

DISEÑO DEL PLAN MAESTRO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO (PMM) DE
LOS ACTIVOS DE LAS SUBESTACIONES DE POTENCIA DE LA EMPRESA
ELECTRIFICADORA DE SANTANDER S.A.ESP

FABIÁN ALIRIO REMOLINA REYES
NÉSTOR JOSÉ VILLA JIMÉNEZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2014

DISEÑO DEL PLAN MAESTRO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO (PMM) DE
LOS ACTIVOS DE LAS SUBESTACIONES DE POTENCIA DE LA EMPRESA
ELECTRIFICADORA DE SANTANDER S.A.ESP

FABIÁN ALIRIO REMOLINA REYES
NÉSTOR JOSÉ VILLA JIMÉNEZ

Monografía de grado presentada como requisito para optar al título de Especialista
en Gerencia de Mantenimiento

Director
JAIME ALBERTO GUTIÉRREZ SILVA
Ingeniero Electricista

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2014

DEDICATORIA

A Dios por permanecer siempre junto a mí

A mis padres y hermanos por brindarme ese apoyo incondicional

A mi querida esposa por ser mi inspiración

A mi hermosa hija por ser la luz de mi vida

Fabían Remolina

A Dios por permitirme lograr esta nueva meta

A mis padres y mi familia por su amor y apoyo

Néstor José

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	14
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA COMPAÑÍA	14
1.2 RESEÑA HISTORICA DE LA COMPAÑÍA.....	14
2. DEFINICIONES.....	16
2.1 DEFINICIONES GENERALES.....	16
2.2. DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPO DE LAS SUBESTACIONES DE POTENCIA ESSA	21
2.2.1 Interruptores de nivel de 34,5 kV y 115 kV con medio de extinción en aceite (bajo nivel)	21
2.2.2 Interruptores de nivel de 34,5 kV, 115kV y 230kV con medio de extinción en gas SF6	23
2.2.3 Interruptor de 34,5kV WESTINGHOUSE (gran volumen de aceite)	25
2.2.4 CELDAS DE 13,8kV y 34,5kV	26
2.2.5 SECCIONADORES DE 230kV, 115kV y 34,5kV.....	28
2.2.6 RECLOSER DE 34,5kV Y 13,8 kV DE SF6	30
2.2.7 TRANSFORMADOR DE POTENCIA	32
2.2.8 PARARRAYOS DE 230kV, 115kV y 34, 5kV.....	33
2.2.9 BANCO DE BATERIAS:.....	34
2.2.10 CT's Y PT's (TRANSFORMADORES DE CORRIENTE Y POTENCIAL.....	35
2.2.10.1	35
2.2.10.2	35
2.3 HOJA DE VIDA DE LOS ACTIVOS	36
3. ANÁLISIS DE CRITICIDAD	51
4. ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (FMEA)	52
3.1 METODOLOGÍA	52
3.1.1 Modos de Falla.....	53
3.1.2. Tipos de Falla	53
3.1.3 Efectos de falla.....	53
3.1.4 Fuentes de información acerca de modos y efectos.	54
3.1.5 Requerimientos de mantenimiento de equipos de subestación.....	54

5. ESPECIFICACIONES DEL PLAN DE MANTENIMIENTO	60
6. PLAN DE MANTENIMIENTO	66
7. COSTOS DE MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES ESSA	68
8. CONCLUSIONES	72
BIBLIOGRAFÍA.....	73
ANEXOS	74

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Interruptor CEM RGE 36-50-800 34,5 Kv	21
Figura 2. Interruptor DELLE ALSTHOM HPGE 9/14C 34,5 kV	21
Figura 3. Interruptor NUOVA MAGRINI GALILEO MGE 1500 34,5 kV	22
Figura 4. Interruptor ASEA HLC 36-52/1250 B 34,5Kv	22
Figura 5. Interruptor DELLE ALSTHOM 7/12 34,5 KV	22
Figura 6. Interruptor DELLE ALSTHOM HPGE 11/15 E 115 kV	23
Figura 7. Interruptor de 34,5Kv SF6 Tipo EDFSK1-1 –Mando Resorte.....	24
Figura 8. Interruptor de 115 kV SF6 Tipo LTB - Mando de Resortes.....	24
Figura 9. Interruptor de 115 kV SF6 Tipo FLX - Mando Hidráulico	24
Figura 10. Interruptor de 230kV SF6 Mando Neumático tipo SB6	25
Imagen 11. Interruptor de 230kV SF6 Tipo FL - Mando Hidráulico	25
Figura 12. Interruptor WESTINGHOUSE DE 34,5 kV con medio de extinción de aceite	26
Figura 13. Celda MERLIN GERIN uso tipo interior Vista Frontal	27
Figura 14. Celda MERLIN GERIN uso tipo interior Vista Lateral	27
Figura 15. Celda SIEMENS RETROFIT uso tipo interior.....	27
Figura 16. Celda AEG WIA de 34,5 kV	28
Figura 17. Seccionador de tres columnas con doble apertura 34,5 kV	28
Figura 18. Seccionador de tres columnas con doble apertura 230kV.	29
Figura 19. Seccionador de dos columnas con una apertura 34,5kV	29
Figura 20. Seccionador de dos columnas con una apertura 115kV	29
Figura 21. Recloser GVR 15 kV	30
Figura 22. Recloser OVR 38kV	31
Figura 23. Recloser Nu Lec 34,5 kV	31
Figura 24 Transformador de 34.5/13.8 kV.....	32
Figura 25. Pararrayos Epóxico de 230 kV.....	33
Figura 26. Pararrayos en porcelana de 34,5kV	33
Figura 27. Banco de Baterías.....	35
Figura 28. Formato de mantenimiento de equipos	64

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Transformadores de potencia.	36
Tabla 2. Interruptores en SF6.....	40
Tabla 3. Interruptores en aceite	48
Tabla 4. Interruptores de soplado magnético.	50
Tabla 5. Requerimientos de mantenimiento de transformadores de potencia.	55
Tabla 5. Requerimientos de mantenimiento de bahías de 230kV.....	58
Tabla 6. Requerimientos de mantenimiento de bahías de 115kV.....	59
Tabla 7. Requerimientos de mantenimiento de bahías de 34,5kV/13,8kV.	60
Tabla 8. Requerimientos de mantenimiento predictivo.....	60
Tabla 9. Tareas subsistema transformador de potencia.	61
Tabla 10. Tareas subsistema bahía 230kV	62
Tabla 11. Tareas subsistema bahía 115kV	62
Tabla 12. Tareas subsistema bahías 34,5kV/13,8kV.....	63
Tabla 13. Tareas de mantenimiento predictivo.....	63
Tabla 14. Plan de mantenimiento preventivo y predictivo de subestaciones.....	67
Tabla 15. Costos de tareas de mantenimiento de transformadores.	68
Tabla 16. Costos de tareas de mantenimiento de bahía de 230kV.	70
Tabla 17. Costos de tareas de mantenimiento de bahía de 115kV.	70
Tabla 18. Costos de tareas de mantenimiento de bahía de 13,8kV.	71
Tabla 19. Costos de tareas de mantenimiento predictivo.....	71

ANEXOS

ANEXO A. DESCRIPCIÓN DE LOS TRANSFORMADORES DE LAS SUBESTACIONES DE POTENCIA DE LA ESSA.....	74
ANEXO B. DIAGRAMA UNIFILAR SISTEMA DE POTENCIA ESSA.....	74

RESUMEN

TITULO: DISEÑO DEL PLAN MAESTRO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO (PMM) DE LOS ACTIVOS DE LAS SUBESTACIONES DE POTENCIA DE LA EMPRESA ELECTRIFICADORA DE SANTANDER S.A.ESP.*

AUTORES: FABIÁN ALIRIO REMOLINA REYES
NÉSTOR JOSÉ VILLA JIMÉNEZ **

PALABRAS CLAVES: Sistema de potencia, subestaciones, diagrama unifilar, niveles de tensión

DESCRIPCIÓN: El sistema de potencia de la electrificadora de Santander (ESSA) está conformado por un conjunto de subestaciones y sistemas de interconexión los cuales poseen equipos críticos que garantizan la continuidad del servicio de energía. Dentro de estos equipos se encuentran los transformadores de potencia y elementos de conexión en las bahías. Esta monografía reúne información de los activos y establece un plan de mantenimiento de este sistema de potencia.

La primera parte del documento describe los diferentes elementos que componen las subestaciones eléctricas del sistema de potencia y se describen términos importantes relacionados con el funcionamiento y el mantenimiento de dichos sistemas. Luego se realiza una descripción del sistema de potencia de la ESSA, y se muestra como anexo su respectivo diagrama unifilar que describe la interconexión de las subestaciones en sus distintos niveles de tensión.

Posteriormente se reúne la información actualizada de las hojas de vida de los activos de las subestaciones, seguida de la descripción de los tipos de falla de los activos con sus respectivos efectos y tareas de mantenimiento.

Por último se realiza el resumen de las tareas de mantenimiento de los elementos de las subestaciones y se establecen los periodos de mantenimiento los activos más importantes subestaciones del sistema de potencia de la ESSA.

*Monografía de grado.

** Facultad de ingenierías Físico – Mecánicas. Especialización en gerencia de mantenimiento.
Director: Jaime Alberto Gutiérrez.

ABSTRACT

TITLE: DESIGN OF PREVENTIVE MAINTENANCE MASTER PLAN (MMP) BELONG TO THE ASSETS OF SUBSTATION'S POWER FROM SANTANDER'S ELECTRICAL COMPANY *

AUTHORS: FABIÁN ALIRIO REMOLINA REYES
NÉSTOR JOSÉ VILLA JIMÉNEZ **

KEY WORDS: Power system, substation, unifilar diagram, levels of voltages.

DESCRIPTION: The power system of the Santander's electrical company (ESSA) is comprised of a set of substations and interconnection systems which possess critical equipment which ensure continuity of power service. This set of critical equipment is compounded power transformers and connection elements in the bays. This monograph collects information about assets and establishes a maintenance plan for this power system.

The first part of this document describes the various components that compound the electrical substations of the power system and it is described important terms related to the operation and maintenance of this systems. Then a description of the power system of the ESSA is performed, and it is shown as annex their respective unifilar diagram, that describes the interconnection of the substations at different levels of voltages.

Subsequently it is decribed the current information of the subestacion's assets register, followed by the fault types description of the assets with their respective effects and maintenance activities.

Finally the description about maintenance activities of the subestation's elements is done and maintenance periods of the most important assets of the ESSA's power system are fixed.

* Monograph.

** Faculty of Physical - Mechanic Engineering. Maintenance Management Especialization.

Director: Jaime Alberto Gutiérrez.

INTRODUCCIÓN

El sistema eléctrico de potencia de la ESSA está afectado por procesos de envejecimiento, a causa de las condiciones ambientales y del desgaste debido al funcionamiento. Al comienzo de la vida útil de los equipos los defectos empiezan a aparecer pero sus efectos no son perceptibles. Con el tiempo esos defectos se agravan, se hacen perceptibles y pueden medirse.

El mantenimiento busca optimizar el funcionamiento de los Sistemas Eléctricos de Potencia que dispone la Empresa durante su vida útil, para mantener la confiabilidad y la plena satisfacción de los clientes suministrándoles energía eléctrica y servicios de alta calidad.

1.1 DESCRIPCIÓN DE LA COMPAÑÍA

La Electrificadora de Santander S.A. E.S.P. denominada “ESSA” es una empresa de capital mixto, filial del Grupo Empresarial EPM, dedicada a la prestación de los servicios públicos de generación, distribución, transmisión, comercialización de energía y actividades conexas, en 87 municipios de Santander, dos de Bolívar, dos del sur del Cesar y uno de Norte de Santander.

Sus productos y servicios están dirigidos a todos los estratos residenciales; a los sectores comercial, industrial, oficial, alumbrado público, en las modalidades regulada y no regulada. Para desarrollar su objeto social y satisfacer a sus grupos de interés ESSA debe desarrollar, una infraestructura que le permita cumplir con los estándares de calidad y con las demás normas técnicas y regulatorias establecidas por las autoridades competentes.

1.2 RESEÑA HISTORICA DE LA COMPAÑÍA

La energía eléctrica llega por primera vez a Santander en 1.891 con el impulso de los distinguidos empresarios Julio Jones y Rinaldo Goelkel, quienes venciendo grandes obstáculos, instalan en Chitota la primera planta hidroeléctrica con un generador de corriente continua y un motor de turbina de 300 caballos de fuerza para iluminar las primeras viviendas y calles de la ciudad.

Bucaramanga se constituye en la segunda ciudad de Colombia, después de Bogotá, en contar con el servicio de energía eléctrica y la primera en suministrarla a la industria. La empresa de Jones y Goelkel se convirtió en la primera en el país en ofrecer luz incandescente para iluminar los hogares, donde se usaban bombillos de 16 vatios con el sistema tipo fijo, es decir, se contrataba un número

determinado de bombillos y para evitar abusos en cada vivienda se instalaba un limitador que impedía superar la capacidad pactada.

En las décadas de 1920 y 1930 funcionaron de manera aislada y por iniciativa privada, diversas plantas hidroeléctricas y otras con motores diesel que brindaban el servicio a 27 de los 73 municipios de Santander en ese entonces.

En 1927 se constituye la Compañía Penagos S.A. y años después entra en funcionamiento la planta de Zaragoza que resuelve en buena parte las necesidades de energía eléctrica de Bucaramanga.

En 1941 la Central Hidroeléctrica del Río Lebrija S.A., se constituye en la primera empresa en Colombia del sector eléctrico creada por asocio de la nación, el departamento y el municipio. Es así como con recursos del Estado y el liderazgo de Benjamín García Cadena, se construye la hidroeléctrica de Palmas en el río Lebrija.

Para abastecer a las provincias, se construyen las centrales de Guepsa y la Cascada en San Gil. Simultáneamente, se adelantan otros proyectos como la línea de transmisión Barrancabermeja – Puerto Wilches y Termobarranca.

El 21 de Julio de 1975 se consolida ESSA como la conocemos hoy, al incluir la infraestructura existente en García Rovira e Hilebrija Zona Sur.

En febrero de 2009, la Nación vende sus acciones a EPM Inversiones mediante un esquema que permitió a la Gobernación de Santander aumentar su participación accionaria del 14% al 22.48% sin aportar recursos.

De esta forma, ESSA entra a formar parte de un grupo empresarial que se caracteriza por su excelencia en la prestación de servicios públicos domiciliarios y como tal, adquiere el compromiso de lograr los indicadores que reflejen dicha excelencia en su área de influencia.

2. DEFINICIONES

2.1 DEFINICIONES GENERALES

Arco: Chispa producida por la proximidad de dos electrodos o contactos de diferente potencial eléctrico.

AOP: Área de Operación y Calidad.

Bahía: Conjunto de equipos que se utilizan para conectar una línea de transmisión o un transformador o un autotransformador al barraje de una subestación, al que los equipos que se utilizan para seccionar o acoplar barrajes o para transferir la carga de un barraje a otro.

Barrajes: Cables, tubos o barras de cobre o aluminio que conectan todas las bahías de una misma tensión.

Bajo Consignación: Es una instalación que se encuentra fuera de servicio y que se ha retirado de la explotación comercial para someterla a revisión o mantenimiento. La instalación queda a cargo de un “funcionario responsable de la consignación”, quien será la única persona autorizada para retornar a la explotación, la instalación o equipos consignados. El equipo consignado llevara la tarjeta de “NO OPERAR”.

Buje (Bushing o pasatapas): Son elementos que permiten entrar con los conductores de alta tensión hasta los arrollamientos del transformador; los bushing para tensiones de 13.8 kV y 34.5 kV están constituidos por una espiga conductora revestida de aisladores de porcelana. Para tensiones superiores los aisladores de porcelana pueden ser tipo condensador.

Cámara de Extinción de arco: Parte del disyuntor en la cual se alojan los contactos fijos y móviles, su función principal es la extinción del arco eléctrico que se produce al abrir o cerrar los contactos del interruptor.

Campo o Patio: Es el conjunto de equipos de potencia que al ser operados manual o automáticamente (ante consignación o ante falla) modifican en la subestación la conectividad de líneas, transformadores, grupos generadores, acopladores de barra, bancos de condensadores, etc. La conforman los seccionadores asociados, el disyuntor, PT's, CT's, pararrayos, sistema de puesta a tierra.

Campo Consignado: Salida o parte de una subestación a la que se ha pedido consignación al Centro de Control y que el operador (o centro de control) ha entregado para mantenimiento.

Campos de Línea: Conjunto formado por interruptor, seccionadores adyacentes, transformadores de corriente, transformadores de voltaje, pararrayos y cuchilla de puesta a tierra, que alimentan una línea de transmisión entre dos subestaciones.

Celda: Es un módulo totalmente cerrado compuesto por láminas metálicas, utilizado para alojar equipos de medida y corte de energía. Para este caso la celda contiene un disyuntor de tipo extraíble, el cual se desplaza en su compartimiento a través de rieles, y provisto de topes que indican si el disyuntor está conectado o desconectado de la barra principal.

Circuito: Es el conjunto de estructuras, terna de conductores, aisladores y accesorios que conectan una subestación del sistema con sus cargas, generalmente a voltajes iguales o inferiores a 13.8kV.

Consignación: Cuando el equipo, instalación o línea consignada sea retirado de la explotación o servicio, sin posibilidad de ser operado durante el tiempo que dura la consignación. Se observará la programación sugerida para la ejecución de trabajos programados.

Consignación de Equipos: Es el procedimiento mediante el cual se autoriza el retiro de operación de un equipo, una instalación o de parte de ella para mantenimiento.

Consignación Nacional: Es el nombre que se da al mantenimiento de los equipos del SIN, cuya indisponibilidad afecta los límites de intercambio de las áreas operativas, las generaciones mínimas de seguridad de las plantas térmicas e hidráulicas, disminuye la confiabilidad de la operación del SIN, o cuando limitan la atención de la demanda.

Contactos Principales: Este consta de tres componentes principales llamados contacto móvil, contacto fijo, bobina de control de arco.

Desenergizado: Es una instalación que se encuentra sin tensión y en condiciones para ser intervenida sin riesgos para los operarios.

Diagrama unifilar: El diagrama unifilar de una S/E es el resultado de conectar en forma simbólica y a través de un solo hilo todo el equipo que forma parte de la instalación considerando la secuencia de operación de cada uno de los circuitos que resulta del estudio de las necesidades de carga; tomando en cuenta que tipo de esquema de barras o bahías se utiliza en las S/E.

En Servicio: Es una instalación que se encuentra con tensión y en condiciones de transportar energía.

Equipos de Maniobra: Son los equipos eléctricos de potencia (interruptores, seccionadores de barras, seccionadores de línea y seccionadores de puesta a tierra), que al ser operados conectan o desconectan los campos en la subestación.

Equipos de Patio: Conjunto de elementos que componen una subestación.

Equipo de prueba: Equipo o conjunto de equipos con el cual se puede hacer un análisis conceptual al inyectar tensión, corriente o frecuencia para obtener una respuesta que nos permite determinar el estado del activo.

Falla: Fenómeno que se caracteriza por no corresponder al funcionamiento normal de la red y puede en ciertos casos, desembocar en un desastre eléctrico del equipo donde esta ocurre.

Fuera de Servicio: Es aquella instalación o equipo que se encuentra desconectado del sistema, ya sea por consigna de operación o de mantenimiento.

Gas Hexafluoruro de azufre (SF₆): Es un gas incoloro, inodoro, no tóxico y no inflamable. Es uno de los compuestos químicos más estables y también uno de los gases más pesados; a 20°C y presión atmosférica, su densidad es 5 veces la del agua. Este gas es empleado a presión como medio de aislamiento y extinción.

Interruptor: Elemento o equipo eléctrico que puede operar (abrir o cerrar) bajo carga o falla y que es el responsable inmediato del estado de conexión del campo. También se le conoce como Disyuntor.

Interruptor de Potencia: Es un equipo de potencia que permite efectuar maniobras voluntarias de apertura y cierre de circuitos, en condiciones normales de operación o falla.

Inyección Primaria: Operación que consiste en hacer circular corriente por el primario de un transformador de corriente.

kV: Kilovoltio. Medida de tensión equivalente a mil voltios.

kW: Kilovatio. Unidad de potencia equivalente a mil vatios.

KVA: Kilovoltiamperio. Unidad de potencia equivalente a mil voltiamperios.

Línea Eléctrica: Conjunto compuesto por conductores, aisladores, estructuras y accesorio destinados al transporte de energía eléctrica.

Mecanismo de cierre: Este mecanismo es del tipo de un solo disparo para cerrar mediante un solenoide de alta tensión, controlado mediante el conjunto de disyuntor doble. El mecanismo se mantiene en la posición de cierre por medio de un gatillo que se libera mediante un pequeño solenoide gracias a un comando procedente del controlador electrónico o de los controles locales.

Mecanismos de Mando: Sistema por medio del cual se suministra la energía necesaria para realizar las operaciones de apertura del interruptor de potencia. Puede ser de diferentes tipos, como hidráulico, resortes o neumático.

MPa: Mega pascales. Es una medida de presión, en nuestro caso indica la presión que se encuentra el gas SF6 dentro de algún interruptor.

Polución: Contaminación.

Recloser: Es un elemento o equipo eléctrico que puede operar (abrir o cerrar) bajo carga o falla y que de acuerdo a su disposición pueden afectar la configuración de la red.

Recloser automático: Es un equipo diseñado para abrir o cerrar un circuito eléctrico bajo condiciones normales de operación o de falla, reúne en un solo equipo elementos de corte, medida y protección.

Relé de Sobre presión: También llamado relé Bucholz, viene instalado entre el tanque conservador y la cuba del transformador. Es un relé de protección sensible a los fenómenos que se producen cuando se inicia un defecto en el interior de un transformador, como es el de desprendimiento de gas o de vapor debido a la descomposición de los aislantes orgánicos.

Relé de reflujo: También llamado relé Hansen, viene instalado entre el tanque conservador y el cambia tomas tiene por objeto proteger el transformador en caso de alguna falla del cambia tomas. El relé trae una flecha indicadora que muestra la forma en que debe circular el aceite dieléctrico cuando se presenta una circulación en sentido contrario indica que se presentó un problema dentro del cambiatomas.

Seccionador: Es un elemento o equipo eléctrico que al ser operado permite tener certeza de la apertura de un circuito mediante una conformación visual. Está diseñado para operar sin carga. Generalmente está asociado a un interruptor de manera que permita aislarlo eléctricamente.

Seccionador de tierra o Cuchilla de tierra: Es el equipo que permite conectar sólidamente a la malla de tierra, una instalación o parte de ella. Su operación siempre es bajo una consigna específica de mantenimiento.

Seccionalizador: Es un elemento o equipo eléctrico que puede operar con carga asociado con un recloser o un interruptor, no está diseñado para interrumpir o cerrar con corrientes de falla, y de acuerdo a su disposición sobre la red puede permitir seccionamientos, precisando que estos solo existen en niveles de tensión de 13.2 kV y que su mando es por pértiga

Silica Gel: Silica gel quiere decir gelatina de silicio, se utiliza como elemento deshidratante y generalmente viene teñido de azul, cuando la absorción de humedad llega a un 20 o 40% el color cambia a rosa y en tal caso es necesario cambiarla o volverla secar para nuevamente utilizarla.

Sistema de potencia: Un sistema eléctrico de potencia está compuesto por generación, transmisión y distribución, podemos observar como existe una estrecha relación entre las subestaciones eléctricas, líneas de transmisión y centrales generadoras; por razones técnicas (aislamiento, enfriamiento, etc.). Los voltajes de generación en las centrales generadoras son relativamente bajos en relación con los voltajes de transmisión, por lo que si la energía eléctrica se va a transportar a grandes distancias estos voltajes de generación resultarían antieconómicos, debido a que se tendría gran caída de voltajes. De aquí se presenta la necesidad de transmitir la energía eléctrica a voltajes más elevados que resulten más económicos.

SF6 Hexáfloruro de azufre: Es un gas alógeno cuya estructura molecular comprende un átomo de azufre central unido a 6 átomos de flúor, es inodoro, incoloro, no tóxico y no inflamable, a su vez es un compuesto químico muy estable y uno de los gases más pesados a 20 °C y presión atmosférica su densidad es 5 veces la del aire. Su rigidez dieléctrica a presión atmosférica es más del doble de la del aire. Este es el único gas que posee reunidas las propiedades físicas, químicas y eléctricas favorables para la extinción de los arcos de los disyuntores.

Subestación eléctrica: Una subestación eléctrica (S/E) es el conjunto de elementos o dispositivos que nos permiten cambiar las características de energía eléctrica (voltaje, corriente, frecuencia, entre otros.), tipo C.A. a C.C., o bien, conservarle dentro de ciertas características. Una subestación eléctrica no es más que una de las partes que intervienen en el proceso de generación-consumo de energía eléctrica.

Transformador: Es un dispositivo electromagnético que permite aumentar o disminuir el voltaje y la intensidad de una corriente.

Vcc ó Vdc: Tensión de corriente continua, esta tensión no posee fluctuaciones, generalmente se utiliza para suministrar energía a los componentes electrónicos.

VAC ó Vca: Tensión de corriente alterna, esta tensión posee una frecuencia de 60 Hz.

2.2. DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPO DE LAS SUBESTACIONES DE POTENCIA ESSA

2.2.1 Interruptores de nivel de 34,5 kV y 115 kV con medio de extinción en aceite (bajo nivel)

Son interruptores tripolares de pequeño volumen de aceite para instalaciones tipo intemperie, los polos vienen fijados en bases, planchas o perfiles de acero, montadas sobre una estructura soporte que contiene el mando y la biela de maniobra. Dentro de la base de los polos se encuentran las palancas que accionan los contactos móviles de los polos, haciendo que se abra o cierre el interruptor. El mecanismo del mando es accionado mediante resortes tensados a motor. A continuación se pueden observar los diferentes tipos de Interruptores a los que se les realiza mantenimiento.

Figura 1. Interruptor CEM RGE 36-50-800 34,5 Kv



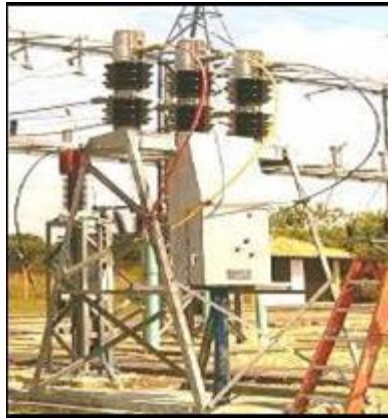
Fuente: Autores

Figura 2. Interruptor DELLE ALSTHOM HPGE 9/14C 34,5 kV



Fuente: Autores

Figura 3. Interruptor NUOVA MAGRINI GALILEO MGE 1500 34,5 kV



Fuente: Autores

Figura 4. Interruptor ASEA HLC 36-52/1250 B 34,5Kv



Fuente: Autores

Figura 5. Interruptor DELLE ALSTHOM 7/12 34,5 KV



Fuente: Autores

Figura 6. Interruptor DELLE ALSTHOM HPGE 11/15 E 115 kV



Fuente: Autores

2.2.2 Interruptores de nivel de 34,5 kV, 115kV y 230kV con medio de extinción en gas SF6

Este tipo de interruptor está formado por tres polos independientes, algunos con cámara sencilla (34,5kV y 115kV) y otros con doble cámara de extinción (230kV), estas cámaras de extinción contienen en su interior contactos móviles y fijos rodeados de SF6, que ayudan a extinguir el arco eléctrico producido por la apertura y cierre de estos contactos. El contacto móvil es accionado a través de un conjunto de bielas de mando que va acoplado a un mecanismo de operación que por medio de energía almacenada que acciona el interruptor, bien sea para abrirlo o cerrarlo. Los principales tipos de interruptores son:

- **Neumático:** en éstos la energía es almacenada en forma de aire comprimido. Este sistema es el que requiere mayor mantenimiento; en este tipo de interruptores el aire comprimido es utilizado para cerrarlo.
- **Accionamiento por resortes:** En éstos la energía se almacena cargando resortes tanto para la apertura como para el cierre del interruptor, al efectuarse la operación de cierre del interruptor se cargan los resortes de apertura asegurándose siempre el disparo del interruptor, dicho resorte se puede cargar manualmente o por medio de un motor eléctrico, el cual solo opera para cargar los resortes y no periódicamente.
- **Hidráulico:** El mecanismo es similar al neumático, pero a base de aceite; tanto en éstos como en el neumático, la presión debe mantenerse entre un mínimo y un máximo valor mediante un motor. Se encuentra en algunas ocasiones sistemas híbridos, combinando los sistemas hidráulicos con el de resortes en la operación de apertura, haciendo así el sistema más confiable.

Según la tensión nominal del interruptor, puede estar constituido por una o dos cámaras de extinción de arco.

Figura 7. Interruptor de 34,5Kv SF6 Tipo EDFSK1-1 –Mando Resorte



Fuente: Autores

Figura 8. Interruptor de 115 kV SF6 Tipo LTB - Mando de Resortes



Fuente: Autores

Figura 9. Interruptor de 115 kV SF6 Tipo FLX - Mando Hidráulico



Fuente: Autores

Figura 10. Interruptor de 230kV SF6 Mando Neumático tipo SB6



Fuente: Autores

Imagen 11. Interruptor de 230kV SF6 Tipo FL - Mando Hidráulico



Fuente: Autores

2.2.3 Interruptor de 34,5kV WESTINGHOUSE (gran volumen de aceite)

Los interruptores Westinghouse de 34,5 kV de mediano volumen de aceite, constan de tres tanques, uno por fase; cada uno contiene 73 galones de aceite, dentro de los cuales se encuentran dos cámaras de corte por fase, sumergidas en aceite dieléctrico.

Figura 12. Interruptor WESTINGHOUSE DE 34,5 kV con medio de extinción de aceite



Fuente: Autores

2.2.4 CELDAS DE 13,8kV y 34,5kV

Las celdas son compartimientos que han sido diseñados para realizar funciones de apertura o cierre de circuitos en estado normal o de falla. Están diseñadas para uso intemperie y para uso interior. Toda celda compacta está constituida por un envolvente metálico de acero inoxidable donde se alojan los siguientes elementos:

- Compartimiento de mandos, donde se encuentran los botones para maniobrar la celda y la alimentación en baja tensión de la celda
- Compartimientos de conexión de cables de línea, donde se alimentan los cables de salida del circuito.
- Compartimiento de los polos donde se encuentran los tres polos independientes que contienen las cámaras de corte donde se extingue el arco.
- Compartimiento para el barraje.

Existen diferentes formas de extinguir el arco, puede ser por soplo magnético, por gas SF₆, cámaras al vacío o por aceite.

Figura 13. Celda MERLIN GERIN uso tipo interior Vista Frontal



Fuente: Autores

Figura 14. Celda MERLIN GERIN uso tipo interior Vista Lateral



Fuente: Autores

Figura 15. Celda SIEMENS RETROFIT uso tipo interior



Fuente: Autores

Figura 16. Celda AEG WIA de 34,5 kV



Fuente: Autores

2.2.5 SECCIONADORES DE 230kV, 115kV y 34,5kV.

El seccionador es un aparato mecánico de conexión que asegura, en posición abierta, una distancia de seccionamiento que satisface condiciones específicas. Un seccionador es capaz de abrir y de cerrar un circuito cuando se establece o interrumpe una corriente de valor despreciable, o bien no se produce ningún cambio importante de la tensión entre los bornes de cada uno de los polos del seccionador.

Es también capaz de conducir corrientes en las condiciones normales del circuito, y de soportar corrientes por un tiempo especificado en condiciones anormales como las de cortocircuito.

Figura 17. Seccionador de tres columnas con doble apertura 34,5 kV



Fuente: Autores

Figura 18. Seccionador de tres columnas con doble apertura 230kV.



Fuente: Autores

Figura 19. Seccionador de dos columnas con una apertura 34,5kV



Fuente: Autores

Figura 20. Seccionador de dos columnas con una apertura 115kV



Fuente: Autores

2.2.6 RECLOSER DE 34,5kV Y 13,8 kV DE SF6

El recloser es esencialmente un disyuntor con las funciones necesarias para detectar sobre corrientes, medir la duración e interrumpir las fallas y se puede seleccionar para que reconecte automáticamente restaurando el suministro de energía eléctrica a la línea aérea. Si la falla persiste el reconectador automático se bloquea en posición de desconectado después de un número prefijado de maniobras, aislando así la línea en falla del sistema.

Este equipo se emplea en líneas aéreas de distribución debido a que la mayoría de las fallas que se producen en éstas son de naturaleza transitoria y no originan daños permanentes cuando se despejan.

El recloser está compuesto por dos partes: el tanque que contiene el interruptor y la caja de control con el cable de conexión entre los dos.

Figura 21. Recloser GVR 15 kV



Fuente: Autores

Figura 22. Recloser OVR 38kV



Fuente: Autores

Figura 23. Recloser Nu Lec 34,5 kV



Fuente: Autores

2.2.7 TRANSFORMADOR DE POTENCIA

La transmisión de la energía se hace a valores altos de tensión 115 y 230 kV, con el fin de evitar grandes pérdidas de energía, y la distribución a los usuarios se hace a valores de 13.8 y 34.5kV. Para bajar los niveles de tensión se emplean transformadores de potencia.

Se denomina transformador a un dispositivo electromagnético que permite aumentar o disminuir el voltaje y la intensidad de una corriente. Los componentes básicos de un transformador son:

La parte activa compuesta por su núcleo, arrollamientos y el material aislante, estos van inmersos en aceite dentro de una cuba.

- El Tanque de expansión tiene la finalidad de compensar las variaciones del volumen de aceite por cambios de temperatura.
- Los bujes de conexión, donde se conectan los cables de entrada y salida del transformador.
- El sistema de enfriamiento tiene la finalidad de transferir el calor desde la parte activa del transformador al medio ambiente (radiadores, ventiladores, bombas, entre otros).
- El sistema de regulación de tensión comúnmente se conoce como cambiomas, permite mantener constante la tensión de salida del transformador, realizando cambios en su relación de transformación.
- Gabinetes de control.

Figura 24 Transformador de 34.5/13.8 kV



Fuente: Autores

2.2.8 PARARRAYOS DE 230kV, 115kV y 34, 5kV

Es un dispositivo destinado a descargar las sobretensiones producidas por descargas eléctricas atmosféricas, por maniobras o por otras causas que perforan el aislamiento, ocasionando interrupciones en el sistema eléctrico de potencia y en muchos casos desperfectos en los equipos tales como transformadores, interruptores, seccionadores, etc.

Figura 25. Pararrayos Epóxico de 230 kV



Fuente: Autores

Figura 26. Pararrayos en porcelana de 34,5kV



Fuente: Autores

2.2.9 BANCO DE BATERIAS:

Es un equipo de uso generalizado en las subestaciones ya que su función es garantizar la operación de los sistemas de protección, de mando, de medida y de señalización de la subestación cuando se presenta un corte de energía. Normalmente los equipos de protección (relés) trabajan a 125 voltios corriente continua al igual que los motores de apertura y cierre de los interruptores y seccionadores incorporados; esta tensión es suministrada por el cargador de baterías, que es un equipo rectificador encargado de convertir la tensión de alterna en tensión continua, además de mantener la carga de las baterías para que éstas entren en el momento que la tensión de alterna que alimenta el cargador falle.

2.2.9.1 CONSTITUCION DE LA BATERIA

Cada una de las baterías componentes de un banco, está compuesta de cinco elementos:

- **Un recipiente:** encargado de albergar en su interior el conjunto de placas y separadores, así como de almacenar el electrolito.
- **Placas:** Las placas son los elementos más importantes de las baterías, tienen como objeto almacenar la materia activa que se produce al convertir la energía eléctrica a energía química.
- El color marrón oscuro permite identificar las placas positivas, mientras que las placas negativas presentan una coloración gris. La sulfatación se produce únicamente sobre las placas negativas, cuando ocurre este fenómeno la placa se decolora y adquiere un color blanquecino que permite apreciar su deterioro total o parcial.
- **Separadores:** Tiene la función de evitar que se produzcan corto circuitos entre las placas.
- **Electrolito:** Permite que se produzca la transformación en materia activa del elemento que compone la batería.

Conexiones: La tensión de un acumulador es aproximadamente 2.1 o 2.2 voltios, por lo cual se hace necesario colocar en serie los bornes de varias celdas hasta obtener valores de 125 voltios, con el cual trabajan los equipos. Para esto se utilizan cables o platinas de cobre que van colocadas entre los terminales positivo y el negativo de cada batería.

Figura 27. Banco de Baterías



Fuente: Autores

2.2.10 CT's Y PT's (TRANSFORMADORES DE CORRIENTE Y POTENCIAL)

Los CT's Y PT's son transformadores empleados para medida, su función es la de reducir a valores no peligrosos y normalizados las corrientes y tensiones en una subestación, con el fin de alimentar instrumentos de medición y protección.

2.2.10.1 DESCRIPCIÓN DE LOS CT's

Un transformador de corriente está compuesto por dos devanados, el primario que consta de una o varias espiras que se conectan en serie con el circuito cuya intensidad se desea medir. El secundario alimenta los circuitos de uno o varios aparatos de medida o protección conectados en serie. Los valores normalizados de corriente en el secundario son de 1 y 5 amperios, dependiendo de la aplicación que se le desee dar.

2.2.10.2 DESCRIPCIÓN DEL PT's

Un transformador de potencial está compuesto por dos devanados, el primario es conectado directamente a la fase que se va a medir. El secundario se conecta a los circuitos de tensión de uno o varios aparatos de medida o protección conectados en paralelo.

2.3 HOJA DE VIDA DE LOS ACTIVOS

Actualmente la ESSA cuenta con 77 subestaciones de potencia, de las cuales 5 pertenecen al sistema de interconexión a 230 kV, 10 en el sistema a 115kV y 62 en el nivel de 34,5 kV, las cuales suministran potencia a los usuarios del departamento de Santander y Magdalena Medio.

Como se describió en capítulos anteriores una subestación es un conjunto de elementos encargados de transformar niveles de tensión bajo parámetros de control y protección. En base a esto se afirma que el elemento más importante en una subestación es el transformador de potencia, pilar de los sistemas eléctricos.

En la tabla de resumen que se muestra a continuación se evidencian los 147 transformadores que componen el sistema eléctrico ESSA, mostrando el código de identificación de la subestación dentro del sistema, el nombre de la subestación, la potencia en MVA, y su respectivo nivel de tensión en kV. La tabla completa para transformadores se encuentra en el anexo A.

Tabla 1. Transformadores de potencia.

Cód	SUBESTACIONES	Transf.	Marca	Potencia - MVA	Niveles de tensión
36	Acuarela	T1	GAMS-Reparado Explorer	2.5 / 2.5	34.5 / 13.8
88	Barbosa	T1	SIEMENS	30 / 40	115 / 34.5 / 13.8
88	Barbosa	T2	WESTINGHOUSE	13.3 / 13.33	34.5 / 13.8
88	Barbosa	T-TIERRA	Siemens	3.99	34.5
4	Bellavista	T1	Siemens	2.8 / 2.8	33 / 13.2
77	Berlin	T1	ABB REPARADO CDM	1 / 1	34.5 / 13.8
6	Bucaramanga	T0	Pauwels Trafo Belgium	50 / 50	230 / 115 / 13.8
6	Bucaramanga	T4	Pauwels Trafo Belgium	50 / 50	230 / 115 / 13.8
6	Bucaramanga	T8	Pauwels Trafo Belgium	50 / 50	230 / 115 / 13.8
6	Bucaramanga	T2	ABB	30 / 48	115 / 34.5 / 13.8
6	Bucaramanga	T-TIERRA	GEC	0.3	13.8 / 0.208
8	Bucarica	T1	ABB	12 / 15	34.5 / 13.8

8	Bucarica	T2	SIEMENS	10 / 12.5	34.5 / 13.8
60	Buenavista	T1	Alsthom Savoisienne	10 / 12.5	34.5 / 13.8
58	Buenos Aires	T1	WESTINGHOUSE	13.33 / 13.33	34.5 / 13.8
58	Buenos Aires	T2	ABB	10 / 12.5	33 / 13.8
34	Cabecera	T1	SIEMENS	2 / 2	34.5 / 13.7
45	Café Corriendo	T1	SIEMENS	0.5 / 0.5	34.5 / 13.8
25	California	T1	SUNTEC	5 / 5	34.5 / 13.8
11	Caneyes	T1	ABB	10 / 12.5	34.5 / 13.8
11	Caneyes	T2	ABB TPL	10 / 12.5	34.5 / 13.8
71	Cantagallo	T1	ABB	5 / 5	33 / 4.16
94	Capitanejo	T1	SIEMENS	2 / 2	34.5 / 13.8
86	Charalá	T1	FBM	2.5 / 2.5	34.5 / 13.86
38	Chicamocha	T1	WESTINGHOUSE	1.5 / 1.5	34.5 / 13.8
76	Cienaga	T1	ABB	5 / 5	34.5 / 13.8
68	Cimitarra	T1	WESTINGHOUSE	20 / 20	118 / 34.5
68	Cimitarra	T2	SUNTEC	5.0 / 5.0	34.5 / 13.8
68	Cimitarra	T-TIERRA	SIEMENS	3.99	34.5
85	Contratación	T1	SIEMENS	2 / 2	34.5 / 13.8
10	Conuco	T1	SIEMENS	20 / 25.0	34.5 / 13.8
10	Conuco	T2	SIEMENS	20 / 25.0	34.5 / 13.8
10	Conuco	T3	ABB	10 / 12.5	34.5 / 13.8
10	Conuco	TR	ABB - Desenergizado	10 / 12.5	34.5 / 13.8
52	Cuchilla del Ramo	T1	SIEMENS	0.5 / 0.5	34.5 / 13.8
12	El Bosque	T1	SIEMENS	20 / 25.0	34.5 / 13.8
12	El Bosque	T2	SIEMENS	10 / 12.5	34.5 / 13.8
13	El Carmen	T1	FBM	2 / 2	33 / 13.8
14	El Cero	T1	ABB	1 / 1	34.5 / 13.8
67	El Llanito	T1	Rymel	1 / 1	34.5 / 13.8
42	Florida	T2	SUNTEC	10 / 12.5	34.5 / 13.8
42	Florida	T3	SIEMENS	30 / 40	115 / 34.5 / 13.8
95	García Rovira	T1	ALSTHOM SAVOISIENNE	5 / 5	34.5 / 13.8
95	García Rovira	T2	TPL	5 / 5	33 / 13.8
75	Km 8	T1	ABB	1 / 1	34.5 / 13.8
80	La Cascada	TU4	ABB	1.5 / 1.5	3.15 / 6.53
80	La Cascada	TA	MAGNETRON	1.5 / 1.88	6.3 / 13.2
80	La Cascada	TB	General Electric	1.5 / 1.5	6.3 / 13.2
17	La Esperanza	T1	CDM (RYMEL)	0.5 / 0.5	13.8 / 7.9
63	La Feria	T1	WESTINGHOUSE	1.5 / 1.5	34.5 / 13.8
41	La Granja	T1	ABB	10 / 12.5	34.5 / 13.8
49	La Laguna	T1	SIEMENS	1 / 1	34.5 / 13.8
78	Landazuri	T1	RYMEL	2 / 2	34.5 / 13.65

21	Las Hamacas	T1	SIEMENS	5 / 5	34.5 / 13.8
39	Lebrija NUEVO	T1	ABB	5 / 5	34.5 / 13.8
39	Lebrija NUEVO	T2	ABB	5 / 5	34.5 / 13.8
61	Lizama	T1	Westinghouse	25 / 28	115 / 33 / 7.2
61	Lizama	T2	ABB	5.0 / 5.0	34.5 / 13.8
32	Llano Grande	T1	SIEMENS	2 / 2	34.5 / 13.8
32	Llano Grande	T2	SIEMENS	2 / 2	34.5 / 13.8
7	Los Cocos	T1	SUNTEC	2 / 2	34.5 / 13.8
99	Málaga				
27	Matanza	T1	FBM	1.5 / 1.5	33 / 13.8
35	Mesa d/los Santos	T1	ABB	5 / 5	34.5 / 13.8
9	Minas	T1	SIEMENS	30 / 40	115 / 34.5 / 13.8
9	Minas	T2	ABB TPL	10 / 12.5	34.5 / 13.8
9	Minas	T3	ABB	30 / 40	115 / 34.5 / 13.8
9	Minas	T4	ALSTHOM	10 / 12.5	34.5 / 13.8
20	Norte	T1	ABB	10 / 12.5	34.5 / 13.8
20	Norte	T2	SIEMENS	20 / 25.0	34.5 / 13.8
84	Oiba	T1	TESLA	2 / 2	34.5 / 13.8
84	Oiba	T2	WESTINGHOUSE	1.5 / 1.5	34.5 / 13.8
24	Palenque	T1	SIEMENS	30 / 40	115 / 34.5 / 13.8
24	Palenque	T2	WESTINGHOUSE	10 / 11.2	33 / 13.2
24	Palenque	T4	HYUNDAI	30 / 40	115 / 34.5 / 13.8
24	Palenque	T6	ABB	30 / 40	115 / 34.5 / 13.8
24	Palenque	T7	FBM	10 / 12.5	34.5 / 13.8
24	Palenque	T-TIERRA	CEM	0.175	13.8 / 0.208
33	Palmas	T1	WESTINGHOUSE	5.6 / 5.6	4.16 / 33
33	Palmas	T2	ABB	4.5 / 5.6	4.16 / 33
33	Palmas	T4	ABB	5.6 / 5.6	4.16 / 33
33	Palmas	T6	GAMS	2 / 2	34.5 / 13.2
22	Palos	T0	ALSTHOM SAVOISIENNE	50 / 50	230 / 115 / 13.8
22	Palos	T4	ALSTHOM SAVOISIENNE	50 / 50	230 / 115 / 13.8
22	Palos	T8	ALSTHOM SAVOISIENNE	50 / 50	230 / 115 / 13.8
22	Palos	T2	HYUNDAI	30 / 40	115 / 34.5 / 13.8
22	Palos	T3	FBM	10 / 12.5	34.5 / 13.8
22	Palos	TRAuto	ALSTHOM SAVOISIENNE	50 / 50	230 / 115 / 13.8
22	Palos	T-TIERRA	CEM	0.3	13.8 / 0.208
62	Parnaso	T1	WESTINGHOUSE	10 / 11.2	34.5 / 13.2
62	Parnaso	T2	SUNTEC	10 / 12.5	34.5 / 13.8
40	Piedecuesta	T0	SIEMENS	50 / 50.0	230 / 115 / 13.8

40	Piedecuesta	T4	SIEMENS	50 / 50.0	230 / 115 / 13.8
40	Piedecuesta	T8	SIEMENS	50 / 50.0	230 / 115 / 13.8
40	Piedecuesta	TR	SIEMENS	50 / 50.0	230 / 115 / 13.8
73	Pozo Nutrias	T1	ABB	1.0 / 1.0	34.5 / 13.8
26	Principal	T1	ABB TPL	10 / 12.5	34.5 / 13.8
26	Principal	T2	ABB TPL	10 / 12.5	34.5 / 13.8
26	Principal	T3	WESTINGHOUSE	5.6 / 5.6	33 / 11.4
74	Puente Sogamoso	T1	SUNTEC	5 / 5	34.5 / 13.8
72	Puerto Araujo	T1	SIEMENS	5 / 5	34.5 / 13.8
51	Puerto Wilches	T1	SIEMENS	15 / 20	115 / 34.5 / 13.8
47	Rionegro	T1	ABB	2 / 2	34.5 / 13.8
57	Sabana	T1	BRUSH	6 / 8	115 / 34.5 / 13.8
	Sabana	T2	SIEMENS	2 / 2	34.5 / 13.8
57	Sabana	T-TIERRA		/	34.5 / /
55	San Alberto	T1	PAUWELS	25 / 37.33	115 / 33 / 7.28
55	San Alberto	T2	ABB	10 / 12.5	34.5 / 13.8
93	San Andrés	T1	SIEMENS	2 / 2	34.5 / 13.8
37	San Cristobal	T1	ABB	10 / 12.5	34.5 / 13.8
79	San Gil	T1	HYUNDAI	15 / 20	115 / 34.5 / 13.8
79	San Gil	T2	SIEMENS	10 / 12.5	34.5 / 13.8
79	San Gil	T3	HYUNDAI	15 / 20	115 / 34.5 / 13.8
79	San Gil	T4	SIEMENS	2 / 2	34.5 / 13.8
56	San Martin	T1	SIEMENS	5 / 5	34.5 / 13.8
69	San Pablo	T1	ABB (GAMS)	4 / 4	34.5 / 13.8
53	San Rafael	T1	CDM (ABB)	2 / 2	34.5 / 13.8
64	San Silvestre	T1	ABB	30 / 40	115 / 34.5 / 13.8
64	San Silvestre	T2	ABB	10 / 12.5	34.5 / 13.8
64	San Silvestre	T3	ABB	30 / 35	115 / 34.5 / 13.8
65	San Vicente	T1	SUNTEC	5 / 5	34.5 / 13.8
59	Santa Catalina	T1	ABB	2 / 2	34.5 / 13.8
82	Socorro	T1	ABB	10 / 12.5	34.5 / 13.8
92	Sucre	T1	SIEMENS	2 / 2.8	33 / 13.2
28	Sur	T1	ABB	26.66 / 26.66	34.5 / 13.8
28	Sur	T2	ABB	26.66 / 26.66	34.5 / 13.8
66	Termobarranca	AUTO 1	HAWKER	90 / 90	230 / 115 / 13.8
66	Termobarranca	AUTO 2	HAWKER	90 / 90	230 / 115 / 13.8
66	Termobarranca	INTER 1	SIEMENS	30 / 40	115 / 34.5 / 13.8
66	Termobarranca	INTER 2	ABB	30 / 40	115 / 34.5 / 13.8
66	Termobarranca		TPL	5 / 5	/ 4.16
66	Termobarranca	TP-U1	Westinghouse ?????	15 / 17.9	13.8 / 34.5
66	Termobarranca	TP-U2	ABB - Reconstruido 1999	13.44 / 17.9	13.8 / 34.5
66	Termobarranca	TP-U3	NISSYN	21 / 28	13.8 / 34.5
66	Termobarranca	TAux-U1y2	ALLIS CHALMERS	1.5 / 1.5	34.5 / 0.48

66	Termobarranca	TAux 3 (TS3)	SUNTEC	7.5 / 7.5	13.8 / 6.9
66	Termobarranca	TArr-U3 (TA3)	ABB	6.0 / 7.5	34.5 / 6.9
48	Trincheras	T1	GAMS	2 / 2	33 / 13.8
83	Vado Real	T1	TPL	1.5 / 1.5	33.5 / 13.5
90	Vélez	T1	SIEMENS	5 / 5	33 / 13.8
54	Vijagual	T1	SIEMENS	0.2 / 0.2	34.5 / 13.8
5	Villas	T1	SIEMENS	5 / 5	34.5 / 13.8
50	Zapatoca	T1	SIEMENS	2 / 2	34.5 / 13.8

Fuente: Autores

El interruptor es el encargado de realizar la protección en una subestación, tanto de una línea como de un transformador de potencia, capaz de interrumpir grandes corrientes de falla. A continuación se muestran las tablas con la descripción de los interruptores correspondientes a las subestaciones ESSA; en ella se aprecia el código de la subestación dentro del sistema, el nombre de la subestación, el nivel de tensión, el nombre del interruptor que lo identifica dentro de una subestación, el tipo de interruptor, la marca y la cantidad de SF6 contenido en el mismo (para el caso de los interruptores con medio de extinción de arco en gas SF6).

Tabla 2. Interruptores en SF6

Código Subestación	Subestación	Tensión	Nombre	Tipo	Marca	Cantidad SF6 (Kg)
88	BARBOSA	34.5	5H0	disyuntor	ABB	2.5
88	BARBOSA	34.5	4H0	disyuntor	ABB	2.5
88	BARBOSA	34.5	3H0	disyuntor	ABB	2.5
22	PALOS	34.5	Enlace T2	disyuntor	ABB	2.5
42	FLORIDA	115	302 FLORIDA-PALOS	disyuntor	ABB	7.5
42	FLORIDA	115	306 FLORIDA-SAN GIL	disyuntor	ABB	7.5
42	FLORIDA	115	Q1-2	disyuntor	ABB	7.5
61	LIZAMA	115	305	disyuntor	ABB	7.5
24	PALENQUE	115	303 PALENQUE-TERMOBARRANCA	disyuntor	ABB	7.5
24	PALENQUE	115	304 PALENQUE-LIZAMA	disyuntor	ABB	7.5
24	PALENQUE	115	316 PALENQUE-MINAS	disyuntor	ABB	7.5
24	PALENQUE	115	T-6 115 KV	disyuntor	ABB	7.5
33	PALMAS	34.5	T-2 34.5KV	disyuntor	ABB	2.5
33	PALMAS	34.5	T-3 34.5KV	disyuntor	ABB	2.5
33	PALMAS	34.5	T-4 34.5KV	disyuntor	ABB	2.5
33	PALMAS	34.5	413 PALMAS 1	disyuntor	ABB	2.5

33	PALMAS	34.5	414 PALMAS 2	disyuntor	ABB	2.5
9	REAL DE MINAS	115	Q1-2	disyuntor	ABB	7.5
9	REAL DE MINAS	115	Q1-1	disyuntor	ABB	7.5
9	REAL DE MINAS	115	Q1-3	disyuntor	ABB	7.5
9	REAL DE MINAS	115	T3 115KV	disyuntor	ABB	7.5
57	SABANA DE TORRES	115	D303	disyuntor	ABB	7.5
57	SABANA DE TORRES	115	D313	disyuntor	ABB	7.5
57	SABANA DE TORRES	115	D301	disyuntor	ABB	7.5
55	SAN ALBERTO	115	DISYUNTOR 115 KV	disyuntor	ABB	7.5
79	SAN GIL	34.5	T-2 34.5KV	disyuntor	ABB	2.5
64	SAN SILVESTRE	115	Q50-10	disyuntor	ABB	7.5
64	SAN SILVESTRE	34.5	Q50-11	disyuntor	ABB	2.5
66	TERMOBARRA NCA	115	S220	disyuntor	ABB	7.5
66	TERMOBARRA NCA	115	OCB 160	disyuntor	ABB	7.5
66	TERMOBARRA NCA	34.5	OCB 6	disyuntor	ABB	2.5
10	CONUCO	34.5	T-2 34.5 KV	celda	AEG	2.5
10	CONUCO	34.5	T-1 34.5 KV	celda	AEG	2.5
10	CONUCO	34.5	T-3 34.5 KV	celda	AEG	2.5
10	CONUCO	34.5	404 CONUCO-SUR	celda	AEG	2.5
10	CONUCO	34.5	403 CONUCO-PRINCIPAL	celda	AEG	2.5
10	CONUCO	34.5	420 MINAS-CONUCO	celda	AEG	2.5
10	CONUCO	34.5	402 CONUCO-FDA	celda	AEG	2.5
10	CONUCO	34.5	401 CONUCO-BMANGA	celda	AEG	2.5
10	CONUCO	13.8	10 511 CONUCOS 11	celda	AEG	3.4
10	CONUCO	13.8	T-3 13.8 KV	celda	AEG	3.4
10	CONUCO	13.8	10 510 CONUCOS 10	celda	AEG	3.4
10	CONUCO	13.8	RESERVA	celda	AEG	3.4
10	CONUCO	13.8	10 504 CONUCOS 4	celda	AEG	3.4
12	EL BOSQUE	13.8	T-1 13.8 KV	celda	AEG	3.4
12	EL BOSQUE	13.8	12 501 BOSQUE 1	celda	AEG	3.4
12	EL BOSQUE	13.8	12 503 BOSQUE 3	celda	AEG	3.4
12	EL BOSQUE	13.8	12 504 BOSQUE 4	celda	AEG	3.4
12	EL BOSQUE	13.8	12 506 BOSQUE 6	celda	AEG	3.4
64	SAN SILVESTRE	115	Q50-3	disyuntor	AEG	9
28	SUR	34.5	406 SUR-PALENQUE	celda	AEG	2.5

28	SUR	34.5	ENLACE T-1 34.5KV	celda	AEG	2.5
28	SUR	34.5	T-2 34.5 KV	celda	AEG	2.5
66	TERMOBARRA NCA	115	S120	disyuntor	AEG	9
66	TERMOBARRA NCA	115	OCB150	disyuntor	AEG	9
79	SAN GIL	34.5	490 CEMENTOS PROTABACO	disyuntor	CEGELEC	2.5
88	BARBOSA	115	205	disyuntor	DELLE ALSTHOM	5.3
88	BARBOSA	115	105	disyuntor	DELLE ALSTHOM	5.3
88	BARBOSA	115	305	disyuntor	DELLE ALSTHOM	5.3
88	BARBOSA	115	115	disyuntor	DELLE ALSTHOM	5.3
68	CIMITARRA	115	105	disyuntor	DELLE ALSTHOM	5.3
22	PALOS	230	L 270 PALOS-TOLEDO	disyuntor	DELLE ALSTHOM	36
22	PALOS	230	L 250 PALOS-TASAJERO	disyuntor	DELLE ALSTHOM	36
22	PALOS	230	L 230 PALOS-OCAÑA	disyuntor	DELLE ALSTHOM	36
22	PALOS	230	L 190 PALOS- GUATIGUARA	disyuntor	DELLE ALSTHOM	36
22	PALOS	230	L 170 PALOS- BUCARAMANGA	disyuntor	DELLE ALSTHOM	36
22	PALOS	230	B 200 ACOPLADOR BARRAS	disyuntor	DELLE ALSTHOM	36
22	PALOS	230	A220 T-1 230 KV	disyuntor	DELLE ALSTHOM	36
22	PALOS	115	IT15 T-2 115 KV	disyuntor	DELLE ALSTHOM	5.3
22	PALOS	115	IA 15	disyuntor	DELLE ALSTHOM	5.3
22	PALOS	115	II 15 ACOPLADOR DE BARRAS	disyuntor	DELLE ALSTHOM	5.3
22	PALOS	115	IL15 PALOS BOSCONIA FLORIDA	disyuntor	DELLE ALSTHOM	5.3
22	PALOS	115	IL35 PALOS-PALENQUE	disyuntor	DELLE ALSTHOM	5.3
79	SAN GIL	115	306 SANGIL-BMANGA	disyuntor	DELLE ALSTHOM	5.3
64	SAN SILVESTRE	115	Q50-2	disyuntor	DELLE ALSTHOM	5.3
64	SAN SILVESTRE	115	Q50-1	disyuntor	DELLE ALSTHOM	5.3
6	BUCARAMAN GA	230	S10	disyuntor	MAGRINI GALILEO	25.5
6	BUCARAMAN GA	230	S20	disyuntor	MAGRINI GALILEO	25.5
6	BUCARAMAN GA	230	S30	disyuntor	MAGRINI GALILEO	25.5
6	BUCARAMAN GA	115	220	disyuntor	MAGRINI GALILEO	15
6	BUCARAMAN	115	320	disyuntor	MAGRINI	15

	GA				GALILEO	
57	SABANA DE TORRES	34.5	INT LN 434 - LN 435	disyuntor	ECOPETROL	2.5
88	BARBOSA	13.8	T-2 13.8 KV	celda	MERLIN GERIN	3.4
88	BARBOSA	13.8	88 503 PUENTE NACIONAL	celda	MERLIN GERIN	3.4
88	BARBOSA	13.8	88 501 BARBOSA URBANO	celda	MERLIN GERIN	3.4
88	BARBOSA	13.8	88 502 GUEPSA	celda	MERLIN GERIN	3.4
88	BARBOSA	13.8	88 504 BARBOSA RURAL	celda	MERLIN GERIN	3.4
6	BUCARAMANGA	230	S40	disyuntor	MERLIN GERIN	25
58	BUENOS AIRES	13.8	DISY 19	celda	MERLIN GERIN	3.4
58	BUENOS AIRES	13.8	DISY 20	celda	MERLIN GERIN	3.4
58	BUENOS AIRES	13.8	DISY 21	celda	MERLIN GERIN	3.4
58	BUENOS AIRES	34.5	INT T-2 34,5 KV	disyuntor	CEGELEC	2.5
58	BUENOS AIRES	13.8	INT T-2 13.8 KV	disyuntor	CEGELEC	2.5
10	CONUCO	13.8	T-1 13.8 KV	celda	MERLIN GERIN	3.4
10	CONUCO	13.8	10 501 CONUCOS 1	celda	MERLIN GERIN	3.4
10	CONUCO	13.8	10 509 CONUCOS 9	celda	MERLIN GERIN	3.4
10	CONUCO	13.8	10 507 CONUCOS 7	celda	MERLIN GERIN	3.4
10	CONUCO	13.8	10 508 CONUCOS 8	celda	MERLIN GERIN	3.4
12	EL BOSQUE	13.8	T-2 13.8 KV	celda	MERLIN GERIN	3.4
12	EL BOSQUE	13.8	12 502 BOSQUE 2	celda	MERLIN GERIN	3.4
12	EL BOSQUE	13.8	12 505 BOSQUE 5	celda	MERLIN GERIN	3.4
12	EL BOSQUE	13.8	12 507 BOSQUE 7	celda	MERLIN GERIN	3.4
12	EL BOSQUE	13.8	12 508 BOSQUE 8	celda	MERLIN GERIN	3.4
42	FLORIDA	34.5	T-1 ENLACE 34.5KV	celda	MERLIN GERIN	2.5
42	FLORIDA	34.5	T-2 ENLACE 34.5KV	celda	MERLIN GERIN	2.5
42	FLORIDA	34.5	421 FLORIDA-PIEDRECUESTA	celda	MERLIN GERIN	2.5
42	FLORIDA	34.5	402 CONUCO BOSQUE	celda	MERLIN GERIN	2.5
42	FLORIDA	34.5	422 FLORIDA-ICP	celda	MERLIN GERIN	2.5
42	FLORIDA	34.5	RESERVA	celda	MERLIN GERIN	2.5

42	FLORIDA	34.5	RESERVA	celda	MERLIN GERIN	2.5
42	FLORIDA	13.8	T-2 ENLACE 13.8 KV	celda	MERLIN GERIN	3.4
42	FLORIDA	13.8	42 501 FLORIDA 1	celda	MERLIN GERIN	3.4
42	FLORIDA	13.8	42 502 FLORIDA 2	celda	MERLIN GERIN	3.4
42	FLORIDA	13.8	42 503 FLORIDA 3	celda	MERLIN GERIN	3.4
42	FLORIDA	13.8	42 504 FLORIDA 4	celda	MERLIN GERIN	3.4
20	NORTE	34.5	411 SUR-NORTE	celda	MERLIN GERIN	2.5
20	NORTE	34.5	412 PRINCIPAL-NORTE	celda	MERLIN GERIN	2.5
20	NORTE	34.5	T-1 34.5 KV	celda	MERLIN GERIN	2.5
20	NORTE	34.5	T-2 34.5 KV	celda	MERLIN GERIN	2.5
20	NORTE	13.8	T-1 13.8 KV	celda	MERLIN GERIN	3.4
20	NORTE	13.8	T-2 13.8 KV	celda	MERLIN GERIN	3.4
20	NORTE	13.8	20501 NORTE 1	celda	MERLIN GERIN	3.4
20	NORTE	13.8	20 502 NORTE 2	celda	MERLIN GERIN	3.4
20	NORTE	13.8	20 503 NORTE 3	celda	MERLIN GERIN	3.4
20	NORTE	13.8	20 504 NORTE 4	celda	MERLIN GERIN	3.4
20	NORTE	13.8	20 505 NORTE 5	celda	MERLIN GERIN	3.4
20	NORTE	13.8	20 506 NORTE 6	celda	MERLIN GERIN	3.4
20	NORTE	13.8	20 507 NORTE 7	celda	MERLIN GERIN	3.4
24	PALENQUE	13.8	T 2 13.8 KV	celda	MERLIN GERIN	3.4
24	PALENQUE	13.8	T-7 13.8 KV	celda	MERLIN GERIN	3.4
22	PALOS	13.8	22 501 PALOS 1	celda	MERLIN GERIN	3.4
22	PALOS	13.8	22 502 PALOS 2	celda	MERLIN GERIN	3.4
22	PALOS	13.8	22 503 PALOS 3	celda	MERLIN GERIN	3.4
22	PALOS	13.8	22 504 PALOS 4	celda	MERLIN GERIN	3.4
22	PALOS	13.8	T-3 13.2 KV	celda	MERLIN GERIN	3.4
26	PRINCIPAL	34.5	403 PRINCIPAL-CONUCO	celda	MERLIN GERIN	2.5
26	PRINCIPAL	34.5	415 PRINCIPAL-PALOS	celda	MERLIN GERIN	2.5
26	PRINCIPAL	34.5	413 PRINCIPAL-PALMAS1	celda	MERLIN GERIN	2.5

26	PRINCIPAL	34.5	412 PRINCIPAL-NORTE	celda	MERLIN GERIN	2.5
26	PRINCIPAL	34.5	ENLACE T-1 34.5KV	celda	MERLIN GERIN	2.5
26	PRINCIPAL	34.5	ENLACE T2 34.5KV	celda	MERLIN GERIN	2.5
26	PRINCIPAL	34.5	407 PRINCIPAL-PALENQUE	celda	MERLIN GERIN	2.5
26	PRINCIPAL	34.5	ENLACE T3	celda	MERLIN GERIN	2.5
26	PRINCIPAL	34.5	414 PRINCIPAL-PALMAS 2	celda	MERLIN GERIN	2.5
26	PRINCIPAL	13.8	ENLACE T-1 13.8KV	celda	MERLIN GERIN	3.4
26	PRINCIPAL	13.8	ENLACE T-2 13.8KV	celda	MERLIN GERIN	3.4
26	PRINCIPAL	13.8	26 503 PRINCIPAL 3	celda	MERLIN GERIN	3.4
26	PRINCIPAL	13.8	26 507 PRINCIPAL 7	celda	MERLIN GERIN	3.4
26	PRINCIPAL	13.8	26 508 PRINCIPAL 8	celda	MERLIN GERIN	3.4
26	PRINCIPAL	13.8	26 501 PRINCIPAL 1	celda	MERLIN GERIN	3.4
26	PRINCIPAL	13.8	26 502 PRINCIPAL 2	celda	MERLIN GERIN	3.4
26	PRINCIPAL	13.8	26 504 PRINCIPAL 4	celda	MERLIN GERIN	3.4
26	PRINCIPAL	13.8	26 505 PRINCIPAL 5	celda	MERLIN GERIN	3.4
26	PRINCIPAL	13.8	RESERVA	celda	MERLIN GERIN	3.4
9	REAL DE MINAS	34.5	424 MINAS-SUR	celda	MERLIN GERIN	2.5
9	REAL DE MINAS	34.5	405 MINAS-PALENQUE	celda	MERLIN GERIN	2.5
9	REAL DE MINAS	34.5	420 CONUCO	celda	MERLIN GERIN	2.5
9	REAL DE MINAS	34.5	426 MINAS-CODIESEL	celda	MERLIN GERIN	2.5
9	REAL DE MINAS	34.5	T-2 34.5	celda	MERLIN GERIN	2.5
9	REAL DE MINAS	34.5	T-1 34.5 KV	celda	MERLIN GERIN	2.5
9	REAL DE MINAS	13.8	09 504 REAL DE MINAS 4	celda	MERLIN GERIN	3.4
9	REAL DE MINAS	13.8	09 502 REAL DE MINAS 2	celda	MERLIN GERIN	3.4
9	REAL DE MINAS	13.8	T-2 13.8KV	celda	MERLIN GERIN	3.4
9	REAL DE MINAS	13.8	09 503	celda	MERLIN GERIN	3.4
9	REAL DE MINAS	13.8	REAL DE MINAS 5	celda	MERLIN GERIN	3.4
9	REAL DE MINAS	34.5	T-3 34.5	celda	MERLIN GERIN	2.5
9	REAL DE MINAS	34.5	T-4 34.5 KV	celda	MERLIN GERIN	2.5

57	SABANA DE TORRES	13.8	T - 1 13.8 KV	celda	MERLIN GERIN	3.4
57	SABANA DE TORRES	13.8	57 501 SABANA	celda	MERLIN GERIN	3.4
57	SABANA DE TORRES	13.8	57 502 LA GOMEZ	celda	MERLIN GERIN	3.4
57	SABANA DE TORRES	13.8	57 503 PROVINCIA	celda	MERLIN GERIN	3.4
55	SAN ALBERTO	34.5	T-1 34.5 KV	celda	MERLIN GERIN	2.5
55	SAN ALBERTO	34.5	MEDIDA 34.5 KV	celda	MERLIN GERIN	2.5
55	SAN ALBERTO	34.5	INT LN 430	celda	MERLIN GERIN	2.5
55	SAN ALBERTO	34.5	INT LN 431	celda	MERLIN GERIN	2.5
55	SAN ALBERTO	13.8	T-2 13.8 KV	celda	MERLIN GERIN	3.4
55	SAN ALBERTO	13.8	55 501	celda	MERLIN GERIN	3.4
55	SAN ALBERTO	13.8	55 503 SAN MARTIN	celda	MERLIN GERIN	3.4
55	SAN ALBERTO	13.8	55 502 LA LLANA	celda	MERLIN GERIN	3.4
55	SAN ALBERTO	13.8	55 504 LA RAYA	celda	MERLIN GERIN	3.4
79	SAN GIL	13.8	T2 13.8KV ENLACE BARRAJE	celda	MERLIN GERIN	3.4
79	SAN GIL	13.8	79 508 + 709511	celda	MERLIN GERIN	3.4
79	SAN GIL	13.8	79 508 + 79 511	celda	MERLIN GERIN	3.4
79	SAN GIL	13.8	79 511 ACUASAN	celda	MERLIN GERIN	3.4
79	SAN GIL	13.8	79 503 + 79 504	celda	MERLIN GERIN	3.4
79	SAN GIL	13.8	79 505 + 79 506	celda	MERLIN GERIN	3.4
79	SAN GIL	13.8	79 501 SAN GIL	celda	MERLIN GERIN	3.4
79	SAN GIL	13.8	79 502 SAN GIL 2	celda	MERLIN GERIN	3.4
64	SAN SILVESTRE	13.8	T-2 13.8 KV	celda	MERLIN GERIN	3.4
64	SAN SILVESTRE	13.8	64 515 CIRCUITO 15	celda	MERLIN GERIN	3.4
64	SAN SILVESTRE	13.8	64 516 CIRCUITO 16	celda	MERLIN GERIN	3.4
64	SAN SILVESTRE	13.8	64 517 CIRCUITO 17	celda	MERLIN GERIN	3.4
64	SAN SILVESTRE	13.8	64 518 CIRCUITO 18	celda	MERLIN GERIN	3.4
66	TERMOBARRA NCA	34.5	5	celda	MERLIN GERIN	2.5
66	TERMOBARRA NCA	34.5	4	celda	MERLIN GERIN	2.5
61	LIZAMA	115	204	disyuntor	SIEMENS	22

61	LIZAMA	115	105	disyuntor	SIEMENS	22
61	LIZAMA	115	115	disyuntor	SIEMENS	22
20	NORTE	13.8	20 508 NORTE 8	celda	MERLIN GERIN	3.4
9	REAL DE MINAS	13.8	09 501 MINAS 1	celda	SIEMENS	3.4
9	REAL DE MINAS	13.8	REAL DE MINAS 6	celda	SIEMENS	3.4
9	REAL DE MINAS	13.8	09 507	celda	SIEMENS	3.4
9	REAL DE MINAS	13.8	09 508	celda	SIEMENS	3.4
9	REAL DE MINAS	13.8	ENLACE T4	celda	SIEMENS	3.4
28	SUR	13.8	28 503 SUR 3	celda	SIEMENS	3.4
28	SUR	13.8	28 504 SUR 4	celda	SIEMENS	3.4
28	SUR	13.8	28 505 SUR 5	celda	SIEMENS	3.4
28	SUR	13.8	28 506 SUR 6	celda	SIEMENS	3.4
28	SUR	13.8	28 507 SUR 7	celda	SIEMENS	3.4
28	SUR	13.8	28 508 SUR 8	celda	SIEMENS	3.4
28	SUR	13.8	28 509 SUR 9	celda	SIEMENS	3.4
28	SUR	13.8	ENLACE T-1 13.8KV	celda	SIEMENS	3.4
28	SUR	13.8	28 501 SUR 1	celda	SIEMENS	3.4
28	SUR	13.8	28 502 SUR 2	celda	SIEMENS	3.4
28	SUR	13.8	T-2 13.8KV	celda	SIEMENS	3.4
66	TERMOBARRA NCA	230	S50	disyuntor	SIEMENS	25
66	TERMOBARRA NCA	230	S60	disyuntor	SIEMENS	25
66	TERMOBARRA NCA	230	S10	disyuntor	SPRECHE R	13.5
66	TERMOBARRA NCA	230	S20	disyuntor	SPRECHE R	13.5
66	TERMOBARRA NCA	230	S30	disyuntor	SPRECHE R	13.5
66	TERMOBARRA NCA	230	S40	disyuntor	SPRECHE R	13.5
82	SOCORRO	13.8	La Llanita	disyuntor	CEGELEC	2.5

Fuente: Autores

En la tabla que se muestra a continuación se listan los interruptores con medio de extinción de arco en aceite dieléctrico, al igual que la tabla anterior, se presenta el código, nombre la subestación el nivel de tensión el nombre del interruptor dentro de la subestación y la marca o característica.

Tabla 3. Interruptores en aceite

Codigo	Subestación	Tensión	Nombre	Características
6	BUCARAMANGA	34.5	423 BUCARICA	DELLE ALSTHOM
6	BUCARAMANGA	34.5	401 CONUCOS	ASEA
8	BUCARICA	34.5	INT T-1 34.5KV	CEM
10	CONUCO	13.8	10 505 CONUCO 5	DELLE ALSTHOM
10	CONUCO	13.8	10 502 CONUCOS 2	DELLE ALSTHOM
10	CONUCO	13.8	10 503 CONUCOS 3	DELLE ALSTHOM
10	CONUCO	13.8	T-2 13.8 KV	DELLE ALSTHOM
12	EL BOSQUE	34.5	401 CONUCOS-BMANGA	ASEA
12	EL BOSQUE	34.5	402 CONUCO-FLORIDA	ASEA
12	EL BOSQUE	34.5	T-1 34.5 KV	ASEA
12	EL BOSQUE	34.5	T-2 34.5 KV	ASEA
22	PALOS	34.5	416 PALOS-MATANZA	MAGRINI GALILEO
22	PALOS	34.5	417 PALOS-RIONEGRO	MAGRINI GALILEO
22	PALOS	34.5	415 PALOS-PRINCIPAL	MAGRINI GALILEO
22	PALOS	34.5	418 PALOS-PALENQUE-BAVARIA	MAGRINI GALILEO
22	PALOS	34.5	T-3 34.5 KV	MAGRINI GALILEO
24	PALENQUE	115	301 PALENQUE-PALOS	DELLE ALSTHOM
24	PALENQUE	115	T-1 115 KV	WESTINGHOUSE
24	PALENQUE	115	T-4 115 KV	DELLE ALSTHOM
24	PALENQUE	34.5	T-6 34.5 KV	MAGRINI GALILEO
24	PALENQUE	34.5	T-1 34.5KV	WESTINGHOUSE
24	PALENQUE	34.5	T-4 34.5 KV	DELLE ALSTHOM
24	PALENQUE	34.5	410 PALENQUE-ZAPATOCA	WESTINGHOUSE
24	PALENQUE	34.5	409 PALENQUE-TREFILCO	WESTINGHOUSE
24	PALENQUE	34.5	405 PALENQUE MINAS	WESTINGHOUSE
24	PALENQUE	34.5	407 PALENQUE-PRINCIPAL	WESTINGHOUSE
24	PALENQUE	34.5	406 PALENQUE-SUR	DELLE ALSTHOM
24	PALENQUE	34.5	408 PALENQUE-AEROPUERTO	MAGRINI GALILEO
24	PALENQUE	34.5	T-7 34.5 KV	WESTINGHOUSE (ESPAÑOL)
24	PALENQUE	34.5	T-3 34.5 KV	DELLE ALSTHOM
24	PALENQUE	34.5	T-2 34.5 KV	WESTINGHOUSE
26	PRINCIPAL	34.5	414 BY PASS	NEWMAN
28	SUR	34.5	411 SUR-NORTE	ASEA
28	SUR	34.5	424 SUR-MINAS	ASEA
28	SUR	34.5	404 SUR-CONUCO	ASEA
57	SABANA DE TORRES	34.5	D401	CEM
57	SABANA DE TORRES	34.5	D403	MAGRINI GALILEO
58	BUENOS AIRES	34.5	INT T-1 34.5KV	ASEA

61	LIZAMA	34.5	D401	INOUE DENKI
61	LIZAMA	34.5	D431	INOUE DENKI
61	LIZAMA	34.5	D421	INOUE DENKI
61	LIZAMA	34.5	D411	INOUE DENKI
62	PARNASO	34.5	DISYUNTOR ENTRADA AL TRAFO T-1	WESTINGHOUSE
62	PARNASO	34.5	INTERRUPTOR LN 4057	ASEA
62	PARNASO	34.5	DISYUNTOR LINEA 4063	ASEA
62	PARNASO	34.5	INTERRUPTOR LN 4053	ASEA
62	PARNASO	34.5	INTERRUPTOR LN 4060	ASEA
62	PARNASO	34.5	DISYUNTOR LINEA 461	EIB
64	SAN SILVESTRE	34.5	Q50-4	WESTINGHOUSE
64	SAN SILVESTRE	34.5	LN 470 SAN SILVESTRE-ECOP.	INOUE DENKI
64	SAN SILVESTRE	34.5	LN 463 SAN SILVESTRE- PARNASO	CEM
64	SAN SILVESTRE	34.5	LN 464 SAN SILVESTRE- PARNASO	CEM
64	SAN SILVESTRE	34.5	LN 471 SAN SILVESTRE- EDASABA	CEM
64	SAN SILVESTRE	34.5	Q50-8	CEM
66	TERMOBARRANCA	115	INT. LN 303	DELLE ALSTHOM
66	TERMOBARRANCA	115	INT. LN 308	DELLE ALSTHOM
66	TERMOBARRANCA	34.5	L8	INOUE DENKI
66	TERMOBARRANCA	34.5	L9	INOUE DENKI
66	TERMOBARRANCA	34.5	L1	MAGRINI GALILEO
66	TERMOBARRANCA	34.5	INT TP-U2 GENERADOR 2	ALLIS CHALMERS
66	TERMOBARRANCA	34.5	L2	DELLE ALSTHOM
66	TERMOBARRANCA	34.5	TP-U1 UNIDAD 1	ALLIS CHALMERS
66	TERMOBARRANCA	34.5	INTERRUPTOR T-ARRANQUE- U3	GEC
66	TERMOBARRANCA	34.5	INTERR TS-U1-2 1500KVA	ALLIS CHALMERS
66	TERMOBARRANCA	34.5	L3	WESTINGHOUSE
66	TERMOBARRANCA	34.5	L7	DELLE ALSTHOM
66	TERMOBARRANCA	34.5	INTERRUPTOR TRAFO UNIDAD # 3	INOUE DENKI
68	CIMITARRA	34.5	D401	CEM
68	CIMITARRA	34.5	D426	CEM
68	CIMITARRA	34.5	D416	CEM
76	CIENAGA	34.5	INT T-1 34.5KV	ASEA
79	SAN GIL	34.5	IT0	DELLE ALSTHOM
79	SAN GIL	34.5	DS	DELLE ALSTHOM
79	SAN GIL	34.5	DM	DELLE ALSTHOM
80	LA CASCADA	6.3	G-3	BROWN BOVERI
80	LA CASCADA	6.3	G-2	BROWN BOVERI
82	SOCORRO	34.5	ILO	DELLE ALSTHOM
82	SOCORRO	13.8	82 501 CATEDRAL	GEC
82	SOCORRO	13.8	82 502 BATALLON	GEC
82	SOCORRO	13.8	82 503 BERLIN	GEC
88	BARBOSA	34.5	1H0	MAGRINI GALILEO
88	BARBOSA	34.5	6H0	CEM

95	GARCIA ROVIRA	34.5	T-1 34.5 KV ITH1	EIB
95	GARCIA ROVIRA	34.5	T-2 34.5 KV ITH2	MAGRINI GALILEO

Fuente: Autores

Finalmente en la tabla que se muestra a continuación se listan los interruptores con extinción de arco median soplado magnético, mostrando el nombre de la subestación donde se ubica la celda, la marca, el nivel de tensión, la ubicación y una observación que muestra al transformador de cual está asociado.

Tabla 4. Interruptores de soplado magnético.

SUBESTACIÓN	MARCA	TENSIÓN	UBICACIÓN	OBSERVACIÓN
PARNASO	WESTINGHOUSE	13.8	T1	Pertenecen al T1
PARNASO	WESTINGHOUSE	13.8	Cto 7	Pertenecen al T1
PARNASO	WESTINGHOUSE	13.8	Cto 8	Pertenecen al T1
PARNASO	WESTINGHOUSE	13.8	Cto 9	Pertenecen al T1
PARNASO	WESTINGHOUSE	13.8	Cto 10	Pertenecen al T1
PALENQUE	WESTINGHOUSE	13.8	Cto 1	Pertenecen al T2
PALENQUE	WESTINGHOUSE	13.8	Cto 2	Pertenecen al T2
PALENQUE	WESTINGHOUSE	13.8	Cto 3	Pertenecen al T2
PALENQUE	WESTINGHOUSE	13.8	Cto 4	Pertenecen al T7
PALENQUE	WESTINGHOUSE	13.8	Cto 5	Pertenecen al T7

Fuente: Autores

3. ANÁLISIS DE CRITICIDAD

El análisis de criticidad es la metodología que permite jerarquizar instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones.

En otras palabras, la criticidad determina la importancia de una máquina o un equipo en el proceso productivo. Esta importancia es típicamente basada en una evaluación de las consecuencias que implicaría la falla del equipo en servicio.

Teniendo en cuenta que uno de los objetivos es la continuidad del servicio, cualquier afectación a un solo usuario del sistema se considera una falla crítica; por tal razón fácilmente se deduce la mayor criticidad de los transformadores de potencia de la ESSA, seguidos de los interruptores diseñados para la protección.

4. ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (FMEA)

Es un proceso sistemático para identificar fallas potenciales de diseño y proceso antes de que estas ocurran, con la intención de eliminar o minimizar los riesgos asociados a ellos. El FMEA documenta las acciones preventivas y la revisión del proceso.

Para realizar un análisis de las funciones de mantenimiento de cada equipo, se plantea un marco general en que se aplica una Plantilla de Mantenimiento que va desde lo más general a lo particular, centrándose el análisis en la criticidad del elemento, y en un análisis de riesgo que permite evaluar el efecto que tendrá una falla sobre el conjunto del subsistema.

Para la elaboración de un programa de mantenimiento se adoptan ciertos criterios, que permiten orientar y enmarcar las tareas o acciones a ejecutar desde la puesta en servicio y durante toda la vida útil de las instalaciones.

El Objetivo del Mantenimiento es asegurar que —los activos físicos— continúen desempeñando las funciones deseadas para las cuales fueron diseñados, por ello se centra la atención en el cuidado de las funciones críticas que permiten que el sistema opere según se desea:

- Dado que lo que interesa es la disponibilidad del equipo o línea eléctrica, el que a su vez depende de las fallas, el programa de mantención se sustenta en un análisis de confiabilidad.
- Más que el equipo mismo, interesa la función que este desempeña, que es la que realmente produce resultados, y que es interrumpida por las fallas.
- Se toma como base la tasa de fallas y su influencia sobre el total, así como la criticidad del elemento objeto del mantenimiento que se evalúa.

3.1 METODOLOGÍA

Es un procedimiento sistemático y estructurado para determinar los requerimientos de mantenimiento de los equipos en su contexto de operación. La metodología consiste en analizar las funciones de los activos, ver cuáles son sus posibles fallas, luego preguntarse por los modos de falla y las causas raíz de estas, estudiar sus efectos y analizar sus consecuencias.

3.1.1 Modos de Falla

- **Local:** Afecta el equipo en forma local.
- **Sistema:** Afecta el sistema bajo análisis.
- **General:** Afecta más allá del sistema bajo análisis.

3.1.2. Tipos de Falla

Cada modo de falla crítico, y el efecto resultante son clasificados en uno de cuatro categorías o prioridades:

- **Fallas invisibles:** Son las fallas que no aparecen inmediatamente, pero que incrementan el riesgo de fallas de múltiples consecuencias, e.g. falla en un interruptor o en un dispositivo de protección.
- **Seguridad y ambientales:** Estas son fallas que tienen una alta probabilidad de causar pérdida de vidas o serios perjuicios ambientales.
- **Operacional:** Son las fallas que producen gastos indirectos al agregar costos de reparación.
- **No Operacional:** Estas fallas no involucran sólo costos de reparación.

Estas categorías son aplicadas para asegurar un nivel de mantención suficiente que permita prevenir de efectivamente una falla.

3.1.3 Efectos de falla

El siguiente paso en el proceso consiste en hacer una lista de lo que de hecho sucede al producirse cada modo de falla. Esto se denomina efectos de la falla. Los efectos de la falla describen qué pasa cuando ocurre un modo de falla.

Un efecto de falla no es lo mismo que consecuencia de falla. Un efecto de falla responde a la pregunta ¿Qué ocurre?, mientras que una consecuencia de falla responde la pregunta ¿Qué importancia tiene?.

La descripción de estos efectos debe incluir toda la información necesaria para ayudar en la evaluación de las consecuencias de las fallas. Concretamente, al describir los efectos de una falla, debe hacerse constar lo siguiente:

- La evidencia (si la hubiera) de que se ha producido una falla.
- Las maneras (si las hubiera) en que la falla supone una amenaza para la seguridad o el medio ambiente.
- Las maneras (si las hubiera) en que afecta a la producción o a las operaciones.
- Los daños físicos (si los hubiera) causados por la falla.

Qué debe hacerse para reparar la falla.

3.1.4 Fuentes de información acerca de modos y efectos.

Al considerar dónde obtener la información necesaria para armar un FMEA (Análisis de Modos y Efectos de Falla) completo, se debe recordar ser proactivos, esto significa que debe darse tanto énfasis en lo que podría ocurrir como en lo que ha ocurrido.

Las fuentes de información más frecuentes se describen a continuación:

- El fabricante o proveedor del equipo.
- Listas genéricas de modos de falla.
- Otros usuarios de transformadores.
- Registros de antecedentes técnicos.

3.1.5 Requerimientos de mantenimiento de equipos de subestación

Los activos pertenecientes a los sistemas eléctricos son altamente susceptibles a fallas, las cuales puede acarrear en eventos o efectos de diferentes grados de criticidad. En base a esto al analizar los subsistemas que componen una subestación de potencia (Sistema), podemos determinar las tareas de mantenimiento óptimas y adecuadas a cada elemento del mismo. Estas tareas se analizan en base a los modos de falla que puede incurrir el subsistema y los efectos que puede acarrear el mismo, basándonos en información del fabricante y tratamiento histórico de las fallas por parte del personal técnico.

A continuación se reúnen en las siguientes tablas los requerimientos para los subsistemas básicos de las subestaciones de potencia ESSA, los cuales son: los transformadores de potencia, bahías de línea o transformación de 230 kV, 115 kV, 34,5 kV y 13,8 kV, con la descripción de los efectos para diferentes modos de falla con su respectiva tarea de mantenimiento, (codificada en la parte izquierda de la tabla):

Tabla 5. Requerimientos de mantenimiento de transformadores de potencia.

SISTEMA:		SUBESTACIONES DE POTENCIA ESSA			
SUBSISTEMA:		TRANSFORMADOR DE POTENCIA			
FUNCIÓN		Transferir potencia eléctrica			
ESTANDAR DE EJECUCIÓN:		Transferir potencia eléctrica en condiciones normales de operación.			
MODO DE FALLA		FALLA FUNCIONAL		EFECTOS	TAREA MTTO
		PARCIAL	TOTAL		
1A	Falla Pararrayos 230kV		X	El pararrayo queda abierto sin protección contra sobretensiones se evidencia cuando no existe variación en el contador de descargas. En este caso es posible que opere la protección por sobretensión y dispare el transformador.	Mantenimiento y revisión a los pararrayos realizando verificación y medición del SPT. Limpieza de aisladores.
2A	Falla Pararrayos 115kV		X	El pararrayo queda abierto sin protección contra sobretensiones se evidencia cuando no existe variación en el contador de descargas. En este caso es posible que opere la protección por sobretensión y dispare el transformador.	Mantenimiento y revisión a los pararrayos realizando verificación y medición del SPT. Limpieza de aisladores.
3A	Falla conectores de potencia		X	Rotura de conexión debido a presencia de puntos calientes.	Revisión y cambio de conectores en mal estado. Ajuste de conectores con puntos calientes.
4A	Falla relé Buchholtz		X	El relé opera erradamente por cortocircuito en su contactos. El relé no opera bajo una falla y deja en riesgo el Transformador.	Revisión y pruebas del relé buchholtz.
5A	Falla relé Sobrepresión		X	El relé opera erradamente por cortocircuito en su contactos. El relé no opera bajo una falla y deja en riesgo el Transformador	Revisión y pruebas del relé sobrepresión.
6A	Falla relé flujo		X	El relé opera erradamente por cortocircuito en su contactos. El relé no opera bajo una falla y deja en riesgo el Transformador	Revisión y pruebas del relé flujo
7A	Falla relé Presión Súbita		X	El relé opera erradamente por cortocircuito en su contactos. El relé no opera bajo una falla y deja en riesgo el Transformador	Revisión y pruebas del relé Presión Súbita

SISTEMA:		SUBESTACIONES DE POTENCIA ESSA			
SUBSISTEMA:		TRANSFORMADOR DE POTENCIA			
FUNCIÓN:		Transferir potencia eléctrica			
ESTANDAR DE EJECUCIÓN:		Transferir potencia eléctrica en condiciones normales de operación.			
MODO DE FALLA		FALLA FUNCIONAL		EFECTOS	TAREA MTTO
		PARCIAL	TOTAL		
8A	Falla Termómetros aceite y devanados		X	Operación errada por cortocircuito en su contactos. Descalibración de los termómetros dejando en riesgo el Transformador. Se detecta en el momento de no accionar los ventiladores.	Revisión y pruebas Termómetros
9A	Falla indicador de nivel de aceite		X	Operación errada por cortocircuito en su contactos. Descalibración del nivel en que debe actuar dejando en riesgo el Transformador.	Revisión y pruebas indicador de nivel de aceite.
10A	Falla Cambiatomas		X	Problemas con el control del cambiatomas (motor, contactos). Daño en el ruptor del cambiatomas (correas, resistencias de paso, baquetas etc) y/o deterioro del aceite dieléctrico. Esta falla puede ser evidenciada por operación de los relés de flujo y/o presión súbita.	Extracción del ruptor del cambiatomas, realizando limpieza y revisión de sus componentes. Cambio del aceite dieléctrico. Mantenimiento al respirador de sílica del tanque de expansión.
11A	Falla Devanados		X	Cortocircuito en devanados se evidencian por una operación de los relés buchholtz y/o sobrepresión. Esta falla se relaciona con el deterioro del papel y el aceite dieléctrico del transformador.	Revisión y Pruebas Eléctricas (resistencia de devanados, relación de transformación, factor de potencia, resistencia de aislamiento).
12A	Falla Cuba		X	Falla la conexión interna de la cuba con el núcleo (hierro).	Revisión y pruebas eléctricas al transformador. Se prueba conexión de la cuba con el núcleo.
13A	Falla cableado de potencia		X	Rotura del cableado debido a presencia de puntos calientes.	Revisión y ajuste del cableado de potencia. Cambio de cableado en mal estado.
14A	Falla Protecciones Eléctricas		X	Relé diferencial y sobrecorriente desajustado lo que puede ocasionar disparos indeseados.	Revisión y pruebas de inyección secundaria
15A	Falla sistema de refrigeración (ventiladores)	X		Se evidencia algún ventilador fallando o parado lo cual origina que el transformador no mantenga una temperatura óptima.	Revisión y pruebas circuito de alimentación ventiladores.

					Cambio y/o reparación de un ventilador en mal estado.
16A	Falla operativa sobrecarga		X	El transformador es forzado por mucho tiempo a trabajar en sobrecarga lo cual expone su vida útil.	Revisión y pruebas del sistema de protección por sobrecarga

SISTEMA:		SUBESTACIONES DE POTENCIA ESSA			
SUBSISTEMA:		TRANSFORMADOR DE POTENCIA			
FUNCIÓN:		Transferir potencia eléctrica			
ESTANDAR DE EJECUCIÓN:		Transferir potencia eléctrica en condiciones normales de operación.			
MODO DE FALLA		FALLA FUNCIONAL		EFECTOS	TAREA MTTO
		PARCIAL	TOTAL		
17A	Falla Aislamiento parte externa		X	Deterioro de aislamientos (bushings).	Revisión y limpieza bushings. Pruebas de capacitancia a los bushings. Ajuste bushings. Cambio de bushing en mal estado.
18A	Falla Aislamiento parte interna		X	Deterioro del aceite dieléctrico y degradación del papel (presencia de humedad y carbonización del aceite) lo cual origina un cortocircuito dentro de la cuba.	Proceso de regeneración y termovaciación mejorando calidad del aceite dieléctrico. Mantenimiento al respirador de sílica del tanque de expansión.
19A	Falla SPT		X	Calentamiento de la cuba del transformador. Se detecta mal estado del cable de puesta a tierra.	Revisión y medición de los puntos de conexión al SPT. Cambio del sistema de cables de puesta a tierra. Mejoramiento de la malla de SPT.
20A	Falla bajo nivel de aceite		X	Disparo por bajo nivel de aceite. Fugas sobre los radiadores, carcasa protecciones mecánicas, tanque de expansión entre otros. Estas fugas pueden presentarse debido a corrosión e impactos desafortunados sobre el transformador.	Lavado y pintado anticorrosivo del transformador. Corrección de fugas de aceite evitando bajo nivel.
21A	Falla caja de control de las protecciones		X	La caja de control presenta humedad y/o presencia de insectos haciendo coci sobre las bornas, contactos entre otros.	Limpieza y adecuación de las bornas. Revisión de la resistencia de calefacción.
22A	Falla Sistema de refrigeración (Bomba)	X		Se detecta cortocircuito en el motor de refrigeración forzada con bomba.	Revisión y pruebas del motor de la bomba. Cambio y/o reparación del motor de recirculación del aceite.

Fuente: Autores

Tabla 5. Requerimientos de mantenimiento de bahías de 230kV.

SISTEMA:		SUBESTACIONES DE POTENCIA ESSA			
SUBSISTEMA:		BAHÍA 230kV			
FUNCION:		Transferir potencia eléctrica			
ESTANDAR DE EJECUCIÓN:		Transferir potencia eléctrica en condiciones normales de operación.			
MODO DE FALLA		FALLA FUNCIONAL		EFECTOS	TAREA MTTO
		PARCIAL	TOTAL		
1B	Falla Seccionadores		X	Sistema motorizado bajo falla (coci) dejando a mitad de carrera las cuchillas del seccionador, aislamiento en mal estado de los polos del seccionador y mala lubricación del mecanismo. Reglaje no apropiado.	Revisión del sistema motorizado, comprobación y/o ajuste de reglaje. Lubricación del mecanismo, engrase de contactos y limpieza de polos de porcelana. Mantenimiento caja de control.
2B	Falla Disyuntor (caja de control)	X		La caja de control presenta humedad y/o presencia de insectos haciendo coci sobre las borneras, contactos entre otros.	Limpieza y adecuación de las borneras. Revisión de la resistencia de calefacción.
3B	Falla Disyuntor (presión aceite)	X		El sistema hidráulico presenta fugas de aceite y se presenta baja presión del aceite bloqueando el equipo	Mantenimiento al sistema hidráulico normalizando la baja presión de aceite. Cambio de gatos hidráulicos
4B	Falla Disyuntor (presión SF6)	X		El equipo presenta fuga del gas SF6 bloqueando el equipo	Mantenimiento y reparación de los polos (cambio de empaquetadura). Inyección gas SF6.
5B	Falla interna Disyuntor		X	El equipo presenta en sus contactos internos desgaste excesivo lo que ocasionaría la imposibilidad de cierre seguro.	Medición de la resistencia de contactos verificando el buen estado de los contactos.
6B	Falla CT		X	El equipo falla en su aislamiento (aceite dieléctrico y/o papel, porcelana)	Mantenimiento y pruebas eléctricas (resistencia de devanados, relación de transformación, factor de potencia, resistencia de aislamiento).
7B	Falla cableado de potencia		X	Rotura del cableado debido a presencia de puntos calientes	Revisión y ajuste del cableado de potencia. Cambio de cableado en mal estado.
8B	Falla conectores de potencia		X	Rotura de conexión debido a presencia de puntos calientes	Revisión y cambio de conectores en mal estado. Ajuste de conectores con puntos calientes.

Fuente: Autores

Tabla 6. Requerimientos de mantenimiento de bahías de 115kV.

SISTEMA:		SUBESTACIONES DE POTENCIA ESSA			
SUBSISTEMA:		BAHIA 115kV			
FUNCION:		Transferir potencia eléctrica			
ESTANDAR DE EJECUCIÓN:		Transferir potencia eléctrica en condiciones normales de operación.			
MODO DE FALLA		FALLA FUNCIONAL		EFECTOS	TAREA MTTO
		PARCIAL	TOTAL		
1C	Falla Seccionadores		X	Sistema motorizado bajo falla (coci) dejando a mitad de carrera las cuchillas del seccionador, aislamiento en mal estado de los polos del seccionador y mala lubricación del mecanismo. Reglaje no apropiado.	Revisión del sistema motorizado, comprobación y/o ajuste de reglaje. Lubricación del mecanismo, engrase de contactos y limpieza de polos de porcelana. Mantenimiento caja de control.
2C	Falla Disyuntor (caja de control)	X		La caja de control presenta humedad y/o presencia de insectos haciendo coci sobre las borneras, contactos entre otros.	Limpieza y adecuación de las borneras. Revisión de la resistencia de calefacción.
3C	Falla Disyuntor (presión aceite)	X		El sistema hidráulico presenta fugas de aceite y se presenta baja presión del aceite bloqueando el equipo	Mantenimiento al sistema hidráulico normalizando la baja presión de aceite. Cambio de gatos hidráulicos y/o válvula de señalización.
4C	Falla Disyuntor (presión SF6)	X		El equipo presenta fuga del gas SF6 bloqueando el equipo	Mantenimiento y reparación de los polos (cambio de empaquetadura). Inyección gas SF6.
5C	Falla interna Disyuntor		X	El equipo presenta en sus contactos internos desgaste excesivo lo que ocasionaría la imposibilidad de cierre seguro,	Medición de la resistencia de contactos verificando el buen estado de los contactos.
6C	Falla CT		X	El equipo falla en su aislamiento (aceite dieléctrico y/o papel, porcelana)	Mantenimiento y pruebas eléctricas (resistencia de devanados, relación de transformación, factor de potencia, resistencia de aislamiento)
7C	Falla PT		X	El equipo falla en su aislamiento (aceite dieléctrico y/o papel, porcelana)	Mantenimiento y pruebas eléctricas (resistencia de devanados, relación de transformación, factor de potencia, resistencia de aislamiento)
8C	Falla cableado de potencia	X		Rotura del cableado debido a presencia de puntos calientes	Revisión y ajuste del cableado de potencia. Cambio de cableado en mal estado.
9C	Falla conectores de potencia	X		Rotura de conexión debido a presencia de puntos calientes	Revisión y cambio de conectores en mal estado. Ajuste de conectores con puntos calientes.

Fuente: Autores

Tabla 7. Requerimientos de mantenimiento de bahías de 34,5kV/13,8kV.

SISTEMA: SUBESTACIONES DE POTENCIA ESSA					
SUBSISTEMA: BAHIA 13,8kV/34,5kV					
FUNCION: Transmisión de potencia eléctrica					
ESTANDAR DE EJECUCIÓN: Transferir potencia eléctrica en condiciones normales de operación					
MODO DE FALLA		FALLA FUNCIONAL		EFECTOS	TAREA MTTO
		PARCIAL	TOTAL		
1D	Falla cableado de potencia		X	Rotura del cableado debido a presencia de puntos calientes, Perforación del cable XLPE y/o terminal premoldeado en deterioro presentando chisporroteo.	Revisión y ajuste del cableado de potencia. Cambio de cableado en mal estado. Recuperación de terminales premoldeados.
2D	Falla conectores de potencia		X	Rotura de conexión debido a presencia de puntos calientes	Revisión y cambio de conectores en mal estado. Ajuste de conectores con puntos calientes.
3D	Falla Transformador de Auxiliares		X	Falla de aislamiento presentando cortocircuito	Mantenimiento y pruebas eléctricas (resistencia de devanados, relación de transformación, factor de potencia, resistencia de aislamiento). Corrección de fugas.

Fuente: Autores

Debido a los efectos catastróficos que puede traer la salida inesperada de una subestación, a continuación se analizan tres modos de falla de gran importacioncita en el funcionamiento del sistema:

Tabla 8. Requerimientos de mantenimiento predictivo.

SISTEMA:		PATIO TRANSFORMACIÓN DE POTENCIA 150MVA 230KV/115/13,8kV EN LA S/E PALOS			
SUBSISTEMA:		AUTOTRANSFORMADOR 150MVA - 230KV/115/13,8kV			
SUBSISTEMA:		BAHIA 230kV			
SUBSISTEMA:		BAHÍA 115kV			
SUBSISTEMA:		BAHÍA 13,8kV			
MODO DE FALLA		FALLA FUNCIONAL		EFECTOS	TAREA MTTO PREDICTIVO
		PARCIAL	TOTAL		
1E	Falla Aislamiento parte interna		X	Deterioro del aceite dieléctrico y degradación del papel (presencia de humedad y carbonización del aceite)	Pruebas físico-químicas y cromatográficas
2E	Falla conectores de potencia		X	Rotura de conexión debido a presencia de puntos calientes	Inspección termográfica
3E	Falla cableado de potencia		X	Rotura del cableado debido a presencia de puntos calientes	Inspección termográfica

Fuente: Autores

5. ESPECIFICACIONES DEL PLAN DE MANTENIMIENTO

Las tareas que se realizan en el mantenimiento de los transformadores, las bahías y las actividades de inspecciones predictivas, se basan en los resultados de causa raíz de las fallas, experiencia del personal y recomendaciones del fabricante.

Buscando optimizar recursos, tiempo y en base al análisis de FMEA realizado, a continuación se resumen las tareas correspondientes a las actividades de mantenimiento preventivo y predictivo correspondiente al plan, separadas por subsistemas y codificadas con un número y una letra, en donde el número determina la secuencia de una actividad y la letra me identifica el subsistema:

Tabla 9. Tareas subsistema transformador de potencia.

1A	Mantenimiento y revisión a los pararrayos realizando verificación y medición del SPT. Limpieza de aisladores.
2A	Mantenimiento y revisión a los pararrayos realizando verificación y medición del SPT. Limpieza de aisladores.
3A	Revisión y cambio de conectores en mal estado. Ajuste de conectores con puntos calientes.
4A	Revisión y pruebas del relé buchholtz.
5A	Revisión y pruebas del relé sobrepresión.
6A	Revisión y pruebas del relé flujo
7A	Revisión y pruebas del relé Presión Súbita
8A	Revisión y pruebas Termómetros
9A	Revisión y pruebas indicador de nivel de aceite.
10A	Extracción del ruptor del cambiatomas, realizando limpieza y revisión de sus componentes. Cambio del aceite dieléctrico. Mantenimiento al respirador de silica del tanque de expansión.
11A	Revisión y Pruebas Eléctricas (resistencia de devanados, relación de transformación, factor de potencia, resistencia de aislamiento).
12A	Revisión y pruebas eléctricas al transformador. Se prueba conexión de la cuba con el núcleo.
13A	Revisión y ajuste del cableado de potencia. Cambio de cableado en mal estado.
14A	Revisión y pruebas de inyección secundaria
15A	Revisión y pruebas circuito de alimentación ventiladores.
16A	Revisión y pruebas del sistema de protección por sobrecarga
17A	Revisión y limpieza bushings. Pruebas de capacitancia a los bushings. Ajuste bushings.
18A	Proceso de regeneración y termovació mejorando calidad del aceite dieléctrico. Mantenimiento al respirador

	de silica del tanque de expansión.
19A	Revisión y medición de los puntos de conexión al SPT.Cambio del sistema de cables de puesta a tierra.
20A	Lavado y pintado anticorrosivo del transformador. Corrección de fugas de aceite evitando bajo nivel.
21A	Limpieza y adecuación de las borneras. Revisión de la resistencia de calefacción.
22A	Revisión y pruebas del motor de la boma. Cambio y/o reparación del motor de recirculación del aceite.

Fuente: Autores

Tabla 10. Tareas subsistema bahía 230kV

1B	Revisión del sistema motorizado, comprobación y/o ajuste de reglaje. Lubricación del mecanismo, engrase de contactos y limpieza de polos de porcelana. Mantenimiento caja de control.
2B	Limpieza y adecuación de las borneras. Revisión de la resistencia de calefacción.
3B	Mantenimiento al sistema hidráulico normalizando la baja presión de aceite. Cambio de gatos hidráulicos
4B	Mantenimiento y reparación de los polos (cambio de empaquetadura). Inyección gas SF6.
5B	Medición de la resistencia de contactos verificando el buen estado de los contactos.
6B	Mantenimiento y pruebas eléctricas (resistencia de devanados, relación de transformación, factor de potencia, resistencia de aislamiento).
7B	Revisión y ajuste del cableado de potencia. Cambio de cableado en mal estado.
8B	Revisión y cambio de conectores en mal estado. Ajuste de conectores con puntos calientes.

Fuente: Autores

Tabla 11. Tareas subsistema bahía 115kV

1C	Revisión del sistema motorizado, comprobación y/o ajuste de reglaje. Lubricación del mecanismo, engrase de contactos y limpieza de polos de porcelana. Mantenimiento caja de control.
2C	Limpieza y adecuación de las borneras. Revisión de la resistencia de calefacción.
3C	Mantenimiento al sistema hidráulico normalizando la baja presión de aceite. Cambio de gatos hidráulicos y/o válvula de señalización.
4C	Mantenimiento y reparación de los polos (cambio de empaquetadura). Inyección gas SF6.
5C	Medición de la resistencia de contactos verificando el buen estado de los contactos.
6C	Mantenimiento y pruebas eléctricas (resistencia de devanados, relación de transformación, factor de potencia, resistencia de aislamiento)
7C	Mantenimiento y pruebas eléctricas (resistencia de devanados, relación de transformación, factor de potencia, resistencia de aislamiento)
8C	Revisión y ajuste del cableado de potencia. Cambio de cableado en mal estado.
9C	Revisión y cambio de conectores en mal estado. Ajuste de conectores con puntos calientes.

Fuente: Autores

Tabla 12. Tareas subsistema bahías 34,5kV/13,8kV.

1D	Revisión y ajuste del cableado de potencia. Cambio de cableado en mal estado. Recuperación de terminales premoldeados.
2D	Revisión y cambio de conectores en mal estado. Ajuste de conectores con puntos calientes.
3D	Mantenimiento y pruebas eléctricas (resistencia de devanados, relación de transformación, factor de potencia, resistencia de aislamiento). Corrección de fugas.

Fuente: Autores

Tabla 13. Tareas de mantenimiento predictivo.

1E	Pruebas físico-químicas y cromatográficas
2E	Inspección termográfica
3E	Inspección termográfica

Fuente: Autores

En base a las tarea arriba mencionadas y para mayor detalle, compresión, y control tanto del encargado como todo el personal involucrado, estas actividades y/o tareas se enmarcan dentro del formato mostrado a continuación; el cual de la manera más amigable, permite realiza la inspección, el control y el seguimiento, tanto del estado inicial del activo, como de las actividades realizadas.

Figura 28. Formato de mantenimiento de equipos

 Grupo epm	MACROPROCESO PRESTACIÓN DE SERVICIO DE ENERGÍA ELÉCTRICA	Versión No.: 01
	PROCESO MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN	Página 1 de 2
	FORMATO MANTENIMIENTO DE EQUIPOS	Codigo FPSMS002

ODT: _____	ELEMENTO: _____	MARCA/TIPO: _____
OT: _____	MÓDULO: _____	#SERIE: _____
FECHA: _____	S/E: _____	FECHA FAB: _____

1. ESTADO INICIAL DE LOS EQUIPOS

ESTADO OPERATIVO	
Funcionamiento Normal ☐ Silica (Cuba) Buena Mala Silica (Cambiat) Buena Mala Nivel de aceite Normal Bajo Fugas de aceite Si No Pintura Buena Mala	Pendiente reparación ☐ Aceite dieléctrico Bueno Malo Mirillas Buena Mala Empaques Bueno Malo Mecanismo Oper. Bueno Malo Ventiladores en falla/total /
Fuera de servicio ☐ Aceite Hidráulico Normal Bajo Conectores Bueno Malo Cant: SPT Bueno Malo Cant: Bushing Bueno Malo Cant: Pararrayos Bueno Malo Cant:	Grupo de conexión (Transformador) ☐ CAMBIATOMAS (Transformador) MARCA TIPO

OBSERVACIONES:

2. TRABAJOS REALIZADOS

Inspección ☐	Mto Preventivo ☐	Mto Correctivo ☐	Montaje ☐ Desmontaje ☐
-------------------------------------	---	---	--

Cambio silica (Cuba) ☐ Cambio silica (Cambiat) ☐ Nivelación de aceite ☐ Corrección fuga aceite ☐ Pintura VERDE-GRIS-ROJA-AZUL ☐	Cambio de aceite ☐ Cambio de mirillas ☐ Cambio empaques ☐ Mto mecanis. oper. ☐ #Ventilad. Cambiad ☐	Nivelación Aceite hidrául. ☐ Reparación Conectores ☐ Adecuación Tierras ☐ Adecuación Bushing ☐ Medida de SPT (Ohm) ☐	CAMBIATOMAS (Transformador) # Maniobras Posición Tap Cambio Aceite Dieléct.
--	--	---	--

RESISTENCIA DE CONTACTOS $\mu\Omega$	CONTADOR MANIOBRAS								
Iniciales: Fase Roja: _____ Fase amarilla: _____ Fase Azul: _____ Finales: Fase Roja: _____ Fase amarilla: _____ Fase Azul: _____	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 25%;">Roja</th> <th style="width: 25%;">Amaril</th> <th style="width: 25%;">Azul</th> <th style="width: 25%;">Unico/Bomba</th> </tr> <tr> <td style="height: 40px;"></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	Roja	Amaril	Azul	Unico/Bomba				
Roja	Amaril	Azul	Unico/Bomba						

PRESIÓN SF6	Bar Mpa
Iniciales: Fase Roja: _____ Fase amarilla: _____ Fase Azul: _____ Valor Unico: _____ Finales: Fase Roja: _____ Fase amarilla: _____ Fase Azul: _____ Valor Unico: _____	

RECLOSER											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;">Batería</td> <td style="width: 25%;">Buena</td> <td style="width: 25%;">Mala</td> <td style="width: 25%;">Control</td> <td style="width: 25%;">Bueno</td> <td style="width: 25%;">Malo</td> <td style="width: 25%;">Pararrayos</td> <td style="width: 25%;">Bueno</td> <td style="width: 25%;">Malo</td> <td style="width: 25%;">Cant:</td> <td style="width: 25%;">Contador maniobras</td> </tr> </table>	Batería	Buena	Mala	Control	Bueno	Malo	Pararrayos	Bueno	Malo	Cant:	Contador maniobras
Batería	Buena	Mala	Control	Bueno	Malo	Pararrayos	Bueno	Malo	Cant:	Contador maniobras	

AJUSTE TORNILLERÍA	Torque aplicado

CORRECCIÓN PTO. CALIENTES	#ODT / # Termografía

	MACROPROCESO PRESTACIÓN DE SERVICIO DE ENERGÍA ELÉCTRICA	Versión No.: 01
	PROCESO MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN	Página 2 de 2
	FORMATO MANTENIMIENTO DE EQUIPOS	Código FPSMS002

CORRECCIÓN PTOS CALIENTES	#ODT / # Termografía

OBSERVACIONES

3. ESTADO FINAL DE LOS EQUIPOS
 Operación normal ☐
 Pendiente reparación ☐
 Fuera de servicio ☐

OBSERVACIONES

EJECUTANTE DEL TRABAJO:

Fuente: Autores

6. PLAN DE MANTENIMIENTO

Al establecer las distintas tareas de mantenimiento para los transformadores, bahías y actividades de prueba e inspecciones predictivas, se tiene la información del proceder para mantener los elementos más importantes de las subestaciones. Teniendo en cuenta procedimientos históricos cabe anotar que el tiempo de ejecución de mantenimiento preventivo para transformadores y sus respectivas bahías corresponde a un periodo de dos años mientras que las actividades de mantenimiento predictivo se ejecutan cada tres meses, y una tarea anual.

Con las actividades establecidas en la tablas 9, 10, 11,12 y 13 se asigna una letra para los distintos elementos del sistema:

A: Se hace referencia a actividades de mantenimiento para los transformadores.

B: Corresponde a las tareas de mantenimiento de para bahías de 230kV.

C: Corresponde a las tareas de mantenimiento de para bahías de 115kV.

D: Corresponde a las tareas de mantenimiento de para bahías de 13,8kV.

E: Corresponde a las tareas de mantenimiento de para bahías de 13,8kV.

En la tabla 14, como ejemplo práctico, partimos del hecho que el ultimo mantenimiento preventivo realizado a un transformador de potencia X fue en el mes de noviembre de 2011, por lo cual podemos observar una proyección partiendo del año 2013 a 2017, resumiendo en el mismo las tareas de mantenimiento preventivo del transformados (letras A), mantenimiento preventivo bahías 230 kV (letras B), mantenimiento preventivo bahías 115 kV (letras C), mantenimiento preventivo bahías 34,5 y 13,8 kV (letras D) y tareas de mantenimiento predictivo del sistema (letras E), en el cual el numero 1 indica que en ese mes se ejecuta la actividad correspondiente. La tabla resumen se aprecia a continuación:

Tabla 14. Plan de mantenimiento preventivo y predictivo de subestaciones.

[illegible]

Fuente: Autores

7. COSTOS DE MANTEIMIENTO DE SUBESTACIONES ESSA

Del análisis FMEA, podemos finalmente obtener los recursos necesario para llevar a cabo el plan de mantenimiento, evidenciando la tarea a realizar sobre cada elemento que compone un subsistema, mostrando su frecuencia de mantenimiento, estimando la duración y el costo de la tarea a realizar, y comparándola con el costo del DNA (Demanda No Atendida) o que se incurre en caso de parada, el cual como se puede observar al optimizar tareas y frecuencias bajo este análisis trae menores paradas de planta, mayor beneficio y menos sanciones a la Empresa.

A continuación se tabulan los costos de todas las tareas obtenidas del análisis FMEA y se compara con el costo del DNA si se presentase falla:

Tabla 15. Costos de tareas de mantenimiento de transformadores.

SISTEMA:		SUBESTACIONES DE POTENCIA ESSA									
SUBSISTEMA:		TRANSFORMADORES DE POTENCIA									
FUNCIÓN		Transferir potencia eléctrica									
ESTANDAR DE EJECUCIÓN:		DE Transferir potencia eléctrica en condiciones normales de operación.									
MODO DE FALLA		FALLA FUNCIONAL		EFECTOS	TAREA MTTO	FRECUENCIA (Meses)	DURACIÓN TAREA (Horas)	COSTO TAREA (\$)		COSTO DNA	
		PARCIAL	TOTAL								
1A	Falla Pararrayos 230kV		X	El pararrayo queda abierto sin protección contra sobretensiones se evidencia cuando no existe variación en el contador de descargas. En este caso es posible que opere la protección por sobretensión y dispare el transformador.	Mantenimiento y revisión a los pararrayos realizando verificación y medición del SPT. Limpieza de aisladores.	24	2	417.925		83.333.333	
2A	Falla Pararrayos 115kV		X	El pararrayo queda abierto sin protección contra sobretensiones se evidencia cuando no existe variación en el contador de descargas. En este caso es posible que opere la protección por sobretensión y dispare el transformador.	Mantenimiento y revisión a los pararrayos realizando verificación y medición del SPT. Limpieza de aisladores.	24	2	417.925		83.333.333	
3A	Falla conectores de potencia		X	Rotura de conexión debido a presencia de puntos calientes.	Revisión y cambio de conectores en mal estado. Ajuste de conectores con puntos calientes.	Por Condición	2	481.628		83.333.333	
4A	Falla relé Buchholtz		X	El relé opera erradamente por cortocircuito en su contactos. El relé no opera bajo una falla y deja en riesgo el Transformador.	Revisión y pruebas del relé buchholtz	24	i	343.668		41666.667	
5A	Falla relé Sobrepresión		X	El relé opera erradamente por cortocircuito en su contactos. El relé no opera bajo una falla y deja en riesgo el Transformador	Revisión y pruebas del relé sobrepresión.	24	1	343.668		41666.667	
6A	Falla relé flujo		X	El relé opera erradamente por cortocircuito en su contactos. El relé no opera bajo una falla y deja en riesgo el Transformador	Revisión y pruebas del relé flujo	24	1	343.668		41666.667	
7A	Falla relé Presión Súbita		X	El relé opera erradamente por cortocircuito en su contactos. El relé no opera bajo una falla y deja en riesgo el Transformador	Revisión y pruebas del relé Presión Súbita	24	1	343.668		41666.667	

MODO DE FALLA		FALLA FUNCIONAL		EFECTOS	TAREA MTTO	FRECUENCIA (Meses)	DURACION TAREA (Horas)	COSTO TAREA (\$)	COSTO DNA (\$)
		PARCIAL	TOTAL						
8A	Falla Termómetros aceite y devanados		X	Operación errada por cortocircuito en su contactos. Descalibración de los termómetros dejando en riesgo el Transformador. Se detecta en el momento de no accionar los ventiladores.	Revisión y pruebas Termómetros	24	1	343.668	41666.667
9A	Falla indicador de nivel de aceite		X	Operación errada por cortocircuito en su contactos. Descalibración del nivel en que debe actuar dejando en riesgo el Transformador.	Revisión y pruebas indicador	24	1	343.668	41666.667
10A	Falla Cambiatomas		X	Problemas con el control del cambiátomas (motor, contactos). Daño en el ruptor del cambiátomas (correas, resistencias de paso, baquetas etc) y/o deterioro del aceite dieléctrico. Esta falla puede ser evidenciada por operación de los relés de flujo y/o presión súbita.	Extracción del ruptor del cambiátomas, realizando limpieza y revisión de sus componentes. Cambio del aceite dieléctrico. Mantenimiento al respirador de sílica del tanque de expansión.	36	10	3.026.602	416.666.667
11A	Falla Devanados		X	Cortocircuito en devanados se evidencian por una operación de los relés buchholtz y/o sobrepresión. Esta falla se relaciona con el deterioro del papel y el aceite dieléctrico del transformador.	Revisión y Pruebas Eléctricas (resistencia de devanados, relación de transformación, factor de potencia, resistencia de aislamiento).	24	4	474.676	166.666.667
12A	Falla Cuba		X	Falla la conexión interna de la cuba con el núcleo (hierro).	Revisión y pruebas eléctricas al transformador. Se prueba conexión de la cuba con el	24	2	387.338	83.333.333
13A	Falla cableado de potencia		X	Rotura del cableado debido a presencia de puntos calientes.	Revisión y ajuste del cableado de potencia. Cambio de cableado en mal estado.	Por Condición	4	525.483	166.666.667

MODO DE FALLA		FALLA FU	NCIONAL	EFECTOS	TAREA MTTO	FRECUENCIA (Meses)	DURACION TAREA (Horas)	COSTO TAREA (\$)	COSTO DNA (\$)
		PARCIAL	TOTAL						
14A	Falla Protecciones Eléctricas		X	Relé diferencial y sobrecorriente desajustado lo que puede ocasionar disparos indeseados.	Revisión y pruebas de inyección secundaria	24	2	367.338	83.333.333
15A	Falla sistema de refrigeración (ventiladores)	X		Se evidencia algún ventilador fallando o parado lo cual origina que el transformador no mantenga una temperatura óptima.	Revisión y pruebas circuito de alimentación ventiladores. Cambio y/o reparación de un ventilador en mal estado.	24 Por Condición	1 3	343.668 837.006	925.926 2.777.778
16A	Falla operativa sobrecarga		X	El transformador es forzado por mucho tiempo a trabajar en sobrecarga lo cual expone su vida útil.	Revisión y pruebas del sistema de protección por sobrecarga	24	1	343.668	41666.667
17A	Falla Aislamiento parte		X	Deterioro de aislamientos (bushings)	Revisión y limpieza bushings. Pruebas de capacitancia a los bushings. Ajuste bushings. Cambio de bushing en mal	24 Por Condición	2 10	432.856 12.097.214	83.333.333 416.666.667
18A	Falla Aislamiento parte interna		X	Deterioro del aceite dieléctrico y degradación del papel (presencia de humedad y carbonización del aceite) lo cual origina un cortocircuito dentro de la cuba.	Proceso de regeneración y termovacio mejorando calidad del aceite dieléctrico. Mantenimiento al respirador de sílica del tanque de expansión.	Por Condición	240	324.000.000	NA
19A	Falla SPT		X	Calentamiento de la cuba del transformador. Se detecta mal estado del cable de puesta a tierra.	Revisión y medición de los puntos de conexión al SPT. Cambio del sistema de cables de puesta a tierra. Mejoramiento de la malla de SPT.	24 Por Condición	5 16	1298.306 4.859.389	208.333.333 666.666.667
20A	Falla bajo nivel de aceite		X	Disparo por bajo nivel de aceite. Fugas sobre los radiadores, carcasa protecciones mecánicas, tanque de expansión entre otros. Esta fuga pueden presentarse debido a corrosión e impactos desafortunados sobre el transformador.	Lavado y pintado anticorrosivo del transformador. Corrección de fugas de aceite evitando bajo nivel.	60	16	2.698.556	666.666.667
21A	Falla caja de control de las protecciones		X	La caja de control presenta humedad y/o presencia de insectos haciendo coci sobre las bornas, contactos entre otros.	Limpieza y adecuación de las bornas. Revisión de la resistencia de calefacción.	24	2	387.338	83.333.333
22A	Falla Sistema de refrigeración (Bomba)	X		Se detecta cortocircuito en el motor de refrigeración forzada con bomba.	Revisión y pruebas del motor de la bomba. Cambio y/o reparación del motor de recirculación del aceite.	24 Por Condición	1 5	343.668 4.861.841	2.777.778 13.888.889

Fuente: Autores

Tabla 16. Costos de tareas de mantenimiento de bahía de 230kV.

MODO DE FALLA		FALLA FUNCIONAL		EFECTOS	TAREA M TTO	FRECUENCIA (Meses)	DURACION TAREA (Horas)	COSTO TAREA (\$)	COSTO DNA (\$)
		PARCIAL	TOTAL						
1B	Falla Seccionadores		X	Sistema motorizado bajo falla (coci) dejando a mitad de carrera las cuchillas del seccionador, aislamiento en mal estado de los polos del seccionador y mala lubricación del mecanismo. Reglaje no apropiado.	Revisión del sistema motorizado, comprobación y/o ajuste de reglaje. Lubricación del mecanismo, engrase de contactos y limpieza de polos de porcelana. Mantenimiento caja de control.	24	4	582.448	16.294.500
2B	Falla Disyuntor (caja de control)	X		La caja de control presenta humedad y/o presencia de insectos haciendo coci sobre las borneras, contactos entre otros.	Limpieza y adecuación de las borneras. Revisión de la resistencia de calefacción.	24	2	492.390	16.294.500
3B	Falla Disyuntor (presión aceite)	X		El sistema hidráulico presenta fugas de aceite y se presenta baja presión del aceite bloqueando el equipo	Mantenimiento al sistema hidráulico normalizando la baja presión de aceite. Cambio de gatos hidráulicos	24	6	3.222.597	16.294.500
4B	Falla Disyuntor (presión SF6)	X		El equipo presenta fuga del gas SF6 bloqueando el equipo	Mantenimiento y reparación de los polos (cambio de empaquetadura). Inyección gas SF6.	Por Condición	8	2.911.386	16.294.500
5B	Falla interna Disyuntor		X	El equipo presenta en sus contactos internos desgaste excesivo lo que ocasionaría la imposibilidad de cierre seguro.	Medición de la resistencia de contactos verificando el buen estado de los contactos.	24	1	343.668	16.294.500
6B	Falla CT		X	El equipo falla en su aislamiento (aceite dieléctrico y/o papel, porcelana)	Mantenimiento y pruebas eléctricas (resistencia de devanados, relación de transformación, factor de potencia, resistencia de aislamiento).	24	5	538.343	16.294.500
7B	Falla cableado de potencia		X	Rotura del cableado debido a presencia de puntos calientes	Revisión y ajuste del cableado de potencia. Cambio de cableado en mal estado.	Por Condición	4	525.483	16.294.500
8B	Falla conectores de potencia		X	Rotura de conexión debido a presencia de puntos calientes	Revisión y cambio de conectores en mal estado. Ajuste de conectores con puntos calientes.	Por Condición	2	481.628	16.294.500

Fuente: Autores

Tabla 17. Costos de tareas de mantenimiento de bahía de 115kV.

MODO DE FALLA		FALLA FUNCIONAL		EFECTOS	TAREA M TTO	FRECUENCIA A (Meses)	DURACION TAREA (Horas)	COSTO TAREA (\$)	COSTO DNA (\$)
		PARCIAL	TOTAL						
1C	Falla Seccionadores		X	Sistema motorizado bajo falla (coci) dejando a mitad de carrera las cuchillas del seccionador, aislamiento en mal estado de los polos del seccionador y mala lubricación del mecanismo. Reglaje no apropiado.	Revisión del sistema motorizado, comprobación y/o ajuste de reglaje. Lubricación del mecanismo, engrase de contactos y limpieza de polos de porcelana. Mantenimiento caja de control.	24	4	582.448	16.294.500
2C	Falla Disyuntor (caja de control)	X		La caja de control presenta humedad y/o presencia de insectos haciendo coci sobre las borneras, contactos entre otros.	Limpieza y adecuación de las borneras. Revisión de la resistencia de calefacción.	24	2	492.390	16.294.500
3C	Falla Disyuntor (presión aceite)	X		El sistema hidráulico presenta fugas de aceite y se presenta baja presión del aceite bloqueando el equipo	Mantenimiento al sistema hidráulico normalizando la baja presión de aceite. Cambio de gatos hidráulicos y/o válvula de señalización.	24	6	3.222.597	16.294.500
4C	Falla Disyuntor (presión SF6)	X		El equipo presenta fuga del gas SF6 bloqueando el equipo	Mantenimiento y reparación de los polos (cambio de empaquetadura). Inyección gas SF6.	Por Condición	8	2.911.386	16.294.500
5C	Falla interna Disyuntor		X	El equipo presenta en sus contactos internos desgaste excesivo lo que ocasionaría la imposibilidad de cierre seguro.	Medición de la resistencia de contactos verificando el buen estado de los contactos.	24	1	343.668	16.294.500
6C	Falla CT		X	El equipo falla en su aislamiento (aceite dieléctrico y/o papel, porcelana)	Mantenimiento y pruebas eléctricas (resistencia de devanados, relación de transformación, factor de potencia, resistencia de aislamiento).	24	5	538.343	16.294.500
7C	Falla PT		X	El equipo falla en su aislamiento (aceite dieléctrico y/o papel, porcelana)	Mantenimiento y pruebas eléctricas (resistencia de devanados, relación de transformación, factor de potencia, resistencia de aislamiento).	24	5	538.343	16.294.500
8C	Falla cableado de potencia	X		Rotura del cableado debido a presencia de puntos calientes	Revisión y ajuste del cableado de potencia. Cambio de cableado en mal estado.	Por Condición	4	525.483	16.294.500
9C	Falla conectores de potencia	X		Rotura de conexión debido a presencia de puntos calientes	Revisión y cambio de conectores en mal estado. Ajuste de conectores con puntos calientes.	Por Condición	2	481.628	16.294.500

Fuente: Autores

Tabla 18. Costos de tareas de mantenimiento de bahía de 13,8kV.

SISTEMA: PATIO TRANSFORMACION DE POTENCIA 150MVA 230KV/115/13,8KV EN LA S/E PALOS								
SUBSISTEMA: BAHÍA 13,8KV								
FUNCIÓN: Transmisión de potencia eléctrica a voltaje de 13,8kv								
ESTANDAR DE EJECUCIÓN Transmisión de 300 KVA de potencia eléctrica en condiciones normales de operación								
MODO DE FALLA	FALLA FUNCIONAL		EFECTOS	TAREA MTTO	FRECUENCIA (Meses)	DURACION TAREA (Horas)	COSTO TAREA (\$)	COSTO DNA (\$)
	PARCIAL	TOTAL						
1D Falla cableado de potencia		X	Rotura del cableado debido a presencia de puntos calientes, Perforación del cable XLPE y/o terminal premoldado en deterioro presentando chisporroteo.	Revisión y ajuste del cableado de potencia. Cambio de cableado en mal estado. Recuperación de terminales premoldados.	Por Condición	8	6.029.617	434.520.000
2D Falla conectores de potencia		X	Rotura de conexión debido a presencia de puntos calientes	Revisión y cambio de conectares en mal estado. Ajuste de conectares con puntos calientes.	Por Condición	2	481.628	108.630.000
3D Falla Transformador de Auxiliares		X	Falla de aislamiento presentando cortocircuito	Mantenimiento y pruebas eléctricas (resistencia de devanados, relación de transformación, factor de potencia, resistencia de aislamiento). Corrección de fugas.	24	4	503.931	217.260.000

Fuente: Autores

Tabla 19. Costos de tareas de mantenimiento predictivo.

SISTEMA A:			PATIO TRANSFORMACION DE POTENCIA 150MVA 230KV/115/13.8KV EN LA S/E PALOS					
SUBSISTEMA:			AUTOTRANSFORMADOR 150MVA - 230KV/115/13.8KV					
SUBSISTEMA:			BAHIA 230KV					
SUBSISTEMA:			BAHIA 115KV					
SUBSISTEMA:			BAHIA 13.8KV					
MODO DE FALLA		FALLA FUNCIONAL		EFECTOS	AREA MTTO PREDICTIVO	FRECUENCIA (Meses)	DURACION TAREA (Horas)	COSTO TAREA
		PARCIAL	TOTAL					
1E	Falla Aislamiento parte interna		X	Deterioro del aceite dieléctrico y degradación del papel (presencia de humedad y carbonización del aceite)	Pruebas físico-químicas y cromatográficas	12	56	\$1058.790,00
2E	Falla conectores de potencia		X	Rotura de conexión debido a presencia de puntos calientes	Inspección termográfica	3	15	\$1399.924.52
3E	Falla cableado de potencia		X	Rotura del cableado debido a presencia de puntos calientes	Inspección termográfica	3	15	\$1399.924.52

Fuente: Autores

8. CONCLUSIONES

- Se documentaron los principales activos de las subestaciones de la ESSA en base a información actualizada. Logrando establecer de manera resumida los datos principales de las subestaciones y de los respectivos activos que las conforman. También se realizó una descripción de los elementos más relevantes de las subestaciones.
- Mediante el análisis realizado de modo y efectos de falla (FMEA) se optimizaron las actividades con sus respectivas frecuencias de mantenimiento, para evitar tiempos de parada innecesarios que se traducen como pérdidas y penalizaciones para la empresa.
- Se revisaron y actualizaron los formatos de mantenimiento para los activos de las subestaciones que nos permiten ejecutar y controlar las tareas ejecutadas sobre los equipos que conforman las subestaciones de potencia.
- Mediante el análisis de criticidad y el análisis FMEA se desarrolló el plan de mantenimiento general para las subestaciones de potencia de la ESSA, el cual se vio beneficiado en cuanto a la optimización de los recursos manteniendo la confiabilidad en la operación y uso de los activos.
- Al establecer las tareas y frecuencias para el desarrollo del mantenimiento preventivo y predictivo de los activos se generan beneficios tales como disminución de tiempos de mantenimiento, menores costos de posibles reparaciones e incremento de la confiabilidad del sistema.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] BACCA, Víctor. La Función de Mantenimiento. PROGAB. 1991.
- [2] BOTERO, Ernesto. Mantenimiento Preventivo. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2010.
- [3] DOUNCE, Enrique. La Productividad en el Mantenimiento Industrial. México: Compañía Editorial Continental. 1998.
- [4] ESSA, Manual de mantenimiento de subestaciones ESSA. 2013
- [5] GONZÁLEZ, Carlos Ramón. Mantenimiento Preventivo. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. 2013.
- [6] PACHECO, Gilbert. GUTIÉRREZ Jaime. Análisis RCM Subestación de Potencia ESSA. 2011.
- [7] TAMAYO, Carlos Mario. Mantenimiento Preventivo. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2002.

ANEXOS

**ANEXO A. DESCRIPCIÓN DE LOS TRANSFORMADORES DE LAS
SUBESTACIONES DE POTENCIA DE LA ESSA**

ANEXO B. DIAGRAMA UNIFILAR SISTEMA DE POTENCIA ESSA.