



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

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN: PROGRAMA DE MANTENIMIENTO DE
INSTRUMENTACIÓN ELÉCTRICA, BASADO EN ISO 9001:2008 DE PLANTA
HIDROELÉCTRICA SANTA TERESA, CON POTENCIA DE 16.2 Mw**

Luis Alejandro Gabriel Ramazzini

Asesorado por el MSc. Ing. Wilder Rodolfo Sarceño Lemus

Guatemala, mayo de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN: PROGRAMA DE MANTENIMIENTO DE
INSTRUMENTACIÓN ELÉCTRICA, BASADO EN ISO 9001:2008 DE PLANTA
HIDROELÉCTRICA SANTA TERESA, CON POTENCIA DE 16.2 MW**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

LUIS ALEJANDRO GABRIEL RAMAZZINI

ASESORADO POR EL MSC. ING. WILDER RODOLFO SARCEÑO LEMUS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, MAYO 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. Otto Fernando Andrino González
EXAMINADOR	Ing. Gustavo Benigno Orozco Godínez
EXAMINADOR	Ing. José Guillermo Bedoya Barrios
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Veliz Vargas

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: PROGRAMA DE MANTENIMIENTO DE INSTRUMENTACIÓN ELÉCTRICA, BASADO EN ISO 9001:2008 DE PLANTA HIDROELÉCTRICA SANTA TERESA, CON POTENCIA DE 16.2 Mw

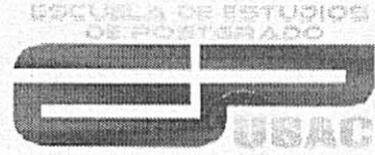
Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 5 de septiembre de 2015.

Luis Alejandro Gabriel Ramazzini



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

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



AGS-MIMPP-002-2015

Guatemala, 10 de febrero de 2016.

Director
José Francisco González López
Escuela de Ingeniería 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 **Luis Alejandro Gabriel Ramazzini** con carné número **2005-16182**, 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,

"Id y Enseñad a todos"

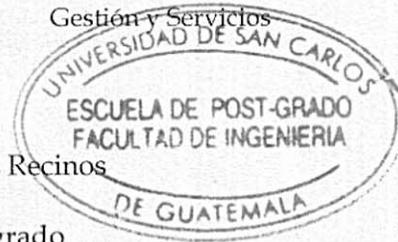
WILDER RODOLFO SARCEÑO LEMUS
Ingeniero Electricista
Colegiado No. 4412

MSc. Ing. Wilder Rodolfo Sarceño Lemus
Asesor (a)

Dra. Inga. Alba Maritza Guerrero Spinola
Coordinadora de Área
Gestión y Servicios

ALBA MARITZA GUERRERO DE LOPEZ
INGENIERA INDUSTRIAL
COLEGIADA No. 4611

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



Cc: archivo/la



REF. EIME 41.2016.
Guatemala, 28 de ABRIL 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 INVESTIGACIÓN: PROGRAMA DE MANTENIMIENTO DE INSTRUMENTACIÓN ELÉCTRICA BASADO EN ISO 9001:2008 DE PLANTA HIDROELÉCTRICA SANTA TERESA CON POTENCIA DE 16.2 MW** presentado por el estudiante universitario Luis Alejandro Gabriel Ramazzini, 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

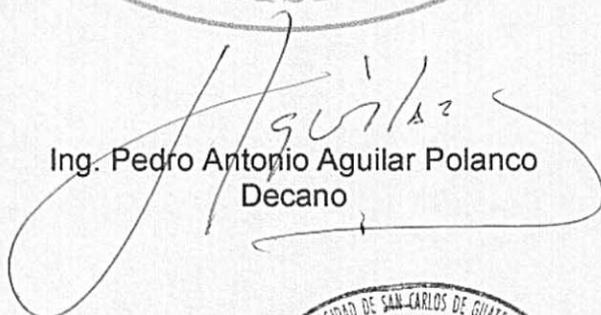
Ing. Francisco Javier González López
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica





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 INVESTIGACIÓN: PROGRAMA DE MANTENIMIENTO DE INSTRUMENTACIÓN ELÉCTRICA, BASADO EN ISO 9001:2008 DE PLANTA HIDROELÉCTRICA SANTA TERESA, CON POTENCIA DE 16.2 Mw**, presentado por el estudiante universitario: **Luis Alejandro Gabriel Ramazzini**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, mayo de 2016



ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
4. JUSTIFICACIÓN	11
5. OBJETIVOS	13
6. ALCANCE	15
7. MARCO TEÓRICO.....	17
8. HIDROELÉCTRICA SANTA TERESA	19
8.1. Descripción de la Planta.....	19
8.2. Embalse.....	19
8.3. Canal de conducción	19
8.4. Tubería de presión	20
8.5. Casa de máquinas.....	20
8.6. Instrumentación Eléctrica	20
8.6.1. Clasificación de la instrumentación.....	21

	8.6.1.1.	De acuerdo a su función en el proceso.....	21
	8.6.2.	De acuerdo a la variable del proceso que miden	22
	8.6.2.1.	Presión	22
	8.6.2.2.	Temperatura.....	23
	8.6.2.3.	Flujo	23
9.	NORMAS ISO		25
	9.1.1.	NORMA ISO 9001:2008.....	25
	9.1.1.1.	Requisitos relativos a los equipos de inspección, medición y ensayo.....	26
	9.1.1.2.	Interpretación de los requisitos.....	29
9.2.	NTG ISO IEC 17025.....		30
	9.2.1.	Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración	30
10.	MANTENIMIENTO		31
	10.1.	Mantenimiento predictivo	32
	10.2.	Mantenimiento preventivo	32
	10.3.	Mantenimiento correctivo	33
11.	ÍNDICE GENERAL.....		35
12.	MARCO METODOLÓGICO		39
	12.1.	Tipo de Investigación	39
	12.2.	Diseño de la investigación.....	39
	12.3.	Tipo de muestreo, población y muestra	40
	12.4.	Medición de la muestra	40

13.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INVESTIGACIÓN	43
14.	CRONOGRAMA.....	45
15.	FACTIBILIDAD	47
15.1.	Factibilidad operativa.....	47
15.2.	Factibilidad técnica	48
15.3.	Factibilidad Económica.....	49
	REFERENCIAS BIBIOGRÁFICAS.....	51

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

TABLAS

I.	Cronograma	45
II.	Factibilidad operativa	48

1. INTRODUCCIÓN

La producción de energía en Guatemala es de suma importancia sobre todo por el plan de expansión que se tiene proyectado para el 2028, según información del PIEG 2014-2028 de la CNEE; las diferentes tecnologías de generación de energía renovable tienen un auge importante en el cambio de la matriz energética de nuestro país, sobre todo en lo que respecta a Centrales Hidroeléctricas, como Santa Teresa, la cual consta de dos unidades generadoras de 8.1 MW cada una aportando al Sistema Nacional Interconectado una potencia de 16.2 MW, que da una energía de 61.4 GW al año.

La importancia de un programa de mantenimiento preventivo en los elementos de instrumentación es necesaria para lograr conseguir una disponibilidad de planta con un factor lo más próximo al 100%. La implementación de la norma ISO 9001:2008 expone en el numeral 7.6 de la NTC-ISO 9001:2008 Norma Técnica Colombiana, 2011, pág. 10, inciso a) “que los equipos de medición deben calibrarse y verificarse, o ambos, a intervalos específicos o antes de su utilización comparado con patrones de medición trazables a patrones de medición internacionales o nacionales; cuando no existan tales patrones debe registrarse la base utilizada para la calibración o la verificación”, por lo tanto nos indica que todos los dispositivos de medición que se utilizan en el proceso de generación de energía eléctrica se deben de estipular pruebas a intervalos definidos para verificar si existe alguna falla en la medición que nos pueda provocar paro o indisponibilidad ante el ente regulador del mercado, el Administrador del Mercado Mayorista (AMM).

Según Alvarez, (2012, pág. 9) “hablar de un proceso sin que la instrumentación esté presente es casi imposible, la mayoría de los procesos industriales hoy en día involucran en gran manera la instrumentación eléctrica debido a que la instrumentación es el grupo de elementos que sirven para medir, controlar o registrar variables de un proceso con el fin de optimizar los recursos utilizados en este”, para el proceso de generación se utilizan en las diferentes etapas dispositivos de medición de flujo, de presión, de distancia y de temperatura, cada uno de los dispositivos tienen mucha importancia en el proceso de generación, la falla de alguno nos puede causar un paro de la unidad generadora.

Una buena gestión de mantenimiento ayuda a que la planta pueda cumplir con las metas que se plantean durante el año estacional y por lo tanto, disminuir al mínimo las fallas debidas a instrumentación eléctrica. Un buen sistema de gestión debe contar con los manuales y procedimientos bien estructurados de cada una de las etapas del proceso, hasta la entrega final del producto; evitando pérdidas económicas debido a la falta de generación así como a las multas y penalizaciones a la que se debe someter toda planta por indisponibilidades, siendo; estas muy elevadas.

En el primer capítulo, se hará la recabación de información de la empresa donde se realizará el estudio, su misión y su visión, todos los equipos y sus especificaciones, se colocará un diagrama de los diferentes equipos, un diagrama de flujo de su proceso de generación y los equipos de subestación, ya que son una parte sumamente importante en su proceso de producción.

El segundo capítulo constará de todo lo referente a las normas ISO que serán aplicables en el estudio, las responsabilidades, requisitos y aplicación de las normas en la planta de generación.

En el tercer capítulo, los fundamentos teóricos de los dispositivos que componen la instrumentación eléctrica de la planta, sus funciones y mantenimientos con que debe de establecerse cada uno de los dispositivos.

En el cuarto capítulo, los procedimientos serán estandarizados tanto de operación como de mantenimiento de cada dispositivo que forma parte de la instrumentación eléctrica de la planta.

En el quinto capítulo, el factor económico tendrá una base importante, costos por equipos nuevos, análisis de fallas, constará del factor bodega, manejo, suministro y tiempos de entrega de los dispositivos en caso de fallas imprevistas, y por último, se hará la entrega de resultados y la discusión de los mismos.

2. ANTECEDENTES

Actualmente, la diversidad de generación de energía eléctrica muestra que la matriz energética en el año 2015 es del 58.72% de energía renovable y el 41.28% de no renovable, el dato de energía renovable se divide en Hidráulica 49.21%, eólica 2.04%, Solar 1.26% y Geotérmica 2.72% según datos proporcionados por CNEE 2015, por lo cual la necesidad de contar con un plan de mantenimiento que permita obtener una disponibilidad de los equipos en un rango arriba del 99% es indispensable para ser competitivos en el mercado actual, para que los procesos sean casi automatizados se basan en los dispositivos de instrumentación eléctrica, que son la base según Jiménez (2012, pág. 9) “la instrumentación es lo que ha permitido el avance tecnológico de la ciencia actual desde el sistema o proceso más simple hasta los más complejos, por ejemplo: la automatización de un proceso industrial o los viajes espaciales, la automatización sólo es posible a través de elementos que puedan detectar lo que sucede en el ambiente donde están ubicados, para luego tomar una acción de control pre-programada (regularmente) que actué sobre el sistema para obtener el resultado previsto” en el proceso automatizado de generación las diferentes etapas de paro y arranque de unidades se basa sobre mediciones de flujo y presión, los resultados en el área de automatización ayudan a que las empresas sean más eficientes por lo cual se necesita que los equipos se encuentren en condiciones óptimas de operación, una falla en un sensor o algún otro equipo de medición dará una indisponibilidad forzada de la planta de generación.

La norma UNE-EN 13306:2002 define la gestión del mantenimiento como “todas las actividades de gestión que determinan los objetivos del

mantenimiento, las estrategias y las responsabilidades, y se realizan por medio de la planificación, control, supervisión del mantenimiento y mejora de los métodos en la organización, incluyendo los aspectos económicos”, la alta eficiencia de operación de los diferentes equipos o dispositivos depende en gran medida de la gestión de mantenimiento, para obtener un estándar elevado de confiabilidad en los equipos es necesario que los programas de mantenimiento se basen en procedimientos de operación y mantenimiento basados en formatos autorizados y eficientes como es el caso de la norma ISO 9001 en el proceso de generación.

En la NTC-ISO 9001 (Tercera actualización) la norma ISO 9001 especifica los requisitos para un sistema de gestión de calidad que pueden utilizarse para su aplicación interna, por las organizaciones, para certificación o con fines contractuales. Se centra en la eficacia del sistema de gestión de la calidad para satisfacer los requisitos del cliente, en el caso en particular de generación éste se basará en la estandarización del procedimiento, tanto de operación como de mantenimiento, por lo tanto, para el proceso de generación se tomarán en cuenta los parámetros de funcionamiento establecido de las diferentes señales que participan en el proceso.

Para cumplir con la norma, de acuerdo con Morris (1997, pág. 4), “se hace necesario implantar y mantener un sistema de medida y control de la calidad que asegure que la calidad de los bienes fabricados o servicios no se desvían de los límites de errores establecidos”, los parámetros se tomarán de todo el proceso de generación, iniciando de los parámetros que se deben encontrar en los equipos en paro así como en operación para obtener una disponibilidad de unidades cuando el ente encargado de la regulación del mercado, el AMM, lo solicite y se tenga el agua suficiente para lo solicitado.

Según la NTC-ISO 10012 Sistema de gestión de mediciones: “Es un conjunto de elementos interrelacionados, o que interactúan, necesarios para lograr la confirmación metrológica y el control continuo de los procesos de medición” con base a este sistema se realizará la calibración de diferentes dispositivos de medición que se utilizan en la central, aquí se dan los lineamientos y las bases para la certificación de los diferentes equipos en laboratorios especializados en el área de instrumentación.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La instrumentación eléctrica es un subsistema muy importante dentro del proceso de generación de energía eléctrica, proveen señales de los diferentes dispositivos, como por ejemplo, temperaturas de las bobinas del generador, posición de equipos, modos de operación, que ayudan a mantener un control de los estados de los equipos para que no operen fuera de sus rangos normales, si trabajaran en rangos fuera de lo normal, provocarían una señal e inclusive un paro no programado de la unidad, lo cual generaría un costo por pérdida de generación y multas ante el Administrador del Mercado Mayorista.

La generación de Energía Eléctrica en Guatemala a base del aprovechamiento del recurso hídrico es del 50 % en el año 2014 de abastecimiento de energía, por lo tanto, los tiempos de paro son muy cortos al año, siendo de aproximadamente 20 días en un año, provoca que los subsistemas de los generadores deban poseer un alto grado de confiabilidad.

En Planta Hidroeléctrica Santa Teresa, se tiene un sistema de operación completamente automatizado en sus procesos, siendo las diferentes señales de datos en tiempo real; la instrumentación eléctrica debe tener calibraciones exactas para no obtener señales fuera de los rangos establecidos, por el fabricante.

Las limitantes de la investigación se pueden encontrar en la ubicación de ciertos dispositivos de medición, algunos se encuentran dentro de los generadores o depósitos de aceite del conjunto turbina-generador, solo se pueden calibrar durante los paros programados o paros ocasionados por fallas

de estos dispositivos. En caso de planta hidroeléctrica Santa Teresa, los paros programados son en marzo o abril y en noviembre, siendo éste último el paro menor, de aproximadamente cinco días.

Se puede cuestionar lo siguiente ¿Cómo se puede lograr la calibración y certificación de instrumentación eléctrica de Planta Hidroeléctrica Santa Teresa?

Si es posible ¿Qué herramientas pueden dar soporte a los dispositivos para alcanzar la certificación ISO 9001:2008 del proceso de generación de energía eléctrica?, ¿Se puede complementar la norma ISO 9001:2008 con la norma ISO 10012 en los dispositivos de instrumentación eléctrica?

Por último, ¿Cuál es el beneficio/costo de la certificación de los dispositivos en el proceso de generación de energía eléctrica?

4. JUSTIFICACIÓN

La disponibilidad es un factor que se mide en horas, por lo tanto se encontrará el costo en el que se incurre por indisponibilidad provocada por las fallas en los dispositivos de instrumentación.

La norma ISO 9001:2008 solicita que todos los instrumentos de medición que participan en el sistema de gestión de calidad se encuentren calibrados y certificados para satisfacer la calidad del producto final, en el caso de Planta Hidroeléctrica Santa Teresa, la medición de los procesos se realiza por medio de la instrumentación eléctrica, la cual participa de forma activa en el proceso por lo tanto deben tener certeza que las mediciones se encuentran con un excelente grado de exactitud.

Se verificarán las tendencias de los dispositivos de medición con base al historial de mediciones, se buscarán patrones de medición y laboratorios para realizar la calibración, se solicitará a los proveedores, cuando no se tengan, las fichas técnicas para verificar el estado actual de los instrumentos de medición.

Se hará un listado de los diferentes tipos de mediciones y señales que componen el subsistema de instrumentación eléctrica, para verificar el estado y cada una de las mediciones de los mismos, se completará con un historial de fallas y tiempos de paro provocados por fallas en subsistema de instrumentación eléctrica.

Se llevará a cabo por medio de una investigación con base al área de administración del mantenimiento y de Normas Internacionales del

mantenimiento, porque se realizará un programa de mantenimiento para los dispositivos de medición y la implementación de las normas internacionales, como lo es el caso de la ISO 9001:2008, para la normalización y certificación de los dispositivos de medición.

5. OBJETIVOS

General

Crear un plan de mantenimiento, basado en ISO 9001:2008 para calibrar y certificar los dispositivos que conforman el subsistema de instrumentación eléctrica, en Planta Hidroeléctrica Santa Teresa.

Específicos

1. Establecer los procedimientos de operación y mantenimiento de los dispositivos de instrumentación eléctrica, que solicita la norma ISO 9001:2008.
2. Implementar un control para los parámetros de operación de dispositivos de instrumentación eléctrica, basado en la norma ISO 10012.
3. Realizar un análisis beneficio/costo de la calibración y certificación de dispositivos de instrumentación eléctrica.

6. ALCANCE

En el presente estudio se hará un enfoque únicamente sobre dispositivos de instrumentación eléctrica que tengan una participación activa en el proceso de generación de energía, se abarcará los departamentos de Mantenimiento Eléctrico y Operaciones de la Planta Hidroeléctrica Santa Teresa, en un lapso de abril del 2015 a marzo del 2016.

El departamento de Mantenimiento Eléctrico consta de un supervisor eléctrico y dos electricistas de mantenimiento, a la vez apoyados por el departamento de Operaciones, que consta de un Jefe de turno , un electricista y un mecánico de turno, las personas encargadas de la instrumentación eléctrica en cualquiera de los casos, son los electricista, tanto de mantenimiento como de operaciones, quienes dentro de sus cualidades deben tener un conocimiento muy alto sobre instrumentación eléctrica, uno de los requerimiento más importantes a la hora de la contratación de personal del área eléctrica.

Se realizará una investigación descriptiva, por medio de una recolección de datos que se encuentran en el historial de los parámetros que se recolectan por medio de instrumentación eléctrica, así mismo, se iniciará con la medición de campo de señales como temperatura, presión, flujo y de posición de la instrumentación eléctrica que nos puede ocasionar un paro durante el proceso de generación de energía eléctrica.

7. MARCO TEÓRICO

La hidroeléctrica Santa Teresa de Polochic, es un proyecto de la Corporación Multi inversiones, manejado por la División de Energía, la cual se dedica al desarrollo de proyectos hidroeléctricos en Guatemala, a través de la construcción y operación de dichos proyectos se promueve el desarrollo de energía renovable. Reflejando nuestro compromiso con el medio ambiente y contribuyendo a satisfacer las demandas crecientes de energía en el país.

La hidroeléctrica Santa Teresa cuenta con dos unidades generadoras, con una capacidad instalada de diseño de 16 MW, una potencia máxima de 16.7 MW y una potencia despachada de 16.2 MW; con una reserva rodante de 0.5 MW. Se encuentra ubicada en el departamento de Alta Verapaz, en la ruta Polochic 7E que conduce de San Julián hacia El Estor entre los municipios de Tamahu y Tukurú kilómetro 202.

A continuación se presenta una descripción general de lo que será el plan de operación de la central, en donde se describe la forma en que serán ejecutados los mantenimientos programados de las unidades y de las obras de conducción y transporte. Se describen en forma resumida los tres tipos de mantenimientos (predictivo, preventivo y correctivo) para los sistemas, se hará una planificación para cada uno de los mantenimientos, se diseñarán estrategias para realizarlo de la forma más automatizada posible, siempre estará enfocado en las buenas prácticas y en busca de calidad total.

También se incluyen las mejoras en las áreas eléctricas, mecánica y de obra civil, identificadas necesarias para garantizar la operatividad con alta

eficiencia. Para efectuar todas estas tareas, la división cuenta como normativo para el plan de seguridad industrial y salud ocupacional que considera una serie de programas de capacitación y formación, con la finalidad de mantener una cultura de libre de accidente, porque el personal es nuestro recurso más valioso.

8. HIDROELÉCTRICA SANTA TERESA

8.1. Descripción de la Planta

La hidroeléctrica Santa Teresa se encuentra ubicada en el departamento de Alta Verapaz, en la ruta Polochic 7E que conduce de San Julián hacia El Estor entre los municipios de Tamahu y Tukurú kilómetro 202.

8.2. Embalse

Es una central que opera con el afluente principal del río Polochic, con un embalse regulado con una capacidad máxima de 600,000 m³; de donde se obtienen 230,000 m³ de caudal activo que representan 4.25 h de generación a 16.2 MW sin ingreso de caudal al embalse, con un promedio anual de 6.5 m³ de ingreso en la última década. Los niveles operativos del embalse se encuentran entre las cota mínima de 621.60 msnm a la cota máxima de 626.40 msnm nivel de inicio de rebalse de la presa.

8.3. Canal de conducción

Santa Teresa utiliza un canal abierto de conducción, con una longitud total incluyendo la cámara de carga de 2 580 m; con una pendiente desde el embalse a la caída de tubería forzada de 0.12 %.

Un tanque de regulación o cámara de carga con una capacidad de previo al ingreso de la tubería forzada, pudiendo transportar un máximo de 20m³/seg.

8.4. Tubería de presión

La tubería de presión consiste en dos ramales, con un total de longitud cada uno de 165 mts. y una columna de agua máxima de 126 m ó 181 psi entrada a turbina.

8.5. Casa de máquinas

Equipada con equipo electromecánico para generar 16.7 MW; dos grupos generadores de marca Dong Fang de fabricación China. Las turbinas son Francis de eje vertical de 720 rpm, con un distribuidor de 20 alabes directores de flujo que son operados con sistema de regulación oleo neumático de 11.7 MPa. Los generadores son de 10 polos y de excitación estática, su voltaje de salida es 6300V en conexión Y (Estrella). El acceso del agua a la cámara espiral está restringido por válvulas de mariposa que se operan desde un sistema oleo neumático de 16Mpa distinto al de regulación. La cota de turbina es 474.50 msnm.

8.6. Instrumentación Eléctrica

La instrumentación en la actualidad tiene una gran trascendencia en el proceso de automatización de procesos industriales, es lo que ha permitido el avance tecnológico de la ciencia actual desde el sistema o proceso más simple hasta los más complejos, por ejemplo: la automatización de un proceso industrial o los viajes espaciales, ya que la automatización sólo es posible a través de elementos que puedan detectar lo que sucede en el ambiente donde están ubicados, para luego tomar una acción de control pre-programada (regularmente) que actúe sobre el sistema para obtener el resultado previsto (Alvarez, Jimenez y Tenorio, 2011). La utilización de los diferentes dispositivos

tanto de medición como de control ayuda a tener los procesos más eficientes y exactos que se puedan obtener.

8.6.1. Clasificación de la instrumentación

La clasificación de los diferentes tipos de dispositivos de instrumentación puede ser muy variada, Alvarez et al. (2011) existen dos formas de clasificar los instrumentos, las cuales son:

8.6.1.1. De acuerdo a su función en el proceso

Instrumentos indicadores: Son aquellos que como su nombre bien lo dice, indican directamente el valor de la variable de proceso. En planta se tiene los manómetros en los subsistemas de enfriamiento y agua de sellos.

Instrumentos ciegos: Son los que cumplen una función reguladora en el proceso, pero no muestran nada directamente. Se encuentran las válvulas reguladores que se complementan con los instrumentos indicadores.

Instrumentos registradores: Para este tipo de instrumentación se tiene en planta los dispositivos llamados NOVUS que funcionan como encargados de registrar y guardar toda la información de los sensores, ubicados en el generador en este caso de temperatura.

Transmisores o elementos secundarios: En este proceso también se tienen los NOVUS que almacenan información y sirven para transmitirla al cuarto de control, por medio de la Red Modbus conector directamente al PLC, donde se tienen todas las lecturas en tiempo real.

Sensor: Es un dispositivo capaz de captar magnitudes físicas, como variaciones de luz, temperatura, sonido, presión, densidades, acides, etc. Benedict (1984).

8.6.2. De acuerdo a la variable del proceso que miden

En este tipo de instrumentación se tiene en cuenta los dispositivos que tienen una medición de algún parámetro que se encuentra inmerso en el proceso, dentro de los cuales se encuentran: la presión, la temperatura, flujo y sensores de final de carrera.

8.6.2.1. Presión

Este es una de las mediciones con que se cuenta en planta, aquí se tiene las presiones de los sistemas de enfriamiento, caracol y tubería de presión, pero la presión es una magnitud física escalar que mide la fuerza en dirección perpendicular por unidad de superficie, y sirve para caracterizar cómo se aplica una determinada fuerza resultante sobre una superficie. Ese tipo de presión puede realizarse en forma de opresión o de comprensión sobre el objeto en cuestión (Alvarez et al. 2011).

Instrumentos para medir la presión en procesos industriales.

- Manómetro: es un instrumento de medición para la presión de fluidos contenidos en recipientes cerrados y tuberías principalmente. Existen, básicamente, dos tipos: los de líquidos y los metálicos (Wikipedia, 2015).

Los manómetros de líquidos suelen ser manómetros con sensor de galgas extensiométricas, ya que este tipo de sensor presenta una buena estabilidad en

el tiempo y repetitividad de la medida. No olvidemos que la precisión se cuantifica mediante la repetitividad y la exactitud mediante el error.

8.6.2.2. Temperatura

Magnitud física que expresa el grado o nivel de calor de los cuerpos o del ambiente. Su unidad en el Sistema Internacional es el kelvin (K) (Diccionario de Lengua Española 2015).

Para la medición de la temperatura en planta hidroeléctrica Santa Teresa se tienen los sensores PT-100, que es un dispositivo Termo-Resistivo, esto indica que con una variación de temperatura varía la resistencia del dispositivo y por lo tanto se obtiene una medición diferente cuando existen cambios de temperatura, acá se utilizan para la medición de temperatura de las bobinas del generador, para los pads o chumaceras del hidrogenerador, ya que se tienen en el área de turbinas, cruceta inferior y cruceta superior, esto para monitorear las temperaturas, así mismo se tienen en el sistema de enfriamiento para observar las variaciones en este sistema.

8.6.2.3. Flujo

La medición de flujo consiste en el movimiento del fluido de un lugar a otro por medio de tuberías o ductos de conducción (Alvarez et al. 2011).

Con la medición del Flujo, se constituye tal vez, el eje más alto porcentaje en cuanto a medición de variables industriales se refiere. Ninguna otra variable tiene la importancia de esta, ya que sin mediciones de flujo, sería imposible el balance de materiales, el control de calidad y aún la operación de procesos continuos (Alvarez et al. 2011). En la Central Hidroeléctrica no se cuenta con

este servicio pero se realiza la medición por medio de un contratista para obtener la medición exacta del cauda que se está turbinando, para lograr la generación que se le indica al Administrador del Mercado Mayorista (AMM).

Básicamente, existen dos formas de medir el flujo: el caudal y el flujo total. El caudal es la cantidad de fluido que pasa por un punto determinado en cualquier momento dado. El flujo total de la cantidad de fluido por un punto determinado durante un período de tiempo específico (Alvarez et al 2011).

9. NORMAS ISO

El término ISO 9000 se utiliza normalmente para referirse a un conjunto completo de cinco documentos numerados desde ISO 9000 hasta ISO 9004, y que de forma colectiva exponen procedimientos diseñados para conseguir el aseguramiento de la calidad. Estas normas imponen a los proveedores de bienes y servicios el requisito de establecer y mantener un sistema económico, eficiente y demostrable que asegure que su producto o servicio es conforme a los requisitos especificados para el mismo (UNE-EN-ISO 9000,1994).

El primer documento ISO 9000, no es realmente una norma en sí misma, sino que más bien consiste en una serie de directrices para la selección y uso de los documentos ISO 9001, ISO 9002 e ISO 9003. Estos tres documentos son las normas de aseguramiento de la calidad más aplicados actualmente. El conjunto se completa con el documento ISO 9004, que, de nuevo, no se trata de una norma en sí misma, sino un documento que proporciona directrices para el desarrollo e implantación de sistemas de calidad (Hilario y Carbonel, 1998).

Las normas de calidad de ISO han sido adoptadas por la mayoría de países de todo el mundo, pero generalmente se publican en cada país con denominaciones y códigos ligeramente distintos (Hilario y Carbonel, 1998).

9.1.1. NORMA ISO 9001:2008

Según el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificaciones (ICONTEC, 2011) “esta Norma Internacional promueve la adopción de un enfoque basado en procesos cuando se desarrolla, implementa y mejora la

eficacia de un sistema de gestión de la calidad, para aumentar la satisfacción del cliente mediante el cumplimiento de sus requisitos” .

La consecución de buenos resultados en una organización es que todas las actividades que se desarrollen deberían estar relacionadas entre sí. Un proceso es una actividad o conjunto de actividades que utiliza recursos y que se gestiona, con el fin de permitir que los elementos de entrada se transformen en resultados (ICONTEC, 2011). En la mayoría de los casos el resultado de un proceso se convierte en elemento de entrada del siguiente proceso.

La aplicación de un sistema de procesos dentro de la organización, junto con la identificación e interacciones de estos procesos, así como su gestión para producir el resultado deseado, puede denominarse como "enfoque basado en procesos", (ICONTEC, 2011).

Una ventaja del enfoque basado en procesos es el control continuo que proporciona sobre los vínculos entre los procesos individuales dentro del sistema de procesos, así como sobre su combinación e interacción.

9.1.1.1. Requisitos relativos a los equipos de inspección, medición y ensayo

Según Hilario y Carbonel (1998), de acuerdo con el número de junio de 1992 de Quality System Update, las cinco razones principales que suelen producir problemas en las empresas que desean implantar la ISO 9000 son:

- Control de la documentación
- Calibración
- Seguimiento de los equipos de medida

- Registros de formación del personal
- Planificación de contactos con los proveedores

Esto muestra hasta qué punto resulta de gran importancia aquellos aspectos relacionados con los equipos de medida, y en particular, con la calibración de los mismos, Griful and Canela (1998).

Existe un documento complementario, codificado como ISO 10012-1 que define con más detalle los procedimientos necesarios para seleccionar, utilizar, calibrar, controlar y mantener equipos de medida, tal como marca ISO 9001-9003 (UNE-EN 30012-1, 1994).

A continuación se resumen los principales requisitos de calibración y medida contenidos en el documento ISO 10012-1, 2003:

- La compañía debe disponer de equipos de medida para cuantificar todos los parámetros relacionados con la calidad, y estos equipos deben tener las características metrológicas adecuadas.
- Debe estar documentada la lista de todos los instrumentos utilizados para cuantificar los parámetros relacionados con la calidad.
- Se debe implantar y mantener un sistema para el control y la calibración de los equipos de medida.
- Todos los equipos utilizados para realizar medidas de la calidad, y todos los equipos utilizados para calibrar, se deben manipular con cuidado y deben ser usados de tal forma que su exactitud y ajuste quede a salvo.
- Todas las medidas, tanto para calibrar equipos como para la verificación del producto, deben realizarse teniendo en cuenta todos los errores e incertidumbres significativas identificadas en el proceso de medida.

- El cliente debe tener acceso a pruebas objetivas de que el sistema de medida es efectivo.
- La calibración se debe realizar con equipos con trazabilidad a patrones nacionales.
- Todas las personas que desarrollan funciones de calibración deben estar debidamente formadas.
- Los procedimientos de calibración deben estar documentados.
- El sistema de calibración debe ser revisado periódica y sistemáticamente para asegurar que continúa siendo efectivo.
- Se debe mantener una ficha o registro de calibración para cada equipo de medida por separado. Cada ficha debe demostrar que el instrumento es capaz de realizar medidas dentro de los límites designados. Estas fichas deben contener, al menos, esta información:
 - Una descripción del instrumento y una identificación única.
 - La fecha de calibración.
 - Los resultados de la calibración.
 - El intervalo de calibración, además de la fecha de la próxima calibración.
- Dependiendo del tipo de instrumento a calibrar, también se debe incluir parte o toda la información que se relaciona a continuación:
 - El procedimiento de calibración.
 - Los límites de error permisibles.
 - Informe de todos los efectos acumulativos de incertidumbre en los datos de calibración.
 - Las condiciones medioambientales requeridas para la calibración.
 - La fuente que certifica la trazabilidad empleada.

- Los detalles de cualquier reparación o modificación que pudiera afectar el estado de la calibración.
- Cualquier limitación de uso del instrumento.
- Cada instrumento debe estar etiquetado, de manera que se muestre el estado de calibración y cualquier limitación de uso (únicamente donde es posible).
- Cualquier instrumento que haya fallado, que sea sospecho o se sepa que se encuentra fuera de calibración, debe ser retirado del uso y etiquetado visiblemente para prevenir posibles usos accidentales del mismo.
- Los equipos de medida ajustables se deben sellar para evitar manipulaciones no deseadas.

9.1.1.2. Interpretación de los requisitos

Para cumplir con la norma, se hace necesario implantar y mantener un sistema de medida y control de la calidad que asegure que la calidad de los bienes fabricados o servicios no se desvían de los límites de error establecidos (Morris, 1997).

Para establecer los parámetros de los errores se debe de obtener la función de la situación. Cuando un producto o un servicio están específicamente diseñados para un cliente, los niveles de calidad adecuados son los acordados con el cliente. Esto puede ser escrito, en algunos casos, en el acuerdo contractual entre el proveedor y el cliente (ICONTEC, 2011).

En algunas situaciones, se deben aplicar normas legales que deben ser cumplidas. Por ejemplo, las balanzas de peso para su uso comercial deben cumplir normas de exactitud publicadas (Hilario y Carbonel, 1998).

En otros casos, se aplican normas consensuadas normalmente por asociaciones de organizaciones comerciales. Si no se cumplen ninguno de los casos anteriores, el proveedor debe evaluar cuál es el cliente medio dentro del mercado al cual va dirigido su producto, para establecer los límites de error (ICONTEC, 2003).

9.2. NTG ISO IEC 17025

9.2.1. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración

Esta Norma establece los requisitos generales para la competencia en la realización de ensayos¹⁾ o de calibraciones, incluido el muestreo. Cubre los ensayos y las calibraciones que se realizan utilizando métodos normalizados, métodos no normalizados y métodos desarrollados por el propio laboratorio.

Esta Norma es aplicable a todas las organizaciones que realizan ensayos o calibraciones. Éstas pueden ser, por ejemplo, los laboratorios de primera, segunda y tercera parte, y los laboratorios en los que los ensayos o las calibraciones forman parte de la inspección y la certificación de productos.

Esta Norma es aplicable a todos los laboratorios, independientemente de la cantidad de empleados o de la extensión del alcance de las actividades de ensayo o de calibración. Cuando un laboratorio no realiza una o varias de las actividades contempladas en esta Norma, tales como el muestreo o el diseño y desarrollo de nuevos métodos, los requisitos de los numerales correspondientes no se aplican.

10. MANTENIMIENTO

Se define al mantenimiento como: “El conjunto de acciones orientadas a conservar o restablecer un sistema y/o equipo a su estado normal de operación para cumplir un servicio determinado en condiciones económicamente favorables y de acuerdo a las normas de seguridad integral” Hug, Alberto, (Diciembre de 2008),Mantenimiento basado en confiabilidad como estrategia para apoyar los indicadores de disponibilidad y paradas forzadas en la planta Oscar A. Machado EDC, *Energetica, Volumen XXX (2/2009)*, 12-17.

El mantenimiento puede dividirse en: Mantenimiento preventivo, Mantenimiento predictivo, Mantenimiento correctivo y Mantenimiento basado en condición. Duffua et al (2000).

El mantenimiento de los generadores es uno de los aspectos más importantes para el ingeniero de mantenimiento de una central hidroeléctrica, ya que el equipo que se encarga de realizar la conversión de energía mecánica en Eléctrica, por lo tanto se debe tener un plan de mantenimiento eficaz, para evitar la mayor cantidad de fallas que puedan causar un paro total de alguna de las unidades generadoras.

En un programa de mantenimiento se deben tener en cuenta muchos aspectos, como la operación del equipo, condiciones de trabajo, tiempo de vida de todos los componentes, a lo cual se le pueden agregar las inspecciones periódicas para observar condiciones que nos pudieran causar una falla.

El mantenimiento se puede dividir en:

- Mantenimiento programado:
 - Predictivo
 - Preventivo
 - Correctivo

- Mantenimiento no programado:
- Por fallas
- Por emergencias

10.1. Mantenimiento predictivo

Es un conjunto de actividades que nos ayudan a determinar con antelación el estado de los equipos, este nos proporciona elementos para analizar y así implementar acciones para minimizar alguna falla potencial de manera planificada y precisa (Moubray, 1997). Dentro de estos controles se pueden encontrar un análisis VOSO, medición de vibraciones, termografías, por mencionar algunas.

10.2. Mantenimiento preventivo

Su finalidad es la de preservar las condiciones normales de operación o prevenir o corregir con base a reparaciones menores fallas detectadas en el mantenimiento predictivo, requieren que la unidad este fuera de servicio y para su reparación no se requiere más de una jornada de trabajo (Moubray, 1997).

10.3. Mantenimiento correctivo

Es una forma de mantenimiento del sistema que se realiza después de un fallo o problema surge en un sistema, con el objetivo de restablecer la operatividad del sistema. En algunos casos, puede ser imposible de predecir o prevenir un fracaso, lo que hace el mantenimiento correctivo la única opción. En otros casos, un sistema de mantenimiento deficiente puede exigir la reparación como consecuencia de la falta de mantenimiento preventivo, y en algunas situaciones la gente puede optar por centrarse en correctivas, en lugar de preventivo, reparaciones, como parte de una estrategia de mantenimiento (Nieto, 2013).

11. ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ÍNDICE DE TABLAS

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS
ORIENTADORAS

OBJETIVOS E HIPÓTESIS (CUANDO PROCEDA)

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. INFORMACIÓN DE EMPRESA

1.1. Misión

1.2. Visión

1.3. Información genera de Central Hidroeléctrica Santa Teresa

1.3.1. Embalse

1.3.2. Canal

1.3.3. Tubería de presión

1.3.4. Casa de máquinas

1.3.5. Generador eléctrico

1.3.6. Sistema de excitación

1.3.7. Sistema de regulación de velocidad

1.4. Instrumentación eléctrica

1.4.1. Medidores de presión

1.4.2. Sensores de posición

- 1.4.3. Medidores de temperatura
- 1.4.4. Medidores de flujo
- 1.4.5. Sensores de final de carrera

2. NORMAS INTERNACIONALES

- 2.1. Principio y aplicaciones de norma ISO 9001:2008
- 2.2. Implementación de ISO 9001:2008
 - 2.2.1. Requisitos
 - 2.2.2. Responsabilidades de la gestión
 - 2.2.3. Aplicación de la norma
- 2.3. Principios y aplicaciones de norma ISO 10012
 - 2.3.1. Requisitos
 - 2.3.2. Responsabilidades
 - 2.3.3. Aplicación de la norma
- 2.4. Norma Coguanor NTG/ISO/IEC 17025 1ra. Revisión
 - 2.4.1. Requisitos de la gestión
 - 2.4.2. Requisitos técnicos

3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

- 3.1. Instrumentación eléctrica
- 3.2. Sensores de medición
 - 3.2.1. Presión
 - 3.2.2. Posición
 - 3.2.3. Temperatura
 - 3.2.4. Flujo
 - 3.2.5. Velocidad
- 3.3. Gestión de mantenimiento
 - 3.3.1. Mantenimiento preventivo
 - 3.3.2. Mantenimiento predictivo

3.3.3. Mantenimiento correctivo

4. NORMALIZACIÓN DE PROCEDIMIENTOS
 - 4.1. Estandarizar formatos
 - 4.2. Parámetros que afectan las pruebas
 - 4.2.1. Conceptos básicos
 - 4.2.2. Pruebas a dispositivos
 - 4.3. Procedimientos de mantenimiento
 - 4.4. Procedimientos de operación
5. ANÁLISIS BENEFICIO/COSTO
 - 5.1. Costos de dispositivos nuevos
 - 5.2. Análisis/Costo de fallas
 - 5.3. Manejo de inventario
 - 5.3.1. Máximos y mínimos
 - 5.3.2. Tiempos de entrega
6. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS
7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

12. MARCO METODOLÓGICO

12.1. Tipo de Investigación

La metodología que se utilizará será de tipo inductiva; se iniciará con la observación de los diferentes instrumentos de medición; con los que cuentan en planta, se realizará una clasificación en base a la importancia y funcionalidad, la cantidad de sucesos o fallos que ha tenido cada uno; para estudiar con más detallada de lo que se pretende realizar y como se pretende hacer.

El enfoque será mixto con cualidades cuantitativas y cualitativas de los diferentes procesos e instrumentación, para realizar un estudio detallado de los puntos más importantes que se encuentran en los procesos y una recolección de datos más exacta para poder realizar la solución al planteamiento requerido.

12.2. Diseño de la investigación

Será una investigación descriptiva, ya que se realizará con base a observación, de la funcionalidad de la instrumentación; se utilizarán los registros que actualmente se encuentran en planta y de tendencias de algunas pruebas para determinar el estado y condiciones de operación de cada uno de los que participan en el proceso. Así determinar la incidencia y prioridad que se le debe dar a cada uno.

La implementación de una base de datos en la cual se pueda tener acceso a las diferentes pruebas y las tendencias de cada una; que se puede realizar por medio de la ayuda de algún software que se tiene en planta, para

determinar el tiempo y la variabilidad que pudiera tener una variable de control; que sea de suma importancia, en el proceso de generación; se podría partir de las variaciones de temperatura que se pueden tener en los embobinados del generador; para tener una visión de la importancia de los datos y así tomar las medidas necesarias antes de que ocurra una falla.

12.3. Tipo de muestreo, población y muestra

Para el caso en particular, el tipo de muestreo aleatorio estratificado de los diferentes registros que se tienen en planta, para reunir las variables que van a servir para la investigación, se solicitará la información a los departamentos de mantenimiento eléctrico y operaciones, los cuales servirán de base para la detección de las fallas que se encuentran en la instrumentación eléctrica, para determinar su grado de criticidad.

12.4. Medición de la muestra

La importancia de la investigación se centrará sobre las fallas que se han dado en la planta, por lo tanto, de la medición se tomarán los siguientes indicadores:

Indisponibilidad: Es la cantidad de horas que los equipos, no se encuentran en condiciones normales, para generar los requerimientos solicitados por el AMM.

El valor se da en horas y es el más importante de los indicadores que se utilizan en planta, para medir la eficiencia de la planta.

Tiempo medio entre fallas: Es un valor, en tiempo que indica que probabilidad de falla existente durante un año estacional en planta.

El factor que se utilizará, para la medición de este programa, será: la indisponibilidad, que es el tiempo que la planta está fuera de línea, por fallas internas de equipos; se realizará con la disminución de fallas que provocan indisponibilidad, la retroalimentación del programa se realizará con la comparación mensual de tiempos indisponibles de datos históricos que se tienen en planta.

Se realizará en cinco fases para el estudio:

La primera fase será la recolección de datos en planta de los diferentes mantenimientos que se han realizado y el tipo de cada uno de ellos para encontrar en cuales se ha realizado a este tipo de dispositivos, durará un aproximado de 8 semanas, se solicitará información a Jefe de Mantenimiento y Supervisor Eléctrico para realizar una cronología de cada dispositivo y qué tipo de mantenimiento se le ha realizado.

La segunda fase consta de la realización de los procedimientos bajo estándares de calidad que se necesitan por medio de la utilización de la norma ISO 9001:2008, se realizará en un período de 10 semanas, se realizarán procedimientos tanto de operación como de mantenimiento para los diferentes tipos de dispositivos, para ellos se solicitará apoyo a la Gerencia de planta, Jefes Operadores de turno y personal de mantenimiento.

La tercera fase se recabará información sobre las salidas forzadas que se han provocado por estos dispositivos y cuáles fueron los niveles y parámetros que han sido la causa principal, se tiene una período de 4 semanas, se

realizará una trazabilidad de variación y se determinará si las fallas fueron progresivas o repentinas, esto con el fin de determinar si el mantenimiento ha sido eficiente y periódico para cada uno de los dispositivos.

La cuarta fase se enfoca en el stock de repuestos con que se cuenta en bodega, analizando los máximos y mínimos de los repuestos a utilizar y la criticidad de los mismos, sus costos, tiempos de entrega y cada uno de los factores que puedan afectar o causar algún atraso en el cambio o reparación de algún dispositivo, se tiene un tiempo aproximado de 5 semanas para realizar esta fase.

La quinta fase se hará entrega del plan de mantenimiento para todo el subsistema de instrumentación eléctrica, se realizará una presentación tanto a Gerencia como a las Jefaturas de áreas para darlo a conocer y presentar las variaciones y resultados en los que se basó el estudio.

13. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INVESTIGACIÓN

Las técnicas de análisis ayudan a realizar varias operaciones en las que se someterán los datos, con la finalidad de alcanzar los objetivos del estudio, además de tener que ser comprobable de manera veraz. La confiabilidad del análisis dependerá de los métodos de trabajo que se utilicen para el tratamiento de la información.

Las técnicas de análisis que se utilizarán en el caso del programa de mantenimiento, para el subsistema de instrumentación de la Central hidroeléctrica Santa Teresa, son las siguientes:

- **Observación directa:** Se realiza una inspección visual de los diferentes dispositivos que componen el subsistema de instrumentación eléctrica, estado al inicio de la investigación y condiciones en las que opera actualmente.
- **Información existente:** Se realiza la solicitud de toda la información que se haya generado para estos dispositivos a supervisor del área eléctrica.
- **Entrevistas:** Se realizará entrevistas mixtas a dos personas del área de mantenimiento eléctrico, para interrogar sobre la gestión de mantenimiento que se le practica a los dispositivos y a cuatro personas de operaciones para estandarizar los rangos de operación, en este caso a los operadores de turno.

- **Recolección de manuales:** Se solicitará al departamento de mantenimiento eléctrico los manuales de operación y mantenimiento de los dispositivos de medición de las diferentes variables.
- **Gráficas de tendencias:** Se investigará sobre gráficas de comportamiento de los dispositivos estando máquinas operando o en paro, se hará un análisis estadístico de cada máquina.
- **Tabulación:** se realizarán pruebas de campo a dispositivos en algunos casos simulando fallas y realizando varias pruebas para verificación de tendencias en campo, se trabajará con un análisis documental de las diferentes pruebas realizadas.
- **Análisis Beneficio/Costo:** Para ver la viabilidad de normar los procesos de mantenimiento de los dispositivos de instrumentación eléctrica y el costo por falla para los casos de dispositivos en stock y dispositivo con proveedores, tiempo de entrega, se basará en un análisis numérico de datos reales.

14. CRONOGRAMA

Tabla I. Cronograma

Actividad	Noviembre							Diciembre							Enero							Febrero							Marzo							Abril							Mayo						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28																					
Recolección de información de Central Hidroeléctrica Santa Teresa																																																	
Investigar sobre norma ISO 9001:2008																																																	
Investigar sobre norma ISO 10012																																																	
Realizar un inventario de la instrumentación eléctrica en central Hidroeléctrica Santa Teresa																																																	
Recabar el historial de fallas y paros no programados																																																	
Observación y entrevistas sobre los procesos de mantenimiento																																																	
Observación y entrevistas sobre los procesos operativos																																																	
Crear formatos estándares para cada uno de los procedimientos basados en ISO 9001:2008																																																	
Verificar los parámetros que afectan los procedimientos de operación y mantenimiento																																																	
Realizar pruebas de campo a cada uno de los dispositivos de instrumentación eléctrica basado en ISO 10012																																																	

Continuación de la tabla I.

Actividad	Junio			Agosto			Septiembre			Octubre			Noviembre							
	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
Crear procedimiento de operación de instrumentación eléctrica																				
Crear procedimiento de mantenimiento de instrumentación eléctrica																				
Investigar precios con proveedores de dispositivos de instrumentación																				
Realizar análisis de costo de fallas producidas por dispositivos de instrumentación																				
Realizar un programa de manejo de inventarios sobre dispositivos de instrumentación eléctrica																				
Análisis de resultados																				
Conclusiones finales																				

Fuente: elaboración propia.

15. FACTIBILIDAD

15.1. Factibilidad operativa

Son los recursos donde interviene algún tipo de actividad, depende los recursos humanos que participen durante la operación del proyecto. La viabilidad del programa de mantenimiento que se desea implementar basado en normas ISO 9001:2008, serán los siguientes:

- El personal humano que será con el que se dispondrá en la Central, los electricistas de mantenimiento, instrumentistas de operación , supervisor eléctrico y Jefe Operador de Turno de Cuarto de Control, con ellos se identificarán los parámetros de operación normal de todos los dispositivos de instrumentación.
- Se solicitarán los controles de operación que se disponen en la Central para los dispositivos, se solicitarán historiales de fallas y de operación de los dispositivos que tienen participación activa dentro del proceso de generación.
- Las hojas técnicas de los dispositivos de instrumentación eléctrica utilizados en la Central.

Se determinan la cantidad de los gastos que conlleva, la investigación y la presentación de los mismos:

Tabla II. **Factibilidad operativa**

DESCRIPCIÓN DEL RECURSO	CANTIDAD	TOTAL
Asesor de la investigación	1	Q 2 500,00
Equipo de cómputo	1	Q 4 500,00
Impresiones	500	Q 125,00
Normas ISO	2	Q12 500,00
Encuadernado y empastado	3	Q 150,00
Servicio de internet	1	Q 160,00
Total		Q19 935,00

Fuente: elaboración propia.

15.2. **Factibilidad técnica**

La investigación de un programa de mantenimiento para instrumentación eléctrica basado en la norma ISO 9001:2008, se basará en tres aspectos muy importantes:

- Se hará un estudio de FMEA (Análisis de modo de efecto de falla) para realizar una categoría sobre los diferentes tipos de fallas y calcular el tiempo entre fallas.
- Verificar si la instrumentación eléctrica que actualmente se utiliza en la Central cumple con los estándares de las norma ISO 9001:2008.
- Crear un procedimiento adecuado para la verificación de cada uno de los dispositivos de instrumentación eléctrica usados en la Central, según la norma ISO 10012.

También se solicitará una verificación de los equipos de medición que se utilizarán para la verificación de los dispositivos de instrumentación eléctrica, también deben de estar calibrados y certificados para poder ser utilizados.

15.3. Factibilidad Económica

En el año 2014, se tuvo la cantidad de 10 paros no programados, de los cuales ocho fueron por fallas en sistema de instrumentación y dos por causas externas, el costo que representa un paro no programado depende de la cantidad de tiempo que se esté fuera de línea, un paro programado con un tiempo promedio de 15 minutos, depende del costo de MW en el mercado, para una unidad generadora de 8 MW, es de aproximadamente U\$500.

Aparte del costo nos crea una indisponibilidad ante el Administrador del Mercado Mayorista, para el cálculo de despacho del siguiente año, ellos utilizan el factor de disponibilidad de la Central, entonces el castigo no es solo por el tiempo de indisponibilidad, sino por la potencia que ellos limitan a entregar para el próximo año estacional.

Con el programa de mantenimiento se pretende realizar una disminución de las fallas de los dispositivos de instrumentación, para obtener una disponibilidad lo más próxima al 100% de la Central.

REFERENCIAS BIBIOGRÁFICAS

1. ALVAREZ, I.; JIMENEZ, L.; TENORIO, J. (2010). *Planteamiento de una empresa de capacitación en mantenimiento de instrumentación industrial para las variables de temperatura, presión y flujo para la pequeña y mediana empresa*. México. Hilario, A. y Carbonell, P. (2010), *Calibración de equipos de medida según ISO 9000*.
2. BULLÓN, Oscar (Septiembre de 2009), *Automatización Industrial*, Escuela Politécnica Nacional, México.
3. CREUS, A. (2008), *Instrumentación Industrial*, Editorial Alfa Omega.
4. Comisión Nacional de Energía Eléctrica (Abril 2015) *Plan de Expansión Indicativo del Sistema de Generación 2014-2028*.
5. DUFFUAA, S.; RAOUF, A.; & CAMPBELL, J. D. (2000). *Sistemas de mantenimiento: Planeación y control*. Limusa Wiley.
6. ENRIQUEZ, G. (2000), *El ABC de la instrumentación en el Control de Procesos Industriales*, México, Ed. Limusa.
7. Femto instruments, [en línea]. <<http://www.femto.es/manometro-para-liquidos-cms-1-50-565/#ixzz3iLa58G5f>>. [Consulta:]
8. HILARIO, A. y CARBONELL, P. (2010), *Calibración de equipos de medida según ISO 9000*.

9. HERNÁNDEZ, H. (Febrero 2011), *Medición y control de variables de operación en plantas industriales*, Universidad Veracruzana.
10. HUG, A. Mantenimiento Centrado en confiabilidad como estrategia para apoyar los indicadores de disponibilidad y paradas forzadas en la planta Oscar A. Machado EDC, *Energética*, Vol. XXX, No. 2/2009.
11. ESCOBAR, I. (Julio de 2010). Apuntes de asignatura de “Metrología y normalización”.
12. SAGASTUME, J. (Septiembre de 2012). “Manual del curso de seminario de investigación de la Escuela de Ingeniería de Mecánica Eléctrica, de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala”.
13. MORRIS A. S. (1997), *Measurement and calibration requirements for quality assurance to ISO 9000*. John Wiley & Sons Inc.
14. MOUBRAY, John (1997), *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCMII*, 2nda. Edición, 440p.
15. NIETO, Eugenio (2013). *Mantenimiento Industrial Práctico*.
16. ICONTEC (2011) Norma Técnica Colombiana ISO 9001:2008, *Sistemas de gestión de la calidad*, 14-11-2008.
17. ICONTEC (2003) Norma Técnica Colombiana ISO 10012, *Sistemas de gestión de medición, requisitos para los procesos de medición y los equipos de medición*, 26-06-2003.

18. ICONTEC (2005) Norma Técnica Colombiana ISO/IEC 17025, Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración, 26-10-2005.
19. STANLEY, Wolfe (1992), *Guía de Mediciones Electrónicas y Prácticas de Laboratorio*, México, Ed. Prentice Hall.

