

**PLAN DE MANTENIMIENTO PARA TRABAJOS CON TENSIÓN EN
SUBESTACIONES DE NIVEL III, IV y V**

ING. JHON ANSELMO DEVIA HORTA



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA EN MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2017**

**PLAN DE MANTENIMIENTO PARA TRABAJOS CON TENSIÓN EN
SUBESTACIONES DE NIVEL III, IV y V**

**Monografía presentada como requisito parcial para optar por el título de:
Especialista en Gerencia de Mantenimiento.**

ING. JHON ANSELMO DEVIA HORTA

Director

ELKIN MARIO LÓPEZ PATIÑO

Especialista en Gestión de Proyectos

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA EN MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA**

2017

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a Dios por brindarme la oportunidad de tenerme aquí, por no dejarme desfallecer por los tropiezos de la vida. Dedico esto a mis padres Mahelia Horta y Anselmo Devia por brindarme todo su apoyo, cariño y comprensión a mis hermanos Alexander y Camilo por estar siempre a mi lado a mi esposa Olga y mis hijos Juan Manuel y Nicolás que han estado siempre apoyándome sacrificando el tiempo el cual les pertenece por derecho.

A mi familia compañeros y amigos por el apoyo incondicional que me brindaron durante todo este proceso de superación, a los profesores que nos compartieron todos sus conocimientos, que, con su interés y apoyo, permitieron que el proyecto fuera realidad. A la Universidad Industrial del Santander, con su cuerpo administrativo, que siempre estuvo pendiente para colaborar en todo el proceso, a el ingeniero Elkin Mario López como director de monografía y el ingeniero Juan David Serna los cuales fueron pieza clave, con respecto a las asesorías y ajustes dentro del documento, y en especial a Dios por darnos la fortaleza para alcanzar esta meta.

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
Introducción.....	12
1. Generalidades.....	15
1.1 Objetivo principal.....	16
1.2 Objetivos específicos	16
1.3 Alcance	18
1.4 Metodología	18
2. Mantenimiento.....	21
2.1 Estructura del mantenimiento.....	23
2.2 Tipos de mantenimiento	24
2.2.1 Mantenimiento preventivo	24
2.2.2 Mantenimiento predictivo	24
2.2.3 Mantenimiento correctivo	25
2.3 Actividades de operación y mantenimiento para trabajos con tensión.....	25
2.3.1 Procedimientos.....	26
2.3.2 Diagnóstico	27
2.3.3 Planeación	27
2.3.4 Programación.....	30
2.3.5 Ejecución.....	31
2.3.6 Supervisión y control	32
2.4 Mantenimiento de subestaciones y líneas.....	33
2.4.1 Alcance de las actividades de mantenimiento en subestaciones y líneas.....	34
2.4.2 Criterios de mantenimiento	34
2.4.2.1 Criterios para mantenimiento a interruptores de potencia.....	34
2.4.2.2 criterios para mantenimiento a barrajes	38
2.4.2.3 Criterios para mantenimiento a equipos de medida	38
2.4.2.4 Criterios para mantenimiento a seccionadores	39
2.4.2.5 Criterios para mantenimiento a transformadores de potencia.....	39

➤ Rutinas de Mantenimiento a Transformadores de potencia de 115kV	41
➤ Rutinas de Mantenimiento a Transformadores de potencia de 33kV	42
2.4.3 Criterios para termografía y ultrasonido en subestaciones	45
2.4.4 Criterios para mantenimiento a líneas.....	47
2.4.4.1 Criterios de evaluación del terreno.....	48
2.4.4.2 Criterios para evaluación de las estructuras.....	48
2.4.4.3 Criterios para la evaluación del estado de los aisladores.....	49
2.4.5 Inspección a subestaciones	50
2.4.5.1 Inspección líneas.....	50
2.4.5.2 Estructuras	51
2.4.5.3 Conductores	51
2.4.5.4 Cable de guarda.....	52
2.4.5.5 Aislamiento.....	52
2.4.5.6 Herrajes.....	53
2.4.5.7 Templetes	53
2.4.5.8 Puestas a tierra	53
3. Conclusiones.....	54
Bibliografía	56

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Pruebas transformadores de Potencia del STR (115Kv).....	43
Tabla 2 Pruebas transformadores de Potencia del STR (33kV).....	44
Tabla 3 Criterios de diagnóstico para termografía y ultrasonido.	45
Tabla 4. Recorrido de líneas para termografía y ultrasonido según nivel de impacto ...	46

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Estructura de mantenimiento para trabajos con y sin tensión.	23
Figura 2. Formato de procedimientos para trabajos con tensión.	26
Figura 3. Formato de planificación de actividades para trabajos de mantenimiento.	29
Figura 4. Formato de programación semanal de mantenimiento para trabajos con tensión.....	30

RESUMEN

TÍTULO: Plan de mantenimiento preventivo para trabajos con tensión en subestaciones de nivel de tensión **III, IV y V.**¹

AUTOR: ING. JHON ANSELMO DEVIA HORTA.²

PALABRAS CLAVES: Calidad del servicio, TCT “Trabajos con tensión”, Manual; Disponibilidad.

DESCRIPCIÓN O CONTENIDO:

Con la presente monografía se busca que el lector tenga las herramientas metodológicas necesarias para poder realizar las diferentes actividades que se pueden ejecutar aplicando técnicas de trabajo con tensión, tanto en sistemas de distribución, y transmisión de energía eléctrica el cual permita mejorar en la calidad del servicio considerando las diferentes exigencias regulatorias y la mayor disminución de costos operativos y costos de mantenimientos innecesarios.

De esta forma se mostrará un plan el cual incluirá un manual de mantenimiento y procedimientos que van a mostrar algunas formas de ejecutar actividades, y a su vez van a ayudar a establecer cuál es el mejor mecanismo de desarrollo aplicado y que este se adapte a las necesidades de cada uno de los técnicos encargados de mantener la red de energía eléctrica, a su vez se proporcionará a la unidad de mantenimiento un sistema de información el cual ayude a mantener los indicadores de calidad de la empresa. Mediante etapas de planeación, organización, ejecución, control e inspección, que contribuyan como un apoyo en las actividades de mantenimiento de las instalaciones y equipos de empresa.

Finalmente se muestra un manual el cual se aplicará en las diferentes etapas del proceso de mantenimiento teniendo en cuenta planes y procedimientos de aplicabilidad ayudando esto a la mejora continua del proceso de mantenimiento.

¹ Plan de mantenimiento preventivo para trabajos con tensión en subestaciones de nivel de tensión III, IV y V.

² Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director: Elkin Mario Lopez Patiño especialista en gerencia estratégica de proyectos.

SUMMARY

TITLE: Preventive maintenance plan for works with voltage in substations of voltage level III, IV and V.³

AUTHOR: ING. JHON ANSELMO DEVIA HORTA.⁴

KEYWORDS: Quality of service, TCT "Works with tension", Manual, Availability.

DESCRIPTION OR CONTENTS:

This monograph seeks the reader to have the necessary methodological tools to be able to carry out the different activities that can be executed applying techniques of work with tension, both in distribution systems, and transmission of electrical energy which allows to improve in the quality of the service considering the different regulatory requirements and the greater reduction of operating costs and unnecessary maintenance costs.

This will show a plan which will include a maintenance manual and procedures that will show some ways of executing activities, and their will help to establish which is the best development mechanism applied and that this is adapted to the needs of each of the technicians in charge of maintaining the electrical energy network, will in turn be provided to the maintenance unit an information system which will help to maintain the quality indicators of the company. Through stages of planning, organization, execution, control and inspection, which contribute as a support in the maintenance activities of the facilities and equipment of company.

Finally, a manual is presented which will be applied in the different stages of the maintenance process taking into account plans and procedures of applicability helping this to the continuous improvement of the maintenance process.

³ Preventive maintenance plan for works with voltage in substations of voltage level III, IV and V.

⁴ Faculty of Engineering Physics and Mechanics. Mechanical Engineering School. Specialization in Maintenance Management. Director: Elkin Mario Lopez Patiño specialist in strategic Project management.

INTRODUCCIÓN

La Gestión del mantenimiento de la Central Hidroeléctrica de Caldas (CHEC S.A E.S.P.), -empresa interesada en la realización de esta monografía que tiene como objetivo trabajar en subestaciones y líneas de transmisión, es realizada con un recurso humano competente y especializado en la ejecución del proyecto. Cada día busca implementar las técnicas más adecuadas con el fin de garantizar la disponibilidad y confiabilidad de los activos en los criterios de eficiencia, eficacia, efectividad, responsabilidad ambiental y social, teniendo como objetivo principal el mejoramiento continuo de la empresa. Para lograrlo, se fundamenta en la optimización de la gestión de activos, aplicando estrategias que permitan eliminar o minimizar la ocurrencia de fallas y disminuir las consecuencias de las mismas apalancándose en la utilización de herramientas, métodos y recursos humanos que permitan obtener una confiabilidad del sistema eléctrico.

Desafortunadamente, antes del año 2017 en la CHEC solo se podía trabajar en las subestaciones y líneas de transmisión utilizando técnicas en frío (des energizado), causando un gran impacto negativo en los procesos de la empresa, el cual se ve reflejado directamente en el malestar del usuario, teniendo en cuenta que en el momento de realizar las labores planeadas, en la mayoría de los casos, ya sea por la topología de la red, por el tamaño de la carga asociada al circuito bajo consigna o por cualquier otra circunstancia de operación, era necesario establecer la demanda no atendida (DNA) durante algunos minutos y algunas veces hasta horas. Este procedimiento repercutía no solo en la insatisfacción del cliente, sino también en procesos legales ante la CHEC S.A. E.S.P. empresa prestadora de los servicios públicos, debido a que se incumplía con los índices de confiabilidad, disponibilidad, y calidad de servicio, que imponen la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), como ente encargado de la regulación del sector eléctrico colombiano.

Para dar solución a esta problemática, en el año 2016 se aprueba por parte de la junta directiva de la CHEC la conformación del grupo de TCT para trabajar en los niveles de

tensión III, IV y V bajo las técnicas de potencial y contacto, las cuales permitirán realizar en caliente (con tensión) las diferentes labores que se desempeñan en frío (sin tensión). -Los grupos de mantenimiento adscritos a la subgerencia de subestaciones y líneas (SYL)-. Con estas técnicas la CHEC buscará aumentar la disponibilidad de los activos, la confiabilidad del sistema, disminuir cargos por DNA, y mejorar la percepción de los usuarios finales frente al servicio de energía eléctrica brindado por la empresa.

Pero no simplemente es conformar el grupo, sino darle todas las garantías a este personal para que dichas labores que se realicen, se puedan llevar a cabo de forma confiable y segura, tal como lo indica la Resolución 1348 del Ministerio de la Protección Social en Colombia⁵, donde se adopta el Reglamento de Salud Ocupacional en los Procesos de Generación, Transmisión y Distribución de Energía en las empresas del sector eléctrico.

Teniendo en cuenta que la empresa está orientada a trabajar por procesos, surge la necesidad de implementar y documentar un plan de mantenimiento para trabajos con tensión que establezca los criterios que avalen las labores, procedimientos y técnicas que empleara en su operación el grupo de trabajo de trabajo con tensión (TCT). Este plan se realizará bajo lineamientos, técnicos y conocimientos adquiridos durante la especialización en Gerencia de Mantenimiento que se viene adelantando en esta monografía y la experiencia del asesor de la misma. Con esto se busca realizar una gestión adecuada de los activos a cargo de la subgerencia de subestaciones y líneas.

Las técnicas desarrolladas a lo largo del plan de mantenimiento estarán enfocadas en la optimización de procedimientos y actividades de trabajos con tensión, que permitan reducir de forma significativa los tiempos de indisponibilidad de los equipos y garantizar

⁵ COLOMBIA. MINISTERIO DE PROTECCIÓN SOCIAL. Resolución 1348 de 2009. Por la cual se adopta el Reglamento de Salud Ocupacional en los Procesos de Generación, Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica en las empresas del sector eléctrico. Bogotá.

el trabajo seguro y confiable en todo momento. Es importante resaltar que todas estas prácticas y técnicas también están encaminadas a fortalecer la gestión de activos que viene adelantando la CHEC en toda su cadena de producción, con el fin de mantener las subestaciones y líneas en condiciones operativas óptimas durante el mayor tiempo posible en el año, con el fin de atender la demanda de energía en su área de influencia que comprende los departamentos de Caldas, Quindío y Risaralda, atendiendo a una población de alrededor de 2.5 millones de habitantes, por medio de sus diferentes plantas de generación (Ínsula, Esmeralda, San Francisco, Sancancio, Intermedia, Municipal y Guacaica).

La CHEC a través de sus 63 subestaciones de potencia (61 con nivel de tensión 33kV y 17 con nivel de tensión 115kV), tiene conectadas tres de ellas al sistema de transmisión nacional (STN); además de los cientos de kilómetros de tendido de líneas que permiten tener una cobertura casi total de las zonas urbanas y rurales que componen el llamado eje cafetero.

1. GENERALIDADES

La creación de un plan de mantenimiento para trabajos con tensión en subestaciones con nivel de tensión **III, IV y V**, es un aporte fundamental para el crecimiento profesional, técnico y organizacional de la subgerencia de subestaciones y líneas, y a su vez de la empresa en general, ya que permitirá incursionar en nuevas técnicas de mantenimiento que garantizarán la atención oportuna de algunas de las necesidades que se presentan a diario sobre los diferentes activos que componen las subestaciones. Esto evita la necesidad de interrumpir parcial o completamente el suministro de energía eléctrica a los usuarios finales; aumentando con esto la disponibilidad de los activos, reduciendo costos por afectaciones en el servicio y prolongando la vida útil de los equipos.

Como complemento al plan se tiene la elaboración de un manual de mantenimiento predictivo-preventivo para trabajos con tensión⁶ el cual permite comprender temas relacionados con mantenimiento (tipos, definiciones, practicas, rutinas), subestaciones (tipos, características, disposiciones), equipos de patio (características generales, principio de funcionamiento), técnicas de trabajos con tensión, herramientas y equipos para línea viva, reglas de oro para línea energizada, distancias de seguridad, entre otros. Todo esto, basado en los reglamentos técnicos vigentes en Colombia para el sector eléctrico y las normas internacionales aplicables. Adicionalmente se elaboró una serie de procedimientos,⁷ que brindan al liniero de TCT un soporte técnico que avale cada una las actividades que realiza, garantizando la minimización de riesgos por medio de la estandarización de las labores.

El desarrollo del manual y los procedimientos de mantenimiento para trabajos con tensión se hacen necesarios para dar cumplimiento con se puede ver referenciado en el artículo 24.1, párrafo b, del reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE),

⁶ Ver anexo 1.

⁷ Revisar anexos 2, 3, 4 y 5.

el cual dice: “La subestación debe estar provista de manuales de operación y mantenimiento, precisos que no den lugar a equivocaciones”⁸.

El plan también se centra en disminuir los cargos por indisponibilidad de activos, las remuneraciones por demanda no atendida y la insatisfacción de los clientes, son temas que urge corregir, ya que se convierten en utilidades que deja de percibir la empresa. Por tal razón se hace necesaria la implementación de un nuevo proceso dentro de la organización encargado de realizar trabajos con tensión en subestaciones bajo técnicas calificadas de mantenimiento, que permitan reducir los factores anteriormente mencionados. Todo esto gracias al alcance que tiene la realización de trabajos sobre circuitos y/o equipos energizados dentro de las subestaciones CHEC.

1.1 OBJETIVO PRINCIPAL

Establecer un plan de mantenimiento de subestaciones y líneas que apalanque el plan de negocios del grupo empresarial EPM (Empresas Públicas de Medellín) en el capítulo 5: Planes de mantenimiento y operación; enmarcado en el Cuadro de Mando Integral (CMI) de la empresa, siguiendo sus objetivos estratégicos, en especial: lograr la excelencia operacional en la prestación de los servicios.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

a) Definir los criterios que brinden al área de mantenimiento de subestaciones y líneas de la CHEC S.A. E.S.P., las directrices que se deben tener en cuenta a la hora de planear, coordinar y ejecutar, trabajos con tensión para aumentar la disponibilidad y confiabilidad de las subestaciones de la empresa nivel de tensión III, IV y V, que hacen

⁸ COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 90708 del 30 de agosto de 2013. Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE). Bogotá. Artículo 24,1, párrafo b.

parte del sistema de transmisión regional (STR), sistema de distribución local (SDL) y sistema de transmisión nacional (STN).

b) Diseñar e implementar un plan de mantenimiento preventivo para trabajos con tensión en subestaciones con niveles III, IV y V.

✓ Optimizar los tiempos de disponibilidad de los activos de las subestaciones, mejorando la percepción del servicio en los usuarios finales y reduciendo sanciones por DNA.

c) Implementar una metodología que permita establecer los recursos, tiempos y procedimientos necesarios para realizar mantenimientos preventivos con tensión en los activos de las subestaciones CHEC S.A. E.S.P.

✓ Establecer los procedimientos para la realización de las diferentes actividades de mantenimiento preventivo con tensión que realice el grupo de TCT, adscrito a la subgerencia de subestaciones y líneas.

✓ Crear un manual de mantenimiento preventivo – correctivo, para trabajos con tensión en subestaciones con niveles III, IV y V.

✓ Describir el principio de funcionamiento de las técnicas (contacto y potencial), equipos de prueba, pruebas eléctricas, e implementos de seguridad, necesarios para trabajos con tensión (TCT).

✓ Describir el principio de funcionamiento y los equipos que componen una subestación de potencia.

1.3 ALCANCE

El presente plan de mantenimiento está definido para la programación y ejecución de las actividades de mantenimiento sobre los equipos que conforman la infraestructura de subestaciones y líneas, bajo técnicas de trabajo con tensión (distancia, contacto y potencial). Está diseñado basado en las directrices de empresa, criterios de mantenimiento, características de los equipos de subestaciones y líneas, recomendaciones de los fabricantes, la experiencia en campo y lo establecido por la normatividad vigente para el sector eléctrico. Por otra parte, está soportado técnicamente por el manual de mantenimiento (Anexo 1) y los procedimientos (Anexo 2, 3, 4 y 5) de mantenimiento para trabajos con tensión

1.4 METODOLOGÍA

Para aumentar la disponibilidad y confiabilidad de las subestaciones CHEC, se planteó inicialmente determinar cuáles son los activos más críticos dentro del sistema de subestaciones, e identificar aquellos activos de uso que se encuentran penalizados por superar el umbral máximo de indisponibilidad permitido por la ley. Para esto se acudirá a una revisión de los reportes de mantenimiento, indicadores empresariales y rutinas de inspección, que se llevan en la empresa, con el fin de realizar una depuración de la información que establezca el nivel de criticidad de estos activos.

Éste será el punto de partida para diseñar el plan de mantenimiento de trabajos con tensión con el que se buscará priorizar la atención de estos puntos críticos del sistema bajo técnicas de trabajo en línea viva, las cuales permitan disponer de un mayor tiempo de servicio del activo y disminuir la tasa de indisponibilidad que se viene presentando en gran parte por acciones preventivas y correctivas realizadas en frío sobre los equipos asociados. Para describir el principio de funcionamiento en las diferentes técnicas de trabajo, equipos de prueba, pruebas eléctricas, implementos de seguridad y equipos que componen la subestación, se hará uso de manuales, fichas técnicas, reglamentos técnicos y normatividad interna; todo esto complementado con la

experiencia adquirida en campo durante los años de vocación y las capacitaciones adquiridas a lo largo del proceso. Los procedimientos serán documentos técnicos avalados por la empresa mediante la revisión detallada de profesionales, los cuales serán elaborados con referencia en capacitaciones, prácticas de campo, experiencia del personal y antecedentes de las labores; siguiendo los criterios necesarios para que cada una de las labores a las que tiene alcance el grupo de TCT se realicen de manera segura y confiable.

En la construcción del manual de mantenimiento se tendrán en cuenta, bibliografía recopilada, reglamentos, normas, fichas técnicas, etc. Este documento estará enfocado solo a los equipos, prácticas de mantenimiento, pruebas y subestaciones con las que cuenta actualmente CHEC S.A. E.S.P., y será al igual que los procedimientos un documento técnico que permitirá al grupo de trabajo enfocados en la tensión eléctrica, disponer de una herramienta útil en sus prácticas diarias.

La idea para optimizar los tiempos de disponibilidad de los activos se fundamenta en la implementación de técnicas de mantenimiento adquiridas durante la especialización, las cuales deberán adaptarse a los lineamientos empresariales con el fin de optimizar los procesos sin causar traumatismo en ellos.

La metodología descrita para el desarrollo de la monografía varía según la etapa del proyecto en la cual se esté trabajando. La primera etapa consiste en la planeación del proyecto para lo cual es necesario identificar una problemática en la cual se le pueda dar solución mediante las técnicas de estudio adquiridas en la especialización. En este caso se propuso realizar un plan de mantenimiento para trabajos con tensión. Luego de esto se planteó una metodología de trabajo, donde se fijaron objetivos y se centró en el desarrollo conceptual y teórico que permitirá realizar un documento que arroje una solución a la problemática identificada inicialmente. Por último, se debe establecer un plan de trabajo y dar tiempos de ejecución a cada una de las etapas que conforman el proyecto.

La segunda etapa consiste en el análisis, el cual se fundamenta en la recopilación de la información sobre trabajos con tensión eléctrica, pruebas eléctricas, equipos de protección personal, equipos de pruebas. Esta información puede ser bibliográfica (libros, documentos, folletos, publicaciones, archivos, entre otras), webliográfica, o una recopilación de narraciones y experiencias de personal relacionado con subestaciones eléctricas y trabajos con tensión. Finalmente, esto permitirá determinar la mejor manera de afrontar la construcción del manual de mantenimiento.

La tercera etapa se cataloga como diseño y permite estructurar el manual de mantenimiento de forma precisa y consecuente, atando cada uno de los conceptos de manera tal que se desarrolle un documento técnico, ordenado, que no se preste para malinterpretaciones por parte del lector.

Una cuarta etapa se denomina desarrollo, y se debe a que en ella la elaboración del documento se entrelazara con capacitaciones, visitas a campo, y trabajos con tensión, que permitan la consolidación del manual bajo bases sólidas de conocimientos y valga la redundancia de experiencias.

La última etapa del proyecto será la implementación del mismo, logrando así que el grupo de trabajo con tensión eléctrica perteneciente a la subgerencia de subestaciones y líneas de la empresa CHEC S.A. E.S.P., cuente con un documento técnico que avale las actividades a realizar por ellos.

Para la ejecución de cada una de las etapas que conforman la monografía, se solicitará consultorías con profesionales que estén relacionados con los temas a tratar, también se buscará la forma de realizar capacitaciones que permitan tener mayor conocimiento sobre las distintas técnicas a tratar; se trabajará de manera constante en el desarrollo del documento bajo el acompañamiento de profesionales en el área de mantenimiento de la subgerencia de subestaciones y líneas. Por esto se ha previsto la realización de reuniones periódicas con el asesor universitario, para revisar los avances que se llevan a lo largo del proyecto.

2. MANTENIMIENTO

Esta monografía pretende implementar un plan de mantenimiento para trabajos con tensión en subestaciones con niveles III, IV y V, con el propósito de fortalecer el área de mantenimiento de la subgerencia de subestaciones y líneas de la CHEC S.A. E.S.P.; enmarcado en los tipos de mantenimiento predictivo – preventivo establecidos para atender las necesidades de técnicas en las subestaciones y líneas del sistema eléctrico de la empresa con el grupo de TCT.

Se define el mantenimiento como todas aquellas acciones predictivas, preventivas y correctivas que se realizan a un elemento, equipo o instalación, con el propósito de preservarlo o restaurarlo con el fin de que siga cumpliendo a satisfacción la actividad para la cual fue diseñado. Por otro lado, se entiende por plan de mantenimiento el modelo de gestión de activos que define las actividades, tiempos y recursos necesarios para mantener un gran número de equipos de manera periódica reduciendo los tiempos de indisponibilidad y garantizando su operatividad.

Debido a la gran importancia que tienen las subestaciones CHEC S.A. E.S.P. en el sistema interconectado nacional, sistema de transmisión regional, y sistemas de distribución local, se hace necesario establecer anualmente un plan táctico de mantenimiento que permita la intervención periódica de los diferentes activos que componen las subestaciones por parte de los grupos de mantenimiento y el grupo de trabajo con tensión, con el fin de realizar labores de tipo predictivo - preventivo que ayuden a mantener la estabilidad del sistema, prolongar la vida útil y aumentar la disponibilidad de los equipos intervenidos, sin dejar a un lado las acciones correctivas que pueden surgir sobre la marcha en las diferentes subestaciones.

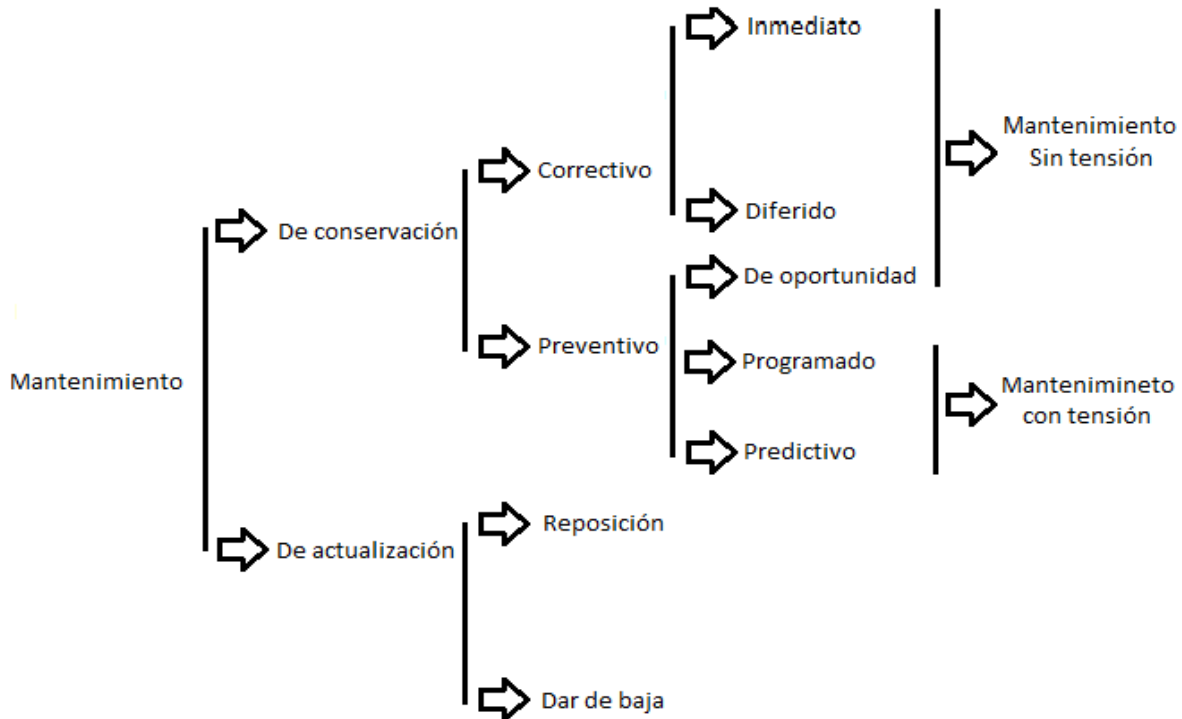
Determinar este tipo de labores de mantenimiento es fundamental, ya algunas de estas, principalmente hacia las cuales está dirigido el presente manual, se pueden realizar con el grupo de trabajo especializados en tensión eléctrica, lo cual garantiza atención oportuna a un equipo, circuito o subestación sin necesidad de desenergizarlo,

lo que permitirá beneficiar al usuario, ya que el suministro de energía no se verá interrumpido en ningún momento. La determinación de estas labores también es importante para aquellas actividades donde es primordial dejar fuera de operación algún elemento que comprometa el servicio al cliente, ya que el efecto que se produce al suspender el suministro de energía de manera programada no es tan perjudicial como el que se causa en el momento que se presenta una falla. Si bien es cierto que los fallos se dan de manera inesperada y muchas veces por agentes externos que no se pueden controlar, como las descargas atmosféricas, acciones indebidas de animales, entre otros; la experiencia del personal, el análisis de los resultados de las diferentes pruebas y la buena planeación pueden ser de gran ayuda para predecirlas, evitando así, daños mayores que provoquen demandas no atendidas, acontecimientos que finalmente se reflejan en la insatisfacción del cliente.

Es bueno entonces, recordar que el mantenimiento son todas aquellas acciones predictivas, preventivas o correctivas que se realizan a equipos, herramientas, instalaciones, entre otras, con el fin de garantizar la continuidad del servicio para el cual fueron diseñados, prolongar su ciclo de vida y dar confiabilidad al sistema.

2.1 ESTRUCTURA DEL MANTENIMIENTO

Figura 1. Estructura de mantenimiento para trabajos con y sin tensión.



Según la estructura de mantenimiento expuesta en la figura 1, el campo de aplicación del plan de mantenimiento para trabajos con tensión que se está desarrollando en este documento, se centrará en las actividades de tipo preventivas, cuyo objetivo es la conservación de los activos. Estas actividades incluyen labores de tipo predictivo las cuales deben ser programadas y planeadas con anterioridad. Recordemos que el mantenimiento con tensión no podrá ser ejecutado si no se cumplen como mínimo con estos dos parámetros, ya que se estaría poniendo en riesgo la integridad de los trabajadores que ejecutan esta especialidad.

2.2 TIPOS DE MANTENIMIENTO

El mantenimiento se divide en tres tipos de actividades que centran la realización de las labores dependiendo del estado del equipo a intervenir, es decir, en un procedimiento donde se pretende determinar el estado de las características y componentes internos, se debe llevar a cabo el mantenimiento tipo predictivo; si por el contrario lo que se busca es mantener el funcionamiento primario del equipo por medio de actividades periódicas (conocidas como rutinas), se realiza el tipo preventivo; por último, si se desea reparar, atender una falla, o mejorar el estado (interno o externo), el tipo de mantenimiento más aconsejable es el correctivo.

2.2.1 Mantenimiento preventivo. Mantenimiento programado que se efectúa a un equipo, servicio o instalación con el propósito de reducir la probabilidad de fallo, mantener condiciones seguras y preestablecidas de operación, prolongar la vida útil y evitar accidentes. El mantenimiento preventivo tiene la finalidad de evitar que el equipo falle durante el periodo de su vida útil y la técnica de su aplicación se apoya en experiencias de operación que determinan que el equipo, después de pasar el periodo de puesta en servicio reduzca sus propiedades de fallas.

Este tipo de mantenimiento será el foco central de aplicación para el grupo de trabajo con tensión de la subgerencia de subestaciones y líneas, y en el cual se centrará el desarrollo del presente manual de mantenimiento de TCT.

2.2.2 Mantenimiento predictivo. Es una rama del mantenimiento preventivo que se basa en la realización de pruebas a los equipos con el propósito de diagnosticar su estado actual y predecir posibles fallas que se podrían ocasionar. El resultado de este mantenimiento permite tomar acciones correctivas y/o preventivas para optimizar su funcionamiento. El mantenimiento predictivo tiene la finalidad de anticipar una posible falla del equipo; la técnica de su aplicación se apoya en la experiencia adquirida en los resultados estadísticos, que determinan en que momento el equipo está más propenso

a fallar cuando se encuentran en el periodo inicial de operación, a partir de su puesta en servicio y cuando se acerca al final de su vida útil.

2.2.3 Mantenimiento correctivo. Se define como la reparación que se realiza al bien inmueble, servicio o instalación una vez que se ha producido el fallo en él, con el objetivo de restablecer el funcionamiento y eliminar la causa que ha producido la falla. El mantenimiento correctivo tiene la finalidad de reemplazar los elementos o equipos averiados y que no pueden funcionar operativamente en la subestación, el reemplazo también se da cuando los equipos han cumplido las horas de trabajo para las que fueron fabricados.

2.3 ACTIVIDADES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO PARA TRABAJOS CON TENSIÓN

El artículo 2 de la Resolución 1348 de 2009⁹ establece que toda actividad asociada a la operación y mantenimiento donde se involucren equipos e instalaciones eléctricas debe ser planeada, programada, ejecutada y supervisada por personal calificado y habilitado por las instancias técnicas y administrativas de la empresa, más aún, cuando se trata de trabajo con tensión, debido a la complejidad de las tareas y el riesgo eléctrico inminente al cual se ven expuestos los linieros de trabajos con tensión en cada una de sus labores, no se debe dejar nada a la improvisación ya que la ejecución de estos trabajos debe llevar un paso a paso de cada una de las actividades a realizar, minimizando con esto los riesgos de trabajos en línea viva. Por su parte en el artículo 10 de la resolución en mención se establecen los siguientes ítems que se deben llevar a cabo para realizar cualquier actividad de mantenimiento predictivo, preventivo o correctivo.

⁹ COLOMBIA. MINISTERIO DE PROTECCIÓN SOCIAL. Resolución 1348 de 2009. Por la cual se adopta el Reglamento de Salud Ocupacional en los Procesos de Generación, Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica en las empresas del sector eléctrico. Bogotá. Artículo 2.

2.3.1 Procedimientos. Toda actividad de mantenimiento preventivo y correctivo en tensión, y la ejecución de toda maniobra de operación, debe tener asociado un procedimiento donde se considere lo siguiente:

Figura 2. Formato de procedimientos para trabajos con tensión.

CHEC						
INSTRUCTIVO OPERACIONAL: MANTENIMIENTO PREVENTIVO - TRABAJOS CON TENSION - ENSAMBLE DE ANDAMIO AISLADO.						
IN-DI-XX-XXX-XXX Versión 1.0						
Tarea	Descripción	Duración (Min)	Responsable	Riesgos	Consideraciones especiales	Documentos y Registros
DIA 1						
1. Planeación de la actividad	* Identificar el equipo a intervenir. * Visualizar el area de trabajo, determinar riesgos, distancias de seguridad (fase - tierra, fase - fase). * Determinar la altura con respecto al plano de trabajo . * Verificar condiciones atmosféricas y climatológicas. * Determinar la altura de armado del andamio, el sentido, la cantidad de elementos necesarios, la distancia de los vientos.	20	Profesional, Asistente técnico 1, Asistente técnico 2 (Jefe de grupo)	Exponer los siguientes riesgos: * Eléctrico: Electrocuación. * Biomecánicas: Golpes, Caídas. * Riesgos ambientales: Insolación, picaduras. * Riesgos Químicos. Contacto con aceite dieléctrico, penetrantes u otro tipo de sustancias peligrosas.	*De una buena planeación es el éxito de los trabajos.	Diligenciamiento lista de planeación. PENDIENTE FORMATO

- ✓ Paso a paso a seguir para la ejecución de la actividad.
- ✓ Herramienta, equipos y elementos de protección personal necesarios.
- ✓ Riesgos asociados.
- ✓ Protocolos de seguridad.
- ✓ Reglas de oro para trabajos con tensión.
- ✓ Tiempo de ejecución.
- ✓ Responsables de cada actividad.
- ✓ Documentos y registros asociados a la actividad.

Deben considerarse los factores de riesgo y su control en las condiciones normales y las condiciones de emergencia posibles que puedan presentarse. Estos procedimientos podrán verificarse mediante listas de chequeo a modo de guía para el personal que interviene las instalaciones y los equipos.

Para los trabajos de mantenimiento con tensión en subestaciones se han establecido los siguientes procedimientos para la ejecución de las labores:

- a) Ensamble de andamio aislado (Anexo 2).
- b) Instalación de jumper (Anexo 3).
- c) Cambio de aislador tipo pin (Anexo 4).
- d) Conexión, desconexión o reposición de bajantes de línea a equipos de patio (Anexo 5).

2.3.2 Diagnóstico. Con el objetivo de efectuar una correcta planeación y programación del trabajo, se debe efectuar un diagnóstico previo de la condición operativa y de seguridad del equipo o instalación a intervenir, el acceso y condiciones del sitio de trabajo, las estrategias de atención en primeros auxilios y de mayor nivel para el personal en caso de emergencia. En caso de detectarse riesgo inminente en la instalación que comprometa la integridad de los linieros con tensión, deber contemplarse la opción de desenergizar y realizar la actividad con personal de mantenimiento sin tensión para disminuir el riesgo identificado.

2.3.3 Planeación. Toda actividad de operación y mantenimiento con tensión debe ser documentada en un plan de trabajo definido por la empresa, el cual debe presentarse para aprobación de las instancias y personas designadas por la entidad, teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Para trabajos con tensión se estipula un plan semestral de mantenimiento, el cual permita intervenir los diferentes equipos identificados como críticos por medio de análisis termográficos y aquellos que para el sistema eléctrico no sea tan viable su desconexión por las consecuencias de demanda no atendida o afectación de producción industrial que pueden acarrear.

2. Para la planeación de cada actividad se debe realizar una visita en campo, mínimo con 7 días de antelación donde se diligencie la lista de verificación y planeación que permita determinarlo siguiente:

a) Determinar si el trabajo se debe realizar con tensión o sin tensión.

b) Identificar el equipo a intervenir y analizar el tipo de actividad a realizar.


c) Determinar el método de trabajo.

d) Determinar el material y equipos necesarios para la ejecución de la actividad.

e) Determinar el tiempo de ejecución de la tarea y el tiempo necesario para la ejecución de los procedimientos operativos y de gestión de seguridad.

f) En todo caso, se debe hacer la solicitud de consignación requerida, atendiendo a la normatividad que aplique.

Figura 3. Formato de planificación de actividades para trabajos de mantenimiento.

		CHEC LISTA DE CHEQUEO PLANEACIÓN TRABAJOS MANTENIMIENTO SUBESTACIONES, LÍNEAS Y CONTROL Y PROTECCIONES FO-DI-08-002-114 Versión 1.0													
EQUIPO DE TRABAJO: _____		SEMANA: _____				FECHA INICIAL _____				FECHA FINAL _____					
NOTA 1: Este formato debe ser diligenciado como requisito previo para la ejecución de cualquier trabajo sobre la infraestructura del sistema de distribución de energía eléctrica de CHEC. Debe ser diligenciado por el jefe de grupo de trabajo o encargado, con la participación activa de su equipo de trabajo, previa socialización de las respectivas actividades y riesgos asociados.															
Nota 2: Para cada numeral debe señalarse claramente su aplicabilidad y cumplimiento en la casilla correspondiente (C: Cumple / NA: No aplica).															
INFORMACIÓN DEL TRABAJO A REALIZAR		LUNES		MARTES		MIÉRCOLES		JUEVES		VIERNES		SABADO		DOMINGO	
Esta lista debe diligenciarse en todos los trabajos, ya que toda actividad por sencilla, importante o urgente que sea, debe ejecutarse con todas las normas de seguridad requeridas	Responsable de la Planeación:														
	No. de la orden de trabajo:														
	Circuito:														
	Subestación:														
	Hora de inicio (hh:mm):														
	Hora de terminación (hh:mm):														
Nº	ASPECTO A GARANTIZAR	C	NA	C	NA	C	NA	C	NA	C	NA	C	NA	C	NA
1	Se realizó vista de verificación en campo para evaluación de la actividad.														
2	Se aprobó la orden en SGO o Consignación Nacional														
3	Se realizó la planeación de los avisos de suspensión para que se informe a los clientes.														
4	Se verifica en los sistemas de información cruces de líneas o proximidad de circuitos que pueden afectar la ejecución en los														
5	Se dispone de las herramientas, elementos de protección personal, equipos, medios de comunicación y materiales suficientes para la actividad de mantenimiento.														
6	Se dispone de la cantidad de personal suficiente para la ejecución de la orden de trabajo.														
7	Se tiene identificada la información esencial de los organismos de socorro (hospital, bomberos, defensa civil, policía) en caso de ser requerido.														
8	Se dispone del parque automotor necesario y adecuado para la ejecución de la orden de trabajo.														
9	Se dispone de los permisos ambientales para la ejecución de la orden de trabajo.														
10	Se dispone de un sustituto (Back Up) o segundo al mando en coordinar la orden de trabajo (selección hecha por el líder que coordina la orden de trabajo).														
11	Se requiere acompañamiento de Profesional o Asistente para la ejecución de trabajos?														
12	Se tiene conocimiento de los peligros y riesgos que se tienen en la actividad														
13	Se conoce algún pendiente o limitación de los equipos que puedan obstaculizar la ejecución de trabajos														
ODT	OBSERVACIONES O PENDIENTES A LOS PUNTOS PLANTEADOS														
DATOS DE QUIEN DILIGENCIA LA LISTA DE CHEQUEO		FIRMAS													
NOMBRE Y APELLIDO		C.C.													

2.3.4 Programación. La programación de mantenimiento se deberá entregar física o electrónicamente (vía correo), al responsable (coordinador o jefe) del grupo de trabajo a cargo de la ejecución de la labor, quien a su vez será el encargado de direccionar la orden de trabajo. La programación debe ser suministrada a más tardar el viernes de la semana inmediatamente anterior y se debe especificar las actividades a realizar la semana siguiente, el equipo a intervenir, el día, hora y lugar de ejecución, el número de la orden de trabajo y las observaciones pertinentes. Adicional a esto se debe tener en cuenta la siguiente tabla:

Figura 4. Formato de programación semanal de mantenimiento para trabajos con tensión.

SEMANA XXX MES XXXXXXXX DÍA XXX AÑO XXXX												
GRUPO TCT RESPONSABLE XXXX XXXXX												
Día	Equipo	Hora	CN	ODO SGO	OTJD	Observaciones	Equipo	Hora	CN	ODO SGO	OTJD	Observaciones

a) Designar un jefe de trabajo quien será el responsable de recibir el equipo o instalación a intervenir en las condiciones operativas definidas y aprobadas, coordinar las actividades de ejecución y entregar a quien corresponda, el equipo o instalación intervenida con las nuevas condiciones operativas.

b) En el documento aprobado se establecerá con claridad el nombre del jefe de trabajos principal y su sustituto, el tipo de instalación o el equipo a intervenir, con su identificación característica (nombre, nivel de tensión, capacidad, entre otros), parte a intervenir, fechas y horario de inicio y fin, tiempo programado de ejecución, actividades paso a paso y medidas de seguridad.

c) Todas las personas convocadas para ejecutar las actividades planeadas deben tener las competencias y la habilitación requerida según la responsabilidad asignada.

d) La empresa debe establecer procedimientos de emergencia para los casos en que los aspectos anteriormente señalados no puedan cumplirse.

2.3.5 Ejecución. Para la ejecución, se debe tener en cuenta:

a) Realizar una reunión inicial 30 minutos antes de cada actividad donde se realice la calistenia y estiramiento, con el fin de entrar en ritmo para el inicio de las labores.

b) Siempre, en el sitio de trabajo y antes de iniciar las actividades, el jefe de trabajo hará una reunión con el personal para explicar claramente el alcance del trabajo, utilizando planos y diagramas. El jefe de trabajo debe informar el método de trabajo, los riesgos asociados y medidas de seguridad, verificar el uso de los elementos de protección personal y colectivo, designar y confirmar la responsabilidad asignada a cada uno de los ejecutores. Confirmar que las instrucciones hayan sido comprendidas y llenar los formatos y listas de chequeo.

c) Como parte de las medidas de seguridad, el jefe de trabajo o quien este designe, debe hacer una revisión minuciosa de las condiciones de la instalación (estructuras, circuitos, cajas de conexiones, cubiertas, equipos, ambiente de trabajo, etc.), para detectar los riesgos posibles y determinar las medidas que deben adoptarse para evitar los accidentes.

d) Demarcar y señalizar la zona de trabajo cuando se inicie cualquier trabajo que pueda poner en peligro la seguridad de los trabajadores y los particulares, de acuerdo a la normatividad nacional o internacional vigente, acogida por la empresa.

e) Siempre que se trabaje en áreas con secciones múltiples muy semejantes como el caso de una sección de subestación, se debe marcar la sección de trabajo en forma

muy notoria, acordonándola o usando barreras con avisos preventivos, a fin de que sean identificadas claramente las partes desenergizadas y las partes energizadas, evitándose con esto contactos accidentales en partes energizadas, tanto de la sección de trabajo como de las adyacentes.

f) Realizar limpieza y reportar terminación de los trabajos y condiciones de los equipos e instalaciones intervenidas.

g) De las actividades de mantenimiento, se debe elaborar un informe, resaltando los cambios o pendientes para los futuros trabajos.

h) Debe llevarse un registro de todas las irregularidades que alteren las condiciones de los equipos o instalaciones. Debe hacerse trazabilidad de los deterioros registrados hasta darles la solución óptima.

2.3.6 Supervisión y control. En la supervisión de los trabajos debe considerarse en forma prioritaria la detección y el control de los riesgos, vigilando el cumplimiento estricto de las normas y procedimientos de seguridad aplicables, incluyendo:

a) Cumplir y hacer cumplir las normas y procedimientos de seguridad.

b) Exigir a los trabajadores la inspección de las herramientas, equipos, instrumentos, elementos de protección personal y colectivos, antes y después de su uso.

c) Verificar que los trabajadores ejecuten su trabajo conforme a los procedimientos y guías establecidos, evitando el uso de herramientas, equipos, instrumentos, elementos de protección personal y colectivos defectuosos.

d) Verificar la delimitación y señalización del lugar de trabajo.

e) En el evento de detectarse algún impedimento en un trabajador para la ejecución de un trabajo, debe retirarse del área.

f) Exigir respeto entre los trabajadores en el área de trabajo para prevenir accidentes.

g) Suspender las labores cuando se presente peligro inminente que ponga en riesgo la salud o la integridad de los trabajadores de la comunidad, de la propiedad o del medio ambiente. (Como por ejemplo en caso de lluvias, tormentas eléctricas, problemas de orden público o distancias de seguridad inadecuadas).

Parágrafo: Los trabajadores en proceso de capacitación, entrenamiento o practicantes, desarrollarán trabajos con la dirección de una persona experimentada quien permanecerá en el lugar de trabajo. [1]

2.4 MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES Y LÍNEAS

Las intervenciones por mantenimiento en subestaciones y líneas CHEC, deben garantizar las mínimas condiciones en la calidad del servicio, las cuales son definidas por la Comisión Reguladora de Energía y Gas (CREG). Es importante para la planeación de los mantenimientos tener presente la supervisión y control de ésta, además de la Resolución 097 del 2008¹⁰, en la cual se establecen las máximas horas anuales de no disponibilidad permitida de los activos del STR y la formulación con la intención de determinar las compensaciones por demanda no atendida para el SDL. Estas resoluciones son determinantes en la programación de las diferentes actividades del mantenimiento correspondiente en acciones preventivas, predictivas y correctivas.

¹⁰ COLOMBIA. COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS. Resolución 97 del 26 de septiembre de 2008. Por la cual se aprueban los principios generales y la metodología para el establecimiento de los cargos por uso de los Sistemas de Transmisión Regional y Distribución Local. Capítulo 11.

A continuación, se hace una descripción de estos asociados a los diferentes activos de subestaciones.

2.4.1 Alcance de las actividades de mantenimiento en subestaciones y líneas. El alcance de las actividades a desarrollar con el grupo de trabajos con tensión eléctrica varía según el tipo de mantenimiento a practicar y el equipo que se vaya intervenir. Para esto, se asocian a continuación las diferentes tareas que se pueden realizar en campo bajo alguno de los métodos de trabajo con tensión a los equipos de potencia (contacto, potencial, distancia) que conforman las subestaciones y líneas.

Es importante aclarar que desde el área de mantenimiento se ha establecido para trabajos con tensión, realizar actividades asociadas a los tipos de mantenimiento predictivo y preventivo. El mantenimiento correctivo se exime de realizarse ya que su ejecución sería en caso de falla de algún equipo, y de ser así podrá ser atendido por personal de mantenimiento avalado para ejecutar actividades en frío.

2.4.2 Criterios de mantenimiento. A continuación, se definen los criterios de mantenimiento para trabajos los diferentes equipos a intervenir por el grupo de trabajo con tensión, que se deben tener presentes a la hora de programar, coordinar y ejecutar este tipo de actividades. Estos criterios han sido establecidos y adoptados por el área de mantenimiento a subestaciones y líneas de CHEC S.A basados en la experiencia del personal, trabajos de campo, recomendaciones de fabricantes, lineamientos empresariales, normatividad vigente, análisis de fallas, criticidad de equipos, entre otras.

2.4.2.1 Criterios para mantenimiento a interruptores de potencia. Para la realización de la programación del plan de mantenimiento es importante tener en cuenta que el mantenimiento a equipos de interrupción bajo carga, se hace considerando todas las variables de los historiales de mantenimiento acumulados. Es decir, se establece una relación entre todas las variables que impliquen una determinación del desgaste del equipo, técnicas, mecánicas y operativas y se

relacionan a través de una formulación matemática que permita determinar la criticidad del activo, (ver anexo 1).

Dado que muchos de estos activos son fabricados por Asea Brown Boveri (ABB), las recomendaciones de éste para mantenimiento a interruptores de potencia son consideradas. Entre los criterios para hacer mantenimiento a interruptores de potencia según el fabricante ABB se encuentran.

- ✓ Diferencia de temperatura entre los contactos principales del interruptor superior a 5°C.

- ✓ Para una operatividad acumulada de 10000 operaciones o 30 años de funcionamiento, el fabricante recomienda hacer montaje de nuevos contactos y hacer mantenimiento a la cámara.

- ✓ Cada 15 años o 5000 operaciones de conexión – desconexión se debe hacer cambio de SF6.

Entre los asumidos por el agrupador de mantenimiento a subestaciones se encuentran:

- ✓ Resistencia de contactos del último mantenimiento superior al 200% de la referenciada por el fabricante o el valor promedio de equipos de la misma marca.

- ✓ Operatividad del equipo.

- ✓ Historial de mantenimiento del equipo.

- ✓ Alineación del mantenimiento con otras actividades.

Finalmente, la periodicidad del mantenimiento se hace considerando:

a) Criticidad del interruptor.

b) Desgaste eléctrico en los últimos mantenimientos.

c) Periodicidad en mantenimientos anteriores.

d) Consideraciones de CREG para el STR y el SDL.

e) Operatividad del equipo e importancia de éste en el sistema.

Del anterior análisis resulta que la periodicidad de mantenimiento para interruptores de potencia y tomando como referencia el último mantenimiento es:

✓ Los equipos en los niveles de tensión 2 y 3 (SDL), presentan un mayor nivel de vulnerabilidad en el sistema, debido a la configuración de los circuitos y su correspondiente funcionamiento, además de un mayor número de operaciones de éstos; por tal motivo es importante que la programación de éstos se realice en periodos de 2 años.

✓ A las celdas de nivel de tensión 3 se les realizará mantenimiento cada dos años dadas las estadísticas de las pruebas arrojadas, que evidencian un buen estado de funcionamiento. Además, son equipos que están resguardados del sol y del agua lo cual sugiere un mayor tiempo para su mantenimiento, con base a esto y teniendo en cuenta la operatividad, se efectúa la programación de mantenimiento de seccionadores de puesta a tierra en intervalos iguales de 2 años.

✓ A las celdas de nivel de tensión 2, se les realizará mantenimiento cada dos años. Se aprovechará apertura de la bahía de transformación 33/13,2kV para la ejecución de esta actividad.

✓ A los interruptores de nivel de tensión 3 tipos intemperie, se les realizará mantenimiento cada dos años, estos se pasarán por *by-pass*. Cada dos años también

se abrirán las bahías de transformación para realizar pruebas de equipos en general, tierras y demás elementos asociados.

✓ A los reconectores de niveles de tensión 2 y 3, se les realizará mantenimiento por by-pass cada 2 años.

✓ Los interruptores correspondientes a las transferencias tendrán un mantenimiento con periodos de 2 años debido a la poca operación de éstos.

✓ Los interruptores de 115 kV tendrán un mantenimiento cada dos (2) años.

✓ Los interruptores inmersos en aceite tendrán una periodicidad de mantenimiento anual, debido al deterioro del medio aislante.

El tipo de labores realizadas en el mantenimiento preventivo corresponde a:

✓ Prueba eléctrica de resistencia de contactos.

✓ Prueba eléctrica de aislamiento a polos del interruptor.

✓ Prueba de vacío.

✓ Tiempos de operación para cierre y apertura.

✓ Limpieza y lubricación.

✓ Inspección y ajustes a contactos.

El formato empleado para el diligenciamiento de información en el Mantenimiento a Interruptores de Potencia es FO-DI-08-002-008.

2.4.2.2 criterios para mantenimiento a barrajes. Las labores de mantenimiento para barrajes se coordinarán a través de las actividades asociadas a interruptores de potencia y transformadores de potencia. La frecuencia para hacer mantenimiento a éstos es:

✓ Se hará mantenimiento a barrajes de nivel de tensión 2 en celdas tipo interior, cada 2 años aprovechando la salida del transformador 33/13.2 Kv.

✓ En niveles de tensión 2, 3 y 4 con equipos al aire se hará mantenimiento al barraje dependiendo de las condiciones propias del medio ambiente en el cual están expuestos los equipos y coordinando esta actividad con las salidas para mantenimiento de los transformadores de potencia.

✓ El mantenimiento a barrajes y aislamiento se realizará según se considere en las pruebas de ultrasonido.

2.4.2.3 Criterios para mantenimiento a equipos de medida. La frecuencia de mantenimiento para equipos de medida se realizará considerando:

✓ A las fronteras comerciales del STR, se les realizará pruebas y mantenimiento a los equipos de medida de la bahía asociada cada que se programe pruebas al interruptor de potencia de la bahía. Siendo así, se requerirá la bahía totalmente abierta y la cuchilla de puesta a tierra cerrada.

✓ Cuando se haga intervención por mantenimiento a líneas, se aprovechará ésta, para hacer mantenimiento a los equipos de medida asociados a las bahías implicadas.

✓ Todo equipo de medida antes de entrar en servicio deberá contar con todas las pruebas eléctricas de puesta en servicio.

2.4.2.4 Criterios para mantenimiento a seccionadores. El mantenimiento a seccionadores de potencia se hará considerando:

✓ Se realizará mantenimiento a los seccionadores de línea o salida (7) y a los de Bypass o transferencia (6), Cuando se realice mantenimiento sobre la línea o se declare no operativa, todos los equipos de corte deben estar abiertos y aterrizados mediante el seccionador de puesta a tierra (9).

✓ Se realizará mantenimiento a los seccionadores de barra (1) cuando se desenergicen los barrajes por condiciones de mantenimiento.

2.4.2.5 Criterios para mantenimiento a transformadores de potencia. Se considera la matriz de criticidad para toma de muestras de aceite dieléctrico de transformadores de potencia, además del resultado de pruebas eléctricas realizadas a cada uno de los equipos con el fin de determinar las acciones a tomar sobre los activos de transformación del STR como SDL. Algunas consideraciones generales son:

✓ Reposición Equipos.

✓ Pruebas Eléctricas.

✓ Mantenimiento Cambiador Tomas.

Los criterios técnicos para determinar el estado funcional del activo son:

✓ Factor de potencia ($\cos \varphi$) y Factor de disipación ($\tan \delta$).

✓ Resistencia de aislamiento.

✓ Relación de transformación.

✓ Resistencia óhmica de devanados.

✓ Corriente de excitación.

✓ Respuesta en Frecuencia SFRA.

Ahora bien, teniendo en cuenta toda y cada uno de los aspectos anteriores, se procede a realizar el diagnóstico de los transformadores de potencia con el fin de establecer el tiempo en el cual se les debe de realizar su próximo mantenimiento, de ésta manera se cuenta con los criterios fundamentales para establecer la programación de mantenimiento predictivo.

En relación con el soporte de los criterios tenidos en cuenta para la evaluación de las pruebas a los transformadores de potencia, se cuenta con un estudio de las normas aplicables a las necesidades para establecer así cada uno de los parámetros mostrados.

✓ IEEE C57.12.90: IEEE Standard Test Code for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers¹¹.

✓ IEEE STD. 62: IEEE Guide for Diagnostic Field Testing of Electric Power Apparatus - Part 1: Oil Filled Power Transformers, Regulators, and Reactors¹².

¹¹ INSTITUTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA –IEEE–. Norma IEEE C57.12.90: IEEE. Standard Test Code for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers (Prueba estándar de código para distribución por inmersión líquida, poder y transformadores regulados). New York. [Online] <<http://ieeexplore.ieee.org/document/5610578/?reload=true>>

¹² INSTITUTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA –IEEE–. Norma IEEE STD. 62:1995 IEEE Guide for Diagnostic Field Testing of Electric Power Apparatus - Part 1: Oil Filled Power Transformers, Regulators, and Reactors (Guía para el diagnóstico de campos de prueba en aparatos de poder electrónico – Parte 1:

✓ IEEE STD. 43: IEEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Rotating Machinery¹³.

✓ NTC 741: Transformadores. Relación de transformación, verificación de la polaridad y relación de fase¹⁴.

✓ IEC 60076-1: Power transformers – Part 1: General¹⁵.

Cada una de las normas anteriormente mencionadas, aportan características particulares que satisfacen las necesidades de cada prueba relacionada con aquellas que le correspondan.

➤ **Rutinas de Mantenimiento a Transformadores de potencia de 115kV**

Teniendo en cuenta los criterios técnicos y estudio de las condiciones operativas de los activos transformadores SDL como STR en relación a cargabilidad, número de

transformadores de poder de gasolina, reguladores y reactores). New York. 1990. [Online]. Tomado de la página alojada en: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/467562/>>

¹³ INSTITUTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA –IEEE–. Norma IEEE STD. 43:2013 IEEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Rotating Machinery (Práctica reomendada para pruebas de resistencia aislada de máquinas en rotación). New York. 2013. [Online]. <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6754111/>>

¹⁴ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN –ICONTEC–. Transformadores. Relación de transformación, polaridad y relación de fase. Bogotá. Instituto nacional de normas técnicas y certificación. 2017.

¹⁵ COMISIÓN INTERNACIONAL ELECTROTÉCNICA –IEC–. IEC 60076-1: Power transformers – Part 1: General (Transformadores de poder – parte 1: general). Ginebra, Suiza. 2011. [Online] <<https://webstore.iec.ch/publication/588>>

operaciones del cambiador (conmutador), monitoreo periódico del aislante mediante pruebas de laboratorio, y se determinan las consideraciones estipuladas en la tabla (1).

➤ **Rutinas de Mantenimiento a Transformadores de potencia de 33kV**

Para realizar un diagnóstico adecuado del estado de los transformadores de potencia en lo referente a pruebas eléctricas, fue necesario realizar un estudio detallado de cada uno de los aspectos más relevantes para éste, como lo son la selección de pruebas eléctricas completas recomendadas a realizarse “ver tabla (2)”, el soporte normativo a cada una de las pruebas indicadas, y el análisis de los históricos de pruebas realizadas a los equipos de las subestaciones de CHEC. Esto con el fin de obtener con la integración de éstas un estado general y su respectiva programación para la realización del próximo mantenimiento.

Tabla 1. Pruebas transformadores de Potencia del STR (115Kv)

	<p>Pruebas Eléctricas Cada 2 Años - Mantenimiento Conmutador cada 4 Años</p>	<p>Mantenimiento conmutador comprende cambio de aceite, limpieza de contactos</p>	<p>Pruebas SFRA Cada 4 Años - en caso de presentar eventos en el activo</p>	<p>Transformadores sometidos a reposición efectuar pruebas eléctricas al año para verificar su comportamiento</p>
	<p>Pruebas Eléctricas Cada 2 Años - Mantenimiento Conmutador cada 4 Años</p>	<p>Mantenimiento conmutador comprende cambio de aceite, limpieza de contactos</p>	<p>SFRA pruebas cada 4 años, en caso de evento sobre el activo</p>	
	<p>Pruebas Eléctricas Cada 2 Años - Mantenimiento Conmutador cada 4 Años</p>	<p>Mantenimiento conmutador comprende cambio de aceite, limpieza de contactos</p>	<p>SFRA pruebas cada 4 años, en caso de evento sobre el activo</p>	
	<p>Pruebas Eléctricas Cada 2 Años - Mantenimiento Conmutador cada 4 Años</p>	<p>Mantenimiento conmutador comprende cambio de aceite, limpieza de contactos</p>	<p>SFRA pruebas cada 4 años, en caso de evento sobre el activo</p>	

Tabla 2 Pruebas transformadores de Potencia del STR (33kV)

Pruebas Eléctricas Cada 2 Años - Mantenimiento Conmutador cada 4 Años	Mantenimiento conmutador comprende cambio de aceite, limpieza de contactos	Pruebas SFRA Cada 4 Años - O en caso de presentar eventos en el activo	Transformadores sometidos a reposición efectuar pruebas eléctricas al año para verificar su comportamiento
Pruebas Eléctricas Cada 2 Años - Mantenimiento Conmutador cada 4 Años	Mantenimiento conmutador comprende cambio de aceite, limpieza de contactos	SFRA pruebas cada 4 años, en caso de evento sobre el activo	
Pruebas eléctricas cada 2/3 años de acuerdo a resultado de pruebas eléctricas - Estadística de eventos se replantea la frecuencia	N/A	SFRA pruebas cada 4 años, en caso de evento sobre el activo	
Pruebas eléctricas cada 2/3 años de acuerdo a resultado de pruebas eléctricas - Estadística de eventos se replantea la frecuencia	N/A	SFRA pruebas cada 4 años, en caso de evento sobre el activo	

2.4.3 Criterios para termografía y ultrasonido en subestaciones

El mantenimiento predictivo se realiza por medio de inspecciones continuas o periódicas alineado con toma de muestras de aceite dieléctrico para análisis fisicoquímico y eléctrico, así como de cromatografía de gases.

- ✓ Realizar inspección de termografía y ultrasonido en subestaciones mayores en horas de mayor demanda (horas pico).
- ✓ Alineado con el cronograma de muestreo de aceites para análisis fisicoquímico de aceites se realiza inspección termográfica como de ultrasonido en todas las subestaciones para dos recorridos año en cada una de ellas.
- ✓ Realizar termografías previas a las intervenciones de los activos de subestaciones como líneas.
- ✓ Realizar termografías críticas posterior a la intervención del activo.
- ✓ Los criterios de diagnóstico seguimiento e intervención están descritos en la tabla.

Tabla 3 Criterios de diagnóstico para termografía y ultrasonido.

CRITERIOS DE DIAGNOSTICO		
1	Realizar seguimiento	0 - 10 °C
2	Programar para su reparación	11 - 20 °C
3	Programar para su reparación en el menor tiempo posible	21 - 40 °C
4	Atención inmediata	> 40 °C

Tabla 4. Recorrido de líneas para termografía y ultrasonido según nivel de impacto

CANTIDAD DE FALLAS			
NIVEL DE IMPACTO	VALOR IMPACTO	CANTIDAD DE FALLAS	FRECUENCIA RECORRIDO
MUY ALTO	□ 20	2	3 VECES AÑO
ALTO	14 - 19	5	3 VECES AÑO
MEDIO	5 - 13	14	2 VECES AÑO
BAJO	0 - 4	38	2 VECES AÑO

✓ Criterios aplicables en MUY ALTO, Subestaciones Armenia y La Rosa, con tres (3) recorridos al año.

✓ Criterios aplicables en ALTO, Subestaciones Chinchiná, Enea, Esmeralda, Virginia, Manizales, tres (3) recorridos al año.

✓ Criterios aplicables en MEDIO, Subestaciones Aguadas, Anserma, Campestre, Dorada, Dorada Norte, El Dorado, Ínsula, Irra, Hermosa, Neira, Peralonso, Regivit, Samaná, Supia, con dos (2) recorridos al año.

✓ Criterios aplicables en BAJO, Alta Suiza, Altamar, Aranzazu, Balboa, Belalcazar, Belén de Umbría, Bello Horizonte, Bolivia, Chipre, El Llano, Filadelfia, Florencia, Guarato, Guarinocito, La Felisa, La Manuela, La Margarita, La Merced, Las Coles, Manzanares, Marmato, Marquetalia, Marsella, Mistrató, Norcasia, Pacora, Pensilvania, Pueblo Rico, Quinchia, Riosucio, Risaralda, Salamina, San Antonio Del Chami, Santa Cecilia, Santuario, Victoria, Villamaría, Viterbo, con dos (2) recorridos al año.

El formato utilizado para los reportes de termografía y ultrasonido son FO-DI-08-002-087 y la metodología se describe en el anexo 4.

2.4.4 Criterios para mantenimiento a líneas. Se consideran algunos criterios que le dan cierto nivel de importancia a cada línea y que afectan el intervalo de tiempo en el que se hacen dichas tareas con el fin de proporcionar un grado mayor de confiabilidad sobre aquellos activos que son más representativos para el sistema y para la empresa. Estos criterios se estipulan estrictamente en el sentido operacional; si un modo de falla posee consecuencias para la seguridad o para el medio ambiente debe ser evitado a toda costa.

Se definen los siguientes criterios de valoración a tener en cuenta en el momento de definir qué tan importante o trascendente es cada línea para el sistema:

- ✓ Radialidad.
- ✓ Cargabilidad.
- ✓ Antigüedad y estado actual de deterioro.
- ✓ Condiciones ambientales.

Sumando a los anteriores criterios la trazabilidad de eventos para análisis de fallas, se desarrolla una matriz de criticidad de líneas, la cual permite priorizar el orden de mantenimiento a cada una de éstas. Se hace claridad que algunas de estas entran dentro de proyectos de remodelación.

La trazabilidad de eventos se realiza a través del área de operación donde se dispone de base de datos de eventos de falla, la cual puede ser consultada y filtrada para 46 tipos de eventos regulatorios.

Entre otros criterios que se tienen en cuenta para determinar el mantenimiento a líneas, se tienen:

2.4.4.1 Criterios de evaluación del terreno. Verificar alteración superficial del terreno, tanto por erosión del mismo, como por alteración de sus propiedades, pueden ser causa de la pérdida de estabilidad de la fundación de la torre. Las principales causas de alteración del terreno pueden ser:

✓ Falla de talud ante eventos sísmicos.

✓ Erosión del terreno.

El personal encargado de la inspección puede evaluar el terreno definiendo su estado como bueno, regular, malo o crítico, de acuerdo con el nivel de afectación que tengan sobre la estabilidad, la cimentación de la torre y la erosión alrededor de la misma.

2.4.4.2 Criterios para evaluación de las estructuras. En cuanto al estado de las estructuras se puede considerar como:

✓ Regular. Cuando comienza la pérdida del galvanizado, con manchas de oxidación con surgimiento de burbujas.

✓ Malo. A partir del surgimiento de las escamas y la expansión de la sección, y después de eliminar las escamas el elemento ha perdido parte de su sección.

✓ Crítico. Cuando el elemento haya experimentado una pérdida del espesor, mayor (50%), hasta la pérdida casi completa del elemento.

Se debe revisar toda la estructura de forma visual. También mediante el tacto en algunos casos, como sitios donde existe desprendimiento de material como consecuencia de la corrosión, miembros flojos o faltantes, etcétera.

2.4.4.3 Criterios para la evaluación del estado de los aisladores. Las cadenas de aisladores en la línea inciden de forma directa en la operación confiable de la misma. Deben soportar esfuerzos eléctricos y mecánicos ocasionados por descargas de energía, sobre tensiones, cambios bruscos de temperatura, vibraciones, etc. La distribución de tensión en la cadena de aisladores debe garantizar que no se presente el efecto corona, ya que este fenómeno provoca la aparición de un agente corrosivo además de producir pérdidas de energía.

El elemento aislante se puede considerar como:

✓ Regular. Cuando es producto de descargas superficiales se observan sobre el material aislante líneas de fugas estrechas y discontinuas.

✓ Malo. Cuando es producto de descargas superficiales se observan sobre el material aislante líneas de fugas estrechas y continuas.

✓ Crítico. Existen tres criterios:

- En el caso de aisladores de porcelana. Cuando se observa rotura o agrietamiento en la superficie aislante.

- En el caso de aisladores de vidrio. Cuando se observa carencia de la parte aislante.

El elemento metálico se puede considerar como:

✓ Regular. Cuando el pin del aislador presenta pérdida del galvanizado, con manchas de oxidación con surgimiento de burbujas.

✓ Malo. Cuando en el pin del aislador hay surgimiento de las escamas y la expansión de la sección.

✓ Crítico. Cuando el pin del aislador ha experimentado una pérdida del espesor, mayor (50 %), hasta la pérdida casi completa del elemento.

Esta inspección consiste en observar, desde la estructura de la torre, las cadenas de aisladores y verificar la condición del material aislante (porcelana o vidrio) determinando si presenta alguna de las condiciones mencionadas anteriormente.

Entre otros criterios para determinar la criticidad de las líneas a intervenir se encuentran el ambiental y el social.

2.4.5 Inspección a subestaciones. Las inspecciones a subestaciones se hacen con el propósito de mantener el sistema de información de activos de las mismas actualizado. Se generan reportes de anomalías en la infraestructura de aquellas y hacer seguimiento a equipos a través del formato de equipos FO-DI-05-000-007 última versión y registro fotográfico. Adicionalmente, las consignas de mantenimientos posteriores son retroalimentadas por esta labor. La inspección a subestaciones se realiza en cinco (5) rutas y con una frecuencia de tres (3) veces al año; dicha frecuencia se define a partir del programa de mantenimiento como también el orden de inspección. A través de éstas se hace seguimiento a todos los equipos de servicios auxiliares y equipos de patio de la subestación.

2.4.5.1 Inspección líneas. Es un seguimiento que se hace torre por torre de la línea de transmisión. Se busca conocer:

- a) La condición de las fundaciones y terreno alrededor de las torres.
- b) La condición de las conexiones de puesta a tierra.
- c) La condición de la estructura en su totalidad.

d) La condición de las cadenas de aisladores.

e) La condición de los conductores, separadores, grapas, empalmes, amortiguadores y conexiones terminales.

f) La condición del cable de guarda, incluyendo todos sus elementos en el punto de anclaje a la torre.

Este tipo de inspección consiste en hacer una evaluación minuciosa en toda la línea y sus elementos. En cada estructura se observa el estado de la conexión a tierra y se observa a distancia el conductor, los aisladores, los herrajes y el cable de guarda. El conductor y el cable de guarda se revisan a lo largo de cada vano.

2.4.5.2 Estructuras

a) Inspección visual de ángulos.

b) Verificación de torque y sujeción de tornillos.

c) Inspección visual de distancias de seguridad.

d) Análisis de superficies metálicas (pintura, corrosión, galvanizado etc.).

e) Inspección de elementos para el ascenso.

f) Inspección de verticalidad de la estructura.

g) Estabilidad del suelo. Posibles fallas geológicas y erosión.

2.4.5.3 Conductores

a) Medir variables eléctricas (corriente, voltaje, potencia).

b) Retensionado de conductores.

c) Inspección de la flecha.

d) Inspección de los hilos del conductor.

e) Retiro de objetos extraños sobre la red.

f) Sustitución de puentes grapas y blindajes.

g) Inspección termográfica.

h) Tomar medidas de campo eléctrico y magnético buscando cumplir con la normatividad.

2.4.5.4 Cable de guarda

a) Retensionado de cable de guarda.

b) Inspección visual del cable de guarda buscando anomalías, flameo, corrimiento de herrajes, herrajes fundidos, etc.).

c) Retiro de objetos extraños sobre la red.

d) Inspección visual de la constitución física del cable de guarda.

2.4.5.5 Aislamiento

a) Inspección visual del estado físico (constitución física, limpieza y número de platos de aisladores.

b) Limpieza de cadena de aislamiento.

2.4.5.6 Herrajes

- a) Inspección visual del herraje verificando todos los accesorios.

- b) Inspección termográfica.

2.4.5.7 Templetes

- a) Inspección de integridad del templete.

- b) Verificación del estado de tensión mecánica.

2.4.5.8 Puestas a tierra

- a) Inspección visual de la presencia del conductor de puesta a tierra.

- b) Medida de la resistencia de puesta a tierra.

- c) Sustitución de cables de puesta a tierra rotos y dañados.

- d) Verificación de que todo el sistema esté aterrizado.

3. CONCLUSIONES

Procurar respetar los tiempos y periodos establecidos para la ejecución de las actividades de mantenimiento, teniendo en cuenta las prioridades, ya que se identifican alteraciones en la programación que desordenan la ejecución adecuada del plan.

Se debe tener en cuenta que en muchos casos los recursos para mantenimiento preventivo y predictivo son absorbidos especialmente por el mantenimiento correctivo, alterándose la ejecución del plan.

Con la elaboración del plan se debe garantizar mayor confiabilidad, reducción de costos y disminución de acciones correctivas.

Es importante tener en cuenta que la planeación presentada puede estar sujeta a cambios, debido a sucesos inesperados en los diferentes elementos del sistema. Sin embargo, éstos serán informados oportunamente a cada área relacionada, para lograr una correcta coordinación y funcionamiento.

Para cada una de las observaciones realizadas, se tiene claro que todas son dependientes unas de otras, para lo cual se debe integrar en un solo plan todos los aspectos relacionados, los cuales actualmente están siendo objeto de investigación y desarrollo en el área.

Las actividades a desarrollarse del plan de mantenimiento se encuentran debidamente especificadas en las programaciones de cada una de las áreas en consideración.

Es indispensable tener en cuenta las no disponibilidades que presentan los equipos para contar con una mejor programación.

Es necesario conocer las condiciones de servicio de los activos para garantizar la intervención preventiva de los mismos en el momento más oportuno para ello.

El reporte de eventos y consignas de incidentes y accidentes son fundamentales en la determinación de periodicidad en mantenimientos a activos de subestaciones y líneas.

BIBLIOGRAFÍA

COMISIÓN INTERNACIONAL ELECTROTÉCNICA –IEC–. IEC 60076-1: Power transformers – Part 1: General (Transformadores de poder – parte 1: general). Ginebra, Suiza. 2011. [Online] <<https://webstore.iec.ch/publication/588>>

COLOMBIA. COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS –CREG–. Resolución 97 del 26 de septiembre de 2008. Por la cual se aprueban los principios generales y la metodología para el establecimiento de los cargos por uso de los Sistemas de Transmisión Regional y Distribución Local. 2008.

COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 90708 del 30 de agosto de 2013. Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE). Bogotá. 2013.

COLOMBIA. MINISTERIO DE PROTECCIÓN SOCIAL. Resolución 1348 de 2009. Por la cual se adopta el Reglamento de Salud Ocupacional en los Procesos de Generación, Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica en las empresas del sector eléctrico. Bogotá. 2009.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN –ICONTEC–. Transformadores. Relación de transformación, polaridad y relación de fase. Bogotá. Instituto nacional de normas técnicas y certificación. 2017.

INSTITUTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA –IEEE–. Norma IEEE C57.12.90: IEEE. Standard Test Code for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers (Prueba estándar de código para distribución por inmersión líquida, poder y transformadores regulados). New York. 1990. [Online]. Alojado en la página web: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/5610578/?reload=true>>

INSTITUTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA –IEEE–. Norma IEEE STD. 43:2013 IEEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of

Rotating Machinery (Práctica reomendada para pruebas de resistencia aislada de máquinas en rotación). New York. 2013. [Online]. <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6754111/>>

INSTITUTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA –IEEE–. Norma IEEE STD. 62:1995 IEEE Guide for Diagnostic Field Testing of Electric Power Apparatus - Part 1: Oil Filled Power Transformers, Regulators, and Reactors (Guía para el diagnóstico de campos de prueba en aparatos de poder electrónico – Parte 1: transformadores de poder de gasolina, reguladores y reactores). New York. 1990. [Online]. Tomado de la página alojada en: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/467562/>>