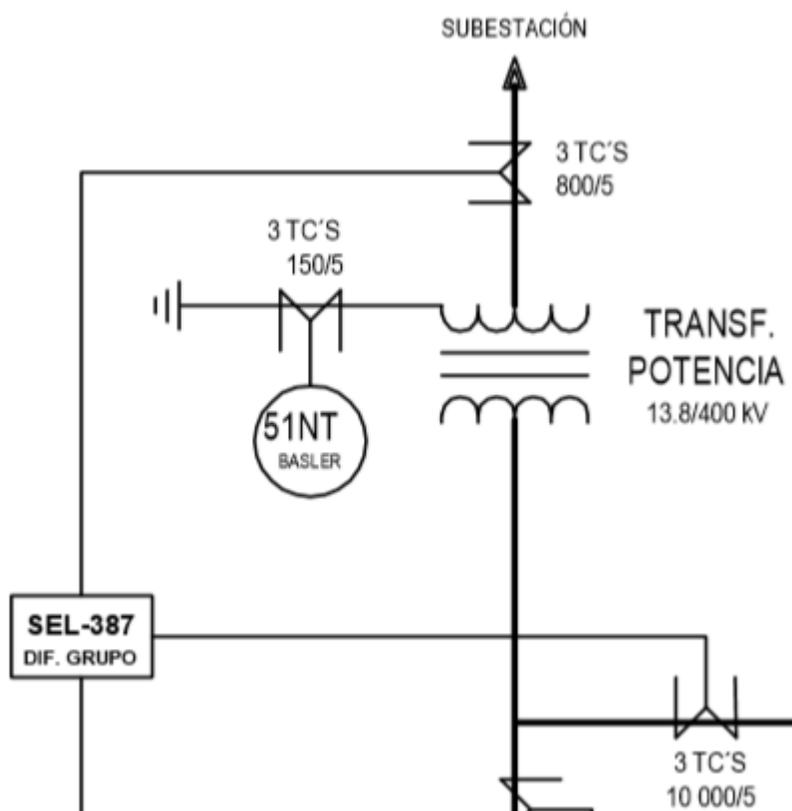


Ilustración 10. Esquema de protección de los transformadores de potencia de la C.H. Belisario Domínguez.

Los transformadores de corriente se utilizan para tomar muestras de corriente de la línea y reducirla a un nivel seguro y medible, para las gamas normalizadas de instrumentos, aparatos de medida, u otros dispositivos de medida y control. Ciertos tipos de transformadores de corriente protegen a los instrumentos al ocurrir cortocircuitos.

Un transformador de corriente constante es un transformador que automáticamente mantiene una corriente aproximadamente constante en su circuito secundario, bajo condiciones variables de impedancia de carga, cuando su primario se alimenta de una fuente de tensión aproximadamente constante.

El tipo más usual, la disposición de bobina móvil, tiene separadas las bobinas del primario y secundario, que tienen libertad para moverse entre sí, variando por tanto la reactancia de dispersión magnética del transformador.

Los usados en la central son equipos que proporcionan unos modelos compactos integrales, que llevan incluidas los accesorios necesarios para el control y protección del transformador. Los accesorios normales comprenden un interruptor a solenoide primario, una protección. Contra apertura del circuito, fusibles o cortacircuitos con fusibles en el primario y descargadores de sobretensiones en el primario y en el secundario.

Los transformadores de corriente constante de tipo estático no tienen partes móviles y funcionan según el principio de una red resonante. Esta red normalmente consta de dos reactancias inductivas y dos capacitivas, cada una de igual reactancia para la frecuencia de alimentación. Con tal red, la corriente secundaria es independiente de la impedancia de la carga conectada, pero es directamente proporcional a la tensión del primario.

Los TC utilizados son 2 juegos de 10000/ 5 AMP, uno de ellos conectado a la tierra del transformador y otro conectado a la protección diferencial.

Las protecciones que están conectadas a los TC son la 51N, 51NT y 87T.

Protección de respaldo de tierra (51NT): Se conectan viendo hacia el transformador con un alcance ligeramente superior a su impedancia para respaldar a la protección diferencial. Su tiempo de operación puede hacerse muy bajo sin ocasionar problemas de coordinación con protecciones diferenciales de alta velocidad del transformador, es utilizada para librar fallas a tierra en el sistema de alta tensión.

El principio de operación de la protección diferencial (87) se basa en la ley de corriente de Kirchoff, en donde la corriente que entra a un nodo es igual a la corriente que sale del nodo.

De haber una falla en el nodo protegido la corriente entrante será diferente de la corriente saliente, de ahí el término diferencial. La señal de corriente de estos TC se envía a un relé de protección, que calcula la diferencia entre la corriente entrante y la saliente, si dicho valor es mayor a una cierta tolerancia se declara condición de falla y se ordena el disparo del sistema.

Para que el relé pueda hacer una comparación correcta de la corriente entrante y saliente, I1 e I2, estas deben tener la misma magnitud y el mismo ángulo de fase. La condición de magnitud se logra ajustando una RTC igual para ambos TC, mientras que la condición de fase se logra con la conexión de los TC. La zona entre los transformadores de corriente se denomina zona de protección. La suma de las corrientes I1+I2 es la corriente diferencial, I dif.

Dentro de la sala de control de la C.H. Belisario Domínguez existe una serie de alarmas las cuales ayudan a mantener el control de las posibles fallas que podrían ocurrir durante la generación eléctrica, específicamente para los transformadores de potencia se cuenta con un panel de alarmas para evitar cualquier falla.

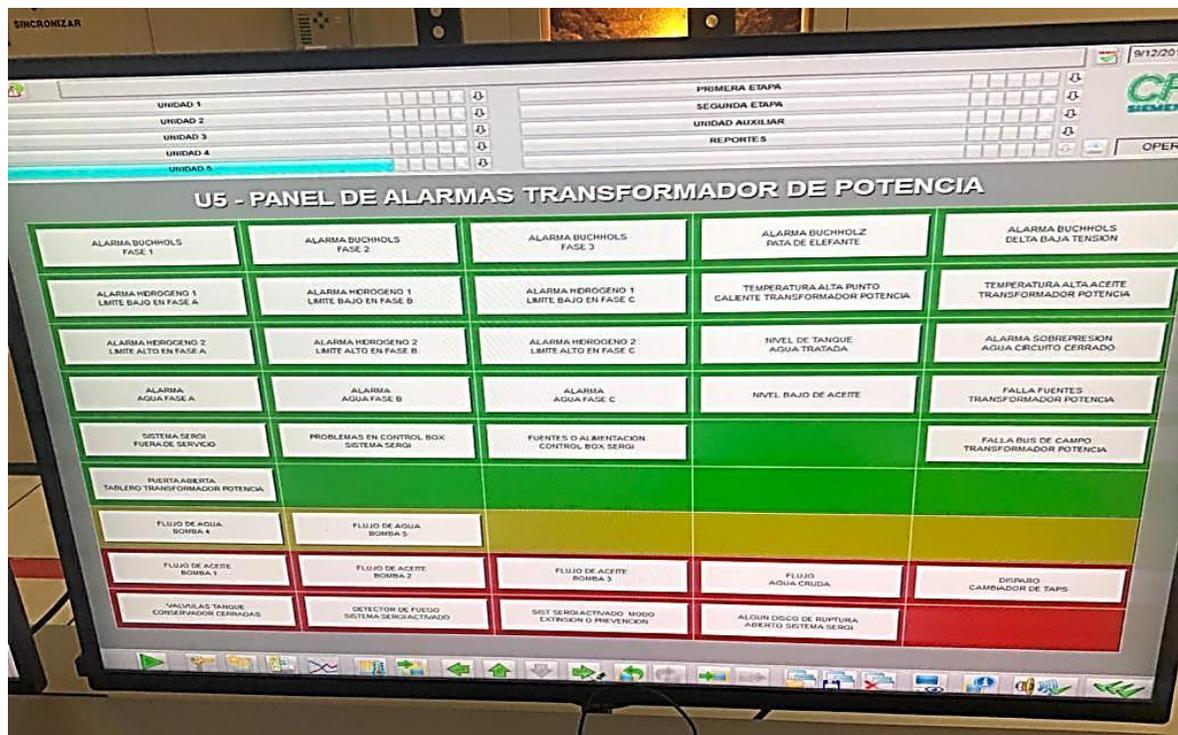


Ilustración 11. Panel de alarmas del transformador de potencia de la U3.

El panel de alarmas cuenta con un código de colores que nos proporciona la urgencia con la cual debemos atender la alarma activada, el color verde no es de urgencia y se puede atender con una duración de 30 min, las alarmas de color

amarillos son las cuales se deben de atender de manera inmediata para poder continuar con la generación y las alarmas de color rojo son respectivamente disparos de la máquina que se encuentre generando, es decir la generación se cancela.

Los todos los transformadores de la central cuenta con una protección contra incendios llamado SERGI que es un transformador de protección, proporciona protección contra incendios y contra explosiones.

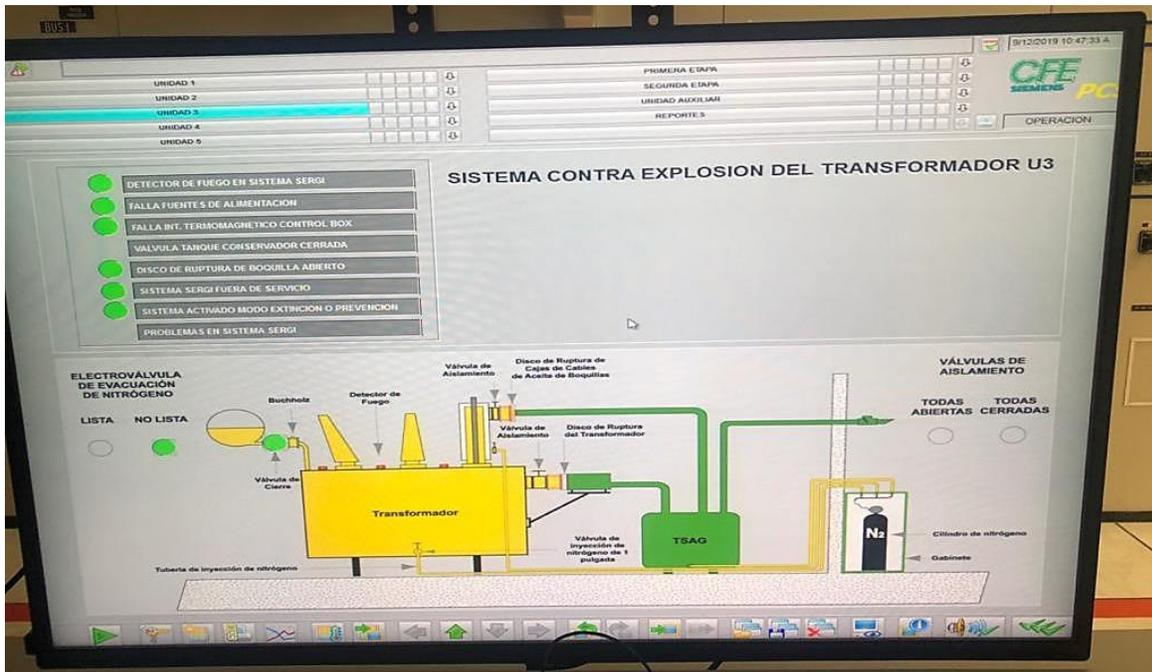


Ilustración 12. Panel de control de control de Buchholz.

El transformador protector es la única solución probada contra explosiones y fuegos de transformadores. Veinte años de extensas investigaciones mecánicas y pruebas de alto nivel fueron requeridas para diseñar el transformador protector.

El transformador protector es un sistema que previene explosión y fuego de transformadores específicamente diseñado para transformadores sumergidos en aceite incluyendo equipos directamente relacionados como el Cambiador de Derivaciones Bajo Carga (CDBC), la Caja de Cables con Aceite (CCA), y la Caja de Cables para Boquillas en Aceite (CCBA).

Los transformadores también cuentan con protección de sobre temperatura del aceite y del devanado, dependiendo que temperatura se este midiendo se activan la alarma o un disparo respectivamente, en el aceite la temperatura para la activación de la alarma es de 68°C y para que el transformador se dispare es de

78°C. para el devanado la temperatura para la activación de la alarma es de 70°C y para el disparo es de 80°C.

Cada transformador cuenta con un relevador Buchholz.

La protección Buchholz protege al transformador contra todo efecto producido en el interior de la cuba del mismo. Se basa en el hecho de que las irregularidades en el funcionamiento de los transformadores dan lugar a calentamientos locales en los arrollamientos y consiguientemente a la producción de gases de aceite cuya cantidad y rapidez en su desarrollo crecen sensiblemente a medida que se extiende la avería.

A continuación se muestra donde está conectado el Buchholz dentro del transformador de potencia de la unidad generadora número 3.



Ilustración 13. Parte superior del transformador de potencia de la unidad 3.

En el caso de no tomar medidas entre la aparición de una alarma o que por la importancia del defecto haya una formación tumultuosa de gas, cae el flotante a2 cerrándose c2 y produciéndose el desenganche del transformador. En caso de deterioro de gran magnitud que da lugar a un arco en el interior de la cuba, se

producirá un flujo violento de aceite hacia el tanque de expansión que cerrará el contacto c2 sacando el transformador de servicio en acción rápida de manera tal de que el transformador no se averíe por la sobrecarga.

El relé también actúa cuando el nivel de aceite desciende por debajo de un límite determinado.

Sobre la tapa del relé se encuentra un grifo que permite la salida de los gases acumulados en la caja. Otro grifo, permite comprobar que los contactos flotadores y conexiones se hallan en buen estado.

El relé detecta cortocircuitos entre espiras, entre arrollamiento y núcleo y entre arrollamientos, interrupción de una fase, sobrecargas excesivas, pérdidas de aceite, etc. La gran ventaja de este relé es su elevada sensibilidad para advertir deterioros o fallas incipientes cuando los más sensibles sistemas de protección no serían capaces de detectarlas.

Las características de los gases acumulados en el Buchholz pueden dar una idea del tipo de desperfecto y en qué parte del transformador se ha producido. El ensayo más simple es la verificación de la combustibilidad del gas. En caso de arco eléctrico el aceite se descompone produciendo acetileno que es combustible.

7.3 Contacto con proveedores.

Para el análisis de aceite de los transformadores de potencia se realizó una búsqueda mediante proveedores del país para que nos proporcionaran información acerca de los equipos que existen en el mercado para el análisis de gases disueltos en el aceite.

Nos hicieron llegar varias propuestas las cuales a continuación se presentan:

Vaisala.

La empresa fue fundada en 1936 en Finlandia y las primeras radiosondas fueron fabricadas en el sótano de un edificio residencial en el centro de Helsinki.

Es una empresa especializada en el campo de las mediciones ambientales e industriales.

- Líder global en medición ambiental e industrial con más de 75 años de experiencia.
 - Tenemos clientes en más de 120 países, casi en 30 oficinas alrededor del mundo, red global de distribuidores.
 - Cuatro centros de servicio en China, Japón, los Estados Unidos y Finlandia.
 - Experiencia en mediciones de humedad en aplicaciones industriales exigentes por más de 40 años.

- Tecnología desarrollada de medición de humedad en el aceite que los clientes líderes en la industria eléctrica han utilizado por más de 15 años en más de 30 países en todo el mundo.
- Más de 10 años de realizar mediciones de humedad de SF6; registro de seguimiento comprobado en miles de instalaciones de medición del punto de rocío.

El equipo llamado OPT100

Las ventajas que nos puede proporcionar este equipo son las siguientes:

Prevención de fallas en los transformadores de corriente. No hay peor situación que un apagón no previsto, ya que se pierden ingresos y su reputación y marca se ven afectadas de modo incalculable. La buena noticia es que más del 50 por ciento de las fallas de los transformadores de corriente se pueden detectar con las herramientas de monitoreo en línea correctas, lo que significa que se pueden evitar varias fallas. Pero los monitores que muestran falsas alarmas o que necesitan tareas de mantenimiento regulares pueden derrochar grandes cantidades de su tiempo y dinero.

Por este motivo, creamos el monitor Optimus DGA Vaisala™. Proporciona monitoreo de gases de falla sin complicaciones y en tiempo real para los transformadores de corriente, sin falsas alarmas ni tareas de mantenimiento.

Los dos conductores clave del diseño fueron la seguridad y la fiabilidad en entornos operativos demandantes. Es la culminación de décadas de escuchar las necesidades de los clientes e investigar los dispositivos existentes, como así también de usar los 80 años de experiencia en la fabricación de sensores y equipos de medición para entornos hostiles y para sectores en los que la seguridad es de gran importancia.

Datos confiables sin falsas alarmas. El sensor de IR se basa en la tecnología de medición principal de Vaisala y en los componentes fabricados en nuestra propia sala blanca. La extracción de gas de vacío significa que no hay fluctuación de datos debido a la temperatura, la presión o el tipo de aceite, mientras que las ópticas herméticamente selladas y protegidas evitan la contaminación del sensor. La humedad se mide directamente en el aceite con nuestro sensor capacitivo de polímero de película fina HUMICAP, que se ha usado para el monitoreo de transformadores durante 20 años. El hidrógeno también se mide directamente en el aceite con la misma tecnología de sensor de estado sólido que se usa en el producto MHT410 de Vaisala.

Construcción sólida Los conductos de acero inoxidable, la carcasa con control de temperatura y clasificación IP66, así como la bomba de engranajes y las válvulas de mando magnético brindan excelente rendimiento y durabilidad, desde el ártico hasta el trópico. Además, no hay artículos de consumo para reparar o reemplazar.

Diseño inteligente El monitor Optimus DGA Vaisala™ tiene una interfaz de usuario basada en el navegador que elimina por completo la necesidad de usar software adicional. El dispositivo está diseñado para instalarse en menos de dos horas; solo conecte el aceite, la energía y los datos, y listo. Se lo puede conectar a un sistema de control y monitoreo existente mediante comunicación digital y relés, o puede usarse como un dispositivo de monitoreo independiente. Y en caso de una interrupción en el suministro de electricidad, el autodiagnóstico permite la auto recuperación.

Tabla 5. Rango y precisión de medición de los aceites disueltos dentro del aceite, proporcionado por VAISALA.

Parámetro	Rango	Precisión	Repetibilidad
Metano (CH ₄)	0 ... 10.000 ppmv	10 ppm o 10 % de lectura	10 ppm o 5 % de lectura
Etano (C ₂ H ₆)	0 ... 10.000 ppmv	10 ppm o 10 % de lectura	±2 ppm o ±10 % de lectura
Etileno (C ₂ H ₄)	0 ... 10.000 ppmv	10 ppm o 10 % de lectura	10 ppm o 5 % de lectura
Acetileno (C ₂ H ₂)	0 ... 5000 ppmv	2 ppm o 10 % de lectura	1 ppm o 10 % de lectura
Monóxido de carbono (CO)	0 ... 10.000 ppmv	10 ppm o 10 % de lectura	10 ppm o 5 % de lectura
Dióxido de carbono (CO ₂)	0 ... 10.000 ppmv	10 ppm o 10 % de lectura	10 ppm o 5 % de lectura
Hidrógeno (H ₂)	0 ... 5000 ppmv	25 ppm o 20 % de lectura	15 ppm o 10 % de lectura
Humedad (H ₂ O)	0 ... 100 ppmw	±2 ppm o ±10 % de lectura	Incluida en la precisión

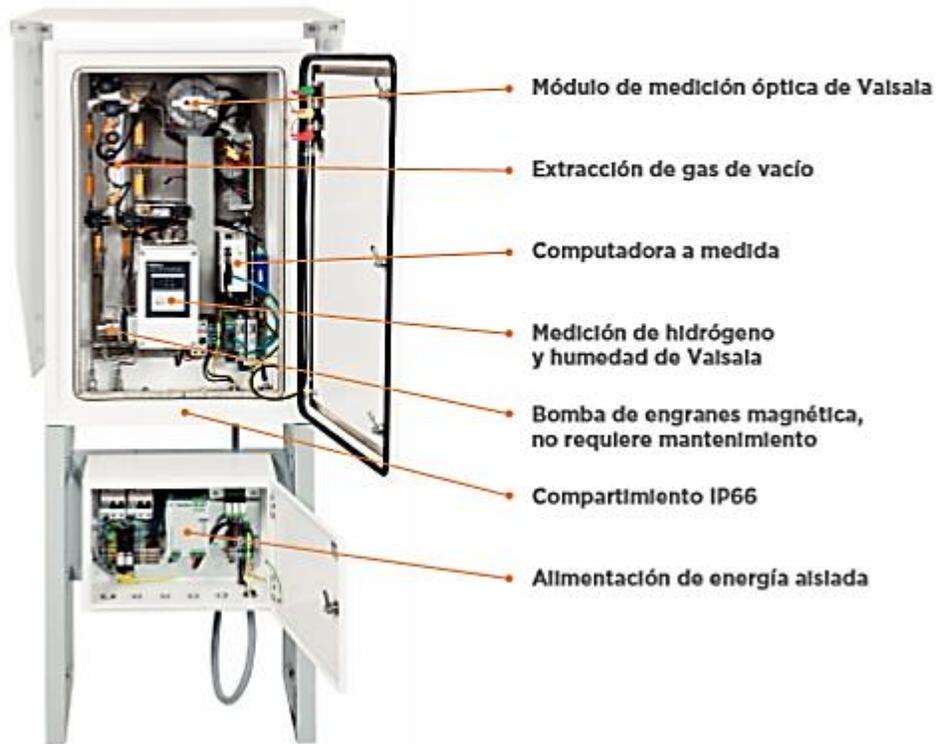


Ilustración 14. Diseño de equipo OPT100 Vaisala

PROLEC GENERAL ELECTRIC

Similar a los análisis de sangre, los cuales son utilizados para detectar problemas en la salud, el análisis de gases disueltos en el aceite puede ser útil para detectar de manera anticipada fallas en el transformador.

La degradación de los materiales aislantes utilizados en los transformadores provoca que se liberen gases combustibles dentro de la unidad. Por lo tanto, antes de que un aparato presente un problema que lo haga salir de operación, los niveles de gases disueltos en el aceite pueden ayudar al usuario a detectar fallas potenciales de manera anticipada.

Para realizar la prueba de gases disueltos (DGA, por sus siglas en inglés) se requiere tomar una muestra de aceite como parte de su mantenimiento de rutina, siguiendo los métodos establecidos para no alterar los resultados. Posteriormente, se extraen los gases del aceite y se realiza una cromatografía de gases, donde se detecta el volumen de cada uno en partes por millón (ppm).

Con esto se puede entender qué está pasando internamente en el aparato sin la necesidad de tener que desenergizarlo y abrirlo, ya que la distribución de gases encontrados en el aceite es indicativa del tipo de falla eléctrica que se puede presentar.

Los 9 principales gases que se encuentran son:

- Gases Atmosféricos: Nitrógeno y Oxígeno
- Óxidos de Carbono: Monóxido y Dióxido de carbono
- Hidrocarburos: Acetileno, Etileno, Metano, Etano
- Otros: Hidrógeno

La concentración de un gas está relacionada a la sobre temperatura alcanzada, así como el volumen de aceite a dicha temperatura. Por lo que el nivel de concentración del gas sí está ligado a la severidad de la falla.

Las siguientes fallas se pueden detectar en los transformadores con aceite mineral:

- Los aislamientos de celulosa deteriorados por el sobrecalentamiento generan altos niveles de dióxido y monóxido de carbono.
- El sobrecalentamiento del aceite resulta en la producción de gases hidrocarburos.
- Las descargas parciales se pueden detectar con niveles altos de hidrógeno.
- El arqueo entre partes energizadas se puede detectar con la presencia de acetileno.
- Los problemas de hermeticidad en el tanque se pueden evidenciar con la presencia de nitrógeno y oxígeno.

En estas herramientas se relacionan las concentraciones de gases hidrocarburos para detectar el rango de sobre temperatura presente y la intensidad de las descargas o descargas parciales.

Es relevante saber que algunas concentraciones bajas de gases son normales de la operación y que algunos procesos de manufactura como la soldadura pueden introducir gases en el aceite. También, la operación de algunos accesorios como fusibles e interruptores bajo carga (seccionadores), genera gases combustibles en condiciones normales. Así mismo, también es posible que una falla aislada genere una cierta cantidad de gases, pero luego ésta no se vuelva a presentar. Por lo tanto, es importante remarcar que una sola medición de gases no es suficiente para detectar un problema. El análisis debe evaluar la variación del contenido de gases a través de cierto período de tiempo. Esta tasa de cambio representa la severidad del problema presente.

Se recomienda hacer la prueba una vez al año, en particular en transformadores que proveen suministro crítico de electricidad. En caso que se hayan detectado altas concentraciones de algún gas, se recomienda repetir la prueba a los tres o seis meses, según la severidad.

Este método no permite conocer el lugar específico de la falla y no se puede aplicar cuando a una unidad se le ha cambiado el aceite. Sin embargo, es una prueba de mantenimiento preventivo de gran valor para evitar que una unidad salga de operación de manera inoportuna.

En los estándares IEC 60599 y ANSI/IEEE C57.104 se pueden encontrar los lineamientos completos para el diagnóstico del equipo basado en los volúmenes de los gases presentes, la tasa de cambio y la relación entre las concentraciones de los gases.

KELMAN GENERAL ELECTRIC

El conocimiento sobre las condiciones de los Transformadores es esencial para la Red Eléctrica y la Monitorización On-line de Transformadores es una componente vital para cualquier Programa de Administración de Activos. La información suministrada mediante la monitorización On-line de Gases Disueltos en el Aceite (DGA) permite maximizar la Capacidad de Activos y evitar que se produzcan faltas costosas.

El Análisis de los Gases Disueltos y la Medida de la Humedad del aceite son reconocidas como las pruebas más importantes sobre la Administración del Estado de los Transformadores. Tradicionalmente el DGA se realizaba en un Laboratorio, el Kelman™ TRANSFIX realiza Diagnósticos avanzados mediante la Monitorización de los Gases Disueltos en el Aceite y Humedad en base a una programación.

Beneficios Clave:

- Monitorización continua del Estado del Transformador
- Las faltas del transformador se descubren en su Etapa Inicial
- Optimización de la carga del Transformador
- Medidas discretas de los Gases que permiten un Diagnóstico Completo
- Se puede calcular el Envejecimiento del Transformador
- Gracias a los resultados obtenidos se puede Clasificación el Tipo de Falta
- Gracias a la información proporcionada se puede realizar un Mantenimiento basado en la Condición actual del Transformador y una Estrategia Predictiva
- Disponible con fuente de alimentación de AC o AC/DC

Uygulamalar

El TRANSFIX ha sido diseñado para ofrecer monitorización on-line de los Gases Disueltos en el Aceite y la Humedad de transformadores y otros equipos eléctricos que se encuentren rellenos Aceite aislante. Utilizando la tecnología de medida Foto-Acústica (PAS), que es adecuada para aplicaciones en campo, entregando unos Buenos niveles de Precisión y Repetitividad. Un análisis de los 9 gases de la muestra de aceite se puede realizar desde una hora incluyendo la monitorización de los 7 gases empleados en la mayoría de los métodos comunes de diagnósticos y el TRANSFIX ofrece la tendencia de los gases dentro de aceite, análisis y capacidad de Diagnóstico gracias a su integración con el Software Perception™ Fleet y o el software de usuario y lo sistemas SCADA, capaces de realizar la Monitorización a todos los tamaños de Transformador el TRANSFIX es el dispositivo más ampliamente empleado para la monitorización de grandes sistemas de monitorización, sistemas críticos o transformadores para extender la vida media, previniendo fallos inesperados y operando en estado de la condición/programa de mantenimiento Predictivo.

- Transformadores Elevadores en Generación
- Transformadores Industriales con misiones críticas
- Transformadores de transmisión
- Transformadores en estaciones HVDC
- Cambiadores de Tomas en carga
- Interruptores

Tabla 6. Rango de medida de los gases

COMPONENTE	RANGO DE MEDIDA
Hidrógeno (H ₂)	5- 5,000 ppm
Monóxido de Carbono (CO)	2 - 50,000 ppm
Dióxido de Carbono (CO ₂)	20 - 50,000 ppm
Metano (CH ₄)	2 - 50,000 ppm
Acetileno (C ₂ H ₂)	0.5 - 50,000 ppm
Etano (C ₂ H ₆)	2 - 50,000 ppm
Etileno (C ₂ H ₄)	2 - 50,000 ppm
Humedad (H ₂ O) Exactitud*	0 - 100% RS ±5% o ±LDL (la que sea mayor)
Oxígeno (O ₂)	100 - 50,000 ppm exactitud ±10%
Nitrógeno (N ₂)	10,000 - 100,000 ppm, exactitud ±15%

Estos son los 3 equipos que nos propusieron cada proveedor. Los equipos antes mencionados son para el análisis de aceite de los transformadores de potencia, nos enviaron su ficha técnica respectivamente.

Para la modernización del esquema de protecciones se solicitó a los proveedores nos expidieran propuestas de los transformadores de medición llamados "TC", que serán utilizados para insertar las protecciones necesarias para la modernización.

El proveedor de la empresa "Servicios de ingeniería y corporativo" nos envió la siguiente propuesta: "Transformador de Corriente, marca TIESA, Modelo TIEQB-OVAL, tipo Ventana, Encapsulado en resina sintética, 60 Hz, Servicio interior, Clase 0,6 KV, 2 con Relación: 10 000:5 A, 2 con relación 800:5 A Y 2 con relación 300:5 A, Protección C100, Medición 0,3 en B0, 5. Diseñado, fabricado y probado conforme a la Norma ANSI-C-57.13.

Estos TC nos servirán para la instalación de los equipos de protección que se quieren implementar al esquema de protección para los transformadores de potencia de la central.

Para los relevadores de protección que se pretenden implementar la 63T: son dos específicamente: Protección de fluido y presencia de gases. Se emplean en la protección de transformadores de potencia que tienen tanque conservador. Esta protección opera contra fallas internas con gran rapidez, en el caso de ser severas, pero su característica más relevante es su sensibilidad para fallas incipientes, es decir, fallas menores que tienen inicialmente un desprendimiento de gases. Estos relevadores actúan como trampas de gases entre el tanque principal y el tanque conservador, y como detector de flujo inverso del líquido dieléctrico.

Protección por indicador de temperatura de aceite 49T. Son en realidad termómetros acondicionados con micro interruptores que se calibran a valores específicos de temperaturas, que se usan, ya sea para mandar señales de alarmas, de disparo para desconexión de carga o para arrancar ventiladores en los transformadores que usan enfriamiento por aire forzado. Se emplean para detectar la temperatura en los devanados o en el aceite de los transformadores.

7.4 Especificación de equipos para el esquema de protecciones y el equipo para análisis de aceite del transformador de potencia.

La elección de los equipos nos basamos con los antecedentes que tiene cada marca, en referencia a las puestas en servicio que realizaron en algunas centrales.

El equipo de la marca Vaisala, para el análisis de aceite de los transformadores de potencia, llamado OPT100 Vaisala

Objetivo: Describir el funcionamiento y los hallazgos en las mediciones realizadas por los equipos de Vaisala, instalados en la C.H. El Caracol

Equipo OPT100. El equipo se pretende instalar en la C.H. Belisario Domínguez y realiza mediciones en línea de: Metano (CH₄), Etano (C₂H₆) Acetileno (C₂H₂), Etileno(C₂H₄), Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Carbono (CO₂), Hidrógeno (H₂), Humedad en el aceite (H₂O) y Temperatura.

Para los transformadores de protección y medición se eligieron la única opción de la marca TIESA que es una empresa mexicana con experiencia amplia en la fabricación de transformadores secos, sumergidos en aceite, de medición (corriente y potencial), autotransformadores, control y reactores limitadores de corriente de corto circuito.

Estos transformadores se fabrican en una gran variedad de modelos, tanto para servicio interior o intemperie, para aplicaciones que requieran una medición exacta de corriente y una alta protección de los sistemas eléctricos.

Los transformadores de corriente cuentan con las siguientes características:

Acabado	Tipo	Clase de aislamiento				Precisión para medición	Precisión para protección
		Desde		Hasta			
		ANSI/IEEE 57.13	IEC 60044-1	ANSI/IEEE 57.13	IEC 60044-1		
Encintados	Bushing	0,6	0,72	0,6	0,72	Si	Si
	Donas	0,6	0,72	0,6	0,72	Si	No
Encapsulados	Barra	0,6	0,72	15,0	17,5	Si	Si
	Bushing	0,6	0,72	0,6	0,72	Si	Si
	Donas	0,6	0,72	0,6	0,72	Si	No
	Soporte	5,0	7,20	25,0	24,0	Si	Si
	Ventana	0,6	0,72	0,6	0,72	Si	No

Ilustración 15. Características de los transformadores de corriente de la marca TIESA.

Fabricados con materiales de la más alta calidad, sometidos a estrictas inspecciones, los transformadores de corriente son probados bajo la normas ANSI/IEEE C57.13 y IEC-60044-1 (IEC-61869-2).

La implementación de los relevadores para protección 49T y 63T, ya se cuentan con equipos que incluyen dicha protección, la central no realiza la instalación por que no cuenta con las conexiones adecuadas para poder aprovechar al 100% los equipos, con esta propuesta se pretende dar un uso mayor a estos equipos.

7.5 Realización de esquemas y diagramas eléctricos de la modernización del esquema de protecciones de los transformadores.

La propuesta para el esquema de protección de los transformadores de potencia, es incluir dos nuevos relevadores con el fin de mantener más seguro el proceso de generación, así evitando más fallas.

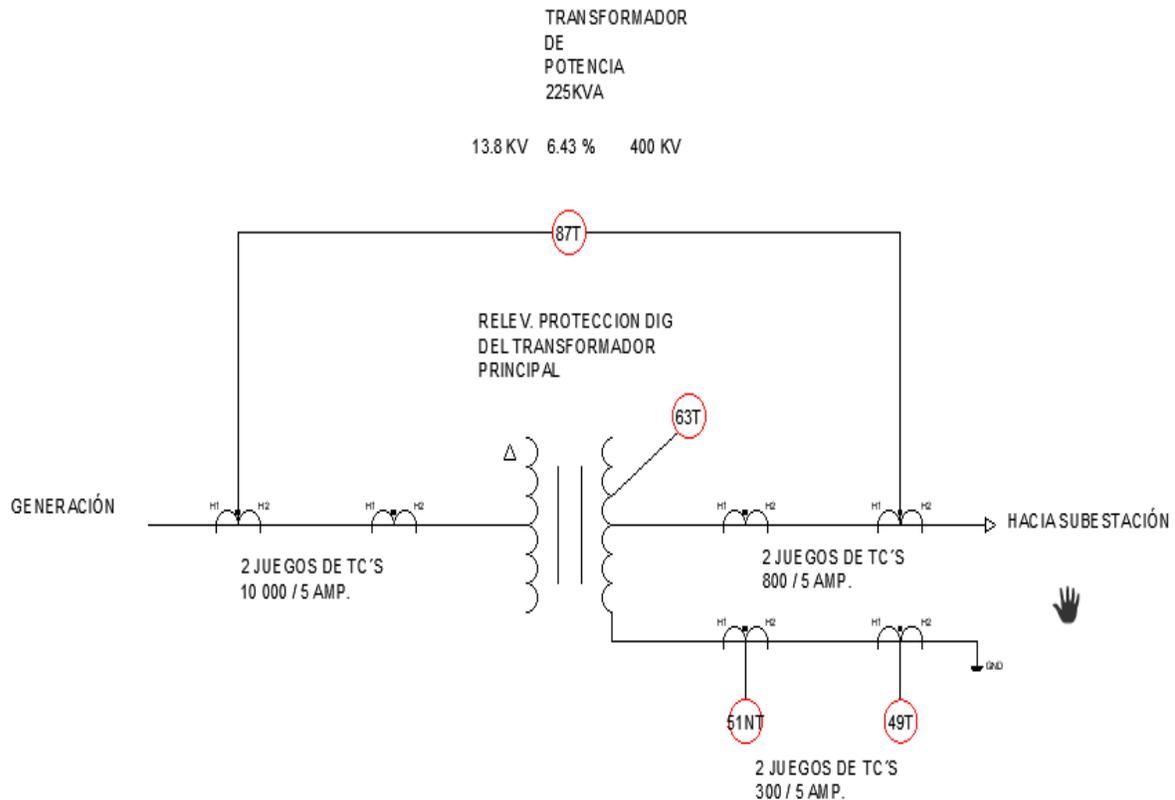


Ilustración 16. Propuesta para modernización del esquema de protecciones de la C.H. Belisario Domínguez.

8 RESULTADOS

Se realizaron cálculos de la corriente de falla del transformador de excitación.

Dato de placa del Transformador de excitación Unidad 3

N/S 6095150 Tipo TIE 5095

Estándar ASA kVA 1500

Fases 3 60 Hz

H3 H2 H1 13 800 V 62.8 A

X3 X2 X1 730 V 1188 A

Uk% 5.3

Temp. Clase B Tipo de enfriamiento AN

Vector DY11 Peso 3 600 kg

Calculo de corriente nominal.

$$I_{nom a. t.} = \frac{MVA \times 1000}{\sqrt{3} \times kV} = \frac{1500}{\sqrt{3} \times 13.8 kV} = 62.755 \text{ Amp.}$$

$$I_{nom b. t.} = \frac{MVA \times 1000}{\sqrt{3} \times kV} = \frac{1500}{\sqrt{3} \times 0.73 kV} = 1186.33 \text{ Amp.}$$

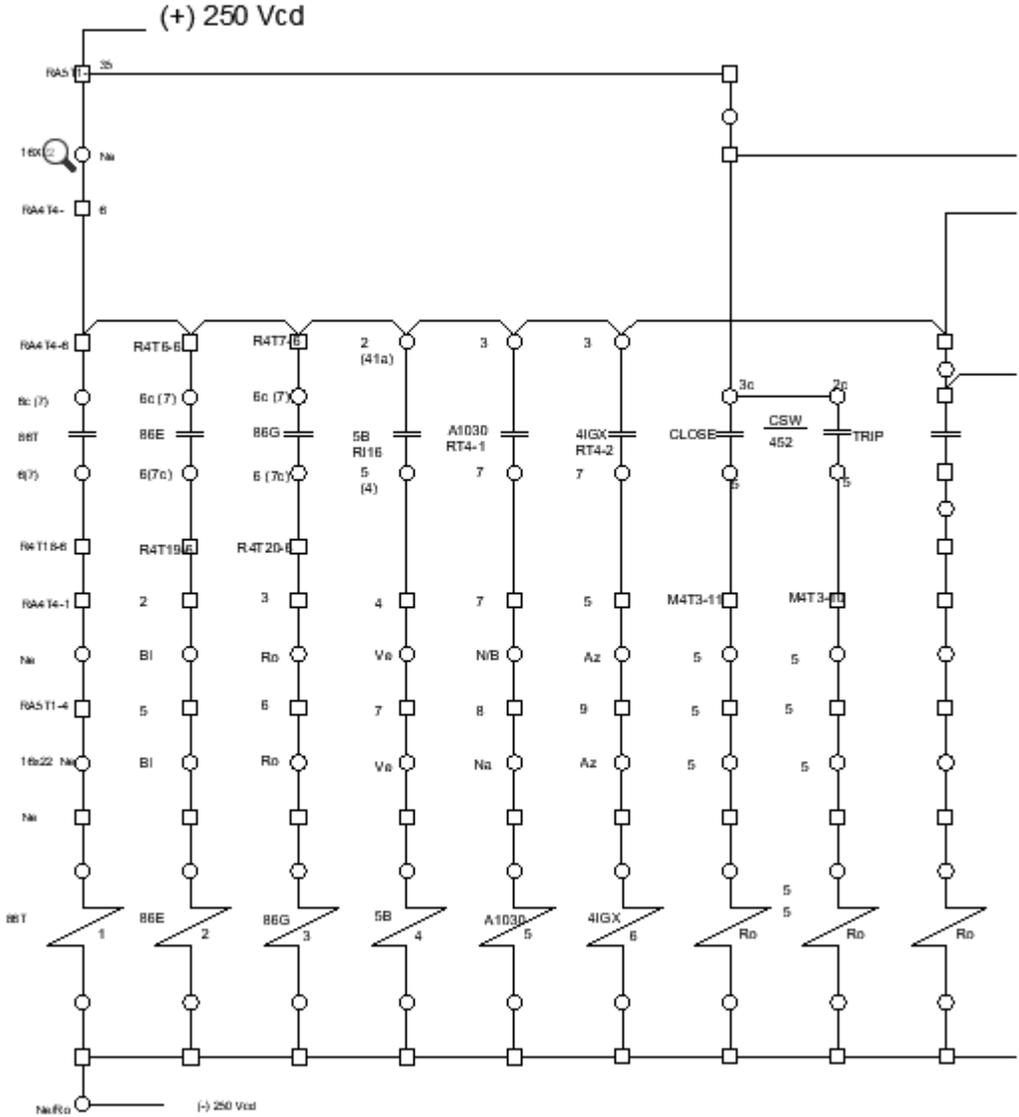
Calculo de falla máxima

$$I_{f\acute{m}ax a. t.} = \frac{I_{nom a. t.}}{z_{pu}} = \frac{62.755}{0.053} = 1184.056 \text{ Amp.}$$

$$I_{f\acute{m}ax b. t.} = \frac{I_{nom b. t.}}{z_{pu}} = \frac{1186.33}{0.053} = 22\ 383.58 \text{ Amp.}$$

Los transformadores en algún momento puede presentar picos de corrientes Inrush que van de 8 a 12 veces la corriente nominal en 0.1 segundos y hasta 25 veces en 0.01 segundos. Sin embargo en los transformadores de excitación no se energizan repentinamente a voltaje pleno, la tensión es gradual conforme la autoexcitación lo permita.

Se realizó el diagrama del registrador de disturbios en el cual , implica la conexión de dos de las protecciones propuestas.



9 CONCLUSIONES

En conclusión, Comisión Federal de Electricidad es una empresa de gran tamaño y de gran renombre, que se encarga de suministrar energía a lo largo y ancho de toda la república mexicana, empresa de gran calidad ya que dentro de ella cuenta con la generación, transmisión y distribución. Y cada área cuenta con personal especializado.

Al realizar mi residencia profesional en esta empresa, me permitió concretar y aplicar competencias adquiridas a lo largo de la carrera profesional, tuve la oportunidad de adentrarme a la generación eléctrica, que no solo son los equipos principales los que se utilizan, sino que dentro de la central existe una infinidad de equipos que cada uno de ellos son parte primordial al momento de la generación eléctrica.

La familiarización que obtuve en el ámbito laboral, es parte fundamental para la formación profesional de un alumno, ya que durante el proceso de residencia para la empresa somos un trabajador más, lo cual conlleva a respetar horarios laborales.

Como alumno que está a punto de egresar, el instituto tecnológico de Tuxtla Gutiérrez me brinda la mayoría de las herramientas para poder salir a enfrentarme a la vida real, pero me parece importante hacer recomendaciones para fortalecer el proceso de aprendizaje para los alumnos, es importante que la institución se encargue de priorizar el aprendizaje práctico, que a mi punto de vista nos podría ser de gran ayuda cuando ya nos encontremos en el mundo laboral.

10 COMPETENCIAS DESARROLLADAS Y/O APLICADAS

1. Diseñar de manera integral los esquemas eléctricos, siempre respetando las normativas que implican dentro de este ámbito.
2. Seleccionar equipos con los cuales se pretender realizar las modernizaciones, priorizando las necesidades de la C.H. Belisario Domínguez y apegándonos a la normativa que soliciten.
3. Realizar el aprendizaje en programas que no tenía conocimiento, en este caso tuve que reforzar el conocimiento de AutoCAD, ya que era parte importante durante la residencia.
4. Desarrollar los valores de responsabilidad, orden y disciplina así como el entusiasmo por continuar mi crecimiento personal y profesional fueron un reto personal, pero a lo largo de mi desarrollo dentro de la empresa me fui dando a la tarea de mejorarlos para ser un profesionista completo en todos los ámbitos.

11 FUENTES DE INFORMACION

ANCE-IEEE C.57.109-1993, Guia para la duración de corriente de falla a través de transformadores.

CFE G0100-07 Junio 2016, Ajuste de protecciones eléctricas de las unidades generadoras, transformadores de unidad e interruptores de potencia.

IEE Std C37.102-1995 IEEE GUIDE FOR AC Generator protection

IEEE Std C57.104-1991 Guia de IEEE para la interpretación de los gases generados en los transformadores sumergidos.

Mc Graw Hill John J. Grainger. Analisis de sistemas de potencia.

12 ANEXOS

Anexo 1. Hoja de liberación.



Subgerencia de Producción Hidroeléctrica Grijalva
C. H. BELISARIO DOMINGUEZ

2020 "Año de Leona Vicario, Benemérita Madre de la Patria"

Oficio - CFE GEN VI-BDZ-SG/010/2020
Venustiano Carranza, Chiapas, 14 de Enero de 2020
Asunto: Liberación Residencia Profesional
Gerhard Antony Montero Domínguez.

Dr. Samuel Enciso Sáenz.
Jefe del Depto. de Gestión Tecnológica y Vinculación.
Instituto Tecnológico de Tuxtla.
P r e s e n t e.

El que suscribe Ing. Gilberto Figueroa Martínez, Superintendente General de la Central Hidroeléctrica Belisario Domínguez, E.F., en el Municipio de Venustiano Carranza, Chiapas, tiene a bien informar a Usted que el **C. Gerhard Antony Montero Domínguez, con número de control 15270555**, alumno de la carrera Ingeniería Eléctrica, del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, **ha concluido satisfactoriamente su Residencia Profesional en esta Central**, en el periodo comprendido de Agosto - Diciembre 2019.

Mismo que fue asignado en el proyecto: *"Diseño del Sistema de protección y monitoreo en línea de gases que pueden producir una probable falla al banco de Transformadores de potencia de la C. H. Belisario Domínguez"* bajo la supervisión del Ing. Víctor Hugo García Kassab, Jefe del Departamento de Protecciones de esta Central.

Sin otro particular, quedo de usted.

Atentamente

Ing. Gilberto Figueroa Martínez.
Superintendente General, E.F.

Copia para:
Ing. Víctor Hugo García Kassab, Jefe del Depto. Protecciones.
Ing. Juan Francisco Vázquez Hernández, Secretario General Sección 130 Angostura, E.F.
M.I. Manuel Becerra López, Jefe del Departamento de Personal y Servicios.
Ing. Javier Hernández Sánchez, Jefe del Depto. Seg. E Hig. Y Cap.
Expediente Residencias.
Minutario.
GFM/aglaen*


C.H. BELISARIO DOMINGUEZ
LA ANGOSTURA

Carretera Tuxtla Gutiérrez - Venustiano Carranza Km. 60, Angostura, Chiapas, C.P. 30171
Tels. 01(961)6179200 Ext. 76200 /76201

Anexo 2. Datos técnicos del equipo DGA OPT100 de la Marca VAISALA para el análisis en línea del aceite.

Datos técnicos

Parámetros medidos en el aceite

Parámetro	Rango	Precisión ^{1) 2)}	Repetibilidad ²⁾
Metano (CH ₄)	0 ... 10.000 ppm _v	10 ppm o 10 % de lectura	10 ppm o 5 % de lectura
Etano (C ₂ H ₆)	0 ... 10.000 ppm _v	10 ppm o 10 % de lectura	10 ppm o 5 % de lectura ³⁾
Etileno (C ₂ H ₄)	0 ... 10.000 ppm _v	10 ppm o 10 % de lectura	10 ppm o 5 % de lectura
Acetileno (C ₂ H ₂)	0 ... 5000 ppm _v	2 ppm o 10 % de lectura	1 ppm o 10 % de lectura
Monóxido de carbono (CO)	0 ... 10.000 ppm _v	10 ppm o 10 % de lectura	10 ppm o 5 % de lectura
Dióxido de carbono (CO ₂)	0 ... 10.000 ppm _v	10 ppm o 10 % de lectura	10 ppm o 5 % de lectura
Hidrógeno (H ₂)	0 ... 5000 ppm _v	25 ppm o 20 % de lectura	15 ppm o 10 % de lectura
Humedad ⁴⁾ (H ₂ O)	0 ... 100 ppm _w ⁵⁾	±2 ppm ⁶⁾ o ±10 % de lectura	Incluida en la precisión

- ¹⁾ La precisión especificada es la de los sensores durante las mediciones del gas de calibración. La precisión de la medición de gas en aceite también se puede ver afectada por las propiedades del aceite y otros compuestos químicos disueltos en el aceite.
- ²⁾ Lo que sea mayor.
- ³⁾ La repetibilidad de la medición de etano se especifica con el promedio de cinco mediciones.
- ⁴⁾ Medida como saturación relativa (%RH).
- ⁵⁾ Rango superior limitado a la saturación.
- ⁶⁾ El valor de ppm calculado se basa en la solubilidad promedio de los aceites minerales.

Rendimiento

Duración del ciclo de medición	1 ... 1,5 h (típico)
Tiempo de respuesta (T63)	Un ciclo de medición ¹⁾
Tiempo de calentamiento hasta que los datos de la primera medición estén disponibles	Dos ciclos de medición
Tiempo de inicialización hasta la precisión completa	Dos días
Almacenamiento de datos	Al menos 10 años
Vida útil prevista	> 15 años

- ¹⁾ Tres ciclos para etano e hidrógeno.

Parámetros calculados

Total de gases combustibles disueltos (TDCG)	Total combinado de H ₂ , CO, CH ₄ , C ₂ H ₆ , C ₂ H ₄ , y C ₂ H ₂
Tasa de cambio (ROC)	Disponible para gases simples y para periodos de 24 h, 7 d y 30 d
Tasas de gas ¹⁾	Tasas disponibles: <ul style="list-style-type: none"> • CH₄/H₂ • C₂H₂/C₂H₄ • C₂H₂/CH₄ • C₂H₆/C₂H₂ • C₂H₄/C₂H₆ • CO₂/CO

- ¹⁾ Calculadas a partir de valores promedio de 24 h. Consulte la norma IEC 60599.

Entorno de funcionamiento

Tipo de aceite del transformador	Aceite mineral
Temperatura de combustión mínima requerida ¹⁾ del aceite del transformador	+ 125 °C (+257 °F)
Presión del aceite del transformador en la admisión de aceite	Máximo de 2 bares _{abs} continuos Presión de ráfaga de 20 bares _{abs}
Temperatura del aceite del transformador en la entrada de aceite	Máximo de +100 °C (+212 °F)
Rango de humedad ambiente	0 ... 100 %RH, condensación
Rango de temperatura ambiente en funcionamiento	De -40 a +55 °C (de -40 a +131 °F)
Rango de temperatura de almacenamiento	De -40 a +60 °C (-40... +140 °F)

- ¹⁾ La temperatura de combustión (del aceite del transformador) es, por lo general, aproximadamente 10 °C (18 °F) más alta que el punto de inflamación cerrado. Consulte, por ejemplo, Heathcote, Martin J. The J & P Transformer Book, 12th ed. Elsevier, 2002.

Alimentación de energía

Voltaje operativo	De 100 a 240 VAC, de 50 a 60 Hz, ±10 %
Categoría de sobrevoltaje	III
Consumo máximo de corriente	10 A
Consumo máximo de energía	500 W
Consumo típico de energía a +25 °C (+77 °F)	100 W

Salidas

Interfaz RS-485	
Protocolos usados	Modbus RTU
Aislamiento galvánico	2 kV RMS, 1 min
Interfaz de Ethernet	
Protocolos usados	Modbus TCP, HTTP
Aislamiento galvánico	4 kV CA (50 Hz, 1 min)

Salidas del relé ¹⁾

Cantidad de relés	3 unidades, normalmente abierto (NO) o normalmente cerrado (NC), seleccionables por el usuario
Tipo de activador	Seleccionable por el usuario: nivel de gas, tasa de cambio o estado del dispositivo
Corriente de conmutación máxima	6 A (a 250 VAC) 2 A (a 24 VDC) 0,2 A (a 250 VDC)
Interfaz de usuario	
Tipo de interfaz	Interfaz de usuario basada en web, se puede operar con navegadores web estándares

- ¹⁾ El funcionamiento de las salidas del relé se habilitará con una actualización del software.

Especificaciones mecánicas

Conexiones de aceite	Conexión Swagelok® de acero inoxidable para un tubo con un diámetro externo de 10 mm (0,39 pulgadas). Para un tubo de 3/8 pulgadas, use un adaptador SS-600-R-10M.
Longitud máxima del tubo de aceite al transformador	Máximo de 10 m (33 pies) con un tubo con un diámetro interno de 7 mm (0,28 pulgadas) Máximo de 5 m (16 pies) con un tubo con un diámetro interno de 4 mm (0,15 pulgadas)
Material	Aluminio marino (EN AW-5754), acero inoxidable AISI 316