



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN EN MANTENIMIENTO PREDICTIVO A INTERRUPTORES
DE POTENCIA DE LA SUBESTACIÓN DE 69 KV DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA
SANTA TERESA DE POLOCHIC, TUCURÚ, ALTA VERAPAZ**

Dany William Samayoa Montufar

Asesorado por el MSc. Ing. José Luis Ola García

Guatemala, febrero de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN EN MANTENIMIENTO PREDICTIVO A INTERRUPTORES
DE POTENCIA DE LA SUBESTACIÓN DE 69 KV DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA
SANTA TERESA DE POLOCHIC, TUCURÚ, ALTA VERAPAZ**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

DANY WILLIAM SAMAYOA MONTUFAR
ASESORADO POR EL MSC. ING. JOSÉ LUIS OLA GARCÍA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, FEBRERO DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murpy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Romeo Neftalí López Orozco
EXAMINADOR	Ing. Gustavo Benigno Orozco Godínez
EXAMINADOR	Ing. Armando Gálvez Castillo
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN EN MANTENIMIENTO PREDICTIVO A INTERRUPTORES
DE POTENCIA DE LA SUBESTACIÓN DE 69 KV DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA
SANTA TERESA DE POLOCHIC, TUCURÚ, ALTA VERAPAZ**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 5 de febrero de 2015.

Dany William Samayoa Montufar



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142 / Ext. 86226



AGS-MIMPP-0001-2015

Guatemala, 23 de Octubre de 2015.

Director:
Francisco Javier González López
Escuela de Mecánica Eléctrica
Presente.

Estimado Director:

Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación del estudiante **Dany William Samayoa Montufar** con carné número **2003-12995**, quien opto la modalidad del **"PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO"**. Previo a culminar sus estudios en la Maestría de Ingeniería en Mantenimiento.

Y si habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Sin otro particular, atentamente,

M.A. José Luis Ola García
Ingeniero Electricista & MBA
Experto en Energías Renovables
Colegiado 6,349

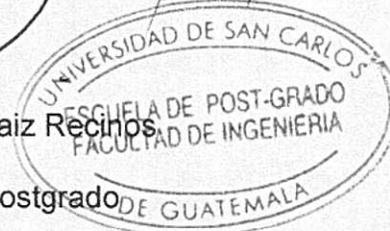
"Id y Enseñad a Todos"

M.A. Ing. José Luis Ola García
Asesor (a)

Msc. Ing. César Augusto Akú Castillo
Coordinador de Area
Gestión y Servicios

César Akú Castillo MSc.
INGENIERO INDUSTRIAL
COLEGIADO No. 4,073

MSc. Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Director
Escuela de Estudios de Postgrado



Cc: archivo
/ec



REF. EIME 09.2016.
Guatemala, 11 de FEBRERO 2016.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística de su Proyecto de Graduación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN EN MANTENIMIENTO PREDICTIVO A INTERRUPTORES DE POTENCIA DE LA SUBESTACIÓN DE 69 KV DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA SANTA TERESA DE POLOCHIC, TUCURÚ, ALTA VERAPAZ**, presentado por el estudiante universitario Dany William Samayoa Montúfar, considerando que el protocolo es viable para realizar el Diseño de Investigación procedo aprobarlo, ya que cumple con los requisitos establecidos por la Facultad de Ingeniería.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



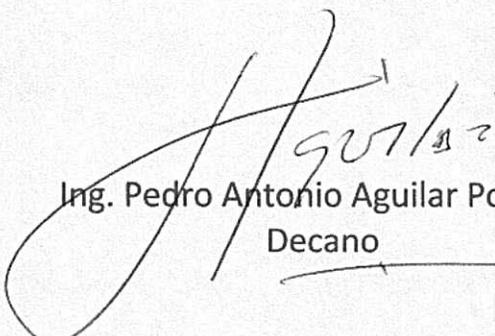
Ing. Francisco Javier González López
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

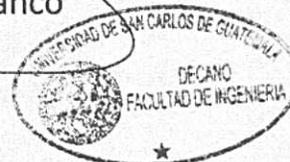


DTG. 069.2016

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN EN MANTENIMIENTO PREDICTIVO A INTERRUPTORES DE POTENCIA DE LA SUBESTACIÓN DE 69 KV DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA SANTA TERESA DE POLOCHIC, TUCURÚ, ALTA VERAPAZ**, presentado por el estudiante universitario: **Dany William Samyoa Montufar**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, febrero de 2016

/gdech

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
3.1. Pregunta general.....	9
3.2. Preguntas específicas	10
4. JUSTIFICACIÓN	11
5. OBJETIVOS	15
6. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.....	17
7. MARCO TEÓRICO.....	19
7.1. Mantenimiento	19
7.1.1. Mantenimiento a subestaciones	19
7.1.2. Tipos de mantenimiento	19
7.1.2.1. Mantenimiento preventivo.....	20
7.1.2.2. Mantenimiento correctivo.....	20
7.1.2.3. Mantenimiento proactivo.....	20
7.1.2.4. Mantenimiento predictivo	20
7.2. Subestación eléctrica	21

7.2.1.	Definición.....	21
7.2.2.	Elementos de la subestación eléctrica	21
7.2.2.1.	Transformador.....	21
7.2.2.1.1.	Transformador de potencia.....	22
7.2.2.1.2.	Transformador de corriente	22
7.2.2.1.3.	Transformador de instrumentos.....	22
7.2.2.2.	Pararrayos.....	22
7.2.2.3.	Interruptor.....	23
7.2.2.4.	Seccionador	23
7.2.2.5.	Aisladores.....	23
7.3.	Interruptor de potencia	23
7.3.1.	Definición.....	23
7.3.2.	Tipos de interruptores	24
7.3.2.1.	Interruptor en gran volumen de aceite.....	24
7.3.2.2.	Interruptor en pequeño volumen de aceite.....	24
7.3.2.3.	Interruptor neumático	25
7.3.2.3.1.	Ventajas	25
7.3.2.3.2.	Desventajas	25
7.3.2.4.	Interruptor en vacío	26
7.3.2.4.1.	Ventajas	26
7.3.2.4.2.	Desventajas	26
7.3.2.5.	Interruptor en hexafluoruro de azufre ...	27
7.3.2.5.1.	Ventajas	27
7.3.2.5.2.	Desventajas	27

7.3.3.	Pruebas al interruptor de potencia.....	28
7.3.3.1.	Pruebas eléctricas al interruptor de potencia.....	28
7.3.3.2.	Pruebas mecánicas al interruptor de potencia.....	29
7.4.	Análisis de resultados de las pruebas realizadas al interruptor de potencia de la Central Hidroeléctrica Santa Teresa de Polochic, Tukurú, Alta Verapaz	30
7.5.	Confiabilidad del mantenimiento predictivo a los interruptores	30
7.6.	Mantenimiento Predictivo a Interruptores de la Subestación de 69 KV de la Central Hidroeléctrica Santa Teresa de Polochic, Tukurú, Alta Verapaz	31
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE	33
9.	MÉTODOS Y TÉCNICAS.....	37
10.	OBTENCIÓN DE DATOS.....	39
11.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	41
12.	RECURSOS NECESARIOS.....	43
13.	CRONOGRAMA.....	45
	BIBLIOGRAFÍA.....	47
	ANEXOS.....	51

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

TABLAS

I.	Recursos necesarios.....	44
II.	Cronograma	45

1. INTRODUCCIÓN

En el municipio de San Miguel Tucurú, del departamento de Alta Verapaz, se encuentra construida la central hidroeléctrica denominada Santa Teresa de Polochic que pertenece a la Corporación Multi-Inversiones. Esta inició operaciones en 2011. Cuenta con dos unidades generadoras que en su total genera 16,2 MW de energía al Sistema Nacional Interconectado (SNI), la central hidroeléctrica tiene una subestación propia que se conecta a dos líneas de transmisión de 69 KV de tensión que en su trayecto de flujo de energía se interconectan a las SSEE Teleman y San Julián.

Todo el equipo de la central hidroeléctrica en mención necesita de mantenimiento, especialmente los interruptores de potencia de la subestación. Esto debido a que son sometidos a aperturas y cierres con altas corrientes en sus contactos externos e internos. El mantenimiento a los interruptores se hace necesario en razón de los esfuerzos a los que son sometidos, los contactos deben ser evaluados y determinar el estado de los interruptores. El mantenimiento debe iniciar por la localización de puntos calientes producidos por elementos mal ajustados, corrosión y suciedad. Así como el tiempo de apertura y cierre que garantice la protección a los interruptores, este proceso se puede realizar de manera predictiva mediante la técnica de termografía y pruebas mecánicas/eléctricas.

Para evitar que se presenten fallas durante la generación normal o incluso en horas pico, se realizará mantenimiento predictivo a los interruptores de potencia de la subestación. Esto consiste en desarrollar los conceptos teóricos que describen los diferentes tipos de mantenimiento, los equipos de una

subestación, estructura de un interruptor y las diferentes pruebas que se le pueden realizar a los interruptores, indicadores que se tomarán como parámetros de comparación y determinar cuáles son los elementos del interruptor con mayor criticidad. Además desarrollar un plan de acción al momento que fallen, evitando una indisponibilidad por no contar con los dispositivos para restablecer el equipo, debido a que en bodega no se cuenta con el repuesto y los dispositivos especiales para realizar las pruebas.

Al realizar el plan de mantenimiento se llevará paralelo una hoja de datos, donde se tomarán los valores actuales para que en un futuro se pueda proyectar qué pruebas se le pueden realizar al interruptor de potencia y la periodicidad de las mismas. Con la tabulación de un historial de operación de los interruptores, se contará con el conocimiento del cómo y por qué realizar los mantenimientos, a razón de lo expuesto se busca disminuir posibles fallas.

Además de reducir los costos como mano de obra, costo de equipo y partes adicionales, costo fijo, costos por fuera de producción, multas y penalización por desvíos de potencia en las horas pico (dieciocho a veinte horas) y tener datos de referencia de las pruebas mecánicas/eléctricas así como las temperaturas de los dispositivos del interruptor.

En el desarrollo de la investigación se plantearon objetivos para establecer las fases del mantenimiento predictivo, identificar las pruebas, definir los puntos de criticidad en los interruptores de potencia. Con ello elaborar el mantenimiento predictivo.

En el primer y segundo capítulo se define qué es el mantenimiento y sus diferentes tipos, ventajas y características. También se describen la subestación eléctrica y sus elementos, con el fin de tener conocimientos básicos para implementar el mantenimiento a los interruptores de potencia.

En el tercer capítulo se desarrollan las características, componentes, clases y pruebas del interruptor de potencia a razón que es indispensable conocer y determinar qué tipo de criticidad tiene cada elemento. Asimismo, porque el interruptor de potencia es el objeto del diseño de investigación.

El cuarto capítulo tiene como objeto analizar los resultados de las pruebas aplicadas al interruptor de potencia. Esto para tener parámetros de comparación que sirvan como referencia al momento de elaborar el mantenimiento predictivo.

El quinto capítulo incluye la confiabilidad del mantenimiento predictivo a los interruptores de potencia, en virtud de saber las ventajas que conlleva la implementación de este tipo de mantenimiento.

El sexto capítulo se tiene como objetivo principal diseñar el mantenimiento predictivo de los interruptores de potencia. Debe tener como base los conocimientos de los capítulos anteriores.

2. ANTECEDENTES

Durante los últimos años las centrales hidráulicas de generación eléctrica han incrementado considerablemente frente a otras generadoras. Esto debido que los costos de combustible día con día aumenta su valor, por consiguiente la energía generada a base de combustibles se incrementan y el mismo impacta a los usuarios. La energía hidráulica aumenta considerablemente en el país así como energías Solar, eólica y geotérmica. Todas requieren de una subestación eléctrica donde se realizan las maniobras de enlace para el transporte a los usuarios. A razón de lo expuesto las subestaciones han incrementado sus mantenimientos para contar con una eficiencia aceptable al momento de entrar en contacto con la red del Sistema Nacional Interconectado (SIN).

En Guatemala se tiene una matriz energética de 58,72 % de energía renovable y el 41,28 % de no renovable, el dato de energía renovable se dividen en Hidráulica 49,21 %, eólica 2,04 %, solar 1,26 % y geotérmica 2,72 % según datos proporcionados por CNEE 2015. Los datos proporcionados indican que en Guatemala día con día se depende de la energía renovable motivo por el cual se debe de contar con un índice de disponibilidad de centrales eléctricas de 99,99 %. Esto con el fin de garantizar a los pequeños y grandes usuarios la energía, así como de minimizar la contaminación que emanan la energía no renovable.

Para garantizar lo expuesto anteriormente se debe de contar con mantenimiento predictivo a los equipos que componen las centrales de generación de energía para Gill (2008). Estos elementos se empiezan a

deteriorar desde el momento en que son instalados y si no se cuenta con una hoja de inspección de los mismos se puede llegar a una selección inadecuada, mala calibración de las protecciones y aumento de cargas al no seguir los lineamientos del diseño.

El objetivo de un mantenimiento eléctrico es la de prevenir estos factores y proporcionar medios para corregirlos. El programa de mantenimiento reduce fallas catastróficas y minimiza el tiempo de indisponibilidad. Para tener una operación exitosa de los elementos eléctricos es necesario contar con un programa de mantenimiento y pruebas eficaces.

Para García (2003), los equipos ocupan distintas posición en la industria por lo que no es justificable estar sujeta a un tipo de mantenimiento (correctivo, predictivo y otros). Las características de cada uno son distintas a otros que tienen la misma función, esto dividido que los equipos han ido evolucionando en la época industrial y actualmente se hace difícil analizarlos en conjunto. Las subestaciones eléctricas son la parte principal del transporte de energía haciendo un punto crítico por lo que es necesario tener un buen mantenimiento.

La subestación está conformada por una serie de componentes eléctricos de potencia, teniendo cada uno de ellos distintos puntos de criticidad en cada fase de conducción eléctrica y por consiguiente requieren de un mantenimiento específico cada elemento. Para Reyes (2010), contar con buen mantenimiento se consigue una reducción de falla, un servicio eléctrico continuo. Al tener estos resultados las empresas industriales y los clientes domiciliarios se benefician con reducción de costos, aumentando su disponibilidad. Muchas se cree que las subestaciones requieren de mantenimientos de carácter estático, pero esta expresión no deja de ser cierta al problema, pero existen varias consecuencias

que el equipo falle y que puede afectar la disponibilidad de una subestación y provocar que estos componentes del sistema de potencia fallen.

En una subestación se encontró, como parte del equipo, el interruptor de potencia como una pieza crítica, debido que el mismo es fundamental en el transporte de energía eléctrica al sistema nacional interconectado. Para Leiva (2012), los interruptores de potencia son importantes específicamente en sobrecargas y cortocircuitos; en especial cuando se requiere la interrupción inmediata de la corriente así como actuación de las protecciones a los dispositivos que se encuentran conectados.

El problema específico es la de controlar y minimizar el arco eléctrico de alta tensión, separando los contactos cuando ocurre una apertura del circuito con una elevada corriente. Los interruptores hoy en día han revolucionado con el fin de extinguir el arco eléctrico de energía calorífica que destruyen los contactos del dispositivo de interrupción. Actualmente se tienen diferentes tipos en las subestaciones los cuales son de accionamiento, medios dieléctricos para disminuir el arco eléctrico y función.

Para los de tipo dieléctrico se encuentran los de tipo SF₆ (hexafluoruro de azufre). Molina (2011) expresa que el gas que componen los interruptores de SF₆ fue descubierto en 1901. Es un gas inodoro, incoloro e inerte en su estado puro, se utiliza en el medio eléctrico como aislante en los contactos o cámaras de interrupción. Gracias a los interruptores de SF₆ las maniobras de media y alta tensión alcanzan niveles de cortocircuito más elevado, ya se hablado del mantenimiento; el interruptor y el gas SF₆ indica que están compuestos los interruptores, pero adicional se incluye la medición infrarroja. Se puede decir que es fundamental para el mantenimiento debido que esta prueba nos da una referencia del comportamiento de los contactos de los interruptores y cables, ya

que es ahí donde se pueden dar los puntos calientes en un interruptor debido a las altas corrientes que circulan en el mismo.

Para Jimenes (2011) esta tecnología se ha venido desarrollando durante muchos años debido que la temperatura es fundamental y controlarla es lo más importante. Tienen características muy importantes como, es una medida actual o tiempo real, no es invasiva, es bidimensional y multidisciplinar lo que las ha llevado a extender campo en la actualidad. En el ámbito eléctrico se utiliza en eficiencia energética dividido que la termografía infrarroja. Es una herramienta para obtener diagnósticos en equipos eléctricos detectando y evaluando pérdidas de energía con mayor facilidad y tener diagnósticos de equipos y redactar informes para su mantenimiento.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La subestación eléctrica es la parte fundamental para el transporte de energía al Sistema Nacional Interconectado (SIN). Esta es la razón por la cual, los elementos que componen la subestación son indispensables realizar mantenimientos para que se encuentren en un estado óptimo al momento de realizar sus maniobras. Así evitar pérdidas de energía y protección al equipo interno de la Central Hidroeléctrica Santa Teresa, evitando así las penalizaciones con el Administrador del Mercado Mayorista por no contar con las unidades disponibles.

Contar con un plan de mantenimiento general es indispensable para toda central hidroeléctrica. Sin embargo, la falta de un plan de mantenimiento predictivo a los interruptores de potencia puede causar indisponibilidad de la planta. Esto debido a que es un equipo crítico para el flujo de energía al SIN.

Los elementos del interruptor de potencia son indispensables para su funcionamiento. La falta de equipos internos del interruptor de potencia en bodega, como una desventaja y al momento de una salida de línea, puede que no se tenga en existencia el equipo. Por ser importado desde China tardará meses en llegar a Guatemala.

3.1. Pregunta general

- ¿Por qué elaborar un mantenimiento predictivo para los interruptores de la subestación de la Central Hidroeléctrica de Santa Teresa de Polochic, Tukurú Alta Verapaz?

3.2. Preguntas específicas

- ¿Cómo realizar el mantenimiento predictivo a los interruptores de potencia de la Central Hidroeléctrica de Santa Teresa de Polochic, Tukurú, Alta Verapaz?
- ¿Qué pruebas son las aplicables a los interruptores de potencia de la Central Hidroeléctrica de Santa Teresa de Polochic, Tukurú, Alta Verapaz?
- ¿Cuáles serían los puntos críticos a identificar en un mantenimiento predictivo a los interruptores de potencia de la Central Hidroeléctrica de Santa Teresa de Polochic, Tukurú, Alta Verapaz?

4. JUSTIFICACIÓN

Las subestaciones y redes de distribución son de alto costo económico. La continuidad del servicio eléctrico en el SNI es de vital importancia en la disponibilidad de la Central Hidroeléctrica. Es la razón por la cual es indispensable hacer énfasis en el mantenimiento predictivo a los interruptores de potencia de la Subestación de la Central Hidroeléctrica de Santa Teresa de Polochic, Tucurú, Alta Verapaz.

Un interruptor de potencia es el dispositivo fundamental para la seguridad de una red eléctrica. El mismo constituye el equipo principal del sistema de protecciones y es el responsable de eliminar perturbaciones que se generan en la red. El interruptor de potencia tiene la capacidad, para que en el menor tiempo posible cambie de su estado conductor a estado aislante eléctrico y viceversa.

El proceso de operación del interruptor de potencia se puede establecer por el tipo de maniobra que experimenta al momento de estar conectado a la red SNI. Cuando el interruptor realiza una operación de cierre o apertura, experimenta una elevada corriente en sus contactos, esto da lugar a la formación de un arco eléctrico dentro de la cámara de interrupción del interruptor de potencia y asimismo eleva la temperatura en los contactos, los cuales utilizan un medio aislante capaz de reducir el efecto Joule que se produce dentro de la cámara de interrupción el interruptor.

El aislante debe ser capaz de soportar las tensiones impuestas por la red de conexión en el menor tiempo posible. Por este motivo se utiliza interruptor

de SF₆ (hexafluoruro de azufre), como medio para extinguir el arco eléctrico en la cámara de interrupción. Este es un gas incoloro, inodoro y no tóxico cuya rigidez dieléctrica es en promedio 2,5 veces la del aire. La inspección de la presión de gas es de vital importancia, para la operación normal de los interruptores de potencia, porque son el medio donde se extingue el arco formado por las operaciones del interruptor.

El análisis termográfico, las inspecciones visuales diarias, pruebas mecánicas/eléctricas, inspección de gas SF₆ (hexafluoruro de azufre) al interruptor de potencia, pueden ayudar a reducir la probabilidad de indisponibilidad de la Central Hidroeléctrica al SNI, evitando pérdidas en la generación de las unidades, así como aumento de los costos de mantenimiento.

Mediante la observación y descripción de los interruptores de potencia se pretende realizar un plan de mantenimiento predictivo. Esto para detectar los puntos de desgaste y los agentes que posiblemente los provocan y establecer una rutina de inspección termográfica en los lugares de mayor circulación de corriente donde podría sufrir de calentamientos. Asimismo los interruptores necesitan ser monitoreados periódicamente para evaluar su comportamiento.

Esto con el fin de corregir y minimizar las anomalías térmicas de los componentes eléctricos. Por lo cual la medición de la temperatura es uno de los principales parámetros para el análisis y diagnóstico. Las alternativas para la medición de temperatura son las cámaras termográficas, que se han convertido en instrumentos indispensables de diagnóstico y detección esenciales en la resolución de problemas relacionados con el mantenimiento predictivo.

El plan de mantenimiento predictivo a los interruptores de potencia servirá como herramienta útil, estableciendo así los pasos a seguir al momento de realizar un mantenimiento predictivo a los mismos. Se detectan los puntos de desgaste y los agentes que posiblemente los provocan, las medidas a tomar para evitar los mismos, prohibiendo así fallas en los componentes eléctricos de los interruptores de potencia que conforman la Subestación de 69 kv, de la Central Hidroeléctrica Santa Teresa de Polochic de Tukurú, Alta Verapaz y prevenir indisponibilidades al SNI.

Al contar con un plan de mantenimiento predictivo se va a tener un monitoreo constante a los interruptores de potencia y así evitar la indisponibilidades a la Central Hidroeléctrica. Se garantiza la energía a suministrar al sistema nacional interconectado y evitar perturbaciones a la red. Esto por salidas inesperadas de las unidades por fallas en los interruptores de potencia.

Las indisponibilidades tienen un costo significativo para la empresa debido a penalizaciones y pérdidas de generación, esto conlleva a faltas en contratos.

5. OBJETIVOS

General

Elaborar un mantenimiento predictivo a los interruptores de potencia de la Subestación de la Central Hidroeléctrica de Santa Teresa de Polochic, Tucurú, Alta Verapaz.

Específicos

1. Establecer las fases que componen un plan de mantenimiento predictivo a los interruptores de potencia de la Subestación de la Central Hidroeléctrica de Santa Teresa de Polochic, Tucurú, Alta Verapaz.
2. Identificar las pruebas aplicables durante el mantenimiento predictivo a los interruptores de potencia de la Subestación de la Central Hidroeléctrica de Santa Teresa de Polochic, Tucurú, Alta Verapaz.
3. Identificar puntos de criticidad I en los interruptores de potencia de la Subestación de la Central Hidroeléctrica de Santa Teresa de Polochic, Tucurú, Alta Verapaz.

6. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

La aplicación de la investigación tiene como enfoque la implementación de un plan de mantenimiento predictivo el cual busca garantizar la protección y disponibilidad de los interruptores de potencia de la subestación de la Central Hidroeléctrica Santa Teresa de Polochic, Tukurú Alta Verapaz, utilizando técnicas de termografía, pruebas eléctrica y mecánica.

Mediante la aplicación de las pruebas a los interruptores de potencia, como equipo de la subestación, se establecerán los puntos sensibles al desgaste, la corrosión, la temperatura u otros agentes químicos o del ambiente que podrían interferir en el buen funcionamiento de los mismos. Dicho proceso se desarrollará dentro de un periodo de 3 meses.

Los resultados obtenidos de las pruebas van a proporcionar parámetros de comparación del desgaste, la temperatura y tiempos de apertura y cierre de los interruptores.

Al contar con el plan de mantenimiento predictivo se pretende estandarizar y conocer los elementos del interruptor. Esto para que en su análisis, el personal de mantenimiento y operaciones puedan realizar el trabajo con el dividido proceso.

7. MARCO TEÓRICO

A continuación se explicará el marco teórico.

7.1. Mantenimiento

Los cuidados de una maquinaria durante su operación se denomina mantenimiento, alargando la vida útil y mejorando el desempeño del equipo durante su proceso de producción. Harper (2006).

Para Duffuaa et al. (2000) “la filosofía del mantenimiento de una planta es básicamente la de tener un nivel mínimo de personal de mantenimiento que se consistente con la optimización de la producción y la disponibilidad de la planta sin que se comprometa la seguridad” (p. 32).

En la concepción de mantenimiento es necesario analizar los requisitos de operación del sistema. Estos son los siguientes: tiempo mínimo de funcionamiento por periodo, el máximo tiempo de reparación, los equipos críticos, personal necesario, tecnología del equipo, riesgos de operación, costo de reparación y pérdidas de producción. Esto conjuntamente con los objetivos del negocio de la empresa y la forma en la que se presenta ante el cliente. Cabeza et al. (2012).

7.1.1. Mantenimiento a subestaciones

Es importante en la industria contar con información del estado de las máquinas, ya que los elementos son importantes en la subestación y por ende en el suministro de energía eléctrica para sus procesos productivos. Es importante contar con planes de mantenimiento adecuados y técnicas de ensayo para tener una mayor certeza del estado del equipo de una subestación. Cabral et al. (2007).

7.1.2. Tipos de mantenimiento

A continuación se explicará los tipos de mantenimiento.

7.1.2.1. Mantenimiento preventivo

Las tareas planeadas previamente que son llevadas a cabo para contrarrestar las causas conocidas como fallas potenciales de las funciones que fueron creadas se denomina mantenimiento preventivo las mismas puede programarse y planearse en el tiempo, el uso o el estado del equipo. Duffuaa et al. (2000).

Los equipos complejos de hoy en día y sus componentes tienen distintas causas de falla, requieren de una serie de acciones de mantenimiento preventivo, unos basados en el tiempo y otros en la condición, para el mismo equipo consolidando en un mantenimiento preventivo. El programa debe tener tareas agrupadas por periodicidad (diaria, semanal, anual, por horas de operación etc.), agrupadas por oficio (mecánicas, eléctrica, operación, etc.) Duffuaa et al. (2000).

El mantenimiento preventivo es el principal requisito para reducir la frecuencia y severidad de las descomposturas de las máquinas. Duffuaa et al. (2000).

7.1.2.2. Mantenimiento correctivo

Para Duffuaa et al. "este tipo de mantenimiento sólo se realiza cuando el equipo es incapaz de seguir operando. No hay elementos de planeación para este tipo de mantenimiento. Este es el caso que se presente cuando el costo adicional de otros tipos de mantenimiento no puede justificarse. Este tipo de estrategia a veces se conoce como operación-hasta-que-falle. Se aplica principalmente en los componentes electrónicos" (p. 33).

7.1.2.3. Mantenimiento proactivo

Según Pistarelli (2011). "el mantenimiento proactivo aparece como alternativa de mejora para anticiparse al momento en que una causa raíz de falla puede convertirse en una falla sintomática irreversible. Cabe aclarar que, aunque la estrategia pone de manifiesto síntomas de carácter reversible, no significa que el desarrollo de cualquier causa raíz pueda convertirse en reversible. Algunas tareas realizadas en Mantenimiento Proactivo son de carácter investigativo" (p.4).

7.1.2.4. Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo está formado por ensayo no destructivo que tiene como finalidad realizar un seguimiento del funcionamiento de los equipos para determinar advertencias que indiquen que los equipos no están funcionando adecuadamente. En este tipo de mantenimiento, se detecta las averías se puede

programar la correspondiente reparación sin que se afecte el proceso de producción y prolongar la vida útil del equipo. Olarte et al. (2010).

Los aspectos principales que se logran con el mantenimiento predictivo sobre otros métodos es: la reducción de costos y el aumento de la seguridad sobre el funcionamiento de los equipos. Mosquera et al. (2001).

La metodología del mantenimiento predictivo tiene como objetivo final asegurar el funcionamiento de las máquinas por medio de la vigilancia continua de las mismas, siendo el indicador de su condición; el cual es ejecutado sin necesidad de recurrir a desmontajes e inspecciones periódicas. Mosquera et al. (2001).

7.2. Subestación eléctrica

A continuación se explica la subestación eléctrica.

7.2.1. Definición

La subestación es un conjunto de elementos que sirven para cambiar las características de energía eléctrica como el Voltaje, Corriente, Frecuencia, tipo (Corriente alterna C.A) o (Corriente Continua C.C) o bien conservarlas dentro ciertas características. Harper (2006).

La subestación eléctrica también es definida como parte de un sistema eléctrico de potencia; sus principales funciones es: transformación de tensión y de seccionar circuitos de potencia. Martín (2000).

Según Toledano (2007) la subestación es “el conjunto, situado en un mismo lugar, de aparataje eléctrico y de los edificios necesarios para realizar alguna de las funciones siguientes: transformación de la tensión, de la frecuencia, del número de fases, rectificación, compensación del factor de potencia y conexión con dos o más circuitos” (p.2).

7.2.2. Elementos de la subestación eléctrica

A continuación se explicarán los elementos de la subestación eléctrica.

7.2.2.1. Transformador

El transformador según Toledano (2007) “es una máquina estática, de inducción electromagnética, destinada a transformar un sistema de corrientes variables en otro de intensidades y tensiones generalmente distintas, pudiendo ser su aislamiento en aceite o encapsulados en resina” (p. 96).

Para Harper (2006) el transformador es un dispositivo que “transfiere energía eléctrica de un circuito a otro conservando la frecuencia constante, lo hace bajo el principio de inducción electromagnética, tiene circuitos eléctricos que están eslabonados magnéticamente y aislados eléctricamente y usualmente lo hace con un cambio de voltaje, aunque esto no es necesario” (p.23).

7.2.2.1.1. Transformador de potencia

Los transformadores de potencia tienen como función principal transformar los valores de voltaje sin tomar en cuenta la corriente. Los transformadores sirven para alimentar instrumentos de medición, control o protección que necesitan señal de voltaje. Harper (2006).

Los transformadores de potencia son importantes en el sistema eléctrico, estos transforman el voltaje a valores nominales a deben de transportar el flujo de potencia en forma continua hacia la carga. Harper (2002).

7.2.2.1.2. Transformador de corriente

Para Martín (2000) los transformadores de corriente son: aparatos en donde la corriente secundaria dentro de las condiciones normales de operación es prácticamente proporcional a la corriente primaria, aunque ligeramente desfasada. Desarrollan dos tipos de función: transformar corriente y aislar los instrumentos de medición conectados a los circuitos de alta tensión. (p. 52)

Los transformadores de corriente sufren fenómenos de saturación cuando ocurren fallas de corto circuito transitorias, por lo que es importante considerar este efecto antes de seleccionar. Dávila et al. (2012).

7.2.2.1.3. Transformador de instrumentos

Son dispositivos electromagnéticos, la función principal es reducir las magnitudes de voltaje y corriente que se utilizan para la medición de los diferentes circuitos de una subestación, o en un sistema eléctrico. Martín (2000).

7.2.2.2. Pararrayos

Los pararrayos es un dispositivo de protección, usado en la coordinación de aislamiento. Los pararrayos se clasifican diferentes tipos: pararrayos tipo estación de óxido de zinc para sistemas de 115 a 400 kv y pararrayos autovalvulares para tensiones de 12 a 192 kv. Harper (2002).

Los pararrayos están formados por una serie de elementos resistivos no lineales y explosivos. Su función principal es la de limitar la amplitud de las sobretensiones originadas por descargas atmosféricas. Martín (2000).

A criterio de Harper (2002) Los pararrayos deben estar equipados con los siguientes accesorios: dispositivo de desconexión, soporte para montaje en cruceta, cable de cobre trenzado flexible, con zapatas terminales para conexión a tierra y conector de línea tipo mecánico.

7.2.2.3. Interruptor

Es un dispositivo cuya función es interrumpir y restablecer la continuidad en un circuito eléctrico. Harper (2006).

Un interruptor es según Toledano (2007) el aparato dotado de poder de corte, destinado a efectuar la apertura y el cierre de un circuito, que tiene dos posiciones en las que pueden permanecer en ausencia de acción exterior y que corresponden una a la apertura y otra al cierre del circuito. Pueden cerrar, pero no interrumpir intensidades de cortocircuito (p. 92).

7.2.2.4. Seccionador

Los seccionadores es capaz de abrir y cerrar sus contactos cuando el valor de la corriente al interruptor es despreciable o a restablecer. O bien cuando no se producen cambios apreciables de tensión en borneras de cada uno de los polos del seccionador; estos son capaces de soportar corrientes de paso en las condiciones normales del circuito, y soportar corrientes anormales durante del circuito, tales como de corto circuito. Toledano (2007).

7.2.2.5. Aisladores

Estas son piezas que sirven para soportar o sujetar conductores o equipos eléctricos, pueden ser utilizados en interior o exterior. Toledano (2007).

7.3. Interruptor de potencia

A continuación se explicará el interruptor de potencia.

7.3.1. Definición

Para Harper (2006) “Los interruptores de potencia interrumpen y restablecen la continuidad de un circuito eléctrico. La interrupción la deben efectuar con carga o corriente de corto circuito”. (p. 53).

El interruptor es esencial para el funcionamiento seguro de una red eléctrica. Los mismos son necesarios para la protección de los generadores de electricidad, donde se pueden conectar o desconectar todas las potencias de una central eléctrica, y en líneas de transmisión, y subestaciones. Estas para dirigir el flujo de energía, también son esenciales en las redes de distribución, donde es necesario controlar corrientes muy altas a niveles moderadas de tensión. Los interruptores tienen dos tareas principales de funcionamiento que son; la conmutación diaria de líneas durante el funcionamiento normal y la desconexión del suministro eléctrico en caso de sobrecarga del sistema eléctrico. Pinnekamp (2007).

7.3.2. Tipos de interruptores

Según Martín (2000) se tienen diferentes tipos de interruptores, dependiendo de la apertura del arco cámaras de extinción:

- Interruptores en gran volumen de aceite
- Interruptores en pequeño volumen de aceite
- Interruptores neumáticos
- Interruptores en vacío
- Interruptores en hexafluoruro de azufre

7.3.2.1. Interruptor en gran volumen de aceite

Según Harper (2006) estos interruptores reciben ese nombre debido a la gran cantidad de aceite que contienen, generalmente se construyen en tanques cilíndricos y pueden ser monofásicos o trifásicos. Los trifásicos son para operar a voltajes relativamente pequeños y sus contactos se encuentran contenidos en un recipiente común, separados entre sí (p.62).

Los interruptores en gran volumen de aceite fueron los primeros empleados en alta tensión y que utiliza el aceite para la extinción del arco. Martín (2000).

7.3.2.2. Interruptor en pequeño volumen de aceite

Este tipo de interruptor tiene forma de columna y se usan en tensiones y potencias medianas. Martín (2000).

Usan un mando que se energiza por medio de resortes y el tiempo de la extinción del arco es del orden de seis ciclos. Martín (2000).

7.3.2.3. Interruptor neumático

Estos interruptores se originan con el fin de eliminar la inflamación y explosión del aceite utilizando en los interruptores en pequeño y gran volumen de aceite. Martín (2000).

Para Martín (2000) en este tipo de interruptores el apagado del arco se efectúa por la acción violenta de un chorro de aire que barre el aire ionizado por efecto del arco. El poder de ruptura aumenta casi proporcionalmente a la presión del aire inyectado (p. 97).

7.3.2.3.1. Ventajas

A criterio de Martín (2000) dentro de las ventajas de este tipo de interruptor se encuentran:

- Bajo costo y disponibilidad del aire
- Rapidez de operación
- No provoca explosiones ni arde como el aceite
- Aumenta la capacidad de ruptura en proporción a la presión del aire
- No es asfixiante ni tóxico

7.3.2.3.2. Desventajas

Según Martín (2000) son las siguientes:

- Menor rigidez dieléctrica.
- La constante térmica es de unas 100 veces la del interruptor en hexafluoruro de azufre, a la misma presión.
- Aun en presiones cinco veces superiores que el interruptor de hexafluoruro de azufre, el aire tiene únicamente 10 % de la capacidad de extinción del arco.

- En fallas próximas al interruptor aparecen sobretensiones muy altas. Para disminuirlas se intercalan resistencias de apertura.
- Después de la apertura el gas ionizado deber ser ventilado.
- Los niveles de ruido al operar son muy altos.
- El sistema de comprensión de aire tiene un precio alto y la confiabilidad de sus componentes es difícil de lograr.

7.3.2.4. Interruptor en vacío

Para Martín (2000), En estos interruptores, el arco se produce a través del vapor metálico. El vapor se obtiene al abrirse las cavidades que se introducen en el metal de los electrodos a la hora de su fundición y se desprende con la fusión del material producida por el arco (p. 100).

7.3.2.4.1. Ventajas

Según Martín (2000).

- Es un interruptor muy compacto.
- Prácticamente no necesita mantenimiento.

7.3.2.4.2. Desventajas

Según Martín (2000).

- Es difícil mantener un buen vacío debido al arqueo y desgasificación de los electrodos metálicos.
- Durante el arqueo se produce una ligera emisión de rayos X.
- Aparecen sobretensiones, sobre todos en circuitos inductivos.

7.3.2.5. Interruptor en hexafluoruro de azufre

Harper (2006), El hexafluoruro de Azufre (SF6) tiene excelentes propiedades aislantes y para extinguir arcos eléctricos, razón por la que ha sido usado exitosamente, por más de veinte años en la construcción de equipo de alta tensión. En el caso de los interruptores, el uso del SF6 representa una solución ventajosa, funcional y económica. Otra gran ventaja es el mantenimiento relativamente reducido en comparación con otros interruptores (p.76).

7.3.2.5.1. Ventajas

Según Martín (2000).

- Después de la apertura de los contactos, los gases ionizados no escapan al aire, por lo que la apertura del interruptor no produce casi ruido.
- Alta rigidez dieléctrica, del orden de tres veces la del aire.
- El SF6 es estable.
- La alta rigidez dieléctrica del SF6 lo hace un medio ideal para enfriar el arco, aun a presiones bajas.
- La presión utilizada para interrupción del arco es una fracción de la requerida en interruptores neumáticos.
- Buena conductividad térmica, es del orden de tres veces la del aire.

7.3.2.5.2. Desventajas

Según Martín (2000).

- A presiones superiores de 3,5 bars y temperaturas menores de -40 °C, el gas se licua.
- El gas es inodoro, incoloro e insípido.
- Los productos del arco son tóxicos y combinados con la humedad producen ácido fluorhídrico, que ataca la porcelana y el cemento de sellado de boquillas.

7.3.3. Pruebas al interruptor de potencia

Las pruebas eléctricas y mecánicas se desarrollarán de conformidad con las normas IEEE STD C37.09, 1999, IEC 56.

7.3.3.1. Pruebas eléctricas al interruptor de potencia

- Prueba de medición de pérdidas disipadas en las cámaras de interrupción con interruptor de las fases R, S y T.
- Pruebas de medición de pérdidas disipadas en los en los soportes con interruptor abierto de las fases R, S y T.
- Prueba de medición de pérdidas en el polo completo fases R, S, T.
- Prueba de medición capacitancia a la cámara de interrupción con interruptor abierto a las fases R, S y T.

- Prueba de medición de capacitancia a los soportes con interruptor abierto de los interruptores R, S y T.
- Prueba de medición de capacitancia al interruptor completo de las fases R, S, T.
- Resistencia óhmica de contactos con el interruptor cerrado a 100 amperios según IEEE STD C37.09,1999 a las fases R, S, T.
- Chequeo y verificación de fugas SF 6 a los polos de las fases R, S, T.
- Resistencia dinámica a contactos principales de las fases R, S, T.
- Inspección visual: se realiza la inspección a los componentes principales del interruptor de potencia.

7.3.3.2. Pruebas mecánicas al interruptor de potencia

- Prueba de tiempo de apertura de contactos del interruptor de las fases R, S, T.
- Pruebas de simultaneidad apertura de contactos del interruptor.
- Prueba de tiempo de cierre de contactos del interruptor R, S, T.
- Pruebas de simultaneidad de cierre y apertura de contactos del interruptor.

- Pruebas de movimiento del contacto móvil, registrando desplazamientos total del contacto móvil, sobre desplazamiento, rebotes, roce de contactos y amortiguamiento de las fases R, S y T cada medición deberá ser realizada en cada uno de los polos de forma simultánea (Si aplica, el tiempo de acople para el modelo de interruptor).

7.4. Análisis de resultados de las pruebas realizadas al interruptor de potencia de la Central Hidroeléctrica Santa Teresa de Polochic, Tukurú, Alta Verapaz

A continuación se explicara el Análisis de resultados de las pruebas realizadas al interruptor de potencia de la Central Hidroeléctrica Santa Teresa de Polochic, Tukurú, Alta Verapaz

7.5. Confiabilidad del mantenimiento predictivo a los interruptores

El principal objetivo de mantenimiento ha sido mantener las máquinas en marcha, y para ello se contaba con dos formas de trabajar: de forma correctiva arreglando lo más rápidamente posible las averías; y de forma preventiva haciendo tareas que eviten los problemas que pueden llevar a una avería.

Las nuevas tecnologías y las nuevas formas de pensar pretenden eliminar las tareas innecesarias que disminuyen los tiempos de producción. Se intenta evitar los tiempos de parada tanto minimizando las tareas de mantenimiento preventivo, como impidiendo las averías en las máquinas. Conde et al. (2010).

Es necesario elaborar un programa específico de mantenimiento para cada pieza del equipo de una subestación. Duffuaa et al (2000).

El desarrollo de un sistema acertado de control de la calidad del mantenimiento es esencial para asegurar reparaciones de alta calidad, estándares exactos, máxima disponibilidad, extensión del ciclo de vida del equipo y tasas eficientes de producción del equipo. Duffuaa et al. (2000).

El mantenimiento centrado en la confiabilidad es una metodología lógica derivada de la investigación, y hace unos de la herramienta del análisis de modo de falla, efecto y grado crítico. También con la confiabilidad centrada en el mantenimiento se asegura que se emprendan las acciones correctas de mantenimiento preventivo o predictivo y elimina aquellas tareas que no producen ningún impacto en la frecuencia de fallas. Duffuaa et al. (2000).

Para facilitar la toma de decisiones de operación y mantenimiento es indispensable la adquisición de información relevante y de calidad en el momento adecuado. Es por ello que al elaborar el plan de mantenimiento predictivo a los interruptores de potencia de la subestación, se pretende obtener mejoras tanto en recursos humanos como materiales, ya que está demostrado que las estrategias predictivas son las más adecuadas.

7.6. Mantenimiento Predictivo a Interruptores de la Subestación de 69 KV de la Central Hidroeléctrica Santa Teresa de Polochic, Tukurú, Alta Verapaz

Un plan de mantenimiento es una lista donde se asignan las tareas de mantenimiento a periodos de tiempo específicos. Cuando se ejecuta el programa de mantenimiento, debe realizar mucha coordinación a fin de balancear la carga de trabajo y cumplir con los requerimientos de producción. Esta es la etapa en donde se programa el mantenimiento planeado para su ejecución. Duffuaa et al. (2000).

8. PROPUESTA DE ÍNDICE

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FOMULACIÓN DE PREGUNTAS

ORIENTADORAS

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MANTENIMIENTO

1.1. Mantenimiento a subestaciones

1.2. Tipos de mantenimiento

1.2.1. Mantenimiento preventivo

1.2.2. Mantenimiento correctivo

1.2.3. Mantenimiento proactivo

1.2.4. Mantenimiento predictivo

2. SUBESTACIÓN ELÉCTRICA

2.1. Definición

2.2. Elementos de la subestación eléctrica

2.2.1. Transformador

2.2.1.1. Transformador de potencia

2.2.1.2. Transformador de corriente

2.2.1.3. Transformador de instrumentos

- 2.2.2. Pararrayos
- 2.2.3. Interruptor
- 2.2.4. Seccionador
- 2.2.5. Aislador

3. INTERRUPTOR DE POTENCIA

- 3.1. Definición
- 3.2. Interruptor en gran volumen de aceite
 - 3.2.1. Interruptor en gran volumen de aceite
 - 3.2.2. Interruptor en pequeño volumen de aceites
 - 3.2.3. Interruptor neumático
 - 3.2.3.1. Ventajas
 - 3.2.3.2. Desventajas
 - 3.2.4. Interruptor en vacío
 - 3.2.4.1. Ventajas
 - 3.2.4.2. Desventajas
 - 3.2.5. Interruptor en hexafluoruro de azufre
 - 3.2.5.1. Ventajas
 - 3.2.5.2. Desventajas
- 3.3. Pruebas al interruptor de potencia con Normas IEEE STD C37.09, 1999, IEC 56.
 - 3.3.1. Pruebas eléctricas al interruptor de potencia
 - 3.3.1.1. Prueba de medición de pérdidas disipadas en las cámaras de interrupción con interruptor de las fases R, S y T
 - 3.3.1.2. Pruebas de medición de pérdidas disipadas en los en los soportes con interruptor abierto de las fases R, S y T.

- 3.3.1.3. Prueba de medición de pérdidas en el polo completo fases R, S, T.
 - 3.3.1.4. Prueba de medición capacitancia a la cámara de interrupción con interruptor abierto a las fases R, S y T.
 - 3.3.1.5. Prueba de medición de capacitancia a los soportes con interruptor abierto de los interruptores R, S y T.
 - 3.3.1.6. Prueba de medición de capacitancia al interruptor completo de las fases R, S, T.
 - 3.3.1.7. Resistencia óhmica de contactos con el interruptor cerrado a 100 amperios según IEEE STD C37.09,1999 a las fases R, S, T,
 - 3.3.1.8. Chequeo y verificación de fugas SF6 a los polos de las fases R, S, T.
 - 3.3.1.9. Resistencia dinámica a contactos principales de las fases R, S, T.
 - 3.3.1.10. Inspección visual: se realiza la inspección a los componentes principales del interruptor de potencia.
- 3.3.2. Pruebas mecánicas al interruptor de potencia
- 3.3.2.1. Prueba de tiempo de apertura de contactos del interruptor de las fases R, S, T.
 - 3.3.2.2. Pruebas de simultaneidad apertura de contactos del interruptor.
 - 3.3.2.3. Prueba de tiempo de cierre de contactos del interruptor R, S, T.
 - 3.3.2.4. Pruebas de simultaneidad de cierre y apertura de contactos del interruptor.

3.3.2.5. Pruebas de movimiento del contacto móvil, registrando desplazamientos total del contacto móvil, sobre desplazamiento, rebotes, roce de contactos y amortiguamiento de las fases R, S y T cada medición deberá ser realizada en cada uno de los polos de forma simultánea (Si aplica, el tiempo de acople para el modelo de interruptor).

4. ANÁLISIS DE RESULTADO DE LAS PRUEBAS REALIZADAS AL INTERRUPTOR DE POTENCIA DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA SANTA TERESA DE POLOCHIC, TUCURÚ, ALTA VERAPAZ
5. CONFIABILIDAD DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO A LOS INTERRUPTORES
6. MANTENIMIENTO PREDICTIVO A INTERRUPTORES DE LA SUBESTACIÓN DE 69 KV DE LA CENTRA HIDROELÉCTRICA SANTA TERESA DE POLOCHIC, TUCURÚ, ALTA VERAPAZ

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

9. MÉTODOS Y TÉCNICAS

La investigación que se va a realizar es de tipo descriptivo, porque en su proceso pretende detallar los componentes del interruptor, pruebas que se puede realizar bajo las Normas (IEEE STD C37.09.1999, IEC 59). Esto para que sirva cada una de ellas y la criticidad que tiene cada elemento; lo cual es la base para elaboración del plan de mantenimiento predictivo de la subestación.

La metodología que se va a utilizar para realizar la investigación se divide en las siguientes etapas.

La primera etapa se recabará información de los componentes que componen el interruptor y su análisis de criticidad de cada uno de ellos.

La segunda etapa se analizará la probabilidad que fallan los componentes.

La tercera etapa consiste en analizar los manuales del fabricante y compararlas con las Normas IEEE y IEC.

La cuarta etapa consiste en realizar el manual de mantenimiento del interruptor de potencia.

A continuación se presentan las fases de la investigación:

- Primer fase: se va a recabar información de los manuales de mantenimiento para obtener la teoría de los interruptores de potencia, parámetros de operación establecidos por el fabricante y realizar comparaciones con los que se encuentran actualmente en la central

hidroeléctrica. Este proceso se desarrollará en un lapso de 7 semanas, los instrumentos a utilizar son: fichas bibliográficas, estadísticas de mantenimiento y hojas de inspección. La finalidad de esta etapa es la de recabar la mayor información del equipo.

- Segunda fase: se tiene como finalidad realizar una base de datos de los componentes del interruptor y las fallas de cada uno de ellos, así como realizar un listado de repuestos y contar con ellos en bodega. Esta base de datos se va realizar en el programa de Excel, los instrumentos que se utilizarán para realizar esa fase es con los manuales del interruptor, investigación del fabricante, entrevistas al personal. Este fase se va a llevar un aproximado de 6 semanas.

Tercera fase: el propósito es la de identificar las pruebas que se pueden aplicar durante el mantenimiento predictivo a los interruptores. Estas pruebas se van a realizar mediante pruebas de tiempo, simultaneidad y movimiento, pruebas de medición de pérdidas de disparo, capacitancia, resistencia, chequeo de gas sf6 así como ensayos no destructivos (termografía). Esta fase tiene una duración de 5 semanas.

- Cuarta fase: se va a realizar, con la redacción del manual de mantenimiento, el cual tiene como objetivo identificar y establecer las fases para realizar el mantenimiento de los componentes del interruptor de potencia. Se tiene un tiempo de 3 semanas para elaboración.
- Quinta fase: se va a presentar el manual de mantenimiento del interruptor de potencia y verificar si cumple con los requisitos necesarios para los componentes así como la divulgación al personal de mantenimiento.

10. OBTENCIÓN DE DATOS

En esta parte de la investigación se analizarán las inspecciones diarias que se realizan así como los parámetros que pueden ser medibles para la comparación con los nominales y así determinar cuáles son los repetitivos en el interruptor.

El interruptor se va a realizar pruebas mecánicas, eléctricas así como la termografía en sus contactos para determinar si el interruptor puede accionar adecuadamente cuando exista una perturbación en el sistema, que pueda ocasionar desperfectos en los generadores de energía.

Al contar con el mantenimiento a estos equipos se estarían minimizando las fallas en sus diferentes componentes, así garantizar su buen funcionamiento, ya que al detectar alguna anomalía se podrían calibrar antes que ocurra el fallo.

Al realizar el mantenimiento a los interruptores se podrían determinar los puntos de criticidad alta, así como la obtención de los componentes que está compuesto el interruptor y así realizar un inventario para contar con ellos en bodega y así garantizar la continuidad del servicio.

La obtención de los datos es por medio de técnicas bibliográficas, descriptivas, entrevistas, las cuales serán la base para la obtención del análisis de las pruebas.

Los datos de presión de s f6, temperatura en los contactos, pruebas mecánicas y eléctricas brindarán la información necesaria para analizar las pruebas y elaborar el plan de mantenimiento a los interruptores de potencia.

11. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Las técnicas utilizadas en el plan de mantenimiento predictivo a interruptores de potencia de la subestación de la Central Hidroeléctrica Santa Teresa de Polochic que se van a desarrollar son esenciales para alcanzar los resultados del estudio a los interruptores de potencia. Estos deberán ser comprobables con los equipos a utilizar y la información que se recopile del equipo.

- Fichas bibliográfica: se realizará para recopilar información de datos técnicos del interruptor, así como investigar los manuales del interruptor e inspecciones diarias que se han realizado.
- Entrevistas: consiste en recabar información a través del personal de mantenimiento eléctrico y mecánico para obtener datos de operación del interruptor.
- Inspección visual: la técnica se realizará mediante la observación de los elementos que componen el interruptor con el fin de visualizar anomalías externas de los interruptores.
- Pruebas de campo: el proceso se realizará para verificar el tiempo de apertura y cierre del interruptor de potencia.
- Tabulación de datos: se procederá a realizar tablas y gráficas de las tendencias del proceso de apertura y cierre.

- Interpretación de datos: la técnica consiste en comparar los datos del fabricante y los obtenidos en las pruebas de campo.
- Recopilación de datos: se solicitará manuales del interruptor e inspecciones diarias que se realizan al mismo con el fin de verificar los datos del fabricante y las tendencias del gas SF6.
- Con la información obtenida en la recopilación se procederá a elaborar el plan de mantenimiento predictivo al interruptor de potencia.

12. RECURSOS NECESARIOS

A continuación se detallan los recursos necesarios para realizar este diseño de investigación.

- Recursos Varios

Para realizar la investigación se van a utilizar manuales los mismos se encuentran en la empresa donde se va realizar el diseño de investigación. Entre otros recursos que se van a necesitar son los siguientes.

- Equipo de cómputo
- Lapiceros
- Hojas
- Tablas de soporte
- Fotocopias
- Internet
- Impresora

Tabla I. **Recursos necesarios**

DESCRIPCIÓN DEL RECURSO	CANTIDAD	TOTAL
Asesor de la investigación	1	Q 2 500,00
Equipo de cómputo	1	Q 5 500,00
Impresora	1	Q 700,00
Impresiones	600	Q 450,00
Libro de mantenimiento	3	Q 3 000,00
Encuadernado y empastado	3	Q 500,00
Servicio de internet	1	Q 180,00
Recursos varios	1	Q 300,00
Total		Q 8 280,00

Fuente: elaboración propia.

13. CRONOGRAMA

A continuación se presenta el cronograma de actividades.

Tabla II. Cronograma

Actividad	oct-15				nov-15				dic-15				ene-16				feb-16				mar-16					
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4		
1	Investigación bibliográfica de manuales																									
				Registros de mantenimiento anteriores y lista cotejo																						
					Evaluación de resultados y gráficas y estadísticas																					
2							Investigación de manuales del fabricante																			
								Especificación de los componentes																		
									Realizar base de datos de los componentes																	
3										Pruebas mecánicas del interruptor																
											Pruebas eléctricas del interruptor															
													Termografía al interruptor													
4															Redacción del manual de mantenimiento											
																	Revisar para su cumplimiento									
5																						Presentación de plan de mantenimiento				

Fuente: elaboración propia.

BIBLIOGRAFÍA

1. Cabeza, M. E., & Corredor, E. (2012). Principales concepciones de la gestión del mantenimiento una nueva visión gerencial. *Universidad Ciencia y Tecnología*, 14(55).
2. Cabral, M., & Daher, J. F. (2007). Técnicas de diagnóstico para mantenimiento preventivo de transformadores y equipamiento de subestaciones.
3. Carrillo, G., Gómez, L. C., Galvis, E., González, M. P., & Olave, Y. A. (2007). Propuesta de un sistema para la formación en la operación de subestaciones de transmisión de energía eléctrica. *Scientia et Technica*.
4. Chapman, S. J., & Eléctricas, M. Tr. del inglés por: Eduardo Rozo Castillo. Original: *Electric Machinery Fundamentals*. Editorial McGraw–Hill.
5. Conde, E., Arnaiz, A., Terradillos, J., & Alarcón, J. (2010). Modelo de Excelencia en Lubricación y Mantenimiento Predictivo. *Índice*, 32.
6. Dávila, M., & Araujo, Z. (2012). Comparación de un Transformador de Corriente Convencional con un Transformador de Corriente Óptico. *V Congr. Iberoamericano de Estudiantes de Ingeniería Eléctrica, Mérida*.

7. Díaz, M. (2015). Mantenimiento predictivo en la empresa. Revista Electroindustria.
8. Duffuaa, S., Raouf, A., & Campbell, J. D. (2000). *Sistemas de mantenimiento: Planeación y control*. Limusa Wiley.
9. Gondres, I., Lajes, S., & del Castillo, A. (2007). Nuevo enfoque sobre la gestión del mantenimiento en subestaciones eléctricas. *Ingeniería Energética*, 28(3), 30-34.
10. Harper, G. E. (2006). *Fundamentos de instalaciones eléctricas de mediana y alta tensión*. Editorial Limusa.
11. Harper, G. E. (2002). *Elementos de diseño de subestaciones eléctricas*. Editorial Limusa.
12. Leiva, C. (2012). Cámaras de Corte en Interruptores de Poder. Revista Electroindustria.
13. Leiva, C. (2012). Mantenimiento de Interruptores de Alta Tensión en SF6. Caminando hacia la eficiencia. Revista Electroindustria.
14. Martín, J. R (2000). *Diseño de subestaciones eléctricas*. McGraw-Hill/Interamericana.
15. Molina, L. (2011). El Hexafluoruro de Azufre. Revista Electroindustria.

16. Mosquera, G. E. N. A. R. O., De la Victoria, M., & ARMAS, R. (2001). Las vibraciones mecánicas y su aplicación al mantenimiento predictivo. *Centro de Altos Estudios Gerenciales ISID. Caracas.*
17. Olarte, W., Arbeláez, M. B., & Zabaleta, B. C. (2010). Técnicas de mantenimiento predictivo utilizadas en la industria. *Scientia Et Technica, 2(45).*
18. Olovsson, H. E., & Lejdeby, S. A. (2008). Evolución de las subestaciones. *Revista ABB.*
19. Pinnekamp, F. (2007). El interruptor: desarrollo modelo de un producto industrial. *Revista ABB, (1), 75-78.*
20. Pistarelli-Argentina, A. J. (2011). Tratamiento analítico del mantenimiento condicional (predictivo y proactivo).
21. Reyes, B. (2010). Claves de una Plan de Mantenimiento para Subestaciones Eléctricas. *Revista Electroindustria.*
22. Tavares, L. (2001). Auditorías de Mantenimiento. *Revista Mantenimiento, San José.*
23. Toledano, S. Y. (2007). *Técnicas y procesos en las instalaciones eléctricas en media y baja tensión.* Editorial Paraninfo.
24. Torné, I. G., Choy, S. L., & del Castillo Serpa, A. (2007). Nuevo enfoque sobre la gestión del mantenimiento en subestaciones eléctricas;

New Focus about the Maintenance Management in Electrical Substations. *Ingeniería Energética*, 28(3), 30-a.

ANEXOS

Anexo 1. Placa de datos del interruptor de potencia

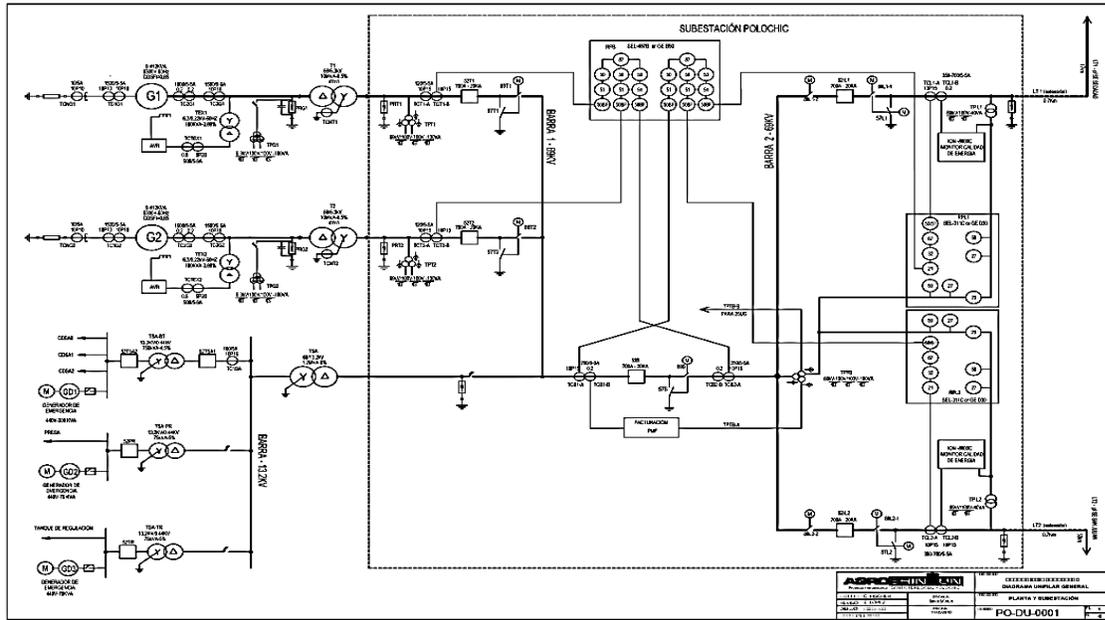
SF ₆ GAS CIRCUIT BREAKER			
TYPE LW9-72.5	SERIAL NO.	DATE	
RATED LIGHTNING IMPULSE WITHSTAND VOLTAGE 350kV	RATED VOLTAGE		72.5kV
	RATED FREQUENCY		60Hz
RATED SHORT-CIRCUIT BREAKING CURRENT 20kA	RATED CURRENT		700A
	RATED CLOSING VOLTAGE(DC)		125V
RATED GAS PRESSURE(20°C) 0.5MPa	RATED OPENING VOLTAGE(DC)		125V
RATED VOLTAGE FOR SUPPLY MOTOR	RATED OPERATING SEQUENCE DC125V 0-0.3s-CO-180s-CO OR CO-15s-CO		
TOTAL WEIGHT 1000kg	GAS WEIGHT		4kg



XD 中国西电集团
CHINA XD GROUP

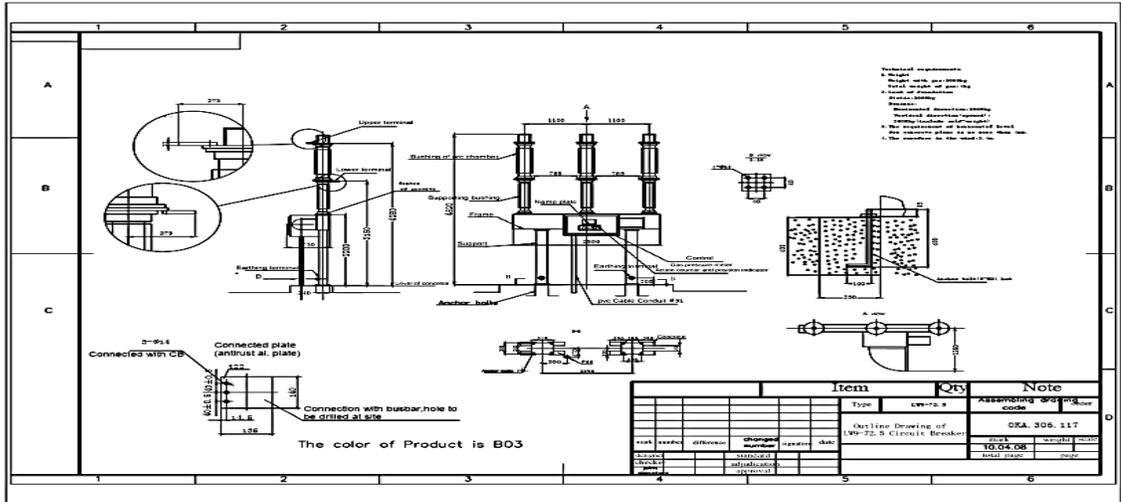
Fuente: Central hidroeléctrica Santa Teresa de Polochic, Tukurú, Alta Verapaz.

Anexo 2. Diagrama unifilar de la subestación



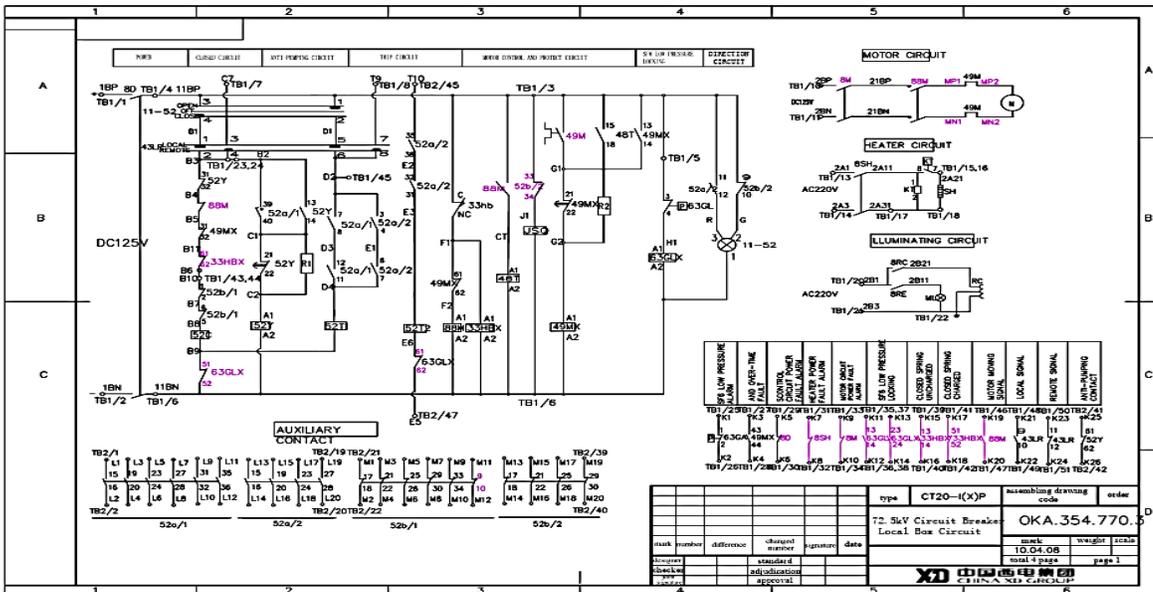
Fuente: Central hidroeléctrica Santa Teresa de Polochic, Tukurú, Alta Verapaz.

Anexo 3. Interruptor de potencia SF6



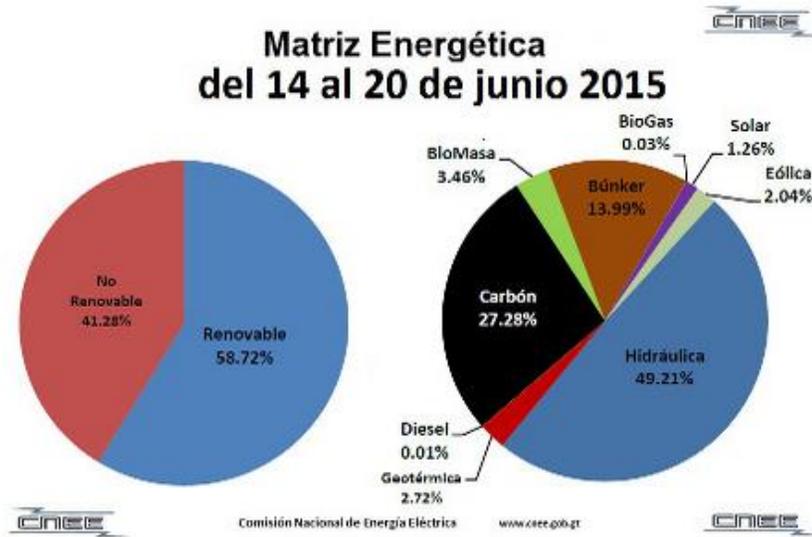
Fuente: Central hidroeléctrica Santa Teresa de Polochic, Tukurú, Alta Verapaz.

Anexo 4. Diagrama eléctrico de potencia



Fuente: Central hidroeléctrica Santa Teresa de Polochic, Tukurú, Alta Verapaz.

Anexo 5. **Matriz energética de Guatemala**



Fuente: Comisión de energía eléctrica de Guatemala.