

MODELO DE MANTENIMIENTO BASADO EN FMECA PARA EL AUMENTO EN
EL BIL (NIVEL BÁSICO DE AISLAMIENTO) EN LAS CAJAS CORTACIRCUITOS
DE LAS SUBESTACIONES ELÉCTRICAS EN MEDIA TENSIÓN (34,5 KV) DE LA
GERENCIA DE MARES – ECOPELROL S. A.

REINALDO JOSÉ AGUILAR AMAYA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DEL MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2020

MODELO DE MANTENIMIENTO BASADO EN FMECA PARA EL AUMENTO EN
EL BIL (NIVEL BÁSICO DE AISLAMIENTO) EN LAS CAJAS CORTACIRCUITOS
DE LAS SUBESTACIONES ELÉCTRICAS EN MEDIA TENSIÓN (34,5 KV) DE LA
GERENCIA DE MARES – ECOPEPETROL S. A.

REINALDO JOSÉ AGUILAR AMAYA

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

DIRECTOR:

ÁLVARO LEONARDO JÁCOME PÉREZ
Especialista en Gerencia de Mantenimiento

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DEL MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2020

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	17
1. OBJETIVOS.....	19
1.1 OBJETIVO GENERAL	19
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
2. MARCO REFERENCIAL.....	20
2.1 MÉTODO FMECA.....	20
3. ESTRATEGIA METODOLÓGICA.....	22
3.1 MODOS DE FALLAS Y ANÁLISIS DE EFECTOS.....	22
3.2 PROPÓSITOS DEL ANÁLISIS FMECA.....	22
3.3 OBJETIVOS DEL ANÁLISIS FMECA.	23
3.4 PRINCIPIOS BÁSICOS DEL FMECA.....	23
3.5 PROCEDIMIENTO FMECA.	24
3.6 PRESENTACIÓN DEL ANÁLISIS.....	24
3.7 APLICACIÓN DENTRO DE UN PROYECTO.....	26
4. MODOS DE FALLA EN UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA	30
4.1 CABLES BAJO AISLAMIENTO	30
4.2 FALLAS EN LOS TRANSFORMADORES.....	32
4.3 RAYOS	33
4.4 CONTACTO CON ÁRBOLES	34
4.5 AVES	35
4.6 ANIMALES TERRESTRES.....	36

5. PRESENTACION DE INFORMACION DETALLADA DE LAS FALLAS OCURRIDAS EN LA GERENCIA DE MARES DE ECOPETROL S.A.	39
6. ANALISIS DE LA INFORMACION	43
6.1 DIFERIDAS ANUALES POR CAMPOS PETROLEROS	43
6.2 DIFERIDAS ANUALES Y SU AGENTE CAUSANTE.....	46
6.3 DIFERIDAS ANUALES Y SUS CAUSAS.....	48
6.4 TOTAL DIFERIDAS ANUALES Y PÉRDIDAS.	51
6.5 TIEMPO TOTAL ANUAL DE LAS FALLAS EN EL SISTEMA.....	53
7. IDENTIFICACION DE LOS COMPONENTES CRITICOS DEL SISTEMA ELÉCTRICO.	54
8. PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO APLICANDO MÉTODO FMECA .	58
8.1 PROTOCOLO DE SUSTITUCIÓN PORTAFUSIBLES Y FUSIBLES.....	62
8.2 PROTOCOLO DE SUSTITUCIÓN AISLADORES	63
8.3 PROTOCOLO DE SUSTITUCIÓN SECCIONADOR	64
9. CONCLUSIONES	66
10. RECOMENDACIONES.....	67
BIBLIOGRAFÍA.....	68

LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfica 1. Diferidas en los campos petroleros año 2018.	43
Gráfica 2. Diferidas en los campos petroleros año 2019	44
Gráfica 3. Diferidas en los campos petroleros año 2020	45
Gráfica 4. Diferidas y el agente que las origina año 2018	46
Gráfica 5. Diferidas y el agente que las origina año 2019	46
Gráfica 6. Diferidas y el agente que las origina año 2020	47
Gráfica 7. Diferidas y las causas año 2018	48
Gráfica 8. Diferidas y las causas año 2019	49
Gráfica 9. Diferidas y las causas año 2020	50
Gráfica 10. Diferidas anuales total	51
Gráfica 11. Valor de las pérdidas anuales en dólares.	52
Gráfica 12. Tiempo total anual de las fallas en el sistema (Minutos)	53

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Diagrama de Flujo FMCA	25
Figura 2. Seccionador tipo fusible.....	54

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Seguimiento a fallas eléctricas.....	39
Cuadro 2. Especificaciones técnicas aislador TR-210.....	55
Cuadro 3. Análisis de Precio Unitario Aislador TR-210.....	59
Cuadro 4. Análisis de Precio Unitario de Manguera Profaua.....	60

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

	Pág.
Fotografía 1. Cables bajo aislamiento.....	31
Fotografía 2. Fallas en los transformadores	33
Fotografía 3. Rayos	34
Fotografía 4. Subestación sin contacto de árboles.	35
Fotografía 5. Aves.....	36
Fotografía 6. Animales terrestres.....	38
Fotografía 7. Vandalismo	38
Fotografía 8. Aislador TR-210 instalado en Ecopetrol S.A.....	55
Fotografía 9. Protección Profaua instalado en Ecopetrol S.A.	56

LISTA DE ANEXOS

**(Ver anexos adjuntos y pueden visualizarlos en la Base de datos de la
Biblioteca UIS)**

Anexo A. Seguimiento de fallas eléctricas

GLOSARIO

AISLADORES ELÉCTRICOS. Son elementos cuyo fin consiste en separar el conductor de la línea de apoyo que lo soporta. Al emplearse los conductores eléctricos, se requiere que tengan buenas propiedades dieléctricas ya que la misión de estos es evitar el paso de la corriente del conductor eléctrico hacia tierra.

BIL. Nivel básico de aislamiento ante impulsos tipo rayo.

CALIDAD. La totalidad de las características de un ente que le confieren la aptitud para satisfacer necesidades explícitas e implícitas. Es un conjunto de cualidades o atributos, como disponibilidad, precio, confiabilidad, durabilidad, seguridad, continuidad, consistencia, respaldo y percepción.

Confiabilidad. Capacidad de un dispositivo, equipo o sistema para cumplir una función requerida, en unas condiciones y tiempo dado. equivale a fiabilidad.

CORRIENTE ELÉCTRICA. Es el movimiento de cargas eléctricas entre dos puntos que no se hallan al mismo potencial, por tener uno de ellos un exceso de electrones respecto al otro.

CORTOCIRCUITO. Unión de muy baja resistencia entre dos o más puntos de diferente potencial del mismo circuito.

CRITICIDAD. Es el indicador que muestra la magnitud del problema que provoca la falla, relacionando también gravedad del efecto y la probabilidad o frecuencia en la ocurrencia de una falla.

DAÑO. Consecuencia material de un accidente.

DISPONIBILIDAD. Certeza de que un equipo o sistema sea operable en un tiempo dado. Cualidad para operar normalmente.

DISTANCIA DE SEGURIDAD. Distancia mínima alrededor de un equipo eléctrico o de conductores energizados, necesaria para garantizar que no habrá accidente por acercamiento de personas, animales, estructuras, edificaciones o de otros equipos.

EFFECTOS DE LA FALLA. La consecuencia de cualquier falla, en términos de la operación, el funcionamiento o estado de un sistema.

ELECTRICIDAD. El conjunto de disciplinas que estudian los fenómenos eléctricos o una forma de energía obtenida del producto de la potencia eléctrica consumida por el tiempo de servicio.

EMPRESA. Unidad económica que se representa como un sistema integral con recursos humanos, de información, financieros y técnicos que producen bienes o servicios y genera utilidad.

EVENTO. Es una manifestación o situación, producto de fenómenos naturales, técnicos o sociales que puede dar lugar a una emergencia.

FALLA. Degradación de componentes, alteración intencional o fortuita de la capacidad de un sistema, componente o persona, para cumplir una función requerida. Es la incapacidad de cualquier equipo o instalación (activo) a realizar la función que el usuario definió que hiciera.

FASE. Designación de un conductor, un grupo de conductores, un terminal, un devanado o cualquier otro elemento de un sistema polifásico que va a estar energizado durante el servicio normal.

FUSIBLE. Componente cuya función es abrir, por la fusión de uno o varios de sus componentes, el circuito en el cual está insertado.

HERRAJES ELÉCTRICOS. La unión de los conductores eléctricos con los aisladores eléctricos y de estos con los apoyos se efectúa mediante piezas metálicas denominadas herrajes eléctricos.

INSPECCIÓN. Conjunto de actividades tales como medir, examinar, ensayar o comparar con requisitos establecidos, una o varias características de un producto o instalación eléctrica, para determinar su conformidad.

INSTALACIÓN ELÉCTRICA. Conjunto de aparatos eléctricos, conductores y circuitos asociados, previstos para un fin particular: generación, transmisión, transformación, conversión, distribución o uso final de la energía eléctrica.

LÍNEA ELÉCTRICA. Conjunto compuesto por conductores, aisladores, estructuras y accesorios destinados al transporte de energía eléctrica.

MANTENIMIENTO CORRECTIVO. Este mantenimiento también es conocido como mantenimiento “reactivo”, tiene lugar luego que ocurre una falla o avería, es decir, solo actuará cuando se presenta un error en el sistema.

MANTENIMIENTO PREVENTIVO. Este mantenimiento también es denominado “mantenimiento planificado” tiene lugar antes de que ocurra una falla o avería, se efectúa bajo condiciones controladas sin la existencia de algún error en el sistema. Se realiza a razón de la experiencia y pericia del personal a cargo, los

cuales son los encargados de determinar el momento necesario para llevar a cabo dicho procedimiento; el fabricante también puede estipular el momento adecuado a través de los manuales técnicos.

MANTENIMIENTO. Conjunto de acciones o procedimientos tendientes a preservar o restablecer un bien, a un estado tal que le permita garantizar la máxima confiabilidad.

MODO DE FALLA. Es una posible causa por la cual un equipo puede llegar a un estado de falla. Es cualquier evento que pueda causar la falla de un equipo, instalación o activo. Donde dicho evento tiene relación directa con la pérdida de la función.

PLAN DE MANTENIMIENTO. Conjunto de acciones y tareas de mantenimiento seleccionadas y dirigidas a proteger la función de un activo, estableciendo una frecuencia de ejecución de las mismas y el personal destinado a realizarlas.

RAYO. La descarga eléctrica atmosférica o más comúnmente conocida como rayo, es un fenómeno físico que se caracteriza por una transferencia de carga eléctrica de una nube hacia la tierra, de la tierra hacia la nube, entre dos nubes, al interior de una nube o de la nube hacia la ionosfera.

RETIE. Reglamento técnico de instalaciones eléctricas adoptado por Colombia.

SISTEMA DE PUESTA A TIERRA (SPT). Conjunto de elementos conductores continuos de un sistema eléctrico específico, sin interrupciones, que conectan los equipos eléctricos con el terreno o una masa metálica. Comprende la puesta a tierra y la red equipotencial de cables que normalmente no conducen corriente.

SOBRETENSIÓN. Tensión anormal existente entre dos puntos de una instalación eléctrica, superior a la tensión máxima de operación normal de un dispositivo, equipo o sistema.

SUBESTACIÓN ELÉCTRICA. Conjunto único de instalaciones, equipos eléctricos y obras complementarias, destinado a la transferencia de energía eléctrica, mediante la transformación de potencia.

TENSIÓN. La diferencia de potencial eléctrico entre dos conductores, que hace que fluyan electrones por una resistencia. Tensión es una magnitud, cuya unidad es el voltio.

TRANSFORMADOR. Es una máquina estática de corriente alterna que permite variar alguna función de la corriente como el voltaje o la intensidad, manteniendo la frecuencia y la potencia, en el caso de un transformador ideal.

TRANSFORMACIÓN. Proceso mediante el cual son modificados, los parámetros de tensión y corriente de una red eléctrica, por medio de uno o más transformadores, cuyos secundarios se emplean en la alimentación de otras subestaciones o centros transformación (incluye equipos de protección y seccionamiento).

VIDA ÚTIL. Tiempo durante el cual un bien cumple la función para la que fue concebido.

RESUMEN

TÍTULO: MODELO DE MANTENIMIENTO BASADO EN FMECA PARA EL AUMENTO EN EL BIL (NIVEL BÁSICO DE AISLAMIENTO) EN LAS CAJAS CORTACIRCUITOS DE LAS SUBESTACIONES ELÉCTRICAS EN MEDIA TENSIÓN (34,5 KV) DE LA GERENCIA DE MARES – ECOPETROL S. A.*

AUTOR: REINALDO JOSÉ AGUILAR AMAYA**

PALABRAS CLAVE: FMECA, DIFERIDAS, SUBESTACIONES ELÉCTRICAS, ECOPETROL S.A.

DESCRIPCIÓN:

El trabajo de este proyecto recoge la información de los fallos presentados en las subestaciones eléctricas de la Gerencia de Mares de Ecopetrol S.A. durante los últimos 3 años. Esto nos permite hacer una identificación y comparación de los elementos críticos del sistema eléctrico que han producido dichas fallas.

La información se procesará para formular un modelo de mantenimiento acorde a esta situación, que permita reducir las frecuencias de los fallos y que esto a su vez, se traduzca en una mejora en la prestación del servicio de energía eléctrica aumentando así el nivel de confiabilidad del sistema permitiendo a la organización disminuir las diferidas registradas en cada evento.

Se conceptúa sobre los términos empleados en el trabajo, contextualizando al revisor del documento para facilitar la comprensión del desarrollo de la monografía y para los futuros consultantes de la misma.

Se presenta por medio de gráficas comparativas la caracterización de la información suministrada por Ecopetrol S.A. y por último, se propone el plan de sustitución de elementos críticos y una recomendación para el plan de mantenimiento preventivo para los elementos externos del sistema como lo son animales, vegetación, condiciones de tipo socio cultural, condiciones adversas como fenómenos naturales y condiciones atmosféricas.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia del Mantenimiento. Director: Álvaro Leonardo Jácome Pérez. Especialista en Gerencia de Mantenimiento.

ABSTRACT

TITLE: MAINTENANCE MODEL BASED ON FMECA FOR THE INCREASE IN THE BIL (BASIC INSULATION LEVEL) IN THE CIRCUIT BREAKER BOXES OF THE MEDIUM VOLTAGE ELECTRICAL SUBSTATIONS (34.5 KV) OF THE MARES MANAGEMENT - ECOPETROL S. A.*

AUTHOR: REINALDO JOSÉ AGUILAR AMAYA**

KEY WORDS: FMECA, DEFERRED, ELECTRICAL SUBSTATIONS, ECOPETROL S.A.

DESCRIPTION:

The work of this project collects the information of the failures presented in the electrical substations of the Mares Management of Ecopetrol S.A. for the past 3 years. This allows us to identify and compare the critical elements of the electrical system that have produced these failures.

The information will be processed to formulate a maintenance model according to this situation, which allows reducing the frequencies of failures and that this in turn, translates into an improvement in the provision of the electric power service, thus increasing the level of reliability of the system allowing the organization to reduce the deferred registered in each event.

It is conceptualized on the terms used at work, contextualizing the reviewer of the document to facilitate the understanding of the development of the monograph and for future consultants of the same.

The characterization of the information provided by Ecopetrol S.A. is presented by means of comparative graphs. and finally, the critical elements substitution plan and a recommendation for the preventive maintenance plan for the external elements of the system such as animals, vegetation, socio-cultural conditions, adverse conditions such as natural phenomena and atmospheric conditions are proposed.

* Bachelor Thesis

** Faculty of Physicomechanical Engineering. School of Mechanical Engineering. Specialization in Maintenance Management. Director: Álvaro Leonardo Jácome Pérez. Maintenance Management Specialist.

INTRODUCCIÓN

El análisis de modos de fallas y efectos FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) es un método utilizado para prevenir fallas y analizar los riesgos de un proceso mediante la identificación de causas y efectos a fin de determinar las acciones que se utilizarán para inhibir las fallas.

El método FMECA tiene como función principal organizar todas las tareas correctivas o proactivas a realizar de mantenimiento después de identificar exhaustivamente el análisis de criticidad (FMECA) y sus efectos para el análisis de confiabilidad en equipos con el objetivo de minimizar las consecuencias que éstas puedan causar o afectar el buen funcionamiento de un sistema, su estudio lleva a ejecutar tareas de mejoramiento con base a la criticidad de las fallas.

Generalmente, las fallas o modos de fallas de cualquiera de los elementos del sistema afectan su rendimiento de manera negativa.¹

La criticidad es una medida que combina el concepto de gravedad con la consecuencia de la falla y la tasa de ocurrencia o la probabilidad de ocurrencia de falla en un periodo de tiempo determinado. La gravedad de la falla por lo general se mide mediante la valoración en función de sus consecuencias.

La probabilidad o tasa de incidencia también se usa en caso de no contar con datos numéricos.

¹ Meriño Amador Dairo; Carreño Figueroa Humberto. Modelo para el mejoramiento del programa de mantenimiento preventivo basado en un análisis de criticidad de los modos de fallo y su efecto (FMECA) del gasoducto Ballenas – Barrancabermeja. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. UIS. Bucaramanga 2011.

Las fallas crónicas son las más importantes ya que los tiempos de no productividad son mucho más largos que las paradas por fallas esporádicas. Las fallas crónicas son eventos frecuentes, pero cuando se logran superar se recupera la funcionalidad del equipo a su punto máximo, mejorando así su desempeño. Son fallas repetitivas, fácil de controlar, pero difíciles de erradicar.

Cada evento de falla crónica tiene un impacto relativamente bajo, pero cuando se totaliza en el transcurso de un periodo de tiempo y se combina con otras fallas crónicas, afecta de forma muy notoria la economía de la empresa.

Las fallas esporádicas son poco frecuentes y no dejan secuelas en la producción o el mantenimiento. Por lo general cuando se supera una falla esporádica el sistema vuelve a su normal funcionamiento, pero no en las mismas condiciones de las que se tenía antes de la ocurrencia.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un Plan de Mantenimiento Preventivo basado en el método FMECA, para las cajas cortacircuitos en las Subestaciones Eléctricas de media tensión (34,5 Kv) en la Gerencia de Mares en Ecopetrol S. A.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Recopilar información detallada de las fallas ocurridas en los últimos tres años, en los fusibles de las Subestaciones Eléctricas de media tensión (34,5 Kv) de la Gerencia de Mares en Ecopetrol S. A.

Analizar la información recopilada de las fallas ocurridas en los últimos tres años para que sirva de insumo en la estructuración del plan de mantenimiento preventivo.

Identificar los componentes críticos del sistema eléctrico de las Subestaciones Eléctricas de media tensión (34,5 Kv) de la Gerencia de Mares en Ecopetrol S. A.

Diseñar un Plan de Mantenimiento Preventivo que busque reducir las fallas reveladas donde se describan las actividades tipo protocolo para incluirlas en las labores de mantenimiento rutinarias en aras de aumentar el nivel de confiabilidad del sistema eléctrico de las Subestaciones Eléctricas de media tensión (34,5 Kv) de la Gerencia de Mares en Ecopetrol S. A.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1 MÉTODO FMECA

El análisis de modos de fallas y efectos FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) es un método utilizado para prevenir fallas y analizar los riesgos de un proceso mediante la identificación de causas y efectos a fin de determinar las acciones que se utilizarán para inhibir las fallas.

El método FMECA tiene como función principal organizar todas las tareas correctivas o proactivas a realizar de mantenimiento después de identificar exhaustivamente el análisis de criticidad (FMECA) y sus efectos para el análisis de confiabilidad en equipos con el objetivo de minimizar las consecuencias que éstas puedan causar o afectar el buen funcionamiento de un sistema, su estudio lleva a ejecutar tareas de mejoramiento con base a la criticidad de las fallas.

Generalmente, las fallas o modos de fallas de cualquiera de los elementos del sistema afectan su rendimiento de manera negativa.²

La criticidad es una medida que combina el concepto de gravedad con la consecuencia de la falla y la tasa de ocurrencia o la probabilidad de ocurrencia de falla en un periodo de tiempo determinado. La gravedad de la falla por lo general se mide mediante la valoración en función de sus consecuencias.

La probabilidad o tasa de incidencia también se usa en caso de no contar con datos numéricos.

² Meriño Amador Dairo; Carreño Figueroa Humberto. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. UIS. Bucaramanga 2011.

Las fallas crónicas son las más importantes ya que los tiempos de no productividad son mucho más largos que las paradas por fallas esporádicas. Las fallas crónicas son eventos frecuentes, pero cuando se logran superar se recupera la funcionalidad del equipo a su punto máximo, mejorando así su desempeño. Son fallas repetitivas, fácil de controlar, pero difíciles de erradicar.

Cada evento de falla crónica tiene un impacto relativamente bajo, pero cuando se totaliza en el transcurso de un periodo de tiempo y se combina con otras fallas crónicas, afecta de forma muy notoria la economía de la empresa.

Las fallas esporádicas son poco frecuentes y no dejan secuelas en la producción o el mantenimiento. Por lo general cuando se supera una falla esporádica el sistema vuelve a su normal funcionamiento, pero no en las mismas condiciones de las que se tenía antes de la ocurrencia.

3. ESTRATEGIA METODOLÓGICA

3.1 MODOS DE FALLAS Y ANÁLISIS DE EFECTOS

La metodología FMECA es de gran importancia para desarrollar programas que garanticen la confiabilidad de los equipos, aplicándose siempre y cuando se conozcan sus fallas funcionales, los distintos modos de falla que pueda tener el equipo y las causas que las producen. Es aquí donde se estudia los modos de falla y sus efectos, sin profundizar tanto en la falla como tal. También se determina la criticidad de un componente basándose en la criticidad de los modos de falla que se puedan presentar.

3.2 PROPÓSITOS DEL ANÁLISIS FMECA

La metodología del estudio y análisis de los modos de falla y criticidad tiene como propósito:

- Identificar las fallas que han causado algún efecto sobre el funcionamiento del sistema.
- Satisfacer condiciones contractuales.
- Medir y controlar la confiabilidad del sistema.
- Mejorar las condiciones de seguridad del sistema.
- Diagnosticar las fallas.
- Identificar no conformidades del mantenimiento o puntos susceptibles a mejorar.

3.3 OBJETIVOS DEL ANÁLISIS FMECA.

Identificar y estudiar todos los efectos no deseados dentro los límites definidos del sistema analizado y la sucesión de hechos provocados por cada modo de falla detectado, cualquiera que sea su causa.

Categorizar cada modo de falla con respecto al buen funcionamiento o el rendimiento y el impacto en la confiabilidad y la seguridad del sistema.

Clasificar los modos de falla identificados de acuerdo a las características pertinentes incluidas la capacidad de ser detectadas y diagnosticadas, calidad de prueba, punto de sustituibilidad y disposiciones de funcionamiento.

Estimar en el nivel de importancia la probabilidad al fracaso aplicado solamente al análisis de criticidad.

3.4 PRINCIPIOS BÁSICOS DEL FMECA.

Para iniciar el análisis de esta metodología es fundamental tener en cuenta los siguientes conceptos:

- Conocer a profundidad los elementos del sistema.
- Un diagrama del funcionamiento del sistema y la individualización de todos los datos necesarios para el FMECA.
- Tener claro el concepto de modo de falla. Un equipo puede tener varios modos de falla o un modo de falla puede involucrar varios equipos.
- Identificación de nuevas características físicas o nuevos requisitos.
- El concepto de criticidad y su valoración.

Es importante resaltar que existen relaciones entre el FMECA y otros métodos de análisis dentro de los estudios de confiabilidad. Por otro lado, muchos diseños de

equipos son totalmente nuevos, la mayoría ha sido la evolución de las máquinas antiguas, el análisis FMECA deberá siempre utilizar la información existente y elaborar con base a ello las pruebas pertinentes de las nuevas piezas.

3.5 PROCEDIMIENTO FMECA.

El método procedimental FMECA parte del concepto de que ya se conocen todas las fallas reales y potenciales, se sabe de los modos de fallas en que se pueden presentar y se tiene un perfecto dominio de todas las funciones principales y auxiliares de los elementos o maquinas por evaluar con el procedimiento.

Las etapas de desarrollo del procedimiento FMECA son:

- Describir las funciones primarias y secundarias de los equipos.
- Establecer todas las fallas funcionales reales y potenciales conocidas.
- Evaluar las consecuencias y los efectos de cada modo de falla, con su falla y su función.
- Establecer las acciones correctivas o planeadas.
- Realizar las tareas.
- Realizar informe que incluye el análisis completo, conclusiones y las recomendaciones formuladas.

3.6 PRESENTACIÓN DEL ANÁLISIS

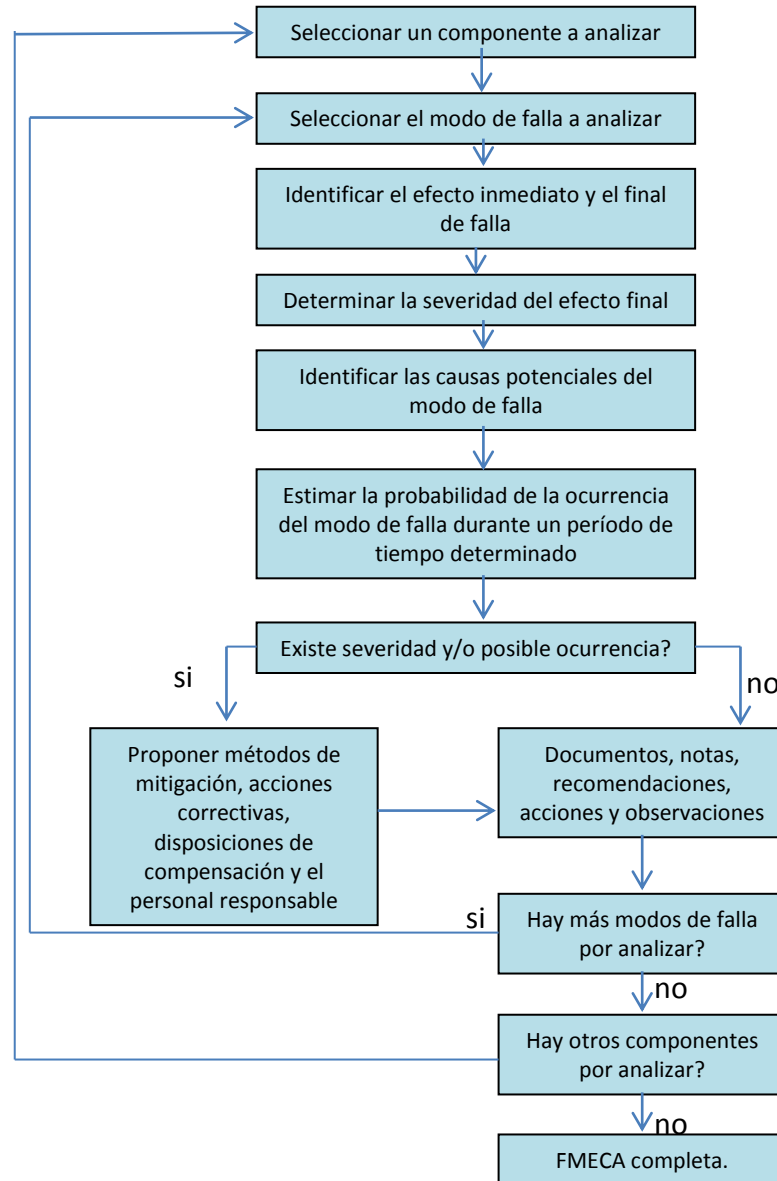
Previo al proceso de estudio de la información, se debe ya tener definido los siguientes pasos:

- El analista debe tener la mayor cantidad de información sobre los sistemas a estudiar, debe especificar su funcionamiento.
- El encargado de realizar el estudio debe diseñar bloques funcionales de acuerdo a su jerarquía. El diagrama debe presentar el modo de la falla, sus

efectos y cómo influye en el sistema, marcando de forma clara sus límites, las entradas y salidas

- Se debe llevar la trazabilidad, para saber el origen de los problemas y dar recomendaciones precisas para eliminar las fallas frecuentes de raíz.

Figura 1. Diagrama de Flujo FMCA³



³ MERIÑO AMADOR Dairo, Carreño Figueroa Humberto. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. UIS. 2011

3.7 APLICACIÓN DENTRO DE UN PROYECTO

Es esencial tener claro cómo y para qué se va a emplear el modelo FMECA en una empresa o un área de la misma. Es posible que sea utilizado solo o como complemento de otros modelos de análisis de confiabilidad.

El FMECA se puede implementar en todos los niveles de diseño del sistema, pero es más aplicado para los primeros niveles porque hay una mayor cantidad de elementos involucrados y/o no hay complejidad funcional. Debe existir una gran comunicación entre los que realizan el estudio y los operarios del sistema puesto que aportan grandes ideas para el logro de una acertada evaluación.

El modelo debe ser alimentado constantemente o cada vez que exista alguna modificación en los sistemas o cambio de equipos.

El modelo FMECA brinda información importante para la elaboración de los procedimientos del mantenimiento y diagnósticos de falla en los equipos y que deben ser incluidos en los respectivos manuales de funcionamiento.

Es importante tener claro los objetivos para los cuales el estudio de sus resultados va ser empleado para determinar el grado de importancia y control que debe darse al sistema o equipo sobre los modos de falla y efectos que conllevan estas fallas, este análisis lleva a la planificación del modelo en términos cualitativos en los niveles específicos (sistema, subsistema, componente, elemento).

Para garantizar que sea efectivo el modelo FMEA, es necesario establecer la confiabilidad del programa junto con el tiempo, mano de obra y otros recursos para hacerla efectiva.

Es transcendental que el modelo no se lleve a cabo de una manera ligera por la falta de recursos, de ser así debe ser direccionado a los equipos críticos para la operación por otros métodos de análisis como por ejemplo los arboles de fallas.

Los modos de falla son los que causan el estado de falla en el equipo o inciden indirectamente para que este evento ocurra. La definición de los modos de falla consiste en establecer todas las fallas factibles reales o potenciales, o similares en equipos idénticos o afines. Se deben listar todas las factibles, con el fin de que al llevar a cabo las operaciones de mantenimiento se eliminen o controlen mediante su reparación o mantenimiento.

Los modos de falla pueden ser físicos, de desgaste, humano, etc. Se debe trabajar estrictamente con causas raíces y no con síntomas o efectos, ni con causas básicas ni inmediatas ya que ellas no erradican el problema. Se presta más relevancia a la falla en sí y a su modo de falla que a los eventos o circunstancias anexas. La nomenclatura de los modos de falla se hace con números enteros.⁴

El efecto o la consecuencia de falla se define como el impacto que trae consigo la ocurrencia de un modo de falla sobre el ambiente, la seguridad humana y las operaciones (¿qué sucederá cuando ocurra un modo de falla?) (Cada modo de falla puede tener más de una consecuencia o efecto). Es así como el modo de falla es la descripción física de la manera en la cual la falla ocurre⁵

Los modos de falla se pueden clasificar en:

- Falla Completa: Se pierde totalmente la funcionalidad del sistema o equipo.
- Falla Parcial: El sistema opera adecuadamente, pero con posibles restricciones.

⁴ Mora Gutiérrez, A. Mantenimiento, planeación, ejecución y control. Primera edición: Alfaomega Grupo Editor. México. 2009. Pág. 192

⁵ Latino, Charles. Hidden Treasures: Eliminating Chronic Failures Can Cut. New York.1996

- Falla Intermitente: La falla se presenta en forma discontinua en el tiempo, lo ideal es que falle permanentemente para evaluar sus posibles causas raíces.
- Falla con el tiempo: Sucede en elementos con el uso, el abuso, el desgaste, etc.
- Sobre desempeño de la función: El equipo se utiliza inadecuadamente por encima (o por debajo) de sus capacidades.

Las consecuencias de las fallas se miden mediante la evaluación del impacto de ellas sobre: la organización, sus componentes, las máquinas o sus componentes; la función principal de mantenimiento es atenuar o eliminar estas consecuencias mediante la utilización de las herramientas básicas o avanzadas, con las operaciones, las tácticas y la estrategia integral de mantenimiento.

Las consecuencias a que se da lugar en la ocurrencia de fallas mediante su modo, al actuar bajo una determinada falla funcional en una función específica, pueden ser clasificadas según su efecto, así:

- Pérdida de vidas humanas.
- Pérdidas materiales mayores.
- Daños parciales o totales de equipos.
- Pérdidas de producción o servicios.
- Daños parciales o permanentes en el medio ambiente.

Según su categoría, se pueden organizar de la siguiente manera:

- Consecuencias de fallas ocultas: Normalmente no inciden directamente pero pueden llegar a generar paradas serias y catastróficas. Generalmente están en los sistemas de protección sin seguridad inherente.
- Consecuencias ambientales y seguridad física y humana: Normas, leyes, contaminación, violación, seguridad, muertes, accidentes fatales, etc.

- Consecuencias operacionales: Pueden afectar calidad, seguridad, cantidad, atención al cliente, reprocesos, desperdicios, etc. además de la reparación.
- Consecuencias No Operacionales: Solo implican el costo de la reparación (Mora, 2005, 193)⁶.

4. MODOS DE FALLA EN UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA

Las 7 principales causas de fallas en subestaciones eléctricas⁷

Para entender mejor la confiabilidad de una subestación eléctrica, primero hay que identificar el origen de los posibles desperfectos. A continuación, las causas principales de fallas en subestaciones eléctricas:

4.1 CABLES BAJO AISLAMIENTO

Una de las grandes preocupaciones sobre los cables bajo tierra es la penetración de humedad en la presencia de un campo eléctrico, lo que reduce la fuerza dieléctrica del aislamiento del cable. Cuando esta se degrada lo suficiente, los transitorios causados por rayos o el switching pueden resultar en una descompostura dieléctrica. Esto conoce en inglés como *electrochemical treeing*.

El fenómeno usualmente afecta a los cables dieléctricos extruidos como los cables de polietileno de cadena cruzada (**XLPE**) y de etileno propileno (**EPR**), y se atribuye principalmente a imperfecciones en el aislamiento y una fabricación defectuosa.

Para reducir las fallas en subestaciones eléctricas se puede instalar una protección contra descargas en los postes verticales (transiciones de arriba a subterráneo), comprar cable retardante o probar los carretes antes de comprarlos.

Los cables existentes pueden probarse y reemplazarse si se encuentra algún problema. Una manera de hacerlo es aplicando una prueba de voltaje de Corriente Continua (CC).

⁷ TECSA. Las 7 principales causas de fallas en subestaciones eléctricas. Publicado el 30 de marzo de 2019. Disponible en: <https://www.tecsaqro.com.mx/blog/fallas-en-subestaciones-electricas/>

Otro método de prueba es inyectar una pequeña señal en un extremo y verificar si algún tipo de reflejo ocurre en los puntos parciales de descarga. También se puede aplicar espectroscopía, analizar las muestras físicas del aislamiento en busca de una descompostura polimérica o usar indentadores en los cables para probar la dureza del aislamiento.

No todas las fallas del sistema de cables subterráneo se deben al aislamiento. Un porcentaje importante ocurre en las terminaciones, articulaciones y empalmes. Las causas principales tienen que ver con el contacto con el agua y errores humanos.

Se pueden utilizar cubiertas termocontráctiles en estas áreas para hacerlas a prueba de agua y mejorar su confiabilidad.

Otra gran preocupación son las excavaciones. La maquinaria pesada suele romper los cables enterrados, por lo que es necesario identificar las rutas antes de comenzar a trabajar.

Fotografía 1. Cables bajo aislamiento



4.2 FALLAS EN LOS TRANSFORMADORES

Los transformadores son enlaces muy importantes en las subestaciones eléctricas, y puede tomar mucho tiempo reemplazarlos si existe una falla. El estrés físico extremo en los devanados suele ser la causa principal de las descomposturas.

Las sobrecargas rara vez resultan en fallas, pero sí que deterioran el aislamiento de los devanados.

Cuando un transformador se calienta, el aislamiento en los devanados lentamente se descompone y se vuelve más frágil. La tasa de una descompostura térmica se duplica con cada 10°C.

Debido a esta relación exponencial, las sobrecargas en los transformadores pueden resultar en un rápido envejecimiento. Cuando el aislamiento se encuentra ya muy frágil, la siguiente falla de corriente que pasa sacude mecánicamente a los devanados, lo que origina grietas en el aislamiento y una eventual falla interna.

Altas temperaturas en los transformadores llenos de líquido pueden resultar en fallas.

Esto se debe a que los sitios calientes pueden generar burbujas que reducen la fuerza dieléctrica del líquido. Y aunque esto no ocurra, las altas temperaturas incrementarán la presión en el tanque generando un desbordamiento o ruptura.

Fotografía 2. Fallas en los transformadores



4.3 RAYOS

La caída de un rayo ocurre cuando el voltaje generado entre la nube y la tierra excede la fuerza dieléctrica del aire. Esto resulta en una corriente masiva que usualmente excede los **30,000 amperios**. Además, las caídas consisten en múltiples descargas en una fracción de segundo.

Los rayos pueden afectar los sistemas de energía a través de impactos directos (cuando hay contacto) o indirectos (cuando una ola de voltaje cercana viaja hasta establecer contacto).

Formas de proteger estructuras contra rayos:

- Un sistema BIL (Basic Insulation Level).
- Protección para cables.
- Pararrayos.
- Baja impedancia de puesta a tierra.

Fotografía 3. Rayos



4.4 CONTACTO CON ÁRBOLES

El continuo crecimiento de los árboles pone en peligro a los conductores, ya que las ramas pueden caer sobre estos, acercarlos los unos con los otros e incluso pueden servir como entrada para distintos animales. Por esta razón, la poda constante es considerada una actividad de mantenimiento preventivo.

Hay que aclarar que una rama caída que une dos conductores no ocasiona una falla de forma inmediata. Esto se debe a que una húmeda tiene una resistencia sustancial. Pero después de unos minutos, la celulosa se carboniza y la resistencia disminuye, lo que en breve genera un cortocircuito. Las ramas que tocan conductores de fase generalmente no resultan en fallas del sistema.

Este problema puede evitarse en gran medida utilizando cables aéreos especiales, los cuales cuentan con un aislamiento superior.

Fotografía 4. Subestación sin contacto de árboles.



4.5 AVES

Entre los animales, las aves son las que más causan fallas en subestaciones eléctricas. Las distintas especies ocasionan problemas diferentes.

Las que anidan comúnmente lo hacen en las torres de alta tensión o en subestaciones. Este material puede ocasionar fallas, mientras que el excremento puede contaminar a los aislantes.

De igual forma, su presencia puede atraer a todo tipo de depredadores, lo que significa más animales de los cuales hay que preocuparse.

Algunas aves prefieren solo posarse en los cables para descansar o buscar a sus presas. Mientras estén sobre uno solo no hay ningún tipo de riesgo, pero sí tocan

otro generan un circuito que las electrocuta. Existen varios dispositivos para prevenir que estos animales se posen sobre el equipo.

Los pájaros carpinteros también representan un gran problema, pues su constante picoteo puede generar daño importante en los postes de alta tensión. Una forma de evitarlo es usando repelentes o haciéndole creer al ave que otra ya vive en el poste; esto tiene que ver con el hecho de que son sumamente territoriales.

Las fallas en subestaciones eléctricas ocasionadas por las aves son todo un reto para los técnicos que se ocupan del mantenimiento.

Fotografía 5. Aves



4.6 ANIMALES TERRESTRES

Ardillas: Estos animales son una preocupación en áreas boscosas, y aunque no suelen escalar los postes de alta tensión, sí que pueden saltar a ellos desde los

árboles contiguos. Las ardillas pueden ocasionar fallas al tender un puente entre el equipo de puesta a tierra y los conductores. El problema puede ser mitigado cortando las ramas de acceso o instalando obstáculos.

Serpientes: Debido a su tamaño, las serpientes son motivo de preocupación por las fallas en subestaciones eléctricas y en los sistemas subterráneos. Ya que casi siempre están en busca de presas, remover la presencia de ratas puede ser la solución. También hay algunas vallas especiales para evitar que entren a las instalaciones.

Insectos: Es muy común que las hormigas construyan sus colonias en los equipos. El material puede causar un cortocircuito, además de que estas pueden comerse al aislamiento de los conductores.

Osos o ganado: Estos animales de gran tamaño suelen dañar los postes de alta tensión rasgándolos con sus garras o cuernos. Los osos incluso trepan en estos. Lo mejor es instalar vallas o algún tipo de protección para evitarlo.

Ratas y ratones: Estos roedores pueden acabar con el aislamiento de los cables subterráneos, además de que atraen serpientes al lugar. Se tratan de los animales que más causan fallas eléctricas en subestaciones eléctricas y el equipo subterráneo.

Fotografía 6. Animales terrestres



Vandalismo: El vandalismo puede ser de muchas formas, desde gente disparando al equipo hasta ladrones profesionales en busca de robar material valioso. Hay que tomar cartas en el asunto instalando la seguridad y vigilancia correspondiente. Una de las fallas en subestaciones eléctricas que pueden evitarse con las medidas adecuadas.

Fotografía 7. Vandalismo



5. PRESENTACION DE INFORMACION DETALLADA DE LAS FALLAS OCURRIDAS EN LA GERENCIA DE MARES DE ECOPETROL S.A.

La empresa ECOPETROL S.A suministró una tabla en Excel denominada SEGUIMIENTOS DE FALLAS RED la cual permite registrar los eventos presentados en los campos petroleros que tienen bajo su dominio, en esta herramienta suministrada se puede visualizar las fallas eléctricas presentadas durante los años 2018,2019 y 2020 en el sistema de producción por una serie de causas las cuales serán analizadas a continuación. Para ver el documento completo ver Anexo A.

Cuadro 1. Seguimiento a fallas eléctricas

Id	Ubicación general falla	Diferidas	Agente	Causa	Tiempo falla	Año
1	Llanito	1	Interna	Fusibles	35,00	2018
2	Llanito	47	Interna	Cortacircuitos	355,00	2018
3	Lizama	16	Interna	Fusibles	230,00	2018
4	Llanito	79	Interna	Cortacircuitos	28,00	2018
5	Lizama	4	Interna	Fusibles	607,00	2018
6	Lizama	23	Interna	Fusibles	0,00	2018
7	Lizama	23	Interna	Fusibles	0,00	2018
8	Provincia	42	Interna	Fusibles	5,00	2018
9	Provincia	4	Interna	Fusibles	14,00	2018
10	Lizama	34	Interna	Fusibles	628,00	2018
11	Lizama	10	Interna	Fusibles	440,00	2018
12	Lizama	61	Interna	Fusibles	110,00	2018
13	Lizama	1	Interna	Fusibles	10,00	2018
14	Llanito	24	Interna	Fusibles	105,00	2018
15	Llanito	13	Interna	Fusibles	95,00	2018
16	Llanito	46	Interna	Fusibles	510,00	2018
17	Lizama	1	Externa	Fusibles	10,00	2019
18	Provincia	11	Externa	Sobrecorriente	60,00	2019
19	Llanito	3	Externa	Fusibles	60,00	2019
20	Llanito	2	Externa	Fusibles	60,00	2019
21	Provincia	25	Interna	Fusibles	60,00	2019
22	Lizama	6	Externa	Fusibles	90,00	2019
23	Provincia	9	Externa	Fusibles	239,00	2019
24	Lizama	15	Externa	Fusibles	240,00	2019
25	Lizama	16	interna	Animal	163,00	2019
26	Llanito	8	Externa	Fusibles	78,00	2019
27	Lizama	0	Externa	Fusibles	775,00	2019

Id	Ubicación general falla	Diferidas	Agente	Causa	Tiempo falla	Año
28	Llanito	24	Externa	Fusibles	2,00	2019
29	Llanito	4	Externa	Fusibles	115,00	2019
30	Lizama	38	Externa	Fusibles	143,00	2019
31	Lizama	58	Externa	Fusibles	121,00	2019
32	Lizama	5	Externa	Fusibles	20,00	2019
33	Lizama	16	Externa	Fusibles	280,00	2019
34	Lizama	30	Externa	Fusibles	240,00	2019
35	Lizama	10	Externa	Fusibles	540,00	2019
36	Lizama	9	Externa	Fusibles	40,00	2019
37	Lizama	54	Externa	Fusibles	31,00	2019
38	Llanito	95	Externa	Fusibles	12,00	2019
39	Lizama	26	Externa	Fusibles	20,00	2019
40	Llanito	33	Externa	Sobrecorriente	173,00	2019
41	Llanito	6	Externa	Fusibles	205,00	2019
42	Lizama	15	Externa	Fusibles	180,00	2019
43	Llanito	27	Externa	Fusibles	120,00	2019
44	Llanito	17	Externa	Fusibles	110,00	2019
45	Lizama	30	Externa	Fusibles	200,00	2019
46	Lizama	11	Externa	Fusibles	120,00	2019
47	Llanito	15	Externa	Fusibles	110,00	2019
48	Lizama	12	Externa	Fusibles	410,00	2019
49	Llanito	25	Externa	Fusibles	104,00	2019
50	Lizama	6	Externa	Fusibles	390,00	2019
51	Lizama	3	Externa	Fusibles	115,00	2019
52	Llanito	2	Externa	Animal	90,00	2019
53	Lizama	16	Externa	Fusibles	205,00	2019
54	Lizama	48	Externa	Fusibles	120,00	2019
55	San Martín	5	Externa	Fusibles	90,00	2019
56	Lizama	19	Externa	Fusibles	160,00	2019
57	Lizama	17	Externa	Sobrecorriente	94,00	2019
58	Lizama	3	Externa	Fusibles	300,00	2019
59	Lizama	0	Externa	Fusibles	209,00	2019
60	Lizama	1	Externa	Fusibles	170,00	2019
61	Lizama	1	Externa	Fusibles	90,00	2019
62	San Martín	48	Externa	Fusibles	60,00	2019
63	Provincia	6	Externa	Fusibles	120,00	2019
64	Llanito	30	Externa	Fusibles	464,97	2019
65	Lizama	12	Externa	Fusibles	134,30	2019
66	Lizama	2	Externa	Fusibles	70,00	2019
67	Llanito	5	Externa	Fusibles	240,00	2019
68	Llanito	57	Externa	Sobrecorriente	2,00	2019
69	Llanito	6	Externa	Hurto	744,00	2019
70	Lizama	3	Externa	Fusibles	199,00	2019
71	Lizama	4	Externa	Fusibles	385,00	2019
72	Llanito	20	Externa	Fusibles	140,00	2019
73	Lizama	30	Externa	Fusibles	360,00	2019
74	Lizama	7	Externa	Sobrecorriente	130,00	2019
75	Llanito	75	Externa	Fusibles	1289,00	2019
76	Lizama	64	Externa	Fusibles	750,00	2019

Id	Ubicación general falla	Diferidas	Agente	Causa	Tiempo falla	Año
77	Llanito	18	Externa	Tormentas	185,00	2019
78	Lizama	8	Externa	Fusibles	120,00	2019
79	Llanito	29	Externa	Fusibles	215,00	2019
80	Llanito	52	Externa	Fusibles	400,00	2019
81	Lizama	9	Externa	Fusibles	123,00	2019
82	Lizama	69	Externa	Fusibles	850,00	2019
83	Llanito	3	Externa	Fusibles	150,00	2019
84	Lizama	16	Externa	Fusibles	241,00	2019
85	Llanito	8	Externa	Fusibles	37,00	2019
86	Lizama	20	Externa	Fusibles	215,00	2019
87	Lizama	5	Externa	Fusibles	55,00	2019
88	Lizama	13	Externa	Fusibles	439,00	2019
89	Lizama	32	Externa	Fusibles	120,00	2019
90	Lizama	43	Externa	Fusibles	534,00	2019
91	Lizama	10	Externa	Fusibles	160,00	2019
92	Lizama	12	Externa	Fusibles	150,00	2019
93	Llanito	2	Externa	Fusibles	120,00	2019
94	Lizama	38	Externa	Fusibles	300,00	2019
95	Lizama	8	Externa	Sobrecorriente	390,00	2019
96	Llanito	8	Externa	Fusibles	275,00	2019
97	Lizama	2	Externa	Fusibles	60,00	2019
98	San Martín	30	Externa	Fusibles	60,00	2019
99	Galán	36	Interna	Fusible	160,00	2020
100	Galán	34	Interna	Caja Cortacircuitos	120,00	2020
101	Llanito	13	Interna	Fusible	55,00	2020
102	Lisama	0	Interna	Fusible	170,00	2020
103	Lisama	9,06	Interna	Fusible	60,00	2020
104	Galán	43,75	Interna	Fusible	180,00	2020
105	Lisama	23,60	Externa	Rayo	235,00	2020
106	San Martín	20,00	Interna	Sobrecarga	60,00	2020
107	Lisama	24,75	Interna	Fusible	120,00	2020
108	San Martín	7,00	Interna	Fusible	60,00	2020
109	Lisama	1,00	interna	Fusible	180,00	2020
110	Lisama	15,00	Interna	Fusible	390,00	2020
111	Galán	6,00	Externa	Animal	172,00	2020
112	Lisama	14,25	Externa	Rayo	1170,00	2020
113	Llanito	1,53	Interna	Fusible	100,00	2020
114	Lisama	8,00	Interna	Fusible	155,00	2020
115	Lisama	4,00	Externa	Fusible	250,00	2020
116	Lisama	28,24	Interna	Fusible	488,00	2020
117	Lisama	34,07	Interna	Fusible	200,00	2020
118	Santos	0,00	Interna	Fusible	60,00	2020
119	Llanito	3,14	Interna	Fusible	330,00	2020
120	San Martín	0	Interna	Fusible	60,00	2020
121	Santos	0,00	Interna	Fusible	90,00	2020
122	San Martín	4	Interna	Fusible	90,00	2020
123	Galán	19,51	Interna	Fusible	160,00	2020
124	Llanito	3,80	Interna	Fusible	60,00	2020
125	Lisama	2,61	Interna	Fusible	360,00	2020

Id	Ubicación general falla	Diferidas	Agente	Causa	Tiempo falla	Año
126	Llanito	8,51	Interna	Fusible	435,00	2020
127	Llanito	8,67	Interna	Fusible	180,00	2020
128	Lisama	11,94	Interna	Fusible	1180	2020
129	Galán	0	Interna	Fusible	125,00	2020
130	Lisama	0	Interna	Fusible	695,00	2020
131	Lisama	0	Interna	Fusible	3,00	2020
132	Lisama	6,09	Interna	Fusible	710,00	2020
133	Llanito	0	Interna	Fusible	105,00	2020
134	Llanito	4,98	Interna	Fusible	140,00	2020
135	Llanito	0	Interna	Fusible	150,00	2020
136	Bonanza	0	Interna	Fusible	60,00	2020
137	Llanito	0	Interna	Fusible	85,00	2020
138	Lisama	0	Interna	Fusible	280,00	2020

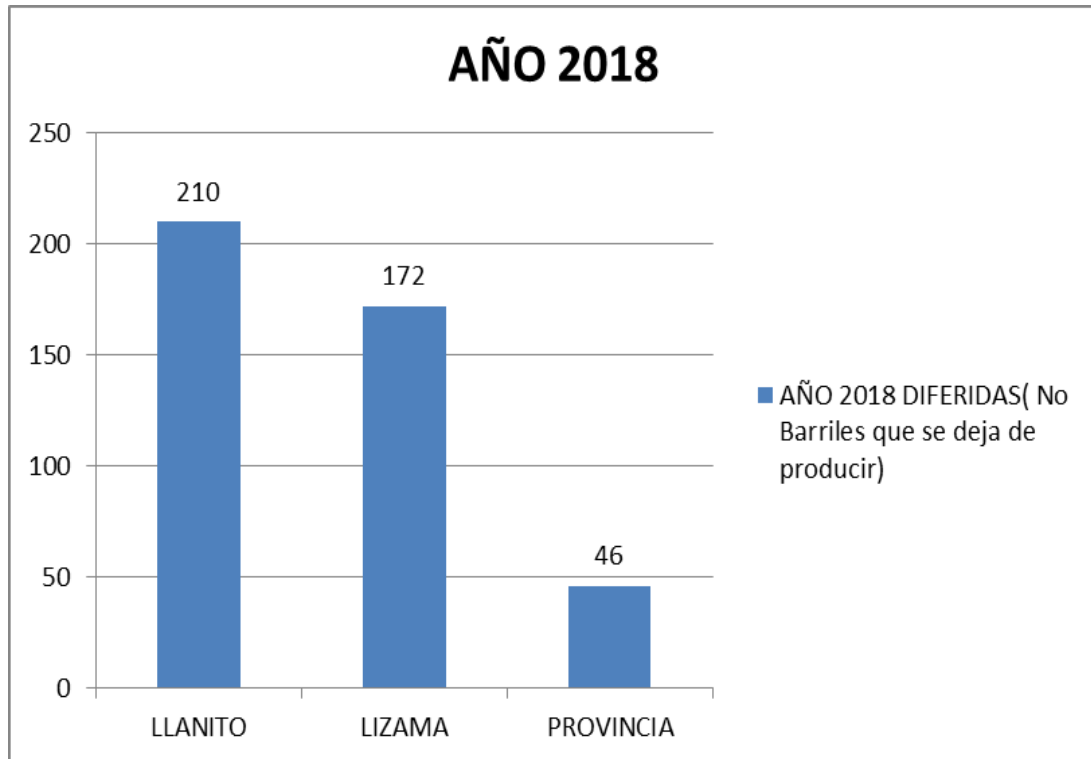
Fuente: Ecopetrol S.A. ECOPETROL S.A. Tabla de seguimientos de fallas red. 2018,2019 y 2020.

6. ANALISIS DE LA INFORMACION

Con el fin de entender el impacto generado en el sistema de producción por las fallas eléctricas ocasionadas por las diferentes causas que se van a mencionar, se procedió a realizar una serie de comparaciones que nos permitan visualizar la problemática y sus impactos, para las gráficas que se van a presentar a continuación se determinó utilizar el término diferidas que nos indica el número de barriles que se deja de producir en el tiempo que el sistema se encuentre neutralizado.

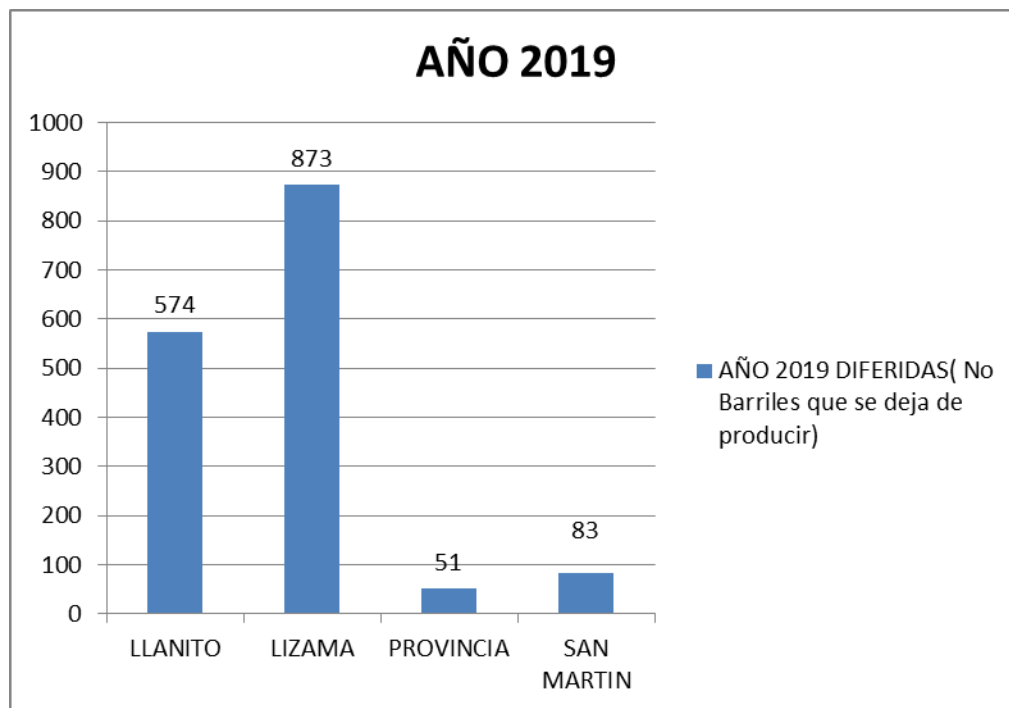
6.1 DIFERIDAS ANUALES POR CAMPOS PETROLEROS

Gráfica 1. Diferidas en los campos petroleros año 2018.



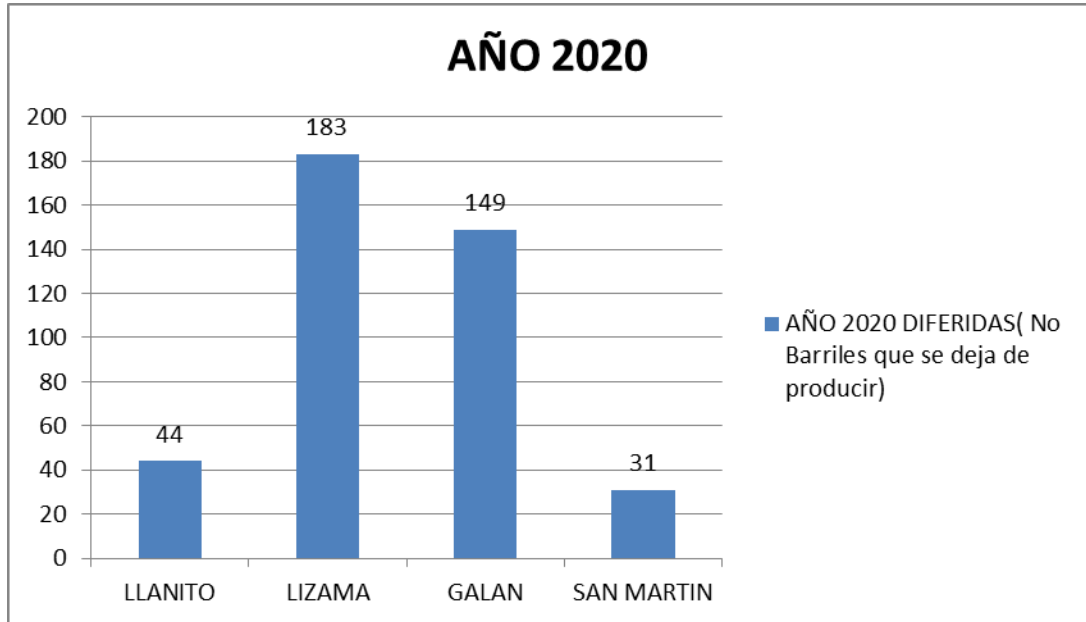
Con relacion a la Grafica No 1 se puede determinar que hubo afectaciones en el año 2018 en los campos petroleros denominados Llanito, Lizama, Provincia los cuales muestran unos datos considerables siendo el campo del llanito el cual sufrio mayor afectaciones.

Gráfica 2. Diferidas en los campos petroleros año 2019



Con relacion a la Grafica No 2 se puede determinar que hubo afectaciones en el año 2019 en los campos petroleros denominados Llanito, Lizama, Provincia y San Martin los cuales muestran unos datos Elevados, presentando los campos del llanito y la lizama los de mayor afectacion causados por las fallas en el sistema electrico.

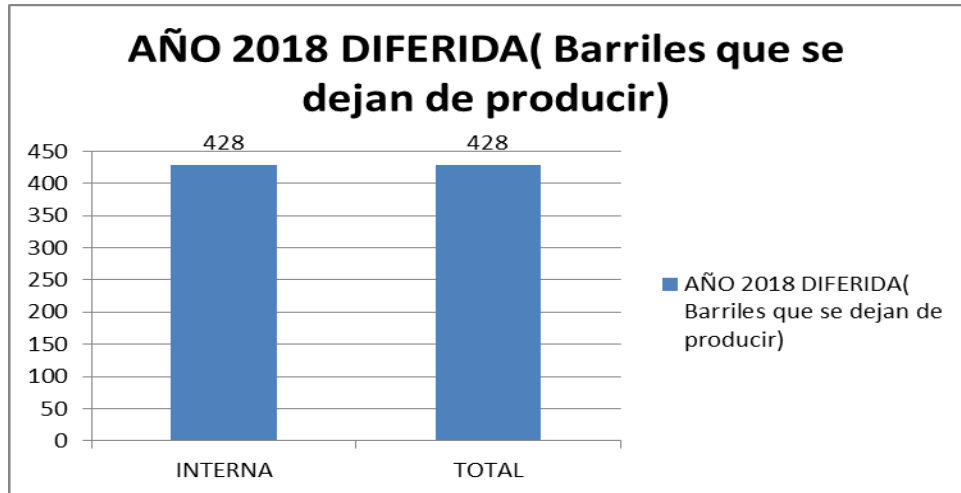
Gráfica 3. Diferidas en los campos petroleros año 2020



Con relacion a la Grafica No 3 se puede determinar que hubo afectaciones en el año 2020 en los campos petroleros denominados Llanito, Lizama, Galan y San Martin los cuales muestran unos datos considerables, presentando los campos de Galan y la lizama los de mayor afectacion causados por las fallas en el sistema electrico.

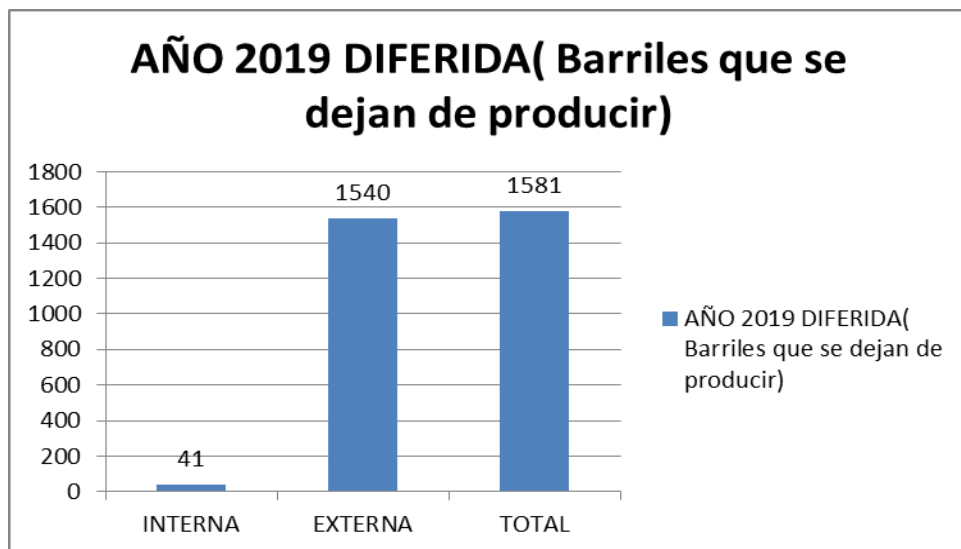
6.2 DIFERIDAS ANUALES Y SU AGENTE CAUSANTE.

Gráfica 4. Diferidas y el agente que las origina año 2018



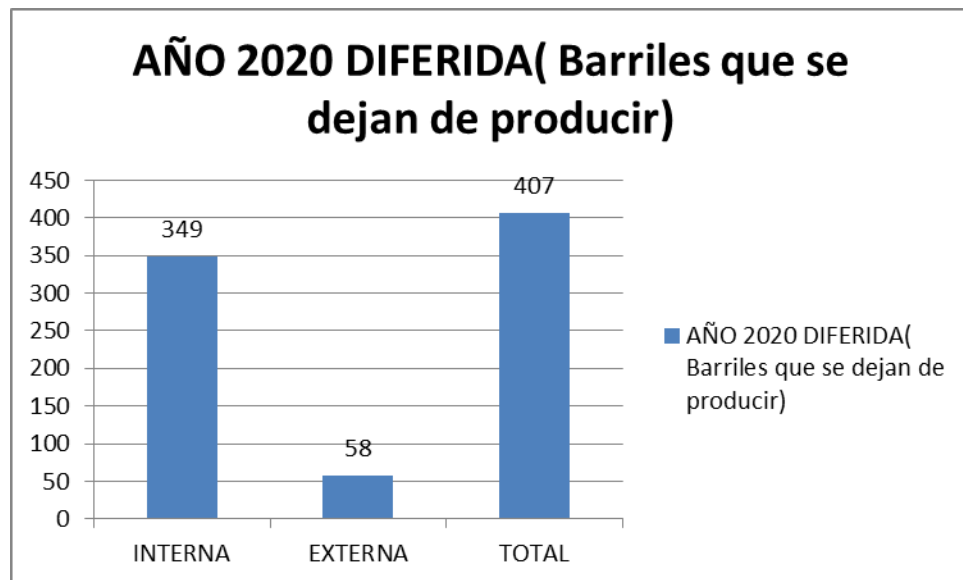
Con relacion a la Grafica No 4 se puede evidenciar que el agente que da origen a las fallas es interno,por lo tanto el sistema de produccion sufrio estas afectaciones motivado por distintas razones que seran analizadas mas adelante.

Gráfica 5. Diferidas y el agente que las origina año 2019



Con relacion a la Grafica No 5 se puede evidenciar que el agente que da origen a las fallas es externo en un alto porcentaje originando que se hayan dejado de producir 1540 barriles de petroleo para el año 2019,por lo tanto el sistema de produccion sufrio estas afectaciones motivado por distintas razones que seran analizadas mas adelante.

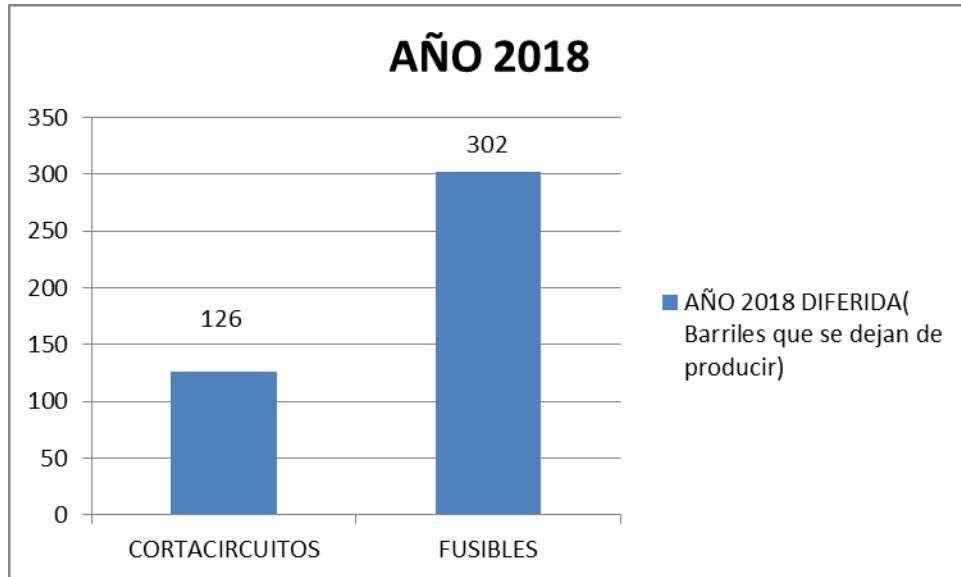
Gráfica 6. Diferidas y el agente que las origina año 2020



En atencion a la Grafica No 6 se puede evidenciar que el agente que da origen a las fallas es interno en un alto porcentaje originando que se hayan dejado de producir 349 barriles de petroleo para el año 2020,por lo tanto el sistema de produccion sufrio estas afectaciones motivado por distintas razones que seran analizadas mas adelante

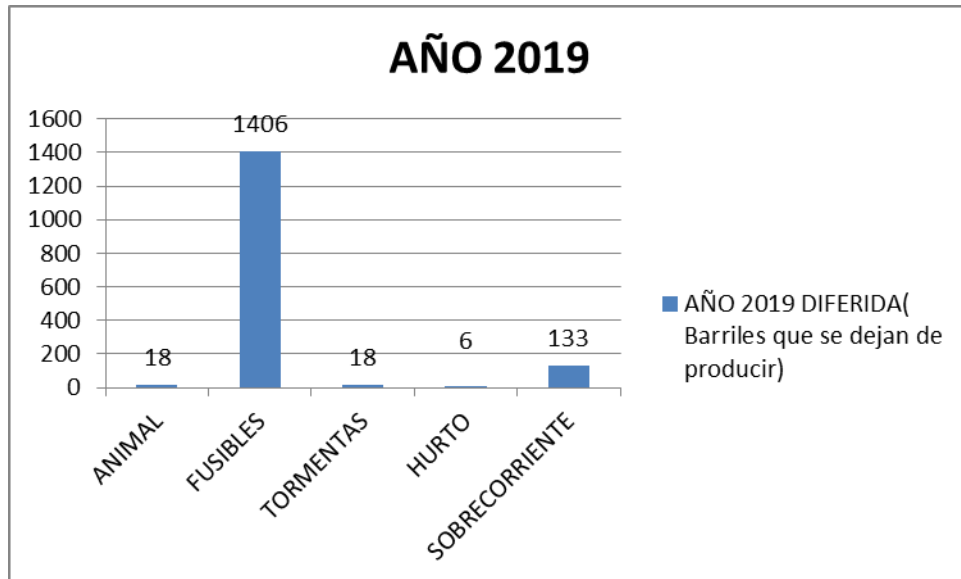
6.3 DIFERIDAS ANUALES Y SUS CAUSAS

Gráfica 7. Diferidas y las causas año 2018



En atención a la Grafica No 7 se puede evidenciar que a principal causa en la falla del sistema se presenta en los fusibles generando una neutralizacion del sistema y por tal motivo se dejo de producir 302 barriles de petroleo para el año 2018 y 126 barriles de petroleo se dejaron de producir por fallas en el cortacircuito , por tal motivo se generan unas perdida que deben ser valoradas.

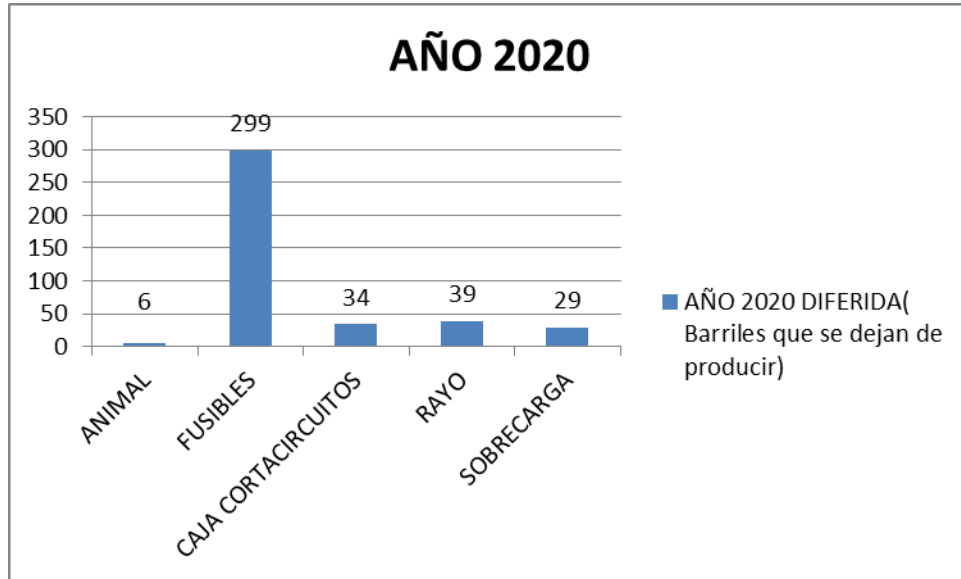
Gráfica 8. Diferidas y las causas año 2019



En atención a la Grafica No 8 se puede evidenciar que a principal causa en la falla del sistema se presenta en los fusibles generando una neutralizacion del sistema y por tal motivo se deajo de producir 1406 barriles de petroleo para el año 2019 siendo un valor bastante elevado, 133 barriles de petroleo se dejaron de producir por una sobrecorriente en el sistema, existe un factor externo importante a considerar y es las lluvias con tormentas las cuales generan descargas electricas, de igual manera y no menos importante esta la presencia de fauna silvestre que de forma esporadica puede llegar a ocasionar fallas en el sistema.

Por otra parte se encuentra un fenomeno social que aqueja el sector hidrocarburo y es el hurto de elementos electricos que pueden interrumpir el sistema.

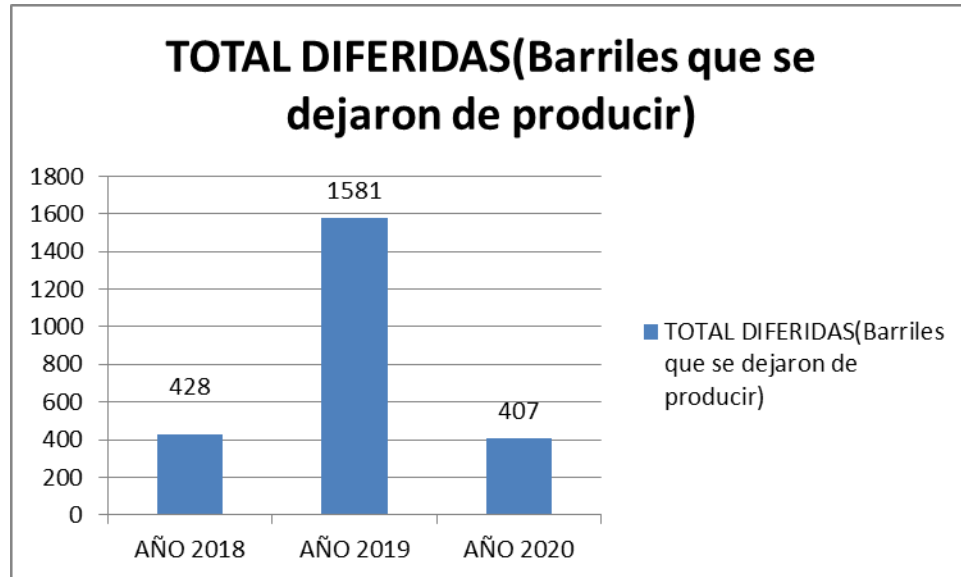
Gráfica 9. Diferidas y las causas año 2020



En atención a la Grafica No 9 se puede evidenciar que a principal causa en la falla del sistema se presenta en los fusibles generando una neutralizacion del sistema y por tal motivo se dejo de producir 299 barriles de petroleo para el año 2020 siendo un dato cosiderable, las otras causas generaron fallas pero se consideran esporadicas y de un nivel significativo bajo comparado con la causa objeto de estudio que son los fusibles.

6.4 TOTAL DIFERIDAS ANUALES Y PÉRDIDAS.

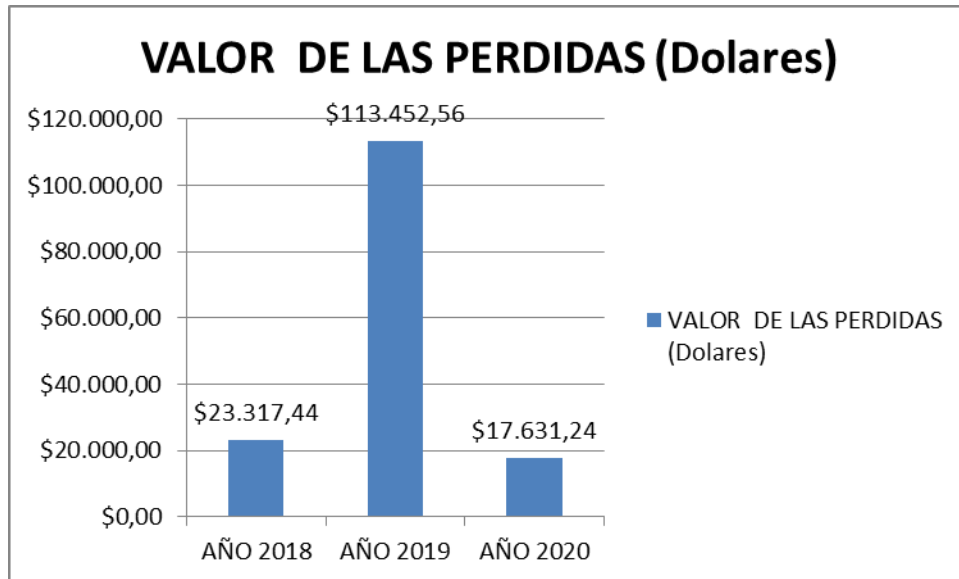
Gráfica 10. Diferidas anuales total



De acuerdo a la Grafica No 10 se determino que para el año 2018 el total de diferidas fueron de 428 Barriles de petroleo, en lo concerniente al año 2019 tuvo una tendencia alcista de 1581 Barriles de petroleo lo cual se convierte en el año critico donde hubo se presento mayor interrupcion del sistema.

Por otra parte para el año 2020 disminuyeron los eventos y solo se presentaron 407 Barriles de petroleo comparado con el año anteriormente mencionado, sin embargo se deben proponer estrategias preventivas que permitan minimizar el impcto ocasionado por estas fallas.

Gráfica 11. Valor de las pérdidas anuales en dólares.



De acuerdo a la Grafica No 10 se determino que para el año 2018 el total de perdidas fue de USD 23.317,44 teniendo en cuenta que para ese año el promedio del valor del barril del petroleo tipo Brent fue de 54,48 dolares.

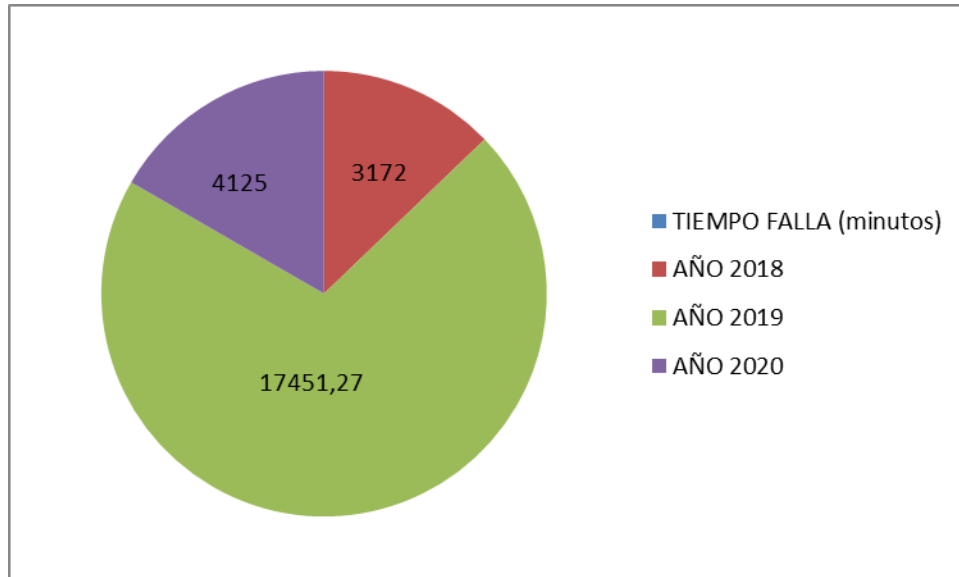
Para el año 2019 el total de perdidas fueron de USD 113.452,56 teniendo en cuenta que para esa anualidad el valor promedio del valor de barril del petroleo tipo Brent fue de 71,76 dolares.

En lo concerniente al año 2020 la totalidad de las perdidad estimadas fueron de USD 17.631,24 teniendo en cuenta que para el presente año el valor promedio del barril de petroleo tipo Brent fue de 43,32 dolares.

Cabe aclarar que estos datos se expresaron en este estudio con la idea de mostrar el impacto que causan las fallas en el sistema y teniendo en cuenta que estos recursos que se dejaron de percibir, son recursos que la empresa petrolera pudo destinar para investigacion y mejoras en los procesos de mantenimiento.

6.5 TIEMPO TOTAL ANUAL DE LAS FALLAS EN EL SISTEMA

Gráfica 12. Tiempo total anual de las fallas en el sistema (Minutos)



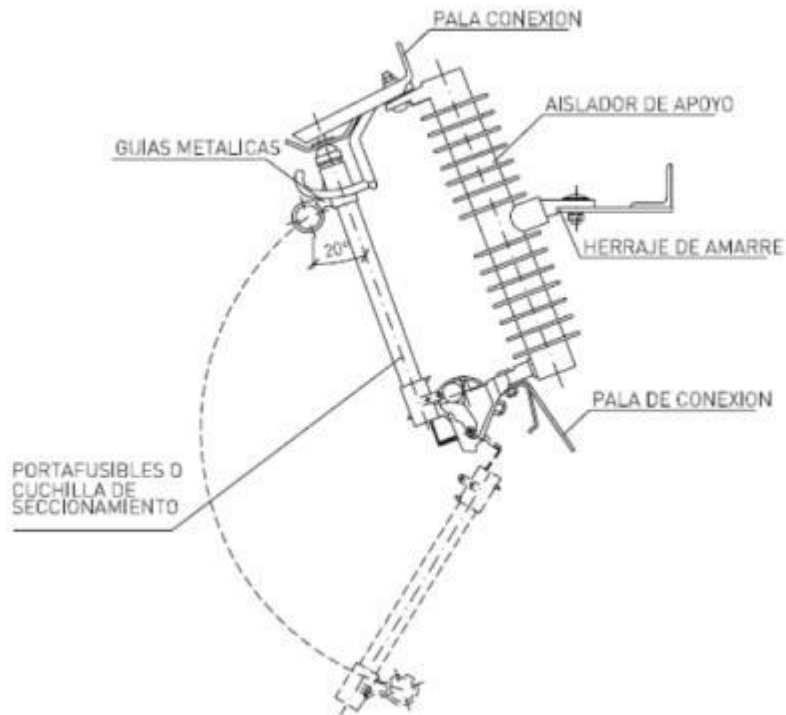
De acuerdo a la Grafica No 11 se efectuó la sumatoria de los tiempos en que se presentan las fallas anualmente y se expresaron en la presente grafica, estos datos se encuentran en minutos, siendo el año 2019 el de mayor interrupciones en el sistema con un valor de 17451,27 minutos este tiempo es bastante considerable toda vez que se desea que los procesos sean bastantes eficientes y generen el minimo de perdidas posibles.

7. IDENTIFICACION DE LOS COMPONENTES CRITICOS DEL SISTEMA ELÉCTRICO

Luego de procesar la información recopilada de las fallas ocurridas en los últimos tres años en las subestaciones eléctricas de media tensión de 34,5 Kv de la gerencia de mares de Ecopetrol S.A se logró evidenciar que los elementos de protección que más inciden en la generación de fallas, son Fusibles, Portafusiles, Aisladores, Caja Cortacircuitos y los Seccionadores Eléctricos.

Últimamente se ha optado por incorporar entre el seccionador Portafusibles y la cruceta, un nuevo elemento que ha ofrecido una ventaja en el sistema y ha mejorado la confiabilidad.

Figura 2. Seccionador tipo fusible



El elemento que se ha implementado se llama aislador TR-210, que se instala entre el seccionador portafusible y la cruceta a través de una platina en forma de L. La ventaja observada ha sido que aporta un distanciamiento físico entre esos dos elementos mencionados lo cual se ve reflejado en el aumento del BIL.

Fotografía 8. Aislador TR-210 instalado en Ecopetrol S.A.



El aislador TR-210 es fabricado bajo la norma ANSI C29.9-1983 el cual garantiza las siguientes características:

Cuadro 2. Especificaciones técnicas aislador TR-210

DESCRIPCIÓN	VALORES
Resistencia a la tensión (kN)	53,5
Resistencia al voladizo (cantiléver) (kN)	9
Tensión de aplicación (kV)	34,5
Tensión de flameo a baja frecuencia en seco (kV)	145
Tensión sostenida en húmedo (kV)	80
Tensión sostenida al impulso (kV)	200
Distancia de fuga (mm)	940
Distancia de arco (mm)	368
Tensión de prueba rms a tierra (kV)	22
R.I.V. máximo a 1000 kHz (μ V)	100
Peso por unidad (Kg)	15

Por otra parte, se ha incorporado en las líneas de energía un elemento denominado Profauna, el cual consiste en un revestimiento que protege tanto la vida de los animales como la continuidad del servicio de energía, como se puede observar en la siguiente imagen:

Fotografía 9. Protección Profauna instalado en Ecopetrol S.A.



A continuación, se definen los elementos críticos detectados:

Fusible: Son elementos de conexión y desconexión de circuitos eléctricos. Tienen dos funciones: una como cuchilla desconectadora, para lo cual se conecta y desconecta, y otra como elemento de protección. El elemento de protección lo constituye el dispositivo fusible que se encuentra dentro del cartucho de conexión y desconexión.

Portafusibles es un componente electromecánico que permite separar de manera mecánica un circuito eléctrico de su alimentación, garantizando visiblemente una distancia satisfactoria de aislamiento eléctrico. El objetivo puede ser, por ejemplo, asegurar la seguridad de las personas que trabajen sobre la parte aislada del circuito eléctrico o bien eliminar una parte averiada para poder continuar el funcionamiento con el resto del circuito.

Aisladores: Los aisladores eléctricos son elementos cuyo fin consiste en separar el conductor de la línea de apoyo que lo soporta. Al emplearse los conductores eléctricos, se requiere que tengan buenas propiedades dieléctricas ya que la misión de estos es evitar el paso de la corriente del conductor eléctrico hacia tierra.

Seccionadores Eléctricos: Los **seccionadores** permiten aislar de la red secciones de una **subestación** para tareas de inspección y mantenimiento. El interruptor de tierra proporciona una correcta conexión a tierra. Ambos tipos de interruptores solo pueden accionarse sin flujo de corriente.

8. PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO APLICANDO MÉTODO FMECA

Un plan es un conjunto de acciones y tareas de mantenimiento seleccionadas y dirigidas a proteger la función de un activo, estableciendo una frecuencia de ejecución de las mismas y el personal destinado a realizarlas, se puede generalizar que la principal función del mantenimiento es sostener la funcionalidad de los equipos y el buen estado de las maquinas a través del tiempo.

Para Ecopetrol S.A. es muy importante mantener los indicadores de calidad muy altos en cada uno de los procesos industriales de acuerdo a la naturaleza del servicio, es por esto, que una vez analizados los modos de fallo, dio inicio a la búsqueda de estrategias que pudieran atenuar los impactos generados por las caídas del servicio, es ahí donde surge la iniciativa de instalar el aislador TR-210 con el fin de aumentar la distancia física entre el seccionador Portafusibles y la cruceta, sitio donde inciden la mayoría de los fallos en el servicio, ocasionado por los agentes externos como aves, animales terrestres, hurtos, entre otros factores, demostrándose una alta efectividad en el aumento del BIL en la subestación donde se instaló.

Adicional a esta estrategia, se incorporó un dispositivo Profauna, que recubre las líneas que salen del seccionador Portafusibles con el fin de proteger la vida de las aves y animales que se posan sobre estos elementos, brindando un valor agregado en la continuidad del servicio de suministro eléctrico en el campo.

A continuación, se muestran los análisis de precios unitarios en el suministro e instalación del aislador TR-210 y del recubrimiento Profauna.

Cuadro 3. Análisis de Precio Unitario Aislador TR-210

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
PROYECTO:		UNIDAD	UNIDAD	
CAPITULO: 1. AISLADOR TR-210		FECHA		
ITEM: 1 SUMINISTRO E INSTALACION DE AISLADOR TR-210				
1. EQUIPO Y HERRAMIENTAS				
DESCRIPCION	CANTIDAD (a)	TARIFA DIA 1 equipo (b)	RENDIMIENTO unidad/dia (c)	VR PARCIAL (axb)/(c)
HERRAMIENTAS MENORES	1	\$2.000	1,00	\$2.000
			SUBTOTAL	\$2.000
2. MATERIALES				
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD (d)	VR UNITARIO (e)	VR PARCIAL (dxe)
AISLADOR TR-210 (PORCELANA)	UND	1,00	\$57.000	\$57.000
PERNOS Y TUERCAS	UND	8,00	\$1.500	\$12.000
		PARCIAL		\$69.000
		% DESPERDICIO	0,00%	\$0
		SUBTOTAL		\$69.000
3. MANO DE OBRA				
DESCRIPCION	CANTIDAD (f)	JORNAL integral/dia (g)	RENDIMIENTO unidad/dia (h)	VR PARCIAL (fxg)/(h)
TECNICO ELECTRIISTA	1	\$90.000	2,00	\$45.000
AYUDANTE	1	\$45.000	2,00	\$22.500
			SUBTOTAL	\$67.500
4. VARIOS				
DESCRIPCION	CANTIDAD (i)	TARIFA (j)	RENDIMIENTO (k)	VR PARCIAL (ixjk)
CAMIONETA	1	\$100.000	2	\$50.000
			SUBTOTAL	\$50.000
TOTAL COSTO DIRECTO: (1 + 2 + 3 + 4)				\$188.500
A. I. U.			35,00%	\$65.975
FIRMA	PRECIO UNITARIO TOTAL:			\$254.475

Cuadro 4. Análisis de Precio Unitario de Manguera Profauna

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
PROYECTO:			UNIDAD	ML
CAPITULO:			FECHA	
ITEM:			1 SUMINISTRO E INSTALACION DE ELEMENTOS PROFAUNA	
1. EQUIPO Y HERRAMIENTAS				
DESCRIPCION	CANTIDAD (a)	TARIFA DIA 1 equipo (b)	RENDIMIENTO unidad/dia (c)	VR PARCIAL (axb)/(c)
HERRAMIENTAS MENORES	1	\$2.000	1,00	\$2.000
			SUBTOTAL	\$2.000
2. MATERIALES				
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD (d)	VR UNITARIO (e)	VR PARCIAL (dxe)
MANGUERA PROFAUNA	UND	1,00	\$35.000	\$35.000
		PARCIAL		\$35.000
		% DESPERDICIO	0,00%	\$0
		SUBTOTAL		\$35.000
3. MANO DE OBRA				
DESCRIPCION	CANTIDAD (f)	JORNAL integral/dia (g)	RENDIMIENTO unidad/dia (h)	VR PARCIAL (fxg)/(h)
TECNICO ELECTRIISTA	1	\$90.000	2,00	\$45.000
AYUDANTE	1	\$45.000	2,00	\$22.500
			SUBTOTAL	\$67.500
4. VARIOS				
DESCRIPCION	CANTIDAD (i)	TARIFA (j)	RENDIMIENTO (k)	VR PARCIAL (ixjk)
CAMIONETA	1	\$100.000	2	\$50.000
			SUBTOTAL	\$50.000
TOTAL COSTO DIRECTO: (1 + 2 + 3 + 4)				\$154.500
A. I. U.			35,00%	\$54.075
FIRMA	PRECIO UNITARIO TOTAL:			\$208.575

Como se puede observar, ambos elementos son accesibles económicamente, su consecución es factible a nivel nacional y resta que Ecopetrol S.A. haga la

caracterización correspondiente para aprobar la compra y la implementación de estos dos elementos en todas las subestaciones, ya que esta acción disminuiría en gran medida los fallos presentados en las subestaciones eléctricas.

El plan adicional es tener el protocolo de sustitución de cada elemento fallado y se sugiere incrementar los recorridos para inspección visual donde se pueda reportar y controlar los agentes externos del sistema como son: animales, vegetación, agentes externos de tipo social y de tipo natural.

Los recorridos deberán ser con una frecuencia mensual y estarán a cargo de la persona asignada por la organización. Los recursos a utilizar serán: camioneta, radio de comunicaciones, botas de seguridad caña alta, casco, planilla de verificación.

Las actividades a realizar durante la inspección visual son:

Verificación de animales presentes en la zona, tales como aves de rapiña, animales silvestres como perezosas, iguanas, serpientes, osos hormigueros, ardillas, monos, entre otros, la vegetación del entorno como enredaderas, árboles frondosos y capote.

Para los agentes externos de tipo social como hurtos y atentados, se tener un apoyo interdisciplinar que incluya la comunidad y las autoridades de orden local con el fin de generar una alerta temprana y así evitar la materialización de los hechos.

Los agentes externos de tipo natural como tormentas con descargas eléctricas (alto nivel cerámico), sismos, terremotos, entre otros fenómenos naturales, se debe gestionar una vez se presente el evento, sin embargo, se recomienda monitorear los datos meteorológicos que suministra el IDEAM y los datos sismológicos que genera el Servicio Geológico Colombiano.

8.1 PROTOCOLO DE SUSTITUCIÓN PORTAFUSIBLES Y FUSIBLES

Preparación del operario experto electricista y su medio de aislación:

- Utilizar pértiga fija o telescópica verificando que su certificado de laboratorio se encuentre vigente.
- Utilizar tapete dieléctrico en buen estado
- Guantes de hilo para absorber el sudor, encima guantes dieléctricos clase III para protección de 26.500 voltios, guante protector, todos de la misma talla.

Ejecución de la sustitución:

- Antes de iniciar las labores es importante tener en cuenta y aplicar las cinco (5) reglas de oro para trabajos eléctricos establecidos en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) los cuales son: 1) Efectuar el corte visible de todas las fuentes de tensión; garantizando que el corte sea efectivo. 2) Condenación o bloqueo; impedir la maniobra de los aparatos. Manteniendo en una posición determinada. Esto con una señalización adecuada. 3) verificar la ausencia de tensión en cada una de las fases; con un detector de tensión que sea probado antes y después. 4) puesta a tierra y en cortocircuito de todas las posibles fuentes de tensión que incidan en la zona de trabajo; unir entre si todas las fases de una instalación mediante un puente equipotencial de sección adecuada, que previamente ha sido conectado a tierra. 5) señalizar y delimitar la zona de trabajo; el área de trabajo debe ser delimitada por vallas, o banda reflectivas, en los trabajos nocturnos se deben utilizar conos o vallas fluorescentes y además señales luminosas
- Utilizar tapete dieléctrico y retirar el Portafusibles utilizando la pértiga.
- Una vez se tiene el Portafusibles individual en la mano, se puede trabajar con guante de lona para permitir el movimiento de la mano.
- Quitar el tapón y verificar la capacidad del fusible.
- Con una llave ajustable se retiran los restos del fusible dañado, verificando que no queden residuos del mismo al interior del tubo.

- Revisar pines y argolla del Portafusibles que no tengan desgaste o rotura, inspeccionar visualmente el tubo, verificar que la placa tenga presión de caída.
- Proceder a insertar el nuevo fusible de reemplazo.
- Ajustar la rosca.
- Proceder a instalar el Portafusibles nuevamente
- Verificar la puesta en funcionamiento

8.2 PROTOCOLO DE SUSTITUCIÓN AISLADORES

Preparación del operario experto electricista y su medio de aislación:

- EPP: Arnés, mosquetones, pretales, eslingas, pértigas, puesta a tierra, cuerda manila, alicate, aislador a reemplazar, cuerda para el amarre

Ejecución de la sustitución:

- Antes de iniciar las labores es importante tener en cuenta y aplicar las cinco (5) reglas de oro para trabajos eléctricos establecidos en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) los cuales son: 1) Efectuar el corte visible de todas las fuentes de tensión; garantizando que el corte sea efectivo. 2) Condenación o bloqueo; impedir la maniobra de los aparatos. Manteniendo en una posición determinada. Esto con una señalización adecuada. 3) verificar la ausencia de tensión en cada una de las fases; con un detector de tensión que sea probado antes y después. 4) puesta a tierra y en cortocircuito de todas las posibles fuentes de tensión que incidan en la zona de trabajo; unir entre si todas las fases de una instalación mediante un puente equipotencial de sección adecuada, que previamente ha sido conectado a tierra. 5) señalizar y delimitar la zona de trabajo; el área de trabajo debe ser delimitada por vallas, o banda reflectivas, en los trabajos nocturnos se deben utilizar conos o vallas fluorescentes y además señales luminosas.
- Alistar el aislador tipo pin o polimérico y el Tipo TR-210 a sustituir.
- Ascenso del liniero al poste.

- Soltar el alistamiento del aislador fallado y retirarlo.
- Se iza el aislador nuevo al liniero para su montaje.
- Se asegura la línea para el alistamiento con el cable y el borne.
- Descenso del liniero.
- Verificar la puesta en funcionamiento

8.3 PROTOCOLO DE SUSTITUCIÓN SECCIONADOR

Preparación del operario experto electricista y su medio de aislación:

- EPP: Pértiga telescópica, escalera telescópica, cinturón de seguridad, llave tipo Rache, alicate, cuerda, casco, gafas, guantes, chaleco reflectivo.

Ejecución de la sustitución:

- Antes de iniciar las labores es importante tener en cuenta y aplicar las cinco (5) reglas de oro para trabajos eléctricos establecidos en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) los cuales son: 1) Efectuar el corte visible de todas las fuentes de tensión; garantizando que el corte sea efectivo. 2) Condenación o bloqueo; impedir la maniobra de los aparatos. Manteniendo en una posición determinada. Esto con una señalización adecuada. 3) verificar la ausencia de tensión en cada una de las fases; con un detector de tensión que sea probado antes y después. 4) puesta a tierra y en cortocircuito de todas las posibles fuentes de tensión que incidan en la zona de trabajo; unir entre si todas las fases de una instalación mediante un puente equipotencial de sección adecuada, que previamente ha sido conectado a tierra. 5) señalizar y delimitar la zona de trabajo; el área de trabajo debe ser delimitada por vallas, o banda reflectivas, en los trabajos nocturnos se deben utilizar conos o vallas fluorescentes y además señales luminosas
- Ascenso del liniero por la escalera telescópica hasta el seccionador.
- Sujeción del liniero al poste.

- Se retira la salida de corriente del seccionador dañado con una llave tipo Rache, se desmonta el seccionador, el cual se baja con una cuerda hasta el suelo.
- El auxiliar suelta el seccionador en tierra, y asegura el nuevo seccionador con la cuerda.
- Se iza el seccionador y lo recibe el liniero.
- Se instala en el mismo lugar donde se desmontó el seccionador dañado.
- Se conecta la salida de corriente.
- Descenso del liniero.
- Verificar la puesta en funcionamiento

9. CONCLUSIONES

- Actualmente la empresa ECOPETROL S.A. viene desarrollando mantenimientos correctivos a los sistemas eléctricos que están bajo su área de influencia y que suministran energía a cada uno de los procesos de producción, los cuales se llevan a cabo en el momento del evento y se hacen necesario efectuar maniobras para restablecer el servicio.
- El mantenimiento preventivo es una herramienta fundamental en el proceso de gestión y control de los sistemas eléctricos principalmente las subestaciones eléctricas, teniendo en cuenta que se puede mitigar el impacto negativo que origina la pérdida del funcionamiento del sistema y permite mantener el nivel de confiabilidad requerido.
- El estudio permitió evidenciar que los fusibles son los elementos que sufren el mayor impacto en el momento de la ocurrencia de un evento, y el método FMECA logró resaltar los agentes externos y como realizar el respectivo control.
- Gracias al método FMECA se pudo establecer que el aislador TR-210 posee especificaciones técnicas óptimas, que permitieron a la Gerencia de Mares tomar la decisión de realizar la implementación de este elemento y aumentar el BIL en las subestaciones eléctricas, al igual que la implementación del dispositivo Profaua en los mismos.

10. RECOMENDACIONES

- Se deben intensificar los esfuerzos en las inspecciones rutinarias de los equipos con el fin de verificar el estado de los mismos y diligenciar el reporte correspondiente.
- Continuar con la implementación de los protectores o dispositivos profauna y los aisladores TR-210 en los conductores eléctricos, subestaciones eléctricas y en cajas cortacircuitos, lo cual permite mantener la confiabilidad en el sistema eléctrico y cuidar la fauna presente.
- Es de vital importancia conocer el estado de los equipos que hacen parte de la subestación eléctrica, con la finalidad de tener claridad en la toma de decisiones acertadas antes de los eventos que puedan originar maniobras de sustitución o reparación.
- A través del programa de responsabilidad social empresarial de la estatal petrolera se fomente charlas educativas a la comunidad con el ánimo que sean un apoyo importante en el cuidado de la infraestructura de la empresa por medio de la denuncia antes las autoridades municipales en el momento que se presenten actos vandálicos tales como hurto y atentados a los mismos.

BIBLIOGRAFÍA

ECOPETROL S.A. Gerencia de mares. *Departamento de mantenimiento. Fallas eléctricas presentadas durante los años 2018,2019 y 2020.*

GAMMA. Catálogo *Aisladores. Aisladores Tipo Estación, 200kV BIL.* Colombia. 2020

Latino, Charles. *Hidden Treasures: Eliminating Chronic Failures Can Cut.* New York.1996

Meriño Amador Dairo; Carreño Figueroa Humberto. *Modelo para el mejoramiento del programa de mantenimiento preventivo basado en un análisis de criticidad de los modos de fallo y su efecto (FMECA) del gasoducto Ballenas – Barrancabermeja.* Especialización en Gerencia de Mantenimiento. UIS. Bucaramanga 2011.

Mora Gutiérrez, A. *Mantenimiento, planeación, ejecución y control.* Primera edición: Alfaomega Grupo Editor. México. 2009. Pág. 192

TECSA. *Las 7 principales causas de fallas en subestaciones eléctricas.* Publicado el 30 de marzo de 2019. Disponible en: <https://www.tecsagro.com.mx/blog/fallas-en-subestaciones-electricas/>