



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, SISTEMAS Y  
TELECOMUNICACIONES  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**PLAN DE MANTENIMIENTO ELÉCTRICO PARA LA PLANTA EXTRACTORA  
EN LA EMPRESA PALMAS OLEAGINOSAS DE CASACARÁ LTDA**

**AUTOR: ANDRÉS FELIPE LARA CANTILLO**

**DIRECTOR: M.Sc. EDISON ANDRÉS CAICEDO PEÑARANDA**

**CODIRECTOR: ING. NAIN GREGORIO PEREZ NIEVEZ**

**PRÁCTICA EMPRESARIA**

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, SISTEMAS Y  
TELECOMUNICACIONES  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA  
PAMPLONA NORTE DE SANTANDER-COLOMBIA  
FECHA**

**PLAN DE MANTENIMIENTO ELÉCTRICO PARA LA PLANTA EXTRACTORA  
EN LA EMPRESA PALMAS OLEAGINOSAS DE CASACARÁ LTDA**

**AUTOR: ANDRÉS FELIPE LARA CANTILLO**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO  
ELÉCTRICO**

**DIRECTOR: M.Sc. EDISON ANDRÉS CAICEDO PEÑARANDA**

**CODIRECTOR: ING. NAIN GREGORIO PEREZ NIEVEZ**

**PRÁCTICA EMPRESARIA**

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, SISTEMAS Y  
TELECOMUNICACIONES  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA  
UNIVERSIDAD DE PAMPLONA  
PAMPLONA NORTE DE SANTANDER-COLOMBIA  
FECHA**

## DEDICATORIA

*El presente trabajo lo dedico a mis padres, hermanos (as), por su amor, cariño, ánimo y esfuerzo para poder haber llegado a estas instancias.*

## AGRADECIMIENTO

*Primeramente, darle las gracias a Dios, por haberme brindado la oportunidad de continuar en este proceso de obtener unos de los anhelos que más deseaba.*

*A mis padres, por su esfuerzo y sacrificio en el transcurso de la carrera.*

*A mi hermano (as) por darme mucho apoyo y acompañarme a lo largo de esta etapa.*

*Agradecerles a los docentes por el aprendizaje durante toda la carrera.*

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	11
1. INTRODUCCIÓN	12
2. OBJETIVOS	17
2.1 OBJETIVO GENERAL	17
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	17
3. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN	18
3.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
3.2 JUSTIFICACIÓN	18
4. CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO	20
4.1 PLAN DE MANTENIMIENTO	20
4.2.1 Principio del mantenimiento.	20
4.2.2 Objetivo del mantenimiento.	20
4.2.3 Tarea de mantenimiento correctivo	20
4.2.4 Tarea de mantenimiento preventivo	21
4.2.5 Tarea de mantenimiento condicional	22
4.2 LA AGROINDUSTRIA DE PALMA DE ACEITE AFRICANA	22
4.3.1 Transformador trifásico	22
4.3.2 Motores trifásicos	22
4.3.3 Celdas de seccionador bajo carga	23
4.3.4 Planta eléctricas de emergencia	23
4.4 MANTENIMIENTO EN INDUSTRIAS	24
4.5 ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO	24
4.5.1 Estrategias de mantenimiento basado en condición CBM	25
4.5.2 Estrategias de mantenimiento basado en riesgo MBR	25
4.5.3 Estrategias de mantenimiento productivo total TPM	25
4.5.4 Estrategias de mantenimiento basado en tiempo TBM	25
4.5.5 Estrategias de mantenimiento basado en confiabilidad RCM	25
5. CAPÍTULO II EVALUACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO EXISTENTE DE LA PLANTA EXTRACTORA DE LA EMPRESA PALMAS OLEAGINOSAS DE CASACARÁ LTDA	26
5.1 PLANTA EXTRACTORA DE LA EMPRESA PALMAS OLEAGINOSAS DE CASACARÁ LTDA	26
5.1.1 Descripción del proceso	26

5.1.1.1 Recepción	26
5.1.1.2 Esterilización	26
5.1.1.3 Desfrutación	27
5.1.1.4 Extracción	27
5.1.1.5 Clarificación	27
5.1.1.6 Palmistería	28
5.1.1.7 Generación de vapor	28
5.1.1.8 Generación eléctrica	28
5.1.1.9 Manejo de subproductos.	28
5.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS CRÍTICOS DE LA PLANTA EXTRACTORA DE LA EMPRESA PALMAS OLEAGINOSAS DE CASACARÁ LTDA	29
5.2.1 TRANSFORMADOR TRIFÁSICO “TRAFO 6”	30
5.2.1.2 Datos técnicos del transformador 6	30
5.2.1.3 Forma constructiva del transformador 6	32
5.2.2 MOTOR TRIFÁSICO “DIGESTOR”	33
5.2.2.1 Datos técnicos del motor trifásico	34
5.2.2.2 Partes constitutivas del motor	35
5.2.3 CELDA DE SECCIONADORES BAJO CARGA “CSC 3”	37
5.2.3.1 Características de la celda de seccionador bajo carga	37
5.2.3.2 Datos técnicos de la celda de seccionador bajo carga	38
5.2.3.3 Descripción constructiva de la celda de seccionadores	39
5.2.4 PLANTA ELÉCTRICA DE EMERGENCIA “PE1”	40
5.2.4.1 Características de la planta de emergencia	40
5.2.4.2 Datos técnicos de la planta de emergencia	40
5.2.4.3 Descripción constructiva de la planta de emergencia	42
5.3 EVALUACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO EXISTENTE DE LA PLANTA EXTRACTORA DE LA EMPRESA PALMAS OLEAGINOSAS DE CASACARÁ LTDA	42
5.3.1 TAREAS DE MANTENIMIENTO REALIZADAS DEL TRANSFORMADOR TRIFÁSICO “TRAFO 6”	42
5.2.2 TAREAS DE MANTENIMIENTO REALIZADAS DEL MOTOR TRIFÁSICO “DISGESTOR”	44
5.2.3 TAREAS DE MANTENIMIENTO REALIZADAS A LA PLANTA ELÉCTRICA DE EMERGENCIA “PE1”	45
6 CAPITULO III DETERMINAR LAS ESTRATEGIAS NECESARIAS PARA MEJORAR EL PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LOS EQUIPOS	

CRÍTICOS DE LA PLANTA EXTRACTORA DE LA EMPRESA PALMAS OLEAGINOSAS DE CASACARÁ LTDA	47
6.1 TAREAS DE MANTENIMIENTO PARA EL TRANSFORMADOR TRIFÁSICO “TRAFO 6”	47
6.1.1 Pruebas físico-químicas para el transformador	47
6.1.2 Pruebas de diagnóstico para el transformador trifásico	49
6.1.9 Inspecciones externa para el transformador	49
6.2 TAREAS DE MANTENIMIENTO A REALIZAR PARA EL MOTOR TRIFÁSICO “DIGESTOR”	51
6.3 TAREAS DE MANTENIMIENTO A REALIZAR PARA CELDA DE SECCIONADOR BAJO CARGA “CSC 3”	52
6.4 TAREAS DE MANTENIMIENTO A REALIZAR PARA PLANTAS DE EMERGENCIAS PE1	53
7.CAPITULO IV DISEÑAR EL PLAN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DEL PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LOS EQUIPOS CRÍTICOS DE LA PLANTA EXTRACTORA DE LA EMPRESA PALMAS OLEAGINOSAS DE CASACARÁ LTDA	56
7.1 PLAN DE MANTENIMIENTO A CORTO PLAZO DE 0 A 1 AÑOS	56
7.2 PLAN DE MANTENIMIENTO A MEDIANO PLAZO DE 1 A 5 AÑOS	59
7.3 EQUIPOS, HERRAMIENTAS Y ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL A UTILIZAR PARA EL PLAN DE MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS CRÍTICOS DE LA PLANTA EXTRACTORA	60
7.3.1 Equipos para las tareas de mantenimiento para el transformador	60
7.3.2 Equipos para las tareas de mantenimiento para el motor trifásico	62
7.3.3 Equipos para las tareas de mantenimiento para la celda	62
7.3.4 Equipos para las tareas de mantenimiento para la planta de emergencia	62
7.3.5 Herramientas para tareas de mantenimiento	63
7.3.6 Elementos de protección personal	64
CONCLUSIONES	66
BIBLIOGRAFIA	67

## LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Datos eléctricos del transformador trifásico.</i>	31
<i>Tabla 2. Datos mecánicos del transformador trifásico.</i>	31
<i>Tabla 3. Datos eléctricos del motor trifásico.</i>	34
<i>Tabla 4. Datos mecánicos del motor trifásico</i>	34
<i>Tabla 5. Datos eléctricos de la celda de seccionador bajo carga.</i>	38
<i>Tabla 6. Datos eléctricos de la planta MP-515l.</i>	41
<i>Tabla 7. Datos mecánicos de la planta MP-515l.</i>	41
<i>Tabla 8. Tarea de mantenimiento del transformador trifásico. Fuente Palmacará Ltda.</i>	43
<i>Tabla 9. Tarea de mantenimiento que le realizan a lo motor trifásico. Fuente Palmacará Ltda.</i>	44
<i>Tabla 10. Tarea de mantenimiento realizada a la planta eléctrica de emergencia. Fuente Palmacará Ltda.</i>	45
<i>Tabla 11. Tarea de mantenimiento para el aceite dieléctrico. [35]</i>	48
<i>Tabla 12. Prueba de diagnóstico para el transformador. [35]</i>	49
<i>Tabla 13. Chequeo externo para el transformador trifásico. [35]</i>	51
<i>Tabla 14. Tarea de mantenimiento para el motor. [36]</i>	52
<i>Tabla 15. Tarea de mantenimiento para celda de seccionador bajo carga. [37]</i>	53
<i>Tabla 16. Tarea de mantenimiento para la planta eléctrica MP 515l. [38]</i>	55
<i>Tabla 17. Tareas de mantenimiento a corto plazo para el transformador trifásico.</i>	57
<i>Tabla 18. Tarea de mantenimiento a corto plazo para el motor trifásico.</i>	57
<i>Tabla 19. Tareas de mantenimiento a corto plazo para la planta eléctrica de emergencia.</i>	59
<i>Tabla 20. Tareas de mantenimiento a mediano plazo para el transformador trifásico.</i>	59
<i>Tabla 21. Tareas de mantenimiento a mediano plazo para el motor trifásico.</i>	60
<i>Tabla 22. Tareas de mantenimiento a mediano plazo para la celda de seccionador bajo carga.</i>	60
<i>Tabla 23. Equipos para realizar las tareas de mantenimiento del transformador trifásico.</i>	62
<i>Tabla 24. Equipos y materiales para realizar las tareas de mantenimiento del motor trifásico.</i>	62
<i>Tabla 25. Equipos y materiales para realizar las tareas de mantenimiento para la celda.</i>	62
<i>Tabla 26. Equipos y materiales para realizar las tareas de mantenimiento para la planta.</i>	63
<i>Tabla 27. Materiales para la ejecución de las actividades del mantenimiento.</i>	64
<i>Tabla 28. Elementos de seguridad para las tareas de mantenimiento.</i>	65

## LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Transformador trifásico. [17].....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 2. Motor trifásico. [18] .....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 3. Celdas de seccionador bajo carga. [33].....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 4. Planta eléctrica de emergencia. [22].....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 5. Diagrama unifilar de la empresa Palmas Oleaginosas de Casacará Ltda. Fuente Palmacará.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 6. Transformador Trifásico Rymel de 630 KVA 13.2 KV/440-254 V. Fuente Palmacará Ltda.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 7. Placa de Características Transformador Trifásico Rymel de 630 KVA 13.2 KV/440-254 V. Fuente Palmacará Ltda. ....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 8. Motor trifásico WEG 30 HP 220/440 V. Fuente Palmacará Ltda. ....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 9. Placa características del motor trifásico 30 HP 220/440 V. Fuente Palmacará Ltda.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 10. Celda de seccionador bajo carga Sarel. Fuente Palmacará Ltda. ....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 11. Placa característica de la celda de seccionador bajo carga. Fuente Palmacará Ltda.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 12. Planta de emergencia Modasa MP-515I de 625 KVA/500KW- 440V. Fuente Palmacará Ltda.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 13. Placa característica de la planta de emergencia tipo Modasa MP-515I de 625 KVA- 440V. Fuente Palmacará Ltda. ....</i>	<i>41</i>

## RESUMEN

En el siguiente trabajo se realiza un plan de mantenimiento eléctrico en la planta extractora de la empresa Palmas Oleaginosas de Casacará Ltda. Dentro de este proyecto se tienen en cuenta los equipos más críticos de la compañía para efectuar un plan de mantenimiento eléctrico, en el cual se plantean capítulos dedicados a cada caso de estudio. En el capítulo uno se realiza una evaluación del plan de mantenimiento eléctrico existente para los dispositivos críticos, luego se determinan la caracterización y sus datos más relevantes de cada uno de los equipos eléctricos de la planta, posteriormente se describen las estrategias necesarias para mejorar el plan de mantenimiento eléctrico centrado en los dispositivos críticos y en el capítulo tres se diseña un plan de mantenimiento eléctrico para los elementos más relevantes de la planta extractora de la empresa Palmas Oleaginosas de Casacará Ltda. A través de lo anterior mencionado se buscará incrementar la disponibilidad, fiabilidad, reducir los costos, fallos y aumentar al máximo la vida útil de los elementos para que mantengan la función en el mayor tiempo posible.

**Palabras clave:** Mantenimiento, confiabilidad, disponibilidad, costos, fallos.

## 1. INTRODUCCIÓN

La empresa Palmas Oleaginosas de Casacará Ltda. Tiene como actividad económica el cultivo palma africana y el beneficio primario de sus productos, como el aceite y la almendra. La plantación se encuentra ubicada en los predios de la hacienda Centenario, en el corregimiento de Casacará, municipio de Agustín Codazzi departamento del Cesar, geográficamente localizados en las coordenadas 9° 50' N y 73° 20' W, y cartográficamente en la plancha N° 34 del instituto geográfico Agustín Codazzi. [1]

Durante el desarrollo de los equipos en la industria, se comenzó a tener presente los fallos que producían los elementos, provocando los paros en la producción, perdidas de dinero, por lo tanto, se comenzaron a aparecer los respectivos mantenimientos, controlando dichos fallos que provocaban las máquinas en las industrias. [2]

El objetivo principal de este proyecto es diseñar un plan de mantenimiento eléctrico para los equipos críticos de la planta extractora de la empresa Palmas Oleaginosas de Casacará, puesto que la empresa no realiza e implementa las acciones necesarias, generando unos fallos en la producción y unos sobre costos por fallos.

Al tener un plan de mantenimiento eléctrico permite que la empresa pueda mejorar la confiabilidad de los elementos como; transformadores trifásicos, motores trifásicos, celdas de seccionadores bajo carga y plantas eléctricas de emergencia, el plan de mantenimiento les permite a los equipos aumentar la vida útil y disminuir los costos ocasionados. También le permite visualizar las tareas de mantenimiento a realizar, además de describir el procedimiento relacionado a cada elemento. Por ende, para el soporte de este trabajo se realizó revisión literaria de estudios e investigaciones realizadas a nivel internacional y nacional.

A nivel internacional en la ciudad de Guayaquil Ecuador, Aguirre Plaza George Marlon realizo un proyecto denominado *“Estudio y reconocimiento del programa de mantenimiento eléctrico implementado en la industria extractora de aceite de palma “Palmiste”* (2014). Donde su objetivo principal fue hacer un análisis del mantenimiento de los equipos de la empresa, con la finalidad de obtener las conclusiones y recomendaciones para mejorar las producciones y el mantenimiento de una manera eficiente. El diagnóstico del mantenimiento se tendrá en cuenta para las tomas de decisiones con el fin de obtener un mejoramiento de los equipos evitando los fallos y paros de la producción. [3]

Para llevar a cabo el diagnóstico del mantenimiento se realizó primero una caracterización de los equipos, luego se realizó una gestión de mantenimiento el cual consiste en una inspección visual y auditiva. El aporte del tiempo aproximado de vida y duración de los elementos, se estableció con la finalidad de examinar las condiciones de las máquinas e instalaciones y así poder guiar de forma clara que medida se puede tomar para realizar el mantenimiento correspondiente. [3]

A nivel internacional en la ciudad de Ibarra Ecuador, Luis Enrique Chacón Yandun realizo un proyecto denominado *“Diseño del plan de mantenimiento integral de las instalaciones y equipos eléctricos de una empresa Florícola caso de estudio: Empresa Bella Rosa”* (2020). A fin de llevar a cabo este proyecto, se planteó un método de mantenimiento para la empresa Florícola, con el propósito de reducir los fallos con el uso de tareas metodológicas fundamentada por una evaluación crítica. Ya que la compañía no tenía una información de las condiciones de los componentes, lo cual no tenían un soporte de cómo se encontraban los elementos provocando fallos, llevando la paralización de la producción. Este trabajo se realizó con el propósito de establecer un método de mantenimiento, por medio de un algoritmo computacional permitiendo obtener una organización de los documentos y la veracidad en el cumplimiento de las actividades, reduciendo los mantenimientos correctivos y así mantener los elementos en las mejores condiciones posibles. [4]

A nivel internacional en la ciudad de Quito Ecuador, Efraín Eduardo Soria Topa desarrolló el siguiente proyecto *“Plan de mantenimiento eléctrico en el centro quirúrgico del Hospital Pediátrico Baca Ortiz”* (2016). El presente trabajo se realizó por el motivo el cual, que los Hospitales es muy importante el continuo suministro de energía eléctrica, ya que los centros hospitalarios son cargas críticas las cuales si llegan a dejar de funcionar el suministro eléctrico pueden poner en riesgo la vida del personal, de modo que, los equipos eléctricos dependen de la calidad de mantenimiento que se le den. Como objetivo principal se pretendió establecer un programa de mantenimiento enfocado a las instalaciones y equipos eléctricos en el Hospital, realizando unos cronogramas donde se desarrollan las respectivas tareas de mantenimiento, además se elaboró una plantilla de registros de actividades de mantenimiento con el fin de comprobar el cumplimiento de los trabajos mediante la aplicación de un indicador de cumplimiento. [5]

A nivel nacional en la ciudad de Cartagena Bolívar, Hermes mendosa Duran y Mauricio Velásquez Marín realizaron un proyecto *“Diseño del plan de mantenimiento preventivo para las subestaciones eléctricas del sector minero del*

*departamento de la Guajira”* (2011). El siguiente trabajo se desarrolló por motivos de las inspecciones realizadas en la subestaciones, permitiendo identificar que el mantenimiento realizado la empresa no era el más adecuado para los equipos que se encuentran en la subestaciones eléctricas, por lo tanto se determinó plantear en la subestaciones de la empresa Cerrejón un plan de mantenimiento eléctrico preventivo, permitiendo mantener a las maquinas disponibles y seguras, con el fin de prevenir los fallos, logrando disminuir los precio ocasionados por las averías y así poder cumplir con las exigencias del proceso de la subestaciones eléctrica de la empresa. El propósito del proyecto es establecer un manual guía de mantenimiento para los equipos de las subestaciones, con la finalidad de tener un soporte y una guía del proceso de las actividades que deben efectuar. [6]

A nivel nacional en la ciudad de Bogotá, Angie Julieth Romero Guarín y Laura Viviana Soler Rodríguez, realizaron un trabajo *“Diseño de un plan de mantenimiento predictivo para los generadores eléctricos de una Central Hidroeléctrica”* (2017). El presente proyecto se realizó por medio el cual los generadores eléctricos tienen que tener unas medidas de mantenimiento más rigurosas, ya que al presentarse un fallo en unos de estos equipos afectará el suministro de energía a las subestaciones eléctricas que pertenecen, el cual suministran la energía eléctrica a los usuarios tanto como en zona rural y urbanas. El objetivo principal fue establecer el plan de mantenimiento predictivo para los generadores eléctricos. La ejecución del mantenimiento predictivo en estos elementos, tiene como finalidad disminuir las interrupciones y corregirlos en el menor tiempo posible para así poder garantizar el fluido eléctrico. [7]

A nivel nacional Javier Alfonso Grueso Cadena realizo un proyecto denominado *“Plan de mantenimiento eléctrico y electrónico de la central de generación eléctrica del municipio de Guapi Cauca”* (2016). Este trabajo de investigación se desarrolló debido a los continuos cortes de energía que se presentaban, afectando la comunidad por días. La central cuenta con diversos dispositivos eléctricos y electrónicos, los cuales deben ser revisados periódicamente para poder detectar anomalías en el funcionamiento, garantizando que los equipos cumplan con la demanda y eficiencia energética requerida por la comunidad, ya que se podría incurrir en un racionamiento energético indefinido por el simple hecho de encontrarse en una zona de difícil acceso. Según datos históricos suministrados por la empresa, en varias ocasiones se ha presentado fallos en uno de los dos circuitos de distribución eléctrica, a esta problemática se le suma el hecho de que no tienen implementado ningún tipo de señalización o alarma, dejando la detección de la anomalía a criterio de los operadores de turno, los cuales se dan cuenta de

los fallos que presentan los circuitos cuando se reporta por algún usuario del sector afectado. Con el propósito de dar solución a la problemática expuesta anteriormente, se pretende implementar en la central eléctrica del municipio de Guapi un plan para el mantenimiento a los equipos y dispositivos eléctricos y electrónicos de baja y media tensión comprendida entre 25V y 57.5KV. [8]

A nivel nacional en la ciudad de Santiago de Cali, José Fernando Puentes Espinosa efectuó un proyecto denominado *“Metodología para la formulación de un programa de mantenimiento para los motores de la planta de tratamiento de agua potable en el municipio de Yumbo”* (2008). El siguiente trabajo se desarrolló por motivos el cual la empresa municipal de Cali (EMCALI), prestadora del servicio de agua potable en Cali no presta el servicio de acueducto en los barrios de estrato socioeconómico bajos y en condiciones de vulnerabilidad, por lo tanto, la planta de tratamiento de agua del municipio de Yumbo, es la única empresa que abastece el servicio de agua a estos barrios de bajo recursos. El propósito de este proyecto fue de implementar un sistema para la ejecución del mantenimiento en los motores de la planta, indagando la más alta calidad en el desarrollo del suministro de agua potable y establecer un servicio constante y efectivo. [9]

A nivel nacional en la ciudad de Duitama Boyacá, Duván Felipe Albarado Merchán formalizo un proyecto denominado *“Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo en los equipos críticos de las principales subestaciones de la empresa de Energía de Boyacá S.A. E.S.P. Aplicado por la empresa Asistencia Técnica Industrial Ltda.”* (2017). Este proyecto se realizó ya que la empresa de Energía de Boyacá S.A. E.S.P, no tenía los empleados capacitados para la ejecución de las actividades de mantenimiento eléctrico en las subestaciones tipo patio y encapsuladas. Debido a los fallos que se presentaban constantemente en las subestaciones eléctricas la empresa se vio obligado a contar con la prestación del servicio de la empresa Asistencia Técnica Industrial Limitada. De modo que, el objetivo principal fue establecer un programa de mantenimiento preventivo, teniendo en cuenta las caracterizaciones sistemáticas que tienen que tener las subestaciones de tipo patio y encapsuladas, este plan va ser inspeccionado por la empresa contratada para garantizar la continuidad, seguridad y confiabilidad del servicio eléctrico de energía. [10]

A nivel nacional en la ciudad de Santiago de Cali, Darwin Fernando Ocoro Possu llevo a cabo un proyecto denominado *“Diseño una metodología de mantenimiento para los componentes del Área de Servicios Industriales”* (2019). El presente trabajo se ejecutó con la finalidad de presentar un programa de mantenimiento para

la supervisión de elementos eléctricos. Ya que en las industrias para ser competitivas deben considerar el mantenimiento de sus equipos como parte fundamental, el objetivo principal fue diseñar un método que sirva como herramienta para la inspección, diagnóstico, seguimientos y realización de las actividades de mantenimiento a las máquinas eléctricas considerando los parámetros que influyen en la operación confiable de los mismos. [11]

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar el plan de mantenimiento eléctrico de los equipos críticos en la planta extractora de la empresa Palmas Oleaginosas de Casacará Ltda.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Evaluar el plan de mantenimiento existente de la planta extractora de la empresa Palmas Oleaginosas de Casacará Ltda.
- Determinar estrategias necesarias para mejorar el plan de mantenimiento centrado en los equipos críticos de la planta extractora de la empresa Palmas Oleaginosas de Casacará Ltda.
- Diseñar un plan para la implementación de las estrategias del plan de mantenimiento centrado en los equipos críticos de la planta extractora de la empresa Palmas Oleaginosas de Casacará Ltda.

### **3. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN**

#### **3.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La empresa Palmas Oleaginosas de Casacará tiene una planta de producción de 11700 m<sup>2</sup> y cuenta con 760 hectáreas de cultivos de palmas de aceite africanas. Actualmente el mantenimiento eléctrico realizado a los equipos críticos de la planta no implementa las acciones necesarias de prevención fundamentado en las características del sistema eléctrico, generando unos fallos y asimismo provocando unos elevados costos por determinados fallos, reduciendo la vida útil de los dispositivos al no contar con un informe de las condiciones en la que se encuentra el equipo y la culminación de las actividades de mantenimiento. Por lo cual estos problemas se pueden mejorar si se establece un plan de mantenimiento eléctrico, con el propósito de reducir los fallos y así poder desempeñar con los requerimientos de los procesos de la planta. Ya que, al aplicar mantenimientos correctivos, se van a ocasionar pérdidas económicas y pérdidas de tiempo al momento de tener que cambiar alguna pieza de un equipo para el transcurso de la producción.

La planta extractora de la empresa cuenta con unos equipos para la realización de la producción como; transformadores trifásicos, motores eléctricos trifásicos, celdas de seccionadores bajo carga, plantas de emergencias, etc.

#### **3.2 JUSTIFICACIÓN**

El plan de mantenimiento en la actualidad es un instrumento importante para todo tipo de empresa. Ya que los mantenimientos permiten pronosticar las averías en su fase inicial corrigiéndola en el instante pertinente manteniendo a los dispositivos en óptimas condiciones. [6]

Teniendo en cuenta el caso antepuesto se plantea diseñar un plan de mantenimiento eléctrico a los equipos críticos que se encuentran en la planta extractora de la empresa Palmas Oleaginosas de Casacará Ltda. Evaluando el plan de mantenimiento existente de cada equipo, para poder determinar las estrategias necesarias y así poder establecer la metodología de mantenimiento eléctrico para los dispositivos críticos del proceso planta extractora, con el propósito de mantener seguros, disponibles y confiables los componentes eléctricos que dan un aporte a la planta extractora de aceite de palma africana y asimismo reducir los fallos ayudando a aumentar lo máximo posible la vida útil de la máquinas, de tal manera

acortar los precios originados por los arreglos de las averías. Puesto que con el diseño del plan de mantenimiento se puede tener un control de las condiciones de las que se encuentra equipos.

## **4. CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO**

### **4.1 PLAN DE MANTENIMIENTO**

El plan de mantenimiento tiene como propósito mantener y consolidar la prestación de servicio de los dispositivos, con la finalidad de conservar la funcionalidad al máximo rendimiento. [12]

El mantenimiento se debe ejecutar por personal capacitado para el área de trabajo que vaya a realizar, con el fin de efectuar un adecuado mantenimiento y así poder establecer un apropiado servicio a los equipos. Para mantener una excelente prestación del servicio de los elementos se tiene que tener en cuenta unos componentes fundamentales como; los daños provocados, los costos y el tiempo de la intervención del dispositivo. [2]

#### **4.2.1 Principio del mantenimiento.**

La base fundamental del mantenimiento es que cualquier elemento mantenga su desempeño para la cual fue diseñado. Y es de gran importancia implementar y ejecutar las tareas de mantenimiento en las empresas ya que esto representa unos índices económicos no solo para el empresario, sino que se verá reflejado en mejora de la producción y a su vez se mantendrá al personal del área sano e índice de accidentalidad mínimos. [13]

#### **4.2.2 Objetivo del mantenimiento.**

El objetivo del mantenimiento tiene como propósito de mantener un determinado elemento e instalación de manera que se cumplan las funciones para la cual fueron desarrolladas con la capacidad y la calidad especificadas, y así ser utilizados en diferentes condiciones de seguridad. [14]

Las tareas de mantenimiento se dividen en:

#### **4.2.3 Tarea de mantenimiento correctivo**

Son actividades de mantenimiento que se ejecutan con el propósito de reparar la función de un elemento por la pérdida de su capacidad para desarrollar los servicios que sean requeridos, por ende, esto ocasiona tiempos de paradas no establecidos en el proceso productivo. [14]

Esta tarea constituye en:

- Localización de los fallos.
- Acoplamiento y desmontaje.
- Ensayos y comprobaciones. [14]

Aunque hay que tener muy presente que la tarea de mantenimiento correctivo trae unas consecuencias como:

- Genera costos imprevistos en la producción.
- Genera paradas no provistas provocando la disminución de las horas operativas en la empresa.
- Presenta gastos no presupuestados al momento de la restauración de la pieza y provoca falta de recursos al momento de que no se pueden comprar el momento deseado.
- No se puede predecir el tiempo en el cual va a estar el equipo fuera de operación. [6]

#### **4.2.4 Tarea de mantenimiento preventivo**

Esta tarea es un conjunto de actividades que se ejecutan con el fin de disminuir la posibilidad de los fallos de un equipo o, por otro lado, para extender el beneficio operativo, reduciendo los costos, paros imprevistos, obteniendo un mejor control del elemento y aumentando de la vida útil de los dispositivos. El propósito de este mantenimiento es detectar las averías en su estado inicial antes que se presentes los fallos. [14]

Este mantenimiento tiene unas características como las siguientes:

- Este mantenimiento se realiza en el momento el cual la planta no está en operación, aprovechando que los equipos no están en funcionamiento
- El mantenimiento preventivo cuenta con unas fechas de inicio y fecha a terminar determinadas por la empresa.
- Consiente tener un rotundo control de los equipos, facilitando la información de ellos. [6]

#### **4.2.5 Tarea de mantenimiento condicional**

Esta labor consiste en chequear si hay fallos y a su vez consta de un análisis de los resultados de otra tarea de mantenimiento que proporcione la información requerida para la realización de los cambios y eludir los fallos en el sistema. [14]

### **4.2 LA AGROINDUSTRIA DE PALMA DE ACEITE AFRICANA**

Las agroindustrias de palmas de aceite africanas son industrias que producen ingrediente de uso diario como; aceites, torta de palmiste, aceite de palmiste, jabones, perfumes, etc. [15]

A continuación, se observan equipos eléctricos que dan un aporte al proceso productivo de las industrias de palmas africanas, los cuales son:

#### **4.3.1 Transformador trifásico**

Un transformador es un elemento que proporciona energía eléctrica a un circuito por la acción de un campo magnético. [16]

El cual se puede observar en la siguiente figura.



*Figura 1. Transformador trifásico. [17]*

#### **4.3.2 Motores trifásicos**

Es una máquina que transforma la energía eléctrica a mecánica. Los motores están compuestos por los siguientes elementos: Estator, rotor, carcasa, ventilador, etc. [18]

El cual se puede observar en la siguiente figura.



*Figura 2. Motor trifásico. [18]*

#### **4.3.3 Celdas de seccionador bajo carga**

Una celda de seccionador bajo carga, es un equipo para proteger transformadores, aerogenerador, etc. Estas celdas utilizan fusibles tipo HH como protección al momento de ocurrir un daño. [19]

El cual se puede visualizar en la siguiente imagen.

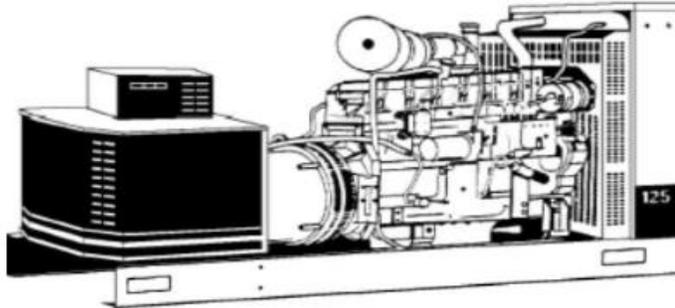


*Figura 3. Celdas de seccionador bajo carga. [33]*

#### **4.3.4 Planta eléctricas de emergencia**

Un grupo electrógeno es un equipo que se utiliza cuando hay falta energía eléctrica o cuando hay usuales cortes eléctricos. [21]

El cual se puede observar en la siguiente figura.



*Figura 4. Planta eléctrica de emergencia. [22]*

#### **4.4 MANTENIMIENTO EN INDUSTRIAS**

El mantenimiento en la industria tiene como objetivo de mantener el continuo servicio los equipos eléctricos, con el propósito de realizar los mantenimientos correspondientes a infraestructuras y componentes para notificar los inconvenientes causados por las averías de una máquina, con la finalidad de asegurar la instalación, otro equipo continúe cumpliendo los cargos para los que fueron implantadas conservando la particularidad determinadas. El mantenimiento en las industrias posee una gran plenitud y no solo implica al grupo operacional de mantenimiento, sino que asimismo a toda una estructura, ya que es una de las áreas fundamentales para salvaguardar y perfeccionar la producción. [23]

#### **4.5 ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO**

Las estrategias se vienen desarrollado simultáneamente con la industria. A partir del avance en las empresas, han nacido tendencias y conceptos de mantenimiento con otros métodos y procedencias, que buscan de manera conjunta mantener las subestructuras y soluciones de los fallos. Cada estrategia existente tiene ventajas y restricciones para la adaptación a diferentes ambientes. [24]

Existen habilidades como; basadas en condición, basada en el riesgo, productivo total, basado en el tiempo y basado en la confiabilidad.

#### **4.5.1 Estrategias de mantenimiento basado en condición CBM**

Es una estrategia que se basa en las circunstancias que se encuentra el equipo. Esta habilidad brinda resultados de inspecciones, evaluaciones de los fallos o información del comportamiento del equipo cuando ocurre una avería. [25]

#### **4.5.2 Estrategias de mantenimiento basado en riesgo MBR**

Esta estrategia se trata de identificar, evaluar y realizar un mapeo de los riesgos que se pueden producir en la industria, comprometiendo la integridad de las máquinas. Este método incluye etapas de identificación de equipos, detección de riesgos, evaluación de riesgos y planificación y también permite estimar riesgos causados por un fallo que se genere de manera inesperada. [4]

#### **4.5.3 Estrategias de mantenimiento productivo total TPM**

Esta estrategia requiere de un trabajo de mantenimiento integral de calidad, que no es difícil de obtener, pero por lo tanto requiere un nivel de "fallo cero" en su sistema de aplicación. Sabiendo que, en el sistema eléctrico, la totalidad de los fallos son producidas por factores externos, y los factores externos suelen ser incontrolables (por ejemplo, las condiciones climáticas), por lo que es imposible lograr "cero fallos" sin aumentar significativamente el nivel de costos operativos y con esto también afectar el precio de una unidad de energía eléctrica. [12]

#### **4.5.4 Estrategias de mantenimiento basado en tiempo TBM**

La estrategia de mantenimiento basado en el tiempo es la que establece un intervalo basado en la información empírica de los componentes que se remplazarán después de un periodo de uso específico. [25]

#### **4.5.5 Estrategias de mantenimiento basado en confiabilidad RCM**

Este método instituye unas habilidades eficaces para perfeccionar el mantenimiento en la disminución de precios y mejorar la confiabilidad y seguridad. Esta estrategia se ejecuta por medio de unos períodos, las cuales se fundamentan en análisis auditivo y análisis de severidad, para establecer las unidades clave del procedimiento. [26]

## **5. CAPÍTULO II EVALUACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO EXISTENTE DE LA PLANTA EXTRACTORA DE LA EMPRESA PALMAS OLEAGINOSAS DE CASACARÁ LTDA**

En el capítulo II se presentan las características de los equipos críticos de la planta, con la finalidad de describir los aspectos más importantes de cada uno de los elementos. Y también se realiza una evaluación del plan de mantenimiento eléctrico que se efectúa en los equipos críticos.

### **5.1 PLANTA EXTRACTORA DE LA EMPRESA PALMAS OLEAGINOSAS DE CASACARÁ LTDA**

La empresa cuenta con un área total de 900 hectáreas aproximadamente, donde 760 hectáreas están destinadas para las actividades de cultivo y todo el terreno se encuentra dentro de los predios Hacienda Centenario.

Cuenta con una planta extractora la cual ocupa un área de terreno de 1.17 hectáreas y tiene como capacidad de procesamiento 10 toneladas de racimo fruta/hora, dedicada a la extracción de aceite de palma y obtención de almendra. [1]

#### **5.1.1 Descripción del proceso**

La extracción del aceite palma africana en la planta extractora se basa en unas series de métodos para lograr conseguir extraer el aceite lo mayor posible por toneladas procesadas. Por consiguiente, una planta extractora está compuesta por una serie de procesos, lo cual son los siguientes:

##### **5.1.1.1 Recepción**

Recepción y control de peso y de calidad de los racimos. Con rechazo de aquellos que no cumplan con los parámetros de calidad establecidos. El peso se controla con una báscula camionera de 30 toneladas de capacidad provista de registro automático y control remoto computarizado. [1]

##### **5.1.1.2 Esterilización**

Los racimos de futo fresco se someten a un proceso de cocción con vapor de agua saturado a 45 Psig durante 1 hora, en un autoclave o esterilizador horizontal, con el propósito de facilitar el posterior desprendimiento de los frutos de racimo, frenar la acidificación, facilitar la posterior extracción del aceite y las almendras, esterilizar y o eliminar microorganismos, coagular proteínas y eliminar humedad. El vapor utilizado, en parte produce condensados aceitosos que se mezclan con las aguas

residuales o lodos del resto del proceso para recuperar el aceite, y en parte se descarga puro a la atmosfera produciéndose su rápida condensación y precipitación al suelo dentro de los predios de la planta sin ocasionar impacto ambiental en términos térmicos y de contaminación, tanto por su naturaleza como por el bajo gradiente de temperatura que induce. [1]

#### **5.1.1.3 Desfrutación**

Los racimos de fruto esterilizados se someten a un proceso de desfruta miento o separación de los frutos o pepas del raquis o tusas que los aloja, mediante el uso de un tambor o jaula cilíndrica rotativa que ocasiona la agitación de los racimos lográndose la separación. Los frutos sueltos o pepas son removidos mediante un transportador tipo tornillo, debajo del tambor, y conducidos al proceso, y los raquis o tusas o racimos vacíos se extraen por un extremo del tambor mediante una banda transportador que lo descarga en una volqueta para ser llevados y aplicados en la plantación sirviendo como nutrientes una vez biodegradados, aparte de mantener un nivel de humedad en el suelo y de aplastar las malezas. [1]

#### **5.1.1.4 Extracción**

Los frutos sueltos provenientes del desfruta miento se descargan en un digestor o tanque cilíndrico vertical provisto de un eje giratorio con paletas agitadoras y cortadoras, así como de inyección directa de vapor, con el fin de macerar los frutos y producir una masa pastosa adecuada para alimentar unas prensas, que provistas de una canasta perforada o cámara de prensado y de 2 tornillos sinfines que giran en sentido opuesto contra unos conos de contrapresión, producen el prensado o exprimido de los frutos obteniéndose aceite crudo o bruto, por un lado, y por otro lado torta o mezcla compactada de mesocarpio o fibra y nueces. [1]

#### **5.1.1.5 Clarificación**

El aceite bruto o mezcla de caite, agua e impurezas orgánicas e inorgánicas es sometido a un proceso de clarificación para separarlo de sus componentes, siendo necesario agregarle agua de dilución, recalentarlo, decantarlo, separarlo y secarlo el aceite o producto final que se conduce a los tanques de almacenamiento. Como residuales se obtiene aguas lodosas aceitosas que se centrifugan para recuperar el máximo de aceite contenido, luego se retienen en un sistema de trampas de grasas o tanques florentinos donde todavía aportan aceite y finalmente son enviadas a las acequias aledañas a la planta y que sirven de sistema de tratamiento

de aguas residuales, antes de ser descargadas al medio ambiente sobre los caños.  
[1]

#### **5.1.1.6 Palmistería**

Las nueces que caen del separador neumático o desfibrador pasan a través de un tambor pulidor o cilindro horizontal giratorio que las pule o les quita las fibras remanentes, luego se depositan en un silo a fin de enfriarlas y secarlas cierto grado para luego triturarlas con un rompenueces, y la mezcla triturada o mezcla de almendras y cascaras se pasa a un hidrociclón a fin de separar las cascaras y Las almendras, de las cuales las cascaras se envían a las calderas como combustible y las almendras se secan en un silo, se ensacan y se almacenan. [1]

#### **5.1.1.7 Generación de vapor**

El vapor para el proceso se genera a 120 PSIG en 2 calderas acuatubular cuyo combustible es la fibra y la cascarilla, subproductos del proceso. El sistema de generaciones incluidas las tuberías de conducción del vapor, se encuentran aislados térmicamente a fin de aprovechar el máximo de energía y minimizar la transmisión de calor al ambiente. La combustión se controla manualmente actuando sobre la humedad y dosificación del combustible y el manejo del aire, produciendo una combustión con emisiones de rápida precipitación dentro de los predios de la planta y que no impactan al ambiente, lo cual se tiene programado monitorear con estudios isocinéticos realizados por una empresa especializada y autorizada. [1]

#### **5.1.1.8 Generación eléctrica**

A fin de absorber eventuales contingencias originas por las deficiencias del servicio eléctrico de la red pública, se dispone una planta eléctrica diésel MP- 515I de 500KW. [1]

#### **5.1.1.9 Manejo de subproductos.**

En la planta se generan 3 subproductos sólidos, 1 efluente líquido y 2 efluentes gaseosos. Los subproductos solidos son: Los raquis o tusas, la fibra y la cascarilla.  
[1]

## 5.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS CRÍTICOS DE LA PLANTA EXTRACTORA DE LA EMPRESA PALMAS OLEAGINOSAS DE CASACARÁ LTDA

En este apartado se presentan las características de los equipos críticos que se encuentra en la planta extractora de la empresa Palmas Oleaginosas de Casacará Ltda. Los dispositivos críticos se seleccionaron teniendo en cuenta el nivel de importancia y el riesgo que tiene la máquina en el proceso de la planta extractora.

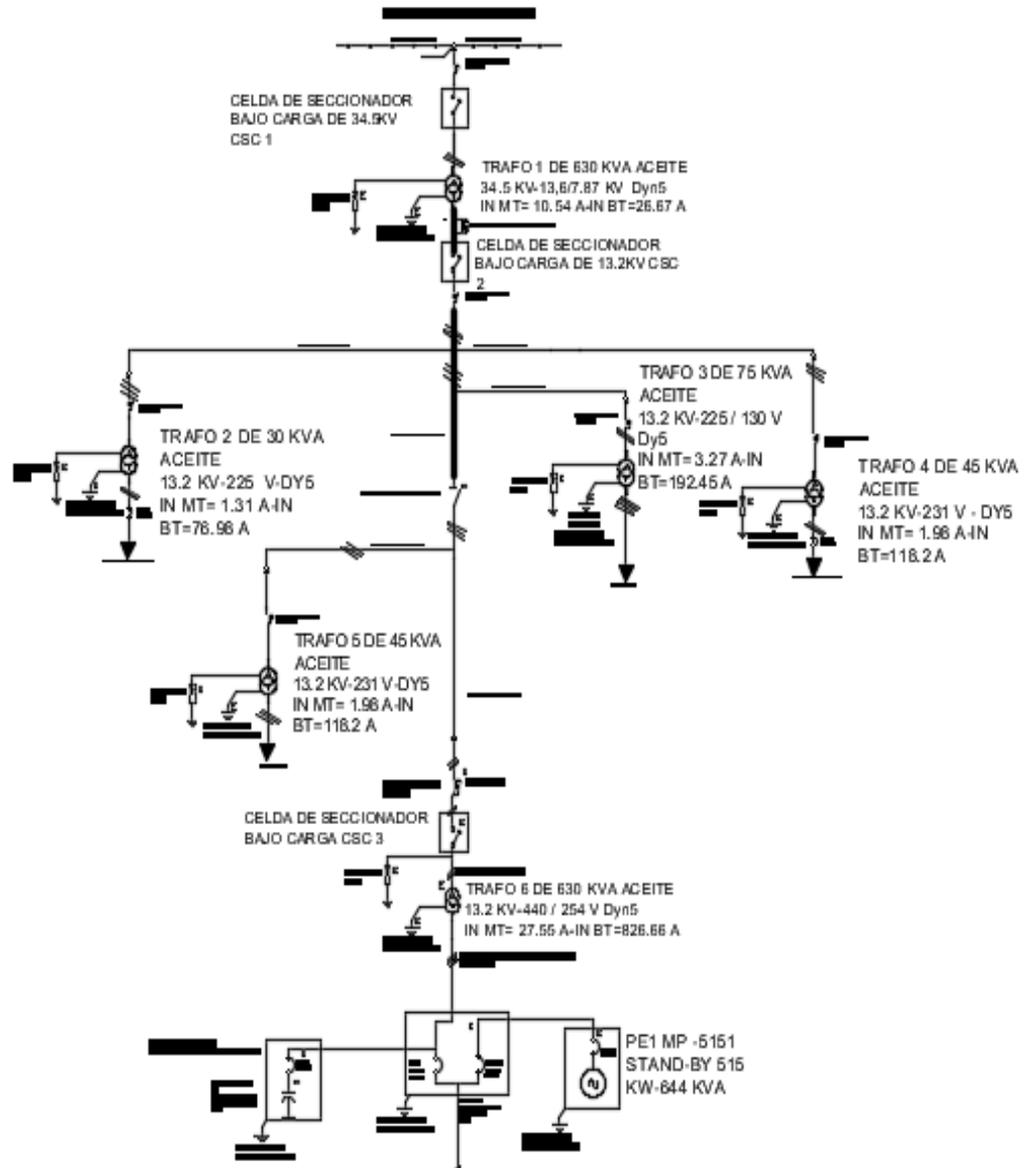


Figura 5. Diagrama unifilar de la empresa Palmas Oleaginosas de Casacará Ltda. Fuente Palmacará.

## 5.2.1 TRANSFORMADOR TRIFÁSICO “TRAFO 6”



*Figura 6. Transformador Trifásico Rymel de 630 KVA 13.2 KV/440-254 V. Fuente Palmacará Ltda.*

### 5.2.1.2 Datos técnicos del transformador 6

Los datos técnicos hacen referencia a los datos eléctricos y mecánicos del transformador trifásico, en esto se describen las características constructivas.

#### 5.2.1.2.1 Datos eléctricos transformador 6

Teniendo en cuenta los datos eléctricos en la tabla 1, se describen los niveles de tensión nominales del transformador, grupo de conexión, frecuencia, temperaturas máximas de los devanados e impedancia y corriente de cortocircuito.

Datos técnicos			
Devanado	Tensión (V)	Intensidad (A)	Conexión
Media tensión (Primario)	13200	27.555	Delta
Baja tensión (Secundario)	440-254	828.66	Estrella
<b>Grupo de conexión</b>		Dyn5	
<b>Frecuencia</b>		60 HZ	
<b>Bil KV MT/BT</b>		95/30	
<b>Calentamiento del devanado</b>		60° C /65 ° C	
<b>Impedancia a 85°C</b>		5.0	
<b>Tensión de cortocircuito</b>		3.125	
<b>Corriente de cortocircuito KA</b>		7.381	
<b>MAT.COND.MT/BT</b>		AL/AL	

Tabla 1. Datos eléctricos del transformador trifásico.

### 5.2.1.2.2 Datos mecánicos del transformador 6

Los datos mecánicos hacen referencia al tipo de refrigeración con él que cuenta el transformador trifásico, peso total del transformador, tipo de refrigeración, clase de aislamiento, estos datos se pueden visualizar en la siguiente tabla 2.

<b>Tipo de refrigeración</b>	ONAN
<b>Clase</b>	Ao
<b>Peso total</b>	3100 kg
<b>Aceite</b>	1052 litros

Tabla 2. Datos mecánicos del transformador trifásico.



Figura 7. Placa de Características Transformador Trifásico Rymel de 630 KVA 13.2 KV/440-254 V. Fuente Palmacará Ltda.

### **5.2.1.3 Forma constructiva del transformador 6**

Seguidamente, se pueden observar la forma constructiva del transformador 6

#### **5.2.1.3.1 Núcleo**

El núcleo del transformador 6 está fabricado con chapas magnéticas de acero al silicio de grano orientado de bajas pérdidas, aislamiento inorgánico. Encintado en cinco piernas o tres lazos. [27]

#### **5.2.1.3.2 Devanados**

El devanado primario del transformador trifásico está compuesto del material ovalado, concéntrico de forma rectangular en fleje de aluminio y el devanado secundario está compuesto de forma rectangular de capa corrida en aluminio. [27]

#### **5.2.1.3.3 Conductores**

El conductor primario del transformador es de alambre redondo o cuadrado de cobre o aluminio esmaltado o aislado y el conductor secundario es de alambres esmaltados o flejes de cobre o aluminio. [27]

#### **5.2.1.3.4 Grupo de conexión**

El grupo de conexión para el transformador 6 es Dyn5, el cual indica que el devanado primario está conectado en delta y el devanado secundario está conectado en estrella con neutro aterrizado. [27]

#### **5.2.1.3.5 Aislamiento**

El aislamiento que utiliza el transformador 6 es de clase Ao.

Este aislamiento se caracteriza por su eminente rigidez dieléctrica y su firmeza a altas temperaturas y principalmente por su capacidad para trabajar en aceite. [28]

#### **5.2.1.3.6 Aceite Refrigerante**

Para este transformador se utilizó el aceite refrigerante ONAN, el cual es un aceite que circula de forma natural y su refrigeración es por medio del aire de forma natural. [29]

#### **5.2.1.3.7 Nivel de aislamiento**

Este equipo cuenta con un nivel de aislamiento de 95 KV para el devanado primario y para el secundario es 30 KV. [27]

### 5.2.1.3.8 Conmutador de derivaciones

Este transformador trifásico está dotado con un mínimo de cinco niveles de maniobra de  $\pm 2 \times 2.5\%$  respecto a la posición nominal. [30]

El taps del transformador 6 está compuesto por 5 derivaciones de tensión nominal en  $\pm 2 \times 2.5\%$ :

- Taps 1 102.5.
- Taps 2 100.
- Taps 3 97.5.
- Taps 4 95.
- Taps 5 92.5.

### 5.2.2 MOTOR TRIFÁSICO “DIGESTOR”



Figura 8. Motor trifásico WEG 30 HP 220/440 V. Fuente Palmacará Ltda.

### 5.2.2.1 Datos técnicos del motor trifásico

Los datos técnicos hacen referencia a los datos eléctricos y mecánicos del motor trifásico, en esto se describen las características constructivas.

#### 5.2.2.1.2 Datos eléctricos

Teniendo en cuenta los datos eléctricos en la tabla 3, se describen los niveles de tensión nominal del motor, intensidad, potencia, conexiones, frecuencia, temperatura ambiente, factor de seguridad, clase de aislamiento, rpm, factor de potencia y eficiencia

<b>Datos técnicos</b>			
Potencia	Tensión (V)	Intensidad (A)	Conexión
30 HP	220	75.4	Doble delta
	440	37.7	Delta
<b>Frecuencia</b>		60 HZ	
<b>Factor de potencia</b>		0.84	
<b>Eficiencia</b>		91.1%	
<b>Temperatura ambiente</b>		40°C	
<b>Factor de seguridad</b>		3.125	
<b>Clase de aislamiento</b>		F	
<b>RPM</b>		1760	

*Tabla 3. Datos eléctricos del motor trifásico.*

#### 5.2.2.1.3 Datos mecánicos

Los datos mecánicos hacen referencia al tipo de construcción del motor, peso del motor, grado de protección, rodamientos, lo cual se pueden observar en la tabla 4.

<b>Frame</b>	180 M
<b>Grado de protección</b>	IP55
<b>Peso</b>	155 kg
<b>Rodamiento delantero</b>	6311-C3
<b>Rodamiento trasero</b>	6211-Z-C3

*Tabla 4. Datos mecánicos del motor trifásico*



Figura 9. Placa características del motor trifásico 30 HP 220/440 V. Fuente Palmacará Ltda.

### 5.2.2.2 Partes constitutivas del motor

Posteriormente, se pueden observar la forma constructiva del motor trifásico.

#### 5.2.2.2.1 Estator

El estator está diseñado de acero perforado y la parte interior de hierro fundido o aluminio. Las bobinas se distribuyen en las ranuras del interior. [31]

#### 5.2.2.2.2 Rotor

Es el elemento que gira de forma solidaria al eje del motor, y que se encuentra dispuesta en forma coaxial. Cabe resaltar que la geometría puede barras puede variar según las características y corriente de arranque que deseemos. [31]

#### 5.2.2.2.3 Carcasa

El material empleado para la construcción de la carcasa del motor es de hierro fundido, la chapa de acero y en menor cantidad la fundición de aluminio. [32]

#### **5.2.2.2.4 Grado de protección**

El grado de protección de la máquina es IP55. Donde el valor uno revela protección hacia el ingreso de organismos insólitos y el segundo valor representa la protección de agua. [32]

#### **5.2.2.2.5 Clase de aislamiento**

Los motores de marca son diseñados con tres tipos de aislamiento B, F y H. El motor trifásico Digestor está fabricado con una clase de aislamiento F. [32]

#### **5.2.2.2.6 Velocidad de rotación**

El motor tiene unas revoluciones por minuto de 1760 a una frecuencia de 60 Hz. [32]

#### **5.2.2.2.7 Forma constructiva**

La forma constructiva de los motores define el tipo de acoplamiento y la representación de ensamblarse con la carga. La forma constructiva del motor trifásico es de 180 M. [32]

#### **5.2.2.2.8 Brida**

La brida establece dependiendo de la forma en que diseñe el equipo, para el motor el tipo de brida es FC-288. [32]

#### **5.2.2.2.8 Elementos auxiliares**

Entre los elementos auxiliares a un motor podemos encontrar como son: tapas, rodamientos, chavetas, caja de terminales, eje, ventilador. [18]

##### **5.2.2.3.8.1 Eje**

El eje es soportado por los rodamientos alojados en las tapas, el eje es el dispositivo sobre el cual se encuentran fijados el rotor y el ventilador. Por sus extremos, el eje se encuentra acopla al equipo al cual debe impulsar. [18]

##### **5.2.2.3.8.2 Rodamientos**

Los rodamientos que utiliza el motor trifásico son: rodamiento delantero 6311-C3 y para el rodamiento trasero es de 6211-Z-C3. [32]

### 5.2.2.3.8.3 Caja de empalmes

La caja de empalmes, o caja de terminales, se fija a la parte externa de la carcasa y es el lugar donde se emplean la conexión del motor al circuito de alimentación. En motores con doble voltaje de servicio sirve para realizar las respectivas conexiones entre terminales de devanados. [18]

## 5.2.3 CELDA DE SECCIONADORES BAJO CARGA “CSC 3”



Figura 10. Celda de seccionador bajo carga Sarel. Fuente Palmacará Ltda.

### 5.2.3.1 Características de la celda de seccionador bajo carga

Estas celdas están perfiladas del material metal-enclosed, este material permite que la celda este fabricada a prueba de arcos internos. Estas celdas pueden estar diseñadas con un seccionador SF6 o un interruptor en vacío. También consiente con mecanismos de interbloques asegurando las operaciones de maniobra con

seguridad. Estas celdas logran trabajar como mecanismos de medición o de protección, etc. [20]

### 5.2.3.2 Datos técnicos de la celda de seccionador bajo carga

Los datos técnicos hacen referencia a los datos eléctricos de la celda de seccionador bajo carga, en esto se describen las características constructivas.

Datos técnicos	
Tensión nominal $U_r$	24 KV
Tensión soportada a la frecuencia industrial $U_d$	50 KV
Tensión de impulso $U_p$	125 KV
Corriente nominal $I_r$	630 A
Corriente soportada $I_d$	20 KA
Corriente a impulso atmosférico $I_p$	40 KA
Frecuencia	50/60 HZ
Tiempo de arco interno	1 S
Grado de protección	IP 3X

Tabla 5. Datos eléctricos de la celda de seccionador bajo carga.



Figura 11. Placa característica de la celda de seccionador bajo carga. Fuente Palmacará Ltda.

### **5.2.3.3 Descripción constructiva de la celda de seccionadores**

#### **5.2.3.3.1 Seccionador Bajo Carga**

Los seccionadores de maniobra utilizan el gas hexafluoruro de azufre como dieléctrico para el obstáculo del arco. El modelo del seccionador bajo carga es de tipo IM6P-TF. [20]

#### **5.2.3.3.2 Mecanismo de Operación**

En el mecanismo de operación se coloca todos los conjuntos de aparellaje para la realización de los dispositivos que contienen las celdas de seccionadores bajo carga. [20]

#### **5.2.3.3.3 Barras de Conexión**

Las barras pueden dimensionarse para un amperaje de 400-630 y 1250A. Para la celda de seccionador bajo carga, la corriente nominal del barraje de conexión es de 630 A. [20]

#### **5.2.3.3.4 Fusibles**

El elemento de protección de la celda es tipo HH a un nivel de tensión de 24 KV [33]

#### **5.2.3.3.5 Barra de Puesta a Tierra**

La barra del sistema puesta a tierra de la celda esta interbloqueado mecánicamente, garantizando la entrada y salida de la acometida permitiendo una absoluta seguridad. [20]

## 5.2.4 PLANTA ELÉCTRICA DE EMERGENCIA “PE1”



*Figura 12. Planta de emergencia Modasa MP-515I de 625 KVA/500KW- 440V.  
Fuente Palmacará Ltda.*

### 5.2.4.1 Características de la planta de emergencia

El grupo electrógeno MP-515 I tiene un motor electrónico permitiendo para tener determinado camino fácil y continuo a todos los datos del motor mediante de un módulo de Inspección electrónico, con la finalidad de evaluar los parámetros de control y protección de la planta. [34]

### 5.2.4.2 Datos técnicos de la planta de emergencia

Los datos técnicos hacen referencia a los datos eléctricos y mecánicos del grupo electrógeno, en esto se describen las características constructivas.

#### 5.2.4.2.1 Datos eléctricos

Teniendo en cuenta los datos eléctricos en la tabla 6, se describen los niveles de tensión nominal de la planta, intensidad, potencia, conexión, frecuencia, temperatura ambiente, clase de aislamiento, rpm, factor de potencia, voltaje y corriente de excitación.

Datos técnicos		
Tensión (V)	Intensidad (A)	Conexión
440	820.01	Estrella
<b>Frecuencia</b>	60 HZ	
<b>Factor de potencia</b>	0.8	
<b>Voltaje de excitación</b>	43	
<b>Corriente de excitación</b>	2.50	
<b>Temp ambiente</b>	40°C	
<b>Máxima temperatura</b>	150 °C	
<b>Clase de aislamiento</b>	H	
<b>RPM</b>	1800	

Tabla 6. Datos eléctricos de la planta MP-515I

#### 5.2.4.2.1 Datos mecánicos

Los datos mecánicos hacen referencia al tipo de construcción de la planta, grado de protección, lo cual se pueden observar en la tabla 7

<b>Frame</b>	HCI534D1
<b>Grado de protección</b>	IP23

Tabla 7. Datos mecánicos de la planta MP-515I

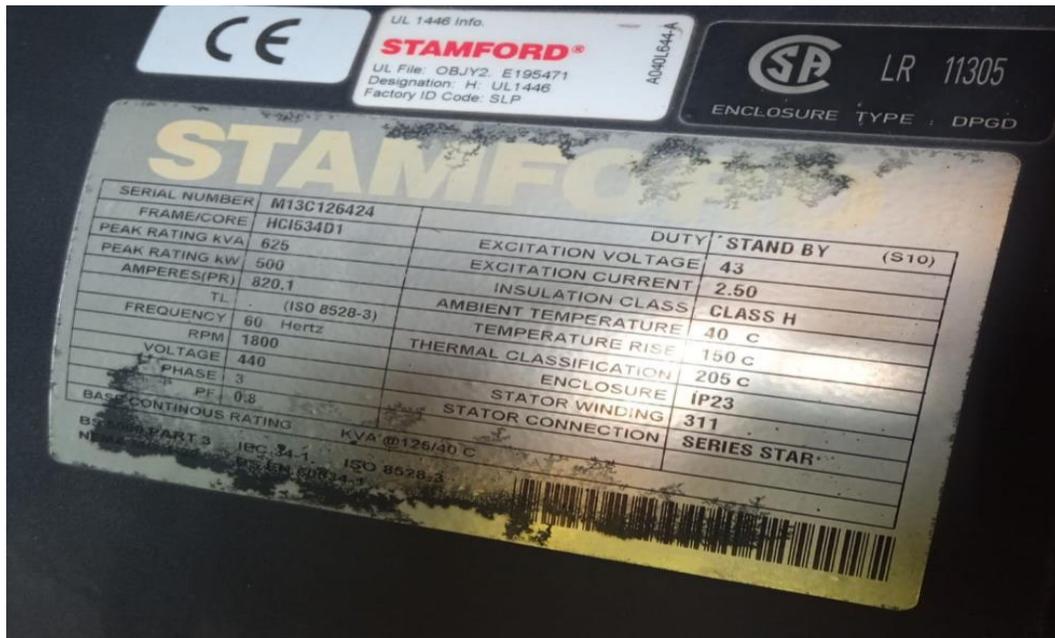


Figura 13. Placa característica de la planta de emergencia tipo Modasa MP-515I de 625 KVA- 440V. Fuente Palmacará Ltda.

### **5.2.4.3 Descripción constructiva de la planta de emergencia**

La planta de emergencia está compuesta por los siguientes elementos:

#### **5.2.4.3.1 Motor**

El motor que utiliza la PE 1 es el motor Perkins 2506C-E15TAG3. [34]

#### **5.2.4.3.2 Alternador**

El alternado que utiliza el grupo electrógeno PE1 es un alternador STAMFORD HCI 534D. [34]

#### **5.2.4.3.3 Tablero de Control**

Este elemento permite observar todas las mediciones que genera la planta eléctrica y también permitiendo manipular el equipo de forma manual o automática. [34]

## **5.3 EVALUACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO EXISTENTE DE LA PLANTA EXTRACTORA DE LA EMPRESA PALMAS OLEAGINOSAS DE CASACARÁ LTDA**

En esta sección se analiza la metodología de mantenimiento eléctrico que se realiza a los equipos críticos que se encuentran en la planta extractora de la empresa Palmas Oleaginosas de Casacará Ltda. Como referencia se toman las actividades de mantenimiento eléctrico que se efectúan para cada equipo crítico que se encuentra en la planta extractora y acorde a esto se realiza un análisis respecto a las tareas de mantenimiento implementada en la empresa.

### **5.3.1 TAREAS DE MANTENIMIENTO REALIZADAS DEL TRANSFORMADOR TRIFÁSICO “TRAFO 6”**

En esta sección se observan las tareas de mantenimiento que le realizan a los transformadores trifásicos que se encuentran en la empresa Palmas Oleaginosas de Casacará Ltda.

Cabe resaltar que al transformador 6 no le han realizado tareas de mantenimiento, puesto que el equipo es nuevo. Por lo tanto, la metodología de las tareas de mantenimiento que realiza la empresa Palmas Oleaginosas de Casacará se observa en la siguiente tabla 8.

<b>Tarea de mantenimientos realizados</b>	<b>Tiempo de las tareas de mantenimiento</b>	<b>Acción del mantenimiento</b>
Prueba físico-química	No tiene una fecha específica	Para verificar las condiciones en la que se encuentra el aceite aislante del transformador
Prueba de resistencia de aislamiento	No tiene una fecha específica	Esta prueba verifica las condiciones en la que se encuentra aislamiento de la máquina
Ensayo de relación de transformación	No tiene una fecha específica	Consiente observar que el voltaje a la salida es la indicada a la de la placa de características del equipo
Prueba de resistencia en los devanados	No tiene una fecha específica	Este ensayo se realiza para determinar el valor en el que se encuentra la resistencia del devanado del dispositivo

*Tabla 8. Tarea de mantenimiento del transformador trifásico. Fuente Palmacará Ltda.*

Como se presenta en la tabla 8, las tareas de mantenimiento que le realizan a los transformadores de la empresa son las siguientes; pruebas físico-químicas, pruebas de resistencia de aislamiento en los devanados, prueba de resistencia en los devanados y ensayo de relación de transformación, estas pruebas no tienen una fecha específica, al no tener una coordinación de los tiempos de las tareas de mantenimiento no se logra identificar los fallos reduciendo así mismo la vida útil del elemento, de tal manera para garantizar que los equipos estén en buen estado es importante establecer los tiempos de periodicidad para cada actividad de dispongan los transformadores de la empresa, con el propósito de poder llevar un control de todas las partes que tengan los transformadores y así poder corregir a tiempo los fallos que se presenten.

## 5.2.2 TAREAS DE MANTENIMIENTO REALIZADAS DEL MOTOR TRIFÁSICO “DISGESTOR”

En este apartado se observan las tareas de mantenimiento que le realizan al motor eléctrico trifásico que se encuentran en la planta extractora de la empresa Palmas Oleaginosas de Casacará Ltda. En la tabla 9 se puede visualizar las tareas de mantenimiento.

<b>Tarea de mantenimientos realizados</b>	<b>Tiempo de las tareas de mantenimiento</b>	<b>Acción del mantenimiento</b>
Limpieza exterior	No tiene fecha específica	Le realizan limpieza cada vez que van a realiza mantenimiento al motor
Rodamientos y correas	No tiene fecha específica	Los rodamientos y correas se revisan cuando se le realiza mantenimiento general al motor o cuando presenta una anomalía
Comprobar conexiones	No tiene fecha específica	Las condiciones de las conexiones del motor la realizan cada vez que se realiza mantenimiento general al motor o cuando se presenta una anomalía
Alineamiento del motor	No tiene fecha específica	El alineamiento se realiza cuando el motor presente una anomalía o cuando le realizan mantenimiento al motor

*Tabla 9. Tarea de mantenimiento que le realizan a lo motor trifásico. Fuente Palmacará Ltda.*

Como se muestra en la tabla 9, las actividades de mantenimiento que le realizan al motor eléctrico trifásico son; limpieza exterior, rodamientos y correas, conexiones eléctricas, alineamiento del motor, estas tareas no tienen un tiempo determinado,

por lo tanto, se pueden presentar fallos en el equipo. Pero para que el dispositivo se mantenga en excelentes condiciones es de vital importancia que opere sin interrupciones para mantener la productividad de los mismo, de tal manera, es de gran interés realizar un mantenimiento constante y planificado, con el fin de llevar un control de todos las partes que componga el motor trifásico. Ya que el motor es una parte esencial para la operación dentro del proceso productivo de la planta extractora.

### 5.2.3 TAREAS DE MANTENIMIENTO REALIZADAS A LA PLANTA ELÉCTRICA DE EMERGENCIA “PE1”

Las tareas de mantenimiento que le realizan a la planta eléctrica de emergencia que se encuentran en la planta extractora de la empresa Palmas Oleaginosas de Casacará Ltda. Se puede visualizar en la siguiente tabla 10.

Tarea de mantenimiento realizados	Tiempo de la tarea de mantenimiento	Acción de mantenimiento
Motor y alternador	70 horas	Cambio de acetie a motor, filtro de aceite, filtro de combustible, cambio de correa del alternador, correas de accesorios.

*Tabla 10. Tarea de mantenimiento realizada a la planta eléctrica de emergencia. Fuente Palmacará Ltda.*

Como se presenta en la tabla 10, al único elemento de la planta eléctrica de emergencia que le realizan mantenimiento es el motor y a las correas del alternado. Pero para mantener al equipo en buenas condiciones es de vital importancia realizar las actividades de mantenimiento a cada elemento que compone la planta eléctrica de emergencia como el motor, generador, chasis, depósito de combustible y batería, etc. Ya que todas las partes que componen una planta eléctrica de emergencia son de gran importancia, por lo cual es recomendable realizar mantenimiento a todos los elementos que compone la planta eléctrica. Con la finalidad de llevar un control de todas las partes que compone un grupo electrógeno. Aunque cabe resaltar que el tiempo que le realizan el cambio de aceite

al motor está bien, ya que el tiempo máximo permitirle para realizar el cambio del aceite del motor es de 250 horas de trabajo según el manual de uso y mantenimiento a grupos electrógenos Sdmo.

El tipo de mantenimiento que efectúa la empresa para los elementos críticos que se encuentran en la planta de beneficio primario, es el mantenimiento preventivo, Aunque en muchas ocasiones la empresa realiza mantenimientos correctivos por la no coordinación de los tiempos establecidos y de las actividades de mantenimiento planificadas en los elementos.

**6 CAPITULO III DETERMINAR LAS ESTRATEGIAS NECESARIAS PARA MEJORAR EL PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LOS EQUIPOS CRÍTICOS DE LA PLANTA EXTRACTORA DE LA EMPRESA PALMAS OLEAGINOSAS DE CASACARÁ LTDA**

En el capítulo III, se describe las diferentes tareas de mantenimiento a realizar para los dispositivos críticos de la planta extractora de la compañía Palmas Oleaginosas de Casacarà Ltda. Además, se tienen en cuenta la periodicidad de cada tarea.

**6.1 TAREAS DE MANTENIMIENTO PARA EL TRANSFORMADOR TRIFÁSICO “TRAFO 6”**

Las tareas y periodicidad de mantenimiento del transformador trifásico 6, se establecieron por medio del manual de servicio del transformador Siemens. [35] Las estrategias necesarias para mejorar el plan de mantenimiento del transformador que deberán realizar son las siguientes:

**6.1.1 Pruebas físico-químicas para el transformador**

La empresa Palmas Oleaginosas de Casacarà deberá realizar estas pruebas como tarea de mantenimiento preventiva, con la finalidad de detectar de manera oportuna envejecimiento del aceite, ingreso de humedad, etc. [35]

Cada prueba tiene su tiempo específico la cual se puede observar la tabla 11.

<b>Dispositivo a inspeccionar</b>	<b>Periodicidad</b>	<b>Método</b>	<b>Acción del mantenimiento</b>
Contenido de humedad	1 año	Tomar muestra de aceite	Realizar análisis en laboratorios a la muestra de aceite
Rigidez dieléctrica	1 año	Tomar muestra de aceite	Realizar análisis en laboratorios a la muestra de aceite
Voltaje de ruptura	1 año	Tomar muestra de aceite	Realizar análisis en laboratorios a la muestra de aceite

Número de Neutralización	1 año	Tomar muestra de aceite	Realizar análisis en laboratorios a la muestra de aceite
Color para el aceite dieléctrico	1 año	Tomar muestra de aceite	Realizar análisis en laboratorios a la muestra de aceite
Contenido de gases disueltos	1 año	Tomar muestra de aceite	Realizar análisis en laboratorios a la muestra de aceite
Factor de potencia	1 año	Tomar muestra de aceite	Realizar análisis en laboratorios a la muestra de aceite
Densidad relativa	1 año	Tomar muestra de aceite	Realizar análisis en laboratorios a la muestra de aceite

*Tabla 11. Tarea de mantenimiento para el aceite dieléctrico. [35]*

#### **6.1.1.1 Muestreo de aceite**

El muestreo se debe llevar a cabo de una manera muy cuidadosa a temperaturas de operación para esto se tendrá en cuenta la norma ASTM.

#### **6.1.1.2 Valores Característicos**

Los resultados de las pruebas deben de cumplir con los estándares establecidos por la norma IEEE Std C57.106 de aceite aislante del equipo. Esta norma es una guía para la aceptación, mantenimiento del aceite aislante del equipo y se da una descripción las propiedades y sus rangos de valores recomendados para aceites en servicio como; rigidez dieléctrica con la norma ASTM-D1816 con un valor de 23 KV mínimo, número de neutralización con la norma ASTM-D974 un valor de 0.20 máximo (mg KOH/g), para la prueba de tensión interfacial ASTM-D971 un valor de 25 KV mínimo (mN/m), contenido de húmeda ASTM-D1533 35 KV máximo (ppm), factor de potencia ASTM-D924 un valor 0.5 % máximo, para la prueba de color del aceite dieléctrico tiene que estar como máximo en 1.0 mN/m. Cabe resaltar que estos valores establecidos son a un nivel de tensión menor igual a 69 KV.

### 6.1.2 Pruebas de diagnóstico para el transformador trifásico

La empresa Palmas Oleaginosas de Casacará deberá realizar estas pruebas como tarea de mantenimiento preventiva, con la finalidad verificar el estado en la que se encuentra del transformador.

Cada prueba tiene su tiempo determinado la cual se puede observar la tabla 12

<b>Dispositivo a inspeccionar</b>	<b>Periodicidad</b>	<b>Método</b>	<b>Acción de mantenimiento</b>
Prueba de resistencia de devanados	1 año	Medir la resistencia de los devanados	Ejecutar el examen para verificar que no existan daños en los devanados
Prueba de relación de transformación	1 año	Medir la relación de transformación	Realizar la prueba para la comprobación del número de vueltas de los devanados
Prueba de resistencia de aislamiento	1 año	Medir la resistencia de aislamiento	Ejecutar la prueba para determinar las condiciones en la que se encuentra el aislamiento del equipo

*Tabla 12. Prueba de diagnóstico para el transformador. [35]*

Las pruebas de campo diagnóstico se tienen que analizar con la norma IEEE StdC57.152-2013. Con la finalidad de verificar los resultados obtenidos de los ensayos y así poder determinar las condiciones en la que se encuentra el transformador. El criterio de intervención para la prueba de relación de transformación entre la relación teórica y medida debe estar  $<0.5\%$ , mientras que para la prueba de resistencia en los devanados indica que un valor máximo del  $2\%$  entre los valores de fases y entre los valores del taps un valor como máximo del  $5\%$ , este porcentaje de desviación se determinan teniendo en cuenta la resistencia de referencia, resistencia medida y resistencia nominal. Para la prueba de resistencia de aislamiento en el devanado los resultados obtenidos corregidos a una temperatura de  $20^{\circ}\text{C}$  tienen que estar  $> 100\text{ M}\Omega$ , aunque cabe resaltar que para esta prueba es necesario consultar con el fabricante del equipo para obtener una aclaración necesaria del límite permitido para la prueba.

### 6.1.9 Inspecciones externa para el transformador

En esta parte se tiene en cuenta todas las tareas de mantenimiento en la parte externa del transformador trifásico, la cual se puede ver en tabla 13.

<b>Dispositivo a inspeccionar</b>	<b>Periodicidad</b>	<b>Método</b>	<b>Acción de mantenimiento</b>
Protección contra corrosión	Semanal	Inspección visual	Daños y formaciones de óxidos deben ser reparados
Limpieza	Semanal	Realizar limpieza	Realizar limpieza en las partes accesibles para evitar nocivos de la contaminación ambiental
Indicador de nivel de aceite	Semanal	Inspección visual	Inspección visual
Pasatapas	1 año	Condiciones físicas	Verificar las condiciones en la que se encuentra los Pasatapas.
Conexiones eléctricas	6 meses	Revisar todas las conexiones eléctricas en busca de signos de corrosión	Limpia el área de contacto y asegurar conexiones
Conexiones de puesta a tierra	1 año	Revisar conexiones de puesta a tierra del tanque, Pasatapas y dispositivos de protección	Asegurar las conexiones de puesta a tierra adecuadamente
Sistema de puesta a tierra	1 año	Medir la resistencia de la malla de puesta a tierra	Se deben medir las puestas a tierra, para revisar si se mantienen las condiciones de diseño

Válvulas de sobrepresión	3 año	Prueba de funcionalidad	Revisar contactos de disparo
Conmutador sin carga	5 año	Operación manual	El conmutador debe ser operado manualmente sobre el rango total de conmutación

*Tabla 13. Chequeo externo para el transformador trifásico. [35]*

Para la revisión del sistema de puesta a tierra se debe verificar el resultado con el RETIE, con el objetivo de diagnosticar las condiciones en la que se encuentra el sistema de puesta a tierra, por lo tanto, el límite establecido del sistema puesta a tierra no debe superar el valor máximo permitido de 10  $\Omega$ .

Se pudo evidenciar que la empresa Palmas Oleaginosas de Casacará no cuenta con los instrumentos necesarios para ejecutar las pruebas físico-químicas, la prueba de resistencia de devanados, la prueba de relación de transformación, la prueba de resistencia de aislamiento en los devanados, medición de sistema puesta a tierra. Por ende, la empresa tendrá que tomar las gestiones necesarias para realizar estas tareas de mantenimiento al transformador.

## **6.2 TAREAS DE MANTENIMIENTO A REALIZAR PARA EL MOTOR TRIFÁSICO “DIGESTOR”**

Las actividades y periodicidad de mantenimiento del motor trifásico, se establecieron por medio de manual de instalación y mantenimiento de motores eléctricos de inducción trifásicos WEG. [36]

Para mantener en buenas condiciones el motor trifásico, se debe realizar las siguientes actividades de mantenimiento eléctrico en la planta extractora de la empresa Palmas Oleaginosas de Casacará Ltda. Las tareas se observan en la tabla 14.

<b>Dispositivo a inspeccionar</b>	<b>Periodicidad</b>	<b>Acción de mantenimiento</b>
Limpieza exterior	Semanal	Remover polvo y suciedad del motor
Inspección visual	Semanal	Realizar inspección del motor y las conexiones

		eléctrica para estar seguro de que el motor este en optima condiciones
Lubricación	Mensual	Asegurar que los rodamientos estén lubricados
Resistencia de aislamiento y tierra	Mensual	Realizar prueba de aislamiento al bobinado
Alineamiento del motor	Mensual	Revisar las bases del motor y las correas
Revisar acoples	Mensual	Revisar el estado de los acoples mecánicos
Prueba de medida de velocidad (RPM)	Mensual	Verificar la velocidad a la que está funcionado el motor con la que se indica en la placa de características del motor
Rodamientos	20000 horas	Inspeccionar los rodamientos

*Tabla 14. Tarea de mantenimiento para el motor. [36]*

Para la prueba de resistencia de aislamiento del motor trifásico se tiene que verificar el resultado con la norma IEEE Std 43-2000, con el fin de diagnosticar las condiciones en la que se encuentra el aislamiento del dispositivo. Según la norma el valor mínimo de la prueba de resistencia de aislamiento para el motor tiene que estar por encima de 100 MΩ.

La empresa Palmas Oleaginosas de Casacará no cuenta con el equipo necesario para la realizar el ensayo de resistencia de asilamiento en los devanados. Por lo tanto, la empresa tendrá que tomar acciones necesarias para realizar esta tarea de mantenimiento del motor trifásico.

### **6.3 TAREAS DE MANTENIMIENTO A REALIZAR PARA CELDA DE SECCIONADOR BAJO CARGA “CSC 3”**

Las actividades y periodicidad de mantenimiento de la celda de seccionador bajo carga, se determinaron por medio de manual de funcionamiento y mantenimientos de celdas ABB. [37]

A continuación, tabla 15 se observa las tareas de mantenimiento para la celda de seccionador bajo carga de la planta extractora de la empresa Palmas Oleaginosas de Casacará.

<b>Dispositivo a inspeccionar</b>	<b>Periodicidad</b>	<b>Acción de mantenimiento</b>
Inspección	5 años	Inspeccione las posibles acumulaciones de polvo, suciedad o materias extrañas en el interior de la celda.
Conexión de tierra	5 años	Compruebe el estado general de la instalación de tierra.
Análisis del gas	5 años	Comprobación presión del gas SF6
Estado de tornillería	5 años	Observar las condiciones de la tornillería
Lubricación	5 años	Lubrique mecanismos, contactos y demás componentes móviles.

*Tabla 15. Tarea de mantenimiento para celda de seccionador bajo carga. [37]*

La empresa Palmas Oleaginosas de Casacará no tiene el equipo para efectuar la comprobación de la presión de gas SF6 a la celda de seccionador bajo carga. Al momento que la presión del gas de hexafluoruro de azufre es este por debajo del nivel establecido en el manómetro, la empresa Palmas Oleaginosas de Casacará tiene que contratar al personal experto para realizar ese tipo de intervenciones, ya que tienen que utilizar los equipos necesarios para realizar dicho trabajo.

#### **6.4 TAREAS DE MANTENIMIENTO A REALIZAR PARA PLANTAS DE EMERGENCIAS PE1**

Las tareas y periodicidad de mantenimiento para el grupo electrógeno PE1, se implantaron por medio de manual de uso y mantenimiento a grupos electrógenos Sdmo. [38]

Para mantener en óptimas condiciones el grupo electrógeno, se deben realizar las respectivas tareas de mantenimiento eléctrico en la planta extractora de la empresa Palmas Oleaginosas de Casacará Ltda. Las tareas se observan en la tabla 16.

<b>Dispositivo a inspeccionar</b>	<b>Periodicidad</b>
<b>Grupo electrógeno o planta eléctrica de emergencia</b>	
Verificar el estado general de la planta	1000 horas
Ajustar y verificar la tornillería	1000 horas
Limpiar los terminales de la batería y comprobar el nivel del electrolito	500 horas
Observar el estado en que se encuentran las conexiones	500 horas
<b>Motor</b>	
Mirar el nivel de aceite del motor y del refrigerante	Diariamente
Comprobar las condiciones que se encuentra el filtro de aire	Diariamente
Chequear el estado del combustible	Diariamente
Inspeccionar nivel en el que se encuentra el refrigerante en el radiador	Diariamente
Inspeccionar las válvulas	500 horas
Cambios de las correas del alternador	250 horas
Comprobar el estado de la bujía	500 horas
Inspeccionar arrancador	1000 horas
Inspeccionar alternador de carga	1000 horas
Pernos y tuerca del motor	1000 horas
Limpiar tubería de inyección	1500 horas
Comprobar y limpiar el inyector	3000 horas
Inspeccionar turbocompresor	3000 horas
Cambio del filtro de aceite	250 horas
Cambio de aceite del motor	250 horas
Cambio de filtro de aire	250 horas
Refrigerante del motor	250 horas
Cambio de filtro de combustión	250 horas

<b>Dispositivo a inspeccionar</b>	<b>Periodicidad</b>
Sustituir el refrigerante del motor	3000 horas
<b>Generador</b>	
Verificar los pares de apriete	20 horas
Comprobar el estado conexiones	20 horas
Engrasar los rodamientos	4000 horas
Verificar el estado de los anillos rozantes y escobillas	1000 horas
Verificar el estado de los diodos	Anual
Prueba de resistencia de aislamiento en los devanados	Anual

*Tabla 16. Tarea de mantenimiento para la planta eléctrica MP 515I. [38]*

Para la prueba de resistencia de aislamiento en los devanados de la planta eléctrica de emergencia la norma IEC 60204-1 establece un valor de resistencia el cual no debe ser inferior a 1 MΩ.

La empresa Palmas Oleaginosas de Casacará no tiene el elemento necesario para realizar la prueba de resistencia de aislamiento en el devanado del generador. Consiguientemente tendrá que tomar la acción necesaria para realizar esta tarea de mantenimiento para la planta eléctrica de emergencia PE1.

## **7.CAPITULO IV DISEÑAR EL PLAN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DEL PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LOS EQUIPOS CRÍTICOS DE LA PLANTA EXTRACTORA DE LA EMPRESA PALMAS OLEAGINOSAS DE CASACARÁ LTDA**

En el capítulo IV, se diseñó el plan para la implementación de las estrategias del mantenimiento a los dispositivos críticos de la planta extractora. El plan se implementó en tiempos de corto plazo y a mediano plazo. También se establecieron los equipos, herramientas y elementos de seguridad personal para la utilización del plan de mantenimiento eléctrico de los equipos críticos de la planta extractora de la compañía Palmas Oleaginosas de Caracará Ltda.

### **7.1 PLAN DE MANTENIMIENTO A CORTO PLAZO DE 0 A 1 AÑOS**

Para las tareas de mantenimiento a corto plazo. En cuanto a las inspecciones visuales se recomienda ejecutar por personal técnico de la empresa con la finalidad detectar posibles averías en cada uno de los dispositivos eléctricos de la planta extractora. Para realizar las pruebas establecidas la empresa tendrá que tomar las acciones necesarias para los cumplimientos de dichas actividades.

En la tabla 17 se presentan las actividades para el transformador trifásico.

<b>Transformador trifásico</b>		
<b>Tareas de mantenimiento</b>		<b>Periodicidad</b>
<b>Inspección visual</b>	Seguimiento al Indicador del nivel de aceite	Semanal
	Seguimiento al indicador de la temperatura	Semanal
	Protección contra corrosión	Semanal
	Limpieza en las partes externas del transformador	Semanal

	Revisión del apriete de uniones roscadas en todo el dispositivo	Semanal
Conexiones eléctricas en el lado de alta y baja tensión		6 meses
Verificar las condiciones de las conexiones de puesta a tierra y malla de puesta a tierra		Anual
Tomar la muestra del aceite dieléctrico y llevarlo a un laboratorio especializado para realizar los respectivos exámenes		Anual
Prueba de resistencia de devanados		Anual
Prueba de relación de transformación		Anual
Ensayo de resistencia de aislamiento		Anual
Verificar las condiciones que se encuentran los Pasatapas		Anual

*Tabla 17. Tareas de mantenimiento a corto plazo para el transformador trifásico.*

A continuación, en la tabla 18 se describen las diferentes tareas de mantenimiento a corto plazo para el motor trifásico.

<b>Motor trifásico</b>		
<b>Tareas de mantenimiento</b>		<b>Periodicidad</b>
Inspección visual	Realizar limpieza externa al motor	Semanal
	Revisar la condición en que se encuentra el motor	Semanal
	Comprobar conexiones eléctricas	Semanal
Lubricar los rodamientos		Mensual
Revisar las condiciones en la que se encuentra los acoples mecánicos		Mensual
Medida de velocidad (RPM)		Mensual
Alineamiento del motor		Mensual
Resistencia de aislamiento y tierra		Mensual

*Tabla 18. Tarea de mantenimiento a corto plazo para el motor trifásico.*

En la tabla 19 se presentan las actividades de mantenimiento a corto plazo para la PE1.

<b>Planta eléctrica de emergencia</b>		
<b>Tareas de mantenimiento</b>		<b>Periodicidad</b>
Inspección visual	Verificar el nivel de aceite del motor	Diario
	Observar el estado en el que se encuentra el filtro de aire del motor	Diario
	Confirmar el estado del combustible del motor	Diario
	Comprobar el nivel del refrigerante del motor	Diario
	Verificar los pares de apriete del generador	20 horas
	Verificar el estado de la batería	500 horas
	Verificar ausencia de fugas en el motor	500 horas
	Comprobar estado de la bujía del motor	500 horas
	Observar el estado de las conexiones de la planta	500 horas
	Verificar tornillería de la planta eléctrica	1000 horas
	Inspeccionar el alternador de carga y arrancador del motor	1000 horas
	Verificar los anillos rozantes y escobillas del generador	1000 horas

	Engrasar los rodamientos del generador	4000 horas
	Cambio del aceite del motor	250 horas
	Cambio del filtro del aceite del motor	250 horas
	Cambio del filtro de aire del motor	250 horas
	Cambio del filtro de combustible del motor	250 horas
	Cambio de correas al alternador de carga	250 horas
	Sustitución del refrigerante del motor	3000 horas
	Verificar el estado de los diodos del generador	Anual
	Prueba de resistencia de aislamiento en los devanados del generador	Anual

*Tabla 19. Tareas de mantenimiento a corto plazo para la planta eléctrica de emergencia.*

## 7.2 PLAN DE MANTENIMIENTO A MEDIANO PLAZO DE 1 A 5 AÑOS

En esta sección se establecen las tareas de mantenimiento a mediano plazo para los equipos críticos de la planta extractora de la empresa Palmas Oleaginosas de Casacará Ltda. Para la realización pruebas determinadas la empresa tendrá que tomar las labores necesarias para los cumplimientos de dichas actividades.

Posteriormente en la tabla 20 se describen las diferentes tareas de mantenimiento a corto plazo para el transformador trifásico.

<b>Transformador trifásico</b>	
<b>Tareas de mantenimiento</b>	<b>Periodicidad</b>
Revisar contactor de disparo de la válvula de sobrepresión	3 años
Operar manualmente el conmutador sin carga, para comprobar los niveles de tensión	5 años

*Tabla 20. Tareas de mantenimiento a mediano plazo para el transformador trifásico.*

A continuación, en la tabla 21 se describen las diferentes tareas de mantenimiento a mediano plazo para el motor trifásico.

<b>Motor trifásico</b>	
<b>Tareas de mantenimiento</b>	<b>Periodicidad</b>
Observar el estado en que se encuentra los rodamientos	20000 horas

*Tabla 21. Tareas de mantenimiento a mediano plazo para el motor trifásico.*

En seguida en la tabla 22 se describen las diferentes tareas de mantenimiento a mediano plazo para la celda de seccionador bajo carga.

<b>Celda de seccionador bajo carga</b>		
<b>Tareas de mantenimiento</b>		<b>Periodicidad</b>
Inspección visual	Limpieza en todas las partes que compone la celda	5 años
	Revisar el estado de tornillería y ajustar si es necesario	5 años
Verificar las conexiones a tierra		5 años
Análisis del gas		5 años
Lubricación los mecanismos de accionamiento		5 años

*Tabla 22. Tareas de mantenimiento a mediano plazo para la celda de seccionador bajo carga.*

### **7.3 EQUIPOS, HERRAMIENTAS Y ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL A UTILIZAR PARA EL PLAN DE MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS CRÍTICOS DE LA PLANTA EXTRACTORA**

En este apartado se encuentran los equipos, herramientas y elementos de seguridad personal para la utilización del plan de mantenimiento eléctrico de los equipos críticos de la planta extractora de la compañía Palmas Oleaginosas de Caracará Ltda.

#### **7.3.1 Equipos para las tareas de mantenimiento para el transformador**

Seguidamente en la tabla 23, se pueden ver cada uno de los dispositivos para realizar las diferentes tareas de mantenimiento a los transformadores trifásicos.

<b>Ítem</b>	<b>Tarea a realizar</b>	<b>Instrumento de prueba</b>
1	Rigidez dieléctrica-Norma ASTM D877	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Electrodos de cara plana de diámetro de 25 mm</li> <li>• Medidor de rigidez dieléctrica</li> </ul>
2	Rigidez dieléctrica-Norma ASTM D1816	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Electrodos de cara semiesféricas de diámetro de 36 mm</li> <li>• Medidor de rigidez dieléctrica</li> </ul>
3	Factor de potencia-Norma ASTM D924	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medidor de factor de potencia de aislamiento</li> <li>• Celda de pruebas para factor de potencia para aceites dieléctricos</li> </ul>
4	Tensión interfacial – Norma ASTM D971	Tensiómetro
5	Color- Norma ASTM D 15000	Colorímetro
6	Número de neutralización-Norma ASTM D974	Titulador Potenciométrica
7	Contenido de humedad- Norma ASTM D 1533	Titulador coulométrico
8	Densidad relativa – ASTM D1298	Densímetro de vidrio graduado
9	Voltaje de rotura-Norma ASTM D1816	Esféricas de electrodos
10	Resistencia de aislamiento-Norma IEEE Std C57.152	Megger
11	Relación de transformación-Norma IEEE C57.152	Medidor de relación de transformación (TTR) CPC 100

12	Prueba de resistencia de devanados- Norma IEEE Std C57.152	Ohmímetro
13	Sistema puesta a tierra-Norma IEEE 142- 2007	Telurómetro

*Tabla 23. Equipos para realizar las tareas de mantenimiento del transformador trifásico.*

### 7.3.2 Equipos para las tareas de mantenimiento para el motor trifásico

A continuación, en la tabla 24 se nombran cada uno de los dispositivos para realizar las diferentes tareas de mantenimiento del motor trifásico.

Ítem	Tarea a realizar	Instrumento
1	Resistencia de aislamiento a tierra-Norma IEEE 43-2000	Megger
2	Lubricación	Grasa Mobil Polyrex EM
3	Prueba de medida de velocidad (RPM)	Tacómetro

*Tabla 24. Equipos y materiales para realizar las tareas de mantenimiento del motor trifásico.*

### 7.3.3 Equipos para las tareas de mantenimiento para la celda

Posteriormente en la tabla 25 se denominan cada uno de los dispositivos para realizar las diferentes tareas de mantenimiento del motor trifásico.

Ítem	Tarea a realizar	Instrumento
1	Verificación del gas SF6 Norma IEC 60376	GA 11
2	Lubricación	Soflex topas NB 52

*Tabla 25. Equipos y materiales para realizar las tareas de mantenimiento para la celda.*

### 7.3.4 Equipos para las tareas de mantenimiento para la planta de emergencia

A continuación, en la tabla 26 se designan cada uno de los dispositivos para realizar las diferentes tareas de mantenimiento del motor trifásico.

Ítem	Tarea a realizar	Instrumento
1	Prueba de resistencia de aislamiento en los devanados	Megger
2	Lubricación	LGHP 2

Tabla 26. Equipos y materiales para realizar las tareas de mantenimiento para la planta.

### 7.3.5 Herramientas para tareas de mantenimiento

En la tabla 27 se nombran los instrumentos a tener en cuenta para las realizar las distintas tareas de mantenimiento, cada uno de los instrumentos es para una tarea específica.

Ítem	Nombre	Descripción
1	Escalera de extensión en fibra de vidrio	Dieléctrica
2	Pértiga	Telescópica
3	Pinza amperimétrica	Herramienta utilizada para realizar mediciones y comprobar conexiones eléctricas
4	Alicate aislado de 8"	Herramienta para sujetar, doblar o corta
5	Destornilladores de pala y estrella de 4" y 6" aislados	Herramienta para apriete de tornillería
6	Juego de llaves de boca fija de ½" a 1 ¼"	Herramienta para apriete de tuercas y tornillos
7	Cizalla aislada tipo trabajo liviano	Herramienta para cortar
8	Juego de llaves de estrella de ½" a 1"	Herramienta para apriete de tornillería
9	Llave expansiva de 10" aislada	Herramienta para apriete de tuercas y tornillería
10	Hidrolavadora, sopladoras, aspiradoras, cepillos, paños secos y suaves y diferentes	Instrumentos a utilizar para realizar el lavado de diferentes activos eléctricos

	elementos para la limpieza	
11	Graseras o LAGP 400	Herramienta para engrasar los rodamientos de los equipos
12	serie SKF TMFT o prensas	Herramientas apropiadas para montaje y desmontaje en frío y caliente de los rodamientos

*Tabla 27. Materiales para la ejecución de las actividades del mantenimiento.*

### 7.3.6 Elementos de protección personal

A continuación, en la siguiente tabla 28, se describen los instrumentos de protección personal que tiene que portar y utilizar adecuadamente para la realización de las tareas de mantenimiento eléctrico. Con la finalidad de prevenir los riesgos que se presente durante las tareas de mantenimiento.

Ítem	Nombre	Descripción
1	Casco de seguridad dieléctrico	tipo I o tipo II según corresponda, con barbuquejo
2	Gafas de seguridad	Lente claro u oscuro
3	Ropa de dotación.	Camisa manga larga y pantalón sin accesorios metálicos
4	Guantes de protección	Guante dieléctrico asociado al nivel de tensión en el que se esté realizando la actividad, guantes de protección mecánica
5	Botas dieléctricas de seguridad.	Con puntera en campo site
6	Arnés de seguridad.	De cuerpo completo

7	Eslinga de posicionamiento.	Con mosquetón de doble seguridad
---	-----------------------------	----------------------------------

*Tabla 28. Elementos de seguridad para las tareas de mantenimiento.*

La ejecución del plan de mantenimiento eléctrico en la empresa Palmas Oleaginosas de Casacará, el coordinador de mantenimiento encargado de la planta tiene que llevar a cabo las programaciones y ejecución de las tareas de mantenimiento que se establecieron en este trabajo, teniendo en cuenta la periodicidad que se determinaron para cada equipo crítico.

## **CONCLUSIONES**

Tras la evaluación del plan de mantenimiento eléctrico de los dispositivos críticos que se encuentran en la planta extractora de la empresa Palmas Oleaginosas de Casacará, se determinaron las estrategias necesarias con sus tiempos de periodicidad para la realización de cada tarea de los equipos como; transformador trifásico (TRAFO 6), motor trifásico (DIGESTOR) y planta eléctrica de emergencia (PE1) y celda de seccionador bajo carga (CSC3), cabe resaltar que para la celda de seccionador bajo carga no se le pudo realizar una evaluación de las tareas de mantenimiento puesto que no tiene tareas determinadas.

Los tiempos que se implementaron para la elaboración del plan de mantenimiento eléctrico garantizan que los equipos críticos se mantengan cumpliendo las funciones determinadas para la empresa Palma Oleaginosas de Casacará Ltda.

Se planteó un plan de mantenimiento eléctrico a los equipos críticos de la planta beneficio primario a corto plazo y a mediano plazo y se establecieron equipos, herramientas y elementos de seguridad con el fin de realizar las labores de forma segura y eficiente.

## BIBLIOGRAFIA

[1] Palmas Oleaginosas de Casacará Ltda.

[2] S. Montoya García. “Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para la empresa Estructuras del Kafee”, trabajo de grado, Facultad de ingeniería mecánica, Universidad Tecnológica de Pereira Risaralda, 2017.

[3] M. G. Aguirre plaza. “Estudio y recomendaciones del programa de mantenimiento eléctrico implementado en la industria extractora de aceite de palma “Palmisa”, trabajo de grado, Facultad de educación técnica para el desarrollo, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil Ecuador 2014.

[4] L. E. Chacón Yandun," Diseño del plan de mantenimiento integral de las instalaciones y equipos eléctricos de una empresa Florícola caso de estudio: Empresa Bella Rosa”, trabajo de grado, Faculta de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Universidad Técnica del Norte Ibarra Ecuador, 2020.

[5] E. E. Soria Topa. “Plan de mantenimiento eléctrico en el Centro Quirúrgico del Hospital Pediátrico Baca Ortiz”, trabajo de grado, Escuela Politécnica Nacional Quito, diciembre 2016.

[6] H. Mendoza Duran y M. Velásquez Marín. “Diseño del plan de mantenimiento preventivo para las subestaciones eléctricas sector minero del Departamento de la Guajira”, trabajo de grado, Faculta de Ingenierías, Universidad Tecnológica del Bolívar Cartagena de Indias, 2011.

[7] A. J. Romero Guarín y L. V. Soler Rodríguez. “Diseño de un plan de mantenimiento predictivo para los generadores eléctricos de una central hidroeléctrica”, trabajo de grado, Facultad de Ingenierías, Universidad Católica de Colombia Bogotá, 2017.

[8] J. A. Grueso Cadena. “Estableció un plan de mantenimiento eléctrico y electrónico de la central de generación eléctrica del municipio de Guapi Cauca”, trabajo de grado, Faculta de Ingeniería, Corporación Universitaria Autónoma del Cauca Popayán, 2016.

[9] J. F. Puentes Espinosa. “Determino una metodología para la formulación de un programa de mantenimiento para los motores de la planta de tratamiento de agua

potable del municipio de Yumbo”, trabajo de grado, Facultad de Ingenierías, Universidad Autónoma de Occidente Santiago de Cali, 2008.

[10] D. F. Albarado Merchán. “Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo de los equipos críticos de las principales Subestaciones de la empresa de Energía de Boyacá S.A. E.S.P. aplicado por la empresa Asistencia Técnica Industrial Ltda.”, trabajo de grado, Facultad Seccional Duitama, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia Duitama Boyacá, 2017.

[11] D. F. Ocoro Possu. “Diseño de un plan de mantenimiento para equipos eléctricos del Área de Servicios Industriales”, trabajo de grado, Facultad de Ingenierías, Universidad Autónoma de Occidente Santiago de Cali, 2019.

[12] Alberto Mora Gutiérrez. Mantenimiento. Planeación, ejecución y control. Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V, 2009.

[13] Covenin. “Mantenimiento y sus definiciones”. Comisión Venezolana de Normas Industriales, 2003.

[14] Jezdimir Knezevic. “Mantenimiento”, 1996.

[15] M. Coneo Rincón. “Las industrias de Palma de Aceite en Colombia”, 2019.

[16] S. J. Chapman. “Máquinas eléctricas”, quinta edición, 2012.

[17] Rymel. “Catálogos de transformadores convenciones trifásicos”, 2017.

[18] A. L. Farina. “Motores eléctricos trifásicos: usos, componentes y funcionamiento”, Artículo técnico, abril 2018.

[19] Enersis Endesa. “Especificación técnica: celdas de media tensión para subestaciones de potencia (e-se-008)”, Rev. Nro. 6.2, junio 2010.

[20] Sarel\_System6\_SP-PT. “Cuadro de distribución de celdas compactas para media tensión”, Italia 2013.

[21] Octavio Olmos S. “Manual de operación y mantenimiento de planta de emergencia”, Versión 1.0, CEMA-MN-OP-PE-01 enero 2016.

- [22] J. G. Domínguez Ortega. "Partes de una planta de emergencia y mantenimiento", Universidad Tecnológica Santa Catarina, octubre 2015.
- [23] E. A. Cansiano Flores y D. W. Lucero Díaz. "Plan de mantenimiento preventivo y seguridad industrial para la Fabrica Minerosa", Escuela Politécnica Nacional, Quito Ecuador, abril 2015.
- [24] L. A. Martínez Giraldo. "Metodología para la definición de tareas de mantenimiento basado en confiabilidad, condición y riesgo aplicada a equipos del sistema de transmisión nacional, Universidad Nacional de Colombia Medellín Colombia, 2014.
- [25] MSc. O. Garcia Palencia. "Gestión moderna del mantenimiento industrial", Bogotá- Ediciones de la U, Abril 2012.
- [26] J. Moubray. Mantenimiento centrado en la confiabilidad, primera edición. Aladon LTA, 1991.
- [27] J. P. Rojas Duque. "Certificado de conformidad de producto No. 01278. Transformadores trifásicos por Rymel ingeniería eléctrica S.A.S", 2019.
- [28] I. P. Sandoval Ralis. Diseño de transformadores de distribución asistido por computador trabajo de grado, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Escuela Politécnica Nacional Quito, abril 2000.
- [29] Revista de Ingeniería Eléctrica. "Transformadores de potencia nominal de un transformador de energía eléctrica", Artículo Técnico, noviembre 2015.
- [30] Ing. Oficina Técnica. "Especificación técnica para transformador convencional de distribución", Compañía Energética de Occidente, octubre 2011.
- [31] Patricio Anaguano L. "Causas, análisis, reparación y prevención de fallos en los motores trifásicos de inducción", trabajo de grado, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Politécnica Nacional Quito Ecuador, 1997.
- [32] WEG. "Guía práctica de capacitación técnico/comercial de motores eléctrico modulo I", Brasil.
- [33] Suministro de Materiales Eléctricos. "Celdas eléctricas de media tensión", junio 2020.

[34] Grupo electrógeno MP-515I Modasa.

[35] T. Ramos." Manual de servicio del transformador Siemens", Código: 3-G110-E-DOC-210-A, junio 2016.

[36] WEG industrias S.A. Máquinas. "Manual de instalación y mantenimiento de motores eléctricos de inducción trifásicos (baja y alta tensión)", abril 2002.

[37] ABB. "Manual de funcionamiento y mantenimientos de celdas", noviembre 2015.

[38] Grupo electrógeno R44. Manual de uso y mantenimiento a grupos electrogenos SDMO Industriales, 2009.

[39] Guía IEEE Std C57.152-2013. "Para campo de diagnósticos prueba de energía llena de fluido transformador, regulador y reactores", marzo 2013.

[40] Guía IEEE Std C57.106-2006. "Para la aceptación y mantenimiento de aceite aislante en equipo", junio 2006.

[41] Ministro de Minas y Energía. RETIE Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas. Resolución 90708, 2013.

[42] Guía IEEE Std 43-2000. Practica recomendada de IEEE para probar la resistencia del aislamiento de maquinaria rotativa, 2000.

[43] Comisión Electrotécnica Internacional IEC 60204-1. Seguridad de las máquinas. Equipos eléctricos de las máquinas parte 1: Requisitos generales. Cuarta edición 1997-10, versión corregida 1983-03.