



**Propuesta De Mantenimiento Centrado En Confiabilidad Para Transformadores De  
Distribución Nivel II En El Sector Rural En La Zona Occidente Del Departamento De  
Boyacá De La EBSA Empresa De Energía De Boyacá S.A E.S.P.**

Omar Leonardo Cortés Murcia

Nairo Edilberto Pérez Montañez

Trabajo de Grado para Optar al Título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Director

Ing. Víctor Alfonso Forero Forero

Especialista en Automatización Industrial

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Bucaramanga

2022



### **Dedicatoria**

(Gracias a Dios por darme la oportunidad de llevar un título de pregrado a mi familia, siendo un logro muy importante para mi hogar en cabeza de mi esposa Yamile Sacristán, mis hijos Kevin Cortes y Omart Cortes)

(Dedico este trabajo a mi esposa e hijo quienes me han apoyado con su paciencia y el tiempo que no he podido estar para ellos, y agradezco a Dios el permitirme llegar a este punto de mi vida profesional)



<b>Tabla de Contenido</b>		<b>Pág.</b>
Introducción .....		15
1. Objetivos .....		17
1.1 Objetivo General .....		17
1.2 Objetivos Específicos.....		17
2. Marco teórico .....		18
2.1 Mantenimiento Centrado En Confiabilidad (RCM) .....		18
2.2 Origen De RCM.....		19
2.3 ¿Qué Es RCM? .....		21
2.3.1 Beneficios del mantenimiento centrado en confiabilidad .....		24
2.3.2 Siete preguntas que responde RCM.....		24
2.3.3 Aplicación RCM.....		25
2.3.4 Pasos para la Aplicación de RCM .....		25
2.3.5 Descripción funciones de los equipos.....		26
2.3.6 Funciones Primarias:.....		26
2.3.7 Funciones Secundarias:.....		26
2.3.8 Análisis Funcional: .....		26
2.3.9 Límites del Sistema:.....		27
2.3.10 Entradas y salidas típicas: .....		27
2.4 Generalidades grupo EBSA .....		27
2.4.1 Visión.....		27
2.4.2 Misión .....		28
2.4.3 Organigrama .....		28



2.4.4	El Occidente De Boyacá .....	28
2.4.5	La Empresa de Energía de Boyacá EBSA S.A E.S.P en el Occidente de Boyacá ...	32
2.5	El transformador .....	38
2.5.1	Componentes del transformador eléctrico .....	39
2.5.2	Funcionamiento de los transformadores eléctricos.....	40
2.5.3	Tipos de transformadores eléctricos .....	41
2.5.4	Transformadores de potencia.....	41
2.5.5	Transformadores eléctricos elevadores.....	42
2.5.6	Transformadores eléctricos reductores. ....	42
2.5.7	Autotransformadores.....	43
2.5.8	Transformadores eléctricos de medida .....	44
2.5.9	Transformadores eléctricos de intensidad.....	44
2.5.10	Transformador eléctrico potencial .....	44
2.5.11	Transformadores trifásicos.....	44
2.5.12	Estrella-estrella .....	45
2.5.13	Estrella-triángulo.....	45
2.5.14	Triángulo-estrella.....	45
2.5.15	Triángulo-triángulo .....	46
2.5.16	Transformador ideal y transformador real .....	46
2.5.17	Pérdidas en el cobre .....	47
2.5.18	Pérdidas por corrientes parásitas.....	47
2.5.19	Pérdidas por histéresis.....	47
2.5.20	Pérdidas a causa de los flujos de dispersión en el primario y en el secundario .....	47



2.5.21	Aplicaciones de los transformadores .....	47
2.5.22	Los Transformadores Nivel II.....	48
3.	Desarrollo de la metodología .....	49
3.1	Contexto operacional .....	49
3.2	Análisis e identificación de los modos de Fallas .....	50
3.2.1	Falla.....	50
3.2.2	Tipos de Fallas funcionales.....	50
3.2.3	Análisis de modo y sus efectos de falla .....	51
3.2.4	Modo de Falla .....	51
3.2.5	¿Por qué analizar los modos de falla?.....	51
3.2.6	Evaluación consecuencias de falla.....	53
3.3	Funciones ocultas y evidentes.....	54
3.4	Categoría fallas evidentes .....	54
3.5	Consecuencias de fallas ocultas .....	54
3.6	Selección Actividades de mantenimiento con RCM .....	57
3.7	Ocurrencia.....	57
3.8	Actividades Preventivas.....	59
3.8.1	Tareas programadas a condición.....	59
3.8.2	Tarea de Reacondicionamiento.....	59
3.8.3	Tarea de sustitución .....	60
3.8.4	Tareas de búsqueda de fallos ocultos.....	60
3.8.5	Tareas correctivas .....	60



4.	Propuesta Implementación De RCM En Los Transformadores De Distribución Nivel II En El Sector Rural En La Zona Occidente Del Departamento De Boyacá De La EBSA Empresa De Energía De Boyacá S.A E.S.P.....	60
4.1.1	Descripción de las fallas actuales de los transformadores de nivel II en el occidente de Boyacá	61
4.1.2	Propuesta del formulario de la toma de datos en campo .....	62
5.	Creación del programa de RCM .....	64
6.	Conclusiones .....	71
7.	Recomendaciones .....	72
8.	Bibliografía .....	72



## Lista de tablas

Tabla 1. <i>Mantenimiento centrado en confiabilidad</i> .....	24
Tabla 2. <i>Usuarios del Occidente de Boyacá</i> .....	33
Tabla 3. <i>Circuitos de zona de occidente</i> .....	35
Tabla 4. <i>Niveles de tensión</i> .....	48
Tabla 5. <i>Parámetros de la detección</i> .....	57
Tabla 6. <i>Severidad</i> .....	58
Tabla 7. <i>Averías transformadores zona Occidente</i> .....	61



## Lista de Figuras

Figura 1. <i>Procedimientos de implementación del RCM</i> .....	25
Figura 2 Organigrama EBSA.....	28
Figura 3. <i>Provincia de Occidente</i> .....	29
Figura 4. <i>Imagen Satelital del Occidente de Boyacá</i> .....	32
Figura 5. <i>Gráfica Usuarios vs Municipios</i> .....	34
Figura 6. <i>Ubicación de los circuitos y nodos</i> .....	38
Figura 7. <i>Modelización de un transformador monofásico ideal</i> .....	39
Figura 8. <i>Esquema básico de funcionamiento de un transformador ideal</i> .....	41
Figura 9. <i>Modelización de un transformador elevador</i> .....	42
Figura 10. <i>Modelización de un transformador reductor</i> .....	43
Figura 11. <i>Modelización de un autotransformador</i> .....	43
Figura 12. <i>Conexión de un transformador trifásico con la fuente de alimentación Estrella-Estrella</i> .....	45
Figura 13. <i>Conexión de un transformador trifásico con la fuente Estrella – triángulo</i> .....	45
Figura 14. <i>Conexión de un transformador trifásico con la fuente triángulo – estrella</i> .....	45
Figura 15. <i>Conexión de un transformador trifásico con la fuente de alimentación triángulo – triángulo</i> .....	46
Figura 16. <i>Formulario RCM creado en Outlook 365</i> .....	63
Figura 17. <i>Interfaz de resultados de la forma RCM en la web</i> .....	64
Figura 18. <i>Portada tabla de Excel para la implementación del RCM</i> .....	64
Figura 19. <i>Menú tabla de Excel para la implementación del RCM</i> .....	65
Figura 20. <i>Datos de transformadores existentes para la implementación del RCM</i> .....	65



Figura 21. <i>Tablas para la evaluación de la criticidad de los distintos modos de falla.</i> .....	66
Figura 22. <i>Tabulación de los resultados obtenidos</i> .....	67
Figura 23. <i>Tabla de los resultados obtenidos en el análisis.</i> .....	68



**Lista de anexos**

**(Ver anexos en CD adjunto)**

**Anexo A.** Programa para recolección de datos y RCM de los transformadores de distribución nivel II en el sector rural en la zona occidente del departamento de Boyacá



## Glosario

**Condiciones Operativas:** se considera que un equipo está en condiciones operativas, cuando puede ser usado con el máximo de rendimiento, en un periodo completo de trabajo y en la actividad para lo cual fue diseñado. Para la determinación de esta condición operativa, se tendrá en cuenta la necesidad de no poner en peligro las condiciones futuras del equipo, su rendimiento, ni la seguridad física del operador y ayudantes.

**Disponibilidad:** es la capacidad de un activo o componente para estar en un estado (arriba) para realizar una función requerida bajo condiciones dadas en un instante dado de tiempo o durante un determinado intervalo de tiempo, asumiendo que los recursos externos necesarios se han proporcionado.

**Gestión del mantenimiento:** Aquellas actividades de la gestión que determinan los objetivos del mantenimiento, las estrategias y las responsabilidades, que se las realiza por medio de planificación, control, supervisión y mejora los métodos en la organización incluyendo lo económico.

**Mantenimiento:** Se define el mantenimiento como.: todas las acciones que tienen como objetivo preservar un artículo o restaurarlo a un estado en el cual pueda llevar a cabo alguna función requerida. Estas acciones incluyen la combinación de las acciones técnicas y administrativas correspondientes.

**MCC:** Estrategia de mantenimiento a nivel corporativo que se implementa para optimizar el programa de mantenimiento de una empresa o instalación. El resultado final de un programa RCM es la aplicación de una estrategia de mantenimiento específica en cada uno de los activos de la instalación



**R.C.M.:** Reliability Centered Maintenance (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad)

**Transformador:** Máquina estática que transforma la energía eléctrica de un circuito de corriente alterna a otro, bajo el principio de inducción electromagnética transformando los valores de tensión eléctrica sin cambiar la frecuencia.



## Resumen

**Título:** Propuesta de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para transformadores de distribución nivel II en el sector rural en la zona occidente del departamento de Boyacá de la EBSA Empresa de Energía de Boyacá S.A E.S.P.

**Autor:** Omar Leonardo Cortés Murcia, Nairo Edilberto Pérez Montañez

**Palabras Clave:** Transformador, Falla, Mantenimiento

**Descripción:** Los clientes de hoy en día están sensibles a las perturbaciones eléctricas y exigen niveles de buena calidad de energía y confiabilidad del servicio. El transformador es la línea de vida del sistema de alimentación de corriente alterna (CA), cuya falla afecta la confiabilidad del sistema. Por lo tanto, es una parte importante de la industria eléctrica donde la confiabilidad se convierte en una necesidad obligatoria y significativa. Una técnica primitiva para reemplazar dispositivos defectuosos funciona reemplazando esa parte del sistema que es propensa a fallar. Todos los dispositivos de una clase dada se reemplazan a intervalos predeterminados o cuando fallan. En la mayoría de las aplicaciones de servicios públicos de electricidad, el mantenimiento que resulta en una mejora limitada es una práctica establecida y los modelos de reemplazo tienen un papel secundario. Los programas de mantenimiento van desde los más simples hasta los más sofisticados. El plan más simple es adoptar un programa de mantenimiento rígido en el que, en un horario determinado, se lleven a cabo las actividades. El componente se repara o reemplaza cada vez que falla. En comparación con un solo trabajo de mantenimiento, tanto la reparación como el reemplazo se consideran mucho más costosos.

La empresa de Energía de Boyacá EBSA presenta problemáticas relacionadas con la confiabilidad de sus transformadores. En 2020, 108 clientes reportaron eventos de falla relacionados con 20 transformadores de distribución de Nivel II que se quemaron en repetidas ocasiones, lo cual ocasionó costos unitarios de \$14.240.656, costos anuales de \$47.205.072, que sumado a los costos de montaje y arrimada asociaron unos costos totales de \$87.579.272. Considerando que el transformador es uno de los equipos más importantes para el funcionamiento y suministro del servicio por parte de EBSA y cuyo funcionamiento es poco fiable que puede conducir a cortes y también resultar en grandes pérdidas económicas se presenta la necesidad de un estudio orientado a mejorar la confiabilidad de estos activos para mejorar la calidad del servicio y reducir los costos asociados a las fallas recurrentes.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, director Víctor Alfonso Forero



## Abstract

**Title:** Proposal for Reliability Centered Maintenance for level II distribution transformers in the rural sector in the western zone of the department of Boyacá of the EBSA "Boyacá Energy Company"

**Author(s):** Omar Leonardo Cortés Murcia, Nairo Edilberto Pérez Montañez

**Key Words:** Transformer, Fault, Maintenance

**Description:** Today's customers are sensitive to electrical disturbances and demand levels of good power quality and reliability of service. The transformer is the lifeline of the alternating current (AC) power system, the failure of which affects the reliability of the system. Therefore, it is an important part of the electrical industry where reliability becomes a mandatory and significant need. A primitive technique for replacing faulty devices works by replacing that part of the system that is prone to failure. All devices of a given class are replaced at predetermined intervals or when they fail. In most electrical utility applications, maintenance that results in limited improvement is established practice and replacement models play a secondary role. Maintenance programs range from the simplest to the most sophisticated. The simplest plan is to adopt a rigid maintenance schedule in which, at a set time, activities are carried out. The component is repaired or replaced each time it fails. Compared to a single maintenance job, both repair and replacement are considered much more expensive.

The Boyaca Energy Company EBSA presents problems related to the reliability of its transformers. In 2020, 108 customers reported failure events related to 20 Tier II distribution transformers that repeatedly burned out, resulting in unit costs of \$14,240,656, annual costs of \$47,205,072, which added to assembly and arrimada associated total costs of \$87,579,272. Considering that the transformer is one of the most important equipment for the operation and provision of the service by EBSA and whose operation is unreliable, which can lead to outages and also result in large economic losses, there is a need for a study aimed at improving the reliability of these assets to improve the quality of service and reduce the costs associated with recurrent failures.

---

\*Bachelor Thesis

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Director Víctor Alfonso Forero



## Introducción

La competencia en el sector eléctrico y la poca regulación del mercado hacen que las empresas de servicios públicos se vean sometidas a una gran presión para asegurar la energía con un nivel satisfactorio de continuidad del suministro. Este objetivo implica un alto nivel de fiabilidad que, a su vez, exige una alta calidad de suministro para el diseño, la operación y el mantenimiento.

Por lo tanto, la necesidad de la empresa de servicios de energía EBSA, consiste en equilibrar estos factores, lo que se ha convertido en el punto central de los planes y actividades de gestión de activos. El transformador, al ser el activo más importante, requiere una atención especial en lo que respecta a la fiabilidad considerando que el mantenimiento es un aspecto clave de la gestión de activos.

Por ejemplo, en el 2020 se identificaron transformadores de Nivel II que se quemaron en repetidas ocasiones, afectando a 108 clientes, por lo cual tuvieron que ser reemplazados, asociando un costo total de \$87.579.000, discriminados en costo anual, montaje y arrimada, afectando la calidad del servicio.

El RCM es una herramienta única que se utiliza para desarrollar planes de mantenimiento óptimos que definen los requisitos y las tareas que deben realizarse para lograr, restaurar o mantener la capacidad operativa de un sistema o equipo. Las metodologías de los principios de RCM son de gran utilidad en diversas industrias como las empresas de servicios públicos y de transmisión.

De acuerdo a lo anterior, ¿Es posible realizar una implementación Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para transformadores de distribución nivel II en el sector rural en las zonas occidente



y Ricaurte del departamento de Boyacá de la EBSA Empresa de Energía de Boyacá S.A E.S.P de tal manera que se pueda reducir en 50% el número de reemplazos por daño repetitivo?



## 1. Objetivos

### 1.1 Objetivo General

Diseñar una propuesta de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para transformadores de distribución nivel II en el sector rural en la zona occidente del departamento de Boyacá de la EBSA Empresa de Energía de Boyacá S.A E.S.P para reducir en un 50% el número de reemplazos por daño repetitivo.

### 1.2 Objetivos Específicos

Analizar la situación actual del mantenimiento y operación de los transformadores de distribución de II Nivel para la empresa de estudio.

Realizar el análisis de los efectos generados por las fallas del uso de los transformadores de distribución de II Nivel para la empresa de estudio mediante AMFE (Análisis de nodos, los efectos y las criticidades).

Determinar las tareas de mantenimiento de los transformadores de distribución de II Nivel adecuadas estableciendo también las frecuencias para cada una de ellas.



## 2. Marco teórico

### 2.1 Mantenimiento Centrado En Confiabilidad (RCM)

El mundo del mantenimiento es un mundo cambiante como resultado de nuevas expectativas, nuevos patrones de fallas de equipo y nuevas técnicas. Además, explica cómo estos cambios han generado otros requerimientos en la industria, que siente la necesidad de innovar las estrategias o enfoques de la función de mantenimiento.

Una buena revisión de las estrategias de mantenimiento debe partir de cero e incluir la revisión de los requerimientos de mantenimiento de cada una de las partes o componentes de los equipos en funcionamiento. Esto, debido a que los requerimientos de mantenimiento han cambiado dramáticamente en los últimos tiempos y la evolución de políticas, así como la selección de las tareas de mantenimiento que se deben llevar a cabo, son aspectos que realizan constantemente la mayoría de los ingenieros, pero nuevas técnicas y opciones aparecen a un ritmo tan acelerado, que estas evaluaciones y selecciones no se pueden llevar a cabo de forma aleatoria e informal.

La aplicación de RCM resuelve el problema anterior con una estructura estratégica que le permite llevar a cabo a la evaluación y selección de procesos que se puedan implementar en forma rápida y segura. Esta técnica es única en su género y conduce a obtener resultados extraordinarios en cuanto a mejoras y rendimiento del equipo de mantenimiento donde quiera que sea aplicado.

El RCM pone tanto énfasis en las consecuencias de las fallas como en las características técnicas de las mismas y lo hace de esta manera:

Integra una revisión de las fallas operacionales con la evaluación de aspectos de seguridad y amenazas al medio ambiente, esto hace que la seguridad y el medio ambiente sean tenidos en cuenta a la hora de tomar decisiones en materia de mantenimiento



Mantiene la atención en las actividades de mantenimiento que más incidencia tienen en el desempeño o funcionamiento de las instalaciones. Esto garantiza que cada peso gastado en mantenimiento se gasta donde más beneficios va a generar.

El RCM reconoce que todo tipo de mantenimiento es válido y da pautas para decidir cuál es el más adecuado en cada situación. Al hacer esto, ayuda a asegurarse de que el tipo de mantenimiento escogido para cada equipo sea el más adecuado y evite dolores de cabeza y problema que siguen a la adopción de una política general de mantenimiento para toda una empresa.

Si RCM se aplica a un sistema de mantenimiento existente reduce la cantidad de mantenimiento rutinario que se ha hecho general a un 40% a 70%. De otro lado si RCM se aplica para desarrollar un nuevo sistema de mantenimiento, el resultado será que la carga de trabajo programada sea mucho menor que si el sistema se hubiera desarrollado por métodos convencionales.

## **2.2 Origen De RCM**

El RCM encuentra sus raíces a principio de los años sesenta, inicialmente es desarrollado por la industria de la aviación civil norteamericana; el primer esfuerzo serio lo promulga la ATA (Air transport Association) en Washington (USA) en 1968, conocido como informe MSG1; posteriormente actúa el departamento de defensa de USA y, por comisión, F. Stanley Nowlan y Howard Heap escriben por primera vez su trabajo bajo el nombre de Reliability Centered Maintenance en 1978 (publicación de United Airlines por el ministerio de Defensa de los Estados Unidos), que procura optimizar los factores humanos y productivos alrededor del mantenimiento. Estudio MSG2 primero, y el MSG3, promulgado en 1980 han permitido la divulgación de la metodología.



Quizás el desarrollo reciente más importante en el campo de RCM sea la publicación en agosto de 1999 la norma SAEJA 1011: “Evaluation Criteria for Reliability-centered Maintenance Processes”.

El RCM fue elaborado con el fin de ayudar a líneas Aéreas a establecer un sistema de mantenimiento para nuevos tipos de aviones, antes de que estos entraran en funcionamiento. Como resultado, el RCM es una forma ideal para desarrollar planes de mantenimiento en equipos complejos y para los que no exista mucha documentación al respecto, lo anterior ahorra errores y pruebas, costosos y dispendiosos tan comunes al desarrollar planos de mantenimiento.

Otra de las fortalezas del RCM es que su lenguaje técnico es sencillo y fácil de entender a todos los que tengan que ver con él, esto le permite al personal involucrado saber que pueden y que pueden esperar de esta aplicación y que se debe hacer para conseguirla. Además, le da confianza al trabajador y mejora su efectividad y su moral.

Una revisión RCM de los requerimientos de mantenimiento para cada uno de los equipos existentes y que aparece en las instalaciones, como permite tener una base firme para establecer políticas de trabajo, y decidir que respuestas se deben tener en inventario.

RCM ha sido aplicado en una cantidad de empresas alrededor del mundo con gran éxito. No obstante, es reciente en la industria, lo que quiere decir que las compañías que lo están aplicando tienen una ventaja comparativa, debido a que el mantenimiento afecta la competitividad.



A pesar de ser nuevo en la industria en general RCM ha venido siendo aplicado hace aproximadamente 30 años en la que es la probablemente el área más exigente de mantenimiento, la aviación civil se deduce que ha sido puesto a prueba y refinado en este campo, más que ninguna otra técnica existente

### **2.3 ¿Qué Es RCM?**

RCM es una técnica de organización de las actividades y de la gestión de mantenimiento para desarrollar programas organizados, que se basan en la confiabilidad de los equipos en función del diseño y la construcción de los mismos. RCM asegura un programa efectivo de mantenimiento que se centra en la confiabilidad original inherente al equipo se mantenga. Es un proceso ubicado para decidir lo que debe hacerse y asegurarse de que cualquier activo, proceso o sistema continúen haciendo lo que sus usuarios quieren que haga.

Lo que los usuarios esperan de sus activos, es definido en términos de parámetros principales de ejecución, tales como producción, información, velocidad, alcance y capacidad de transporte. Cuando es pertinente, el proceso RCM también define lo que los usuarios quieren en términos de riesgo (Seguridad, integridad ambiental) calidad (Exactitud, precisión, consistencia y estabilidad) control, comodidad, contención, economía, servicio al cliente entre otros.

El próximo paso de RCM es identificar las formas en las cuales el sistema puede fallar en el cumplimiento de esas expectativas (estados de falla), seguidos de por un FMEA (Failure Modes and Effects Análisis), (Análisis de los modos de falla y de los efectos), para identificar todos los



eventos que son razonablemente las probables causas de cada estado de falla. Finalmente, el proceso RCM busca identificar una apropiada política del manejo de fallas para tratar cada modo de falla a la luz de sus consecuencias y características técnicas. Las opciones de la política del manejo de fallas incluyen:

- Mantenimiento Predictivo
- Mantenimiento Preventivo
- Búsqueda de fallas
- Cambio del diseño o configuración del sistema
- Cambio de la forma en que es operado el sistema
- Operarlo para que falle.

El proceso RCM suministra normas poderosas para decidir si cualquier política de manejo de fallas es técnicamente apropiada. También suministra criterios precisos para decidir que tan a menudo se deben realizar las tareas rutinarias. El RCM es una técnica de organización de las actividades y de la gestión de mantenimiento para desarrollar programas organizados, que se basan en la confiabilidad de los equipos en función del diseño y la construcción de los mismos. RCM asegura un programa efectivo de mantenimiento que se centra en la confiabilidad original inherente al equipo se mantenga.

El fuerte énfasis sobre las expectativas del usuario es una de las muchas características del RCM, que lo distinguen de las interpretaciones de otros menos rigurosos de la filosofía RCM. Otra fortaleza es los usos de los grupos de análisis RCM de funcionalidad cruzada de usuarios y personal de mantenimiento para aplicar el proceso. Con una cuidadosa capacitación, tales grupos son



capaces de usar RCM para producir extraordinarios programas de mantenimiento con costos efectivos, aún en situaciones donde ellos tienen poco o ningún acceso a la información histórica.

La rigurosa aplicación del RCM transforma completamente la opinión que cualquier organización tiene de sus activos físicos. No solo revoluciona opiniones acerca del mantenimiento sino también conduce a un conocimiento más amplio y más profundo acerca de la forma cómo funcionan las cosas. Desde el punto de vista de los negocios para los cuales el activo sirve, estos cambios son profundos y muy importantes. Ello significa que los activos se hacen más confiables porque son mantenidos en mejor forma, y los operarios probablemente harán menos cosas que ocasionen fallas en los activos.

Una mejor comprensión de cómo funcionan los sistemas significa que los operarios están en capacidad de reaccionar rápida y correctamente, cuando las cosas funcionan mal, capacidad muy valiosa, especialmente en instalaciones montadas de forma compleja, peligrosa y riesgosa. En todos los casos las personas que viven con la operación de los equipos diariamente son una valiosa fuente de información, ello lleva a la conclusión de que ambos puntos de vista – validez técnica y desarrollo de capacidad – es un error no involucrar a las personas con los activos directamente en la aplicación del proceso RCM.



### 2.3.1 Beneficios del mantenimiento centrado en confiabilidad

**Tabla 1.** *Mantenimiento centrado en confiabilidad*

<b>Calidad</b>	<b>Tipo de Servicio</b>	<b>Costo</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Riesgo</b>
<p>Aumenta la disponibilidad en al menos un 8%, por el sólo hecho de implementar.</p> <p>Elimina las fallas crónicas y elimina las causas raíces.</p> <p>Aumenta la flexibilidad operacional.</p> <p>La programación de mantenimiento se basa en hechos reales.</p> <p>Proporciona el completo conocimiento de las fallas reales y potenciales de las máquina, así como de sus causas.</p>	<p>Proporciona un mejor clima organizacional para el trabajo en equipo.</p> <p>Ayuda a entender mejor las necesidades y los requerimientos de los clientes.</p> <p>Disminuye las paradas imprevistas.</p> <p>Genera un ambiente de investigación y desarrollo alrededor de los análisis de fallas.</p>	<p>Reduce los niveles de mantenimiento al menos en un 40%.</p> <p>Optimiza los programa de mantenimiento.</p> <p>Reduce los costos planeados o no de mantenimiento al menos en un 40%.</p> <p>Alarga la vida de los equipos para propósitos especiales.</p> <p>Todas las actividades de mantenimiento se analizan en un contexto de costo / beneficio.</p>	<p>Mejora los tiempos medios de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad al menos en un 25%.</p> <p>Aumenta los tiempos de funcionalidad de los equipos al menos en un 150% en promedio.</p> <p>Reduce o elimina los tiempos de demora en suministros o búsqueda de recursos o repuestos.</p> <p>Jerarquiza las actividades de mantenimiento, logrando su reducción en el tiempo.</p>	<p>Brinda seguridad e integridad ambiental en todo el desarrollo del proceso, a niveles muy superiores de los que se tienen antes de implementarlo.</p> <p>Las fallas con consecuencias sobre el medio ambiente o la seguridad son las que más se atacan y eliminan.</p> <p>Reduce al mínimo la posibilidad de fallas en cadena o superpuestas.</p> <p>Su razón de calificación al riesgo la hace como una de las tácticas más seguras.</p>

Fuente: Los autores

### 2.3.2 Siete preguntas que responde RCM

El proceso de RCM formula siete preguntas acerca de la actividad o sistema que se intenta revisar:

¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?

¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?

¿Cuál es la causa de cada falla funcional?

¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?

¿En qué sentido es importante cada falla?

¿Qué puede hacerse para prevenir ó predecir cada falla?

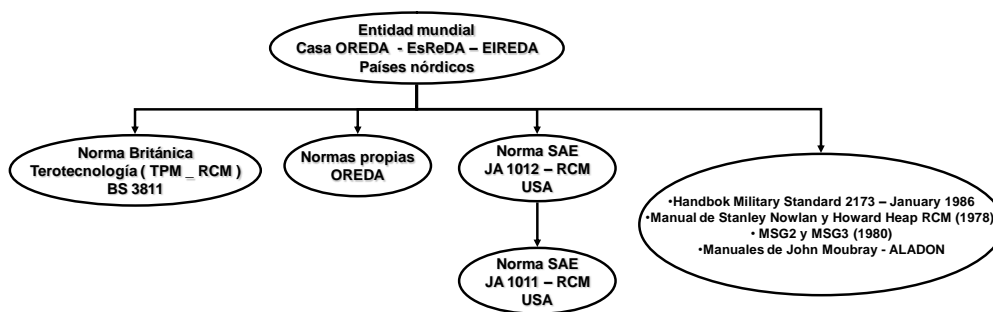
¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?



### 2.3.3 Aplicación RCM

Existen varios procedimientos de orden universal que plantean las normas y las reglas que rigen la implementación del RCM, en si son procedimientos parecidos, algunos con mayor validez o no, pero en el fondo apuntan a propósitos generales comunes.

**Figura 1.** Procedimientos de implementación del RCM



Fuente: Los autores

### 2.3.4 Pasos para la Aplicación de RCM

Definición de criticidad y selección de los sistemas críticos, estableciendo sus funciones primarias, secundarias, auxiliares y de apoyo logístico.

Análisis de fallas funcionales reales o potenciales para cada una de las funciones.

Realización de los análisis de los modos y efectos de fallas, para determinar los modos de fallas a que se tiene lugar en cada falla funcional (FMECA)

Selección de las estrategias y procedimientos de mantenimiento (árbol lógico de decisión).

- Implantación y evaluación del CMD en cada caso



### **2.3.5 Descripción funciones de los equipos**

Teniendo definido y claro el contexto operacional del proceso RCM exige definir las funciones del equipo al cual se le va a realizar RCM. Lo que los usuarios esperan que los activos sean capaces de hacer puede ser dividido en dos categorías:

#### **2.3.6 Funciones Primarias:**

Es en resumen por qué se compró el equipo, es la razón de ser del activo. La función primaria del activo está usualmente definida en su propio nombre. En la descripción de la función primaria del activo contendrá claramente los estándares a los cuales será operado y mantenido. Esta categoría de funciones cubre temas como velocidad, producción, capacidad de almacenaje o carga, calidad del producto, y servicio al cliente.

Se identifican con Verbo+ sujeto eje comprimir aire, cerrar flujo

Bombear agua, lubricar equipo.

#### **2.3.7 Funciones Secundarias:**

Son aquellas otras funciones que el activo está en capacidad en adición a los outputs principales descritos por las funciones primarias. Típicas funciones secundarias incluyen: Auxiliares, aislamiento, contención, protección, integridad ambiental, higiene, seguridad/integridad estructural, control, información, monitoreo de condición, calibración, alarmas, aspecto, economía y eficiencia.

#### **2.3.8 Análisis Funcional:**

- Identifica las funciones importantes.
- Provee una clara documentación básica para el análisis.
- Reduce la confusión y facilita la identificación del objeto.
- Puede documentar el objeto y no considerarlo importante.



- Identifica cuales son los estándares asociados al objeto en su contexto operacional.

### **2.3.9 Límites del Sistema:**

Es necesario establecer los límites, para no traslapar los sistemas consecutivos, parte de la definición de las fronteras es definir las entradas y salidas del sistema. Según el nivel de detalle se tendrán fronteras para el sistema y para el subsistema

- Es necesario establecer los límites mecánicos y eléctricos
- Las fuentes de aire son limitadas por el solenoide
- El breaker es usualmente incluido en el sistema, pero no el bus eléctrico.
- El loop de instrumentación es usualmente incluido.
- Todos los componentes mecánicos son incluidos en el sistema.

### **2.3.10 Entradas y salidas típicas:**

- Señales de alarma
- Aire de instrumentos
- Agua del sistema de enfriamiento
- Líneas de conexión hidráulica
- Señales de monitoreo
- Señales de entrada y salida
- Sistema eléctrico a 120 VA.C

## **2.4 Generalidades grupo EBSA**

### **2.4.1 Visión**

En el 2025 seremos líderes en calidad del servicio y en el desarrollo de las actividades de la cadena de energía eléctrica del país, en equilibrio con la seguridad, lo ambiental y lo social.

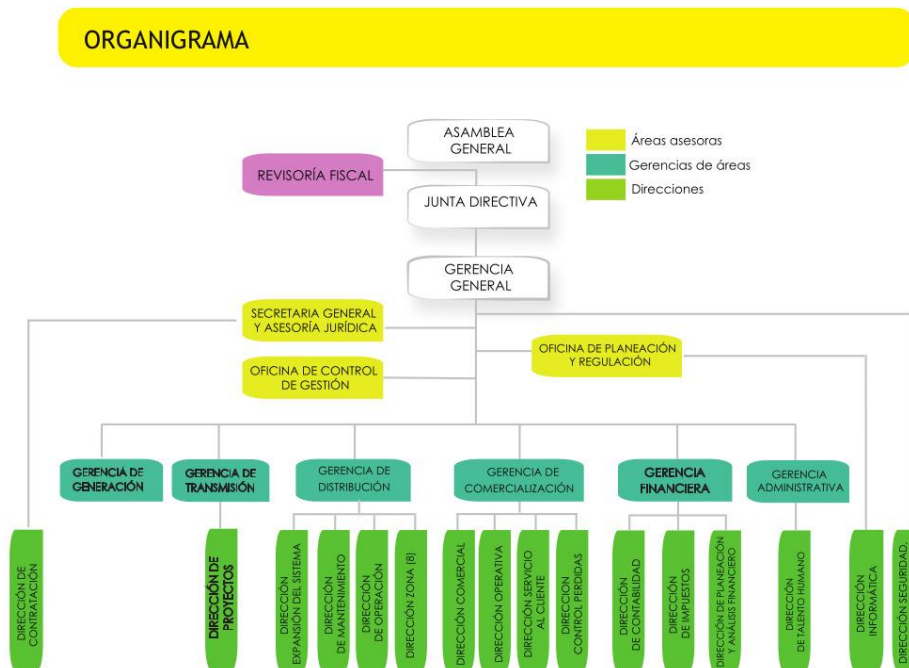


### 2.4.2 Misión

Suministrar servicios de energía eléctrica con calidad e innovación, para generar progreso y calidad de vida a las partes interesadas, en equilibrio con la seguridad, lo ambiental y lo social.

### 2.4.3 Organigrama

Figura 2 Organigrama EBSA



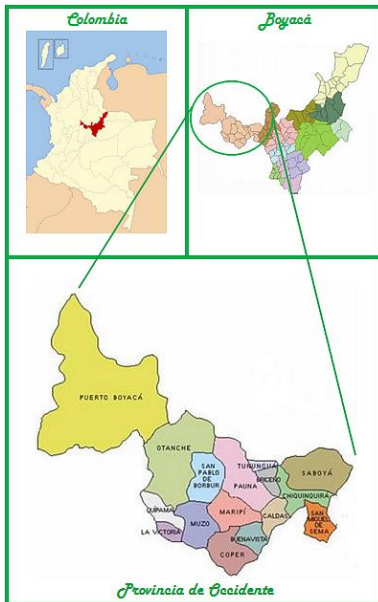
### 2.4.4 El Occidente De Boyacá

La Provincia de Occidente es una de las 15 Provincias de Boyacá (Colombia), está compuesta por 15 municipios al igual que la provincia del Centro, uno de los lugares de renombre es la Basílica de Chiquinquirá en donde alberga la imagen de la patrona de Colombia, la Virgen del Rosario. Una de sus principales fuentes económicas son las esmeraldas.



Figura 3. Provincia de Occidente

Provincia de Occidente						
Insignia	Nombre	Área (km <sup>2</sup> )	Habitantes	Altitud (m.s.n.m.)	Año de fundación	Código postal
	Briceño	64 km <sup>2</sup>	2.146	1340	1890	154670
	Buenavista	111 km <sup>2</sup>	5.889	2197	1822	154840
	Caldas	111 km <sup>2</sup>	4.050	2650	1837	154660
	Chiquinquirá	133 km <sup>2</sup>	76.750	2586	1810	154640
	Coper	202 km <sup>2</sup>	4.201	950	1776	154860
	La Victoria	110	1.674	1400	1956	155001
	Maripí	160 km <sup>2</sup>	7.914	1245	1777	154820
	Muzo	136 km <sup>2</sup>	9.828	843	1559	154880
	Otanche	512 km <sup>2</sup>	10.788	1050	1960	155060
	Pauna	259 km <sup>2</sup>	10.155	1121	-	154801
	Quipama	182 km <sup>2</sup>	8.793	1205	1986	155020
	Saboyá	246 km <sup>2</sup>	12.957	2625	1556	154601
	San Miguel de Sema	90 km <sup>2</sup>	4.028	2615	1915	153820
	San Pablo de Borbur	193,9 km <sup>2</sup>	8.913	678	1959	155040
	Tununguá	73 km <sup>2</sup>	2.133	1246	1962	154680



Fuente: (Ocampo, 1997)

La región montañosa tiene la presencia de la Cordillera Oriental de Los Andes que atraviesa el Departamento de sur a norte. En ella se puede distinguir: la zona Cordillerana, los altiplanos de Tunja y Chiquinquirá, el Piedemonte llanero y las planicies del Valle del Magdalena.

La Cordillera Oriental de Los Andes tiene tres ramales bien diferenciados: el Occidental entre los ríos Magdalena y Suárez, su altura más notable es el Páramo de Saboyá con 4000 metros de altura; el Central entre los ríos Suárez y Chicamocha y se extiende desde el río Teatinos, separa el valle de Chiquinquirá del altiplano de Tunja y va hasta el páramo de Chontales que tiene 4000 metros de altura.

El altiplano en la zona occidente se extiende a partir de la laguna de Fúquene pasando por la zona del Valle de Chiquinquirá hasta encontrar las tierras quebradas de Moniquirá. La planicie del Valle del Magdalena, también llamada territorio de Vásquez, se localiza al occidente del Departamento entre el río Magdalena y las serranías de las Quinchas y del Santuario, con alturas



desde los 250 a los 1500 metros sobre el nivel del mar, sus tierras son bajas y de vegetación selvática.

En estas grandes regiones a partir del Río Magdalena hacia el oriente se pueden localizar las siguientes sub – regiones:

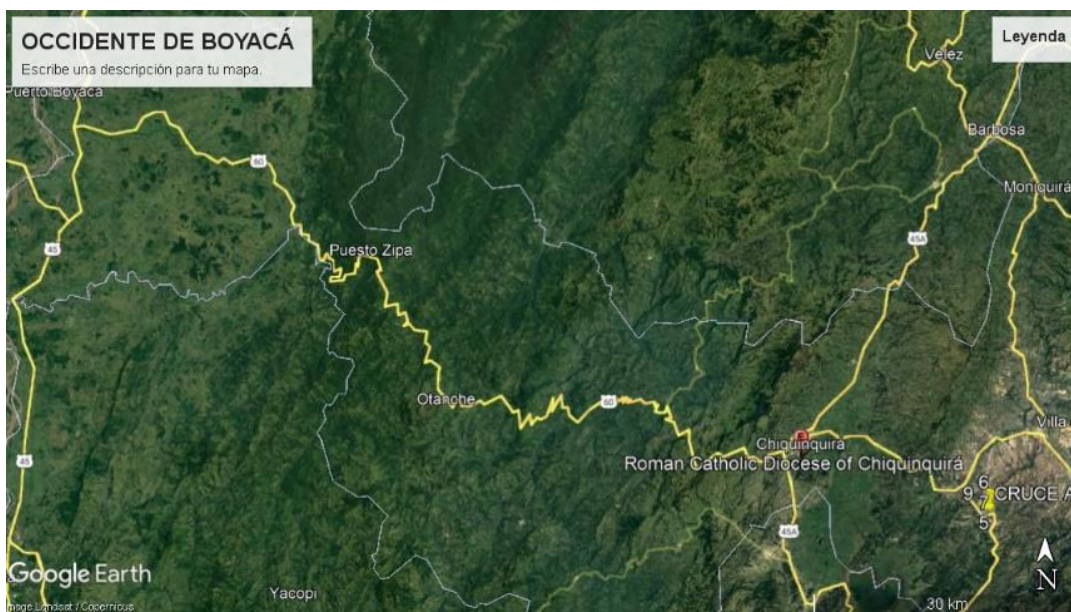
Sub-región del Territorio Vásquez: Se extiende desde las márgenes del río Magdalena hasta la Serranía de las Quinchas, sus tierras son bajas y de vegetación selvática.

Sub – región de la Vertiente Occidental Andina: Es famosa por la riqueza de las esmeraldas de Muzo las más finas y bellas del mundo, sus tierras son aptas para la agricultura.

Sub- región del Valle de Chiquinquirá: Sus tierras están surcadas por el río Suárez están dedicadas a la agricultura y la ganadería; su principal centro es Chiquinquirá la ciudad mariana de Colombia, donde se venera la imagen renovada de la Virgen del Rosario de Chiquinquirá que atrae gran número de peregrinos.

Sub–región de la Cuenca del río Moniquirá: Está conformada por el valle interandino de Villa de Leyva y Samacá de clima agradable, con sitios como Villa de Leyva, población muy hermosa y de origen colonial, Sáchica, Sutamarchán, Arcabuco, Moniquirá, el desierto de La Candelaria, este último llamado así desde la época de la Colonia por lo escaso en cultivos y población, son lugares que atraen el turismo.

**Figura 4.** *Imagen Satelital del Occidente de Boyacá*



Fuente: (Boyacá G. d., 2012)

#### **2.4.5 La Empresa de Energía de Boyacá EBSA S.A E.S.P en el Occidente de Boyacá**

La Empresa de Energía de Boyacá no solo distribuye y comercializa electricidad; es una compañía que se ha plasmado en el corazón de los boyacenses gracias a su trabajo en pro de la comunidad y a iniciativas que buscan un camino de progreso para el departamento. La EBSA lleva iluminando la vida de los boyacenses por más de seis décadas, y ha tenido una evolución constante, siendo responsable de importantes aportes para el Departamento como las Plantas de Generación Térmica de Termopaipa, la modernización de subestaciones, la implementación de un Centro de Control regional moderno desde donde se operan las subestaciones, la ampliación de la capacidad de transformación del sistema interconectado que garantiza la atención de la demanda de energía en la región durante los próximos años. Con cada uno de estos aportes entre muchos otros, ha



logrado desarrollar un sistema energético tal, que ha contribuido, entre otras cosas, al desarrollo del sector minero, siderúrgico y cementero. (Boyacá E. d., 2018)

La Empresa de Energía de Boyacá EBSA S.A E.S.P en la Zona Occidente, cuenta actualmente con influencia en el área urbana y rural de 17 municipios, los 15 municipios de la provincia de occidente, Tinjacá que pertenece a la provincia Ricaurte y Puente Nacional que pertenece al departamento de Santander, cuenta con 47618 usuarios como lo vemos en la siguiente tabla.

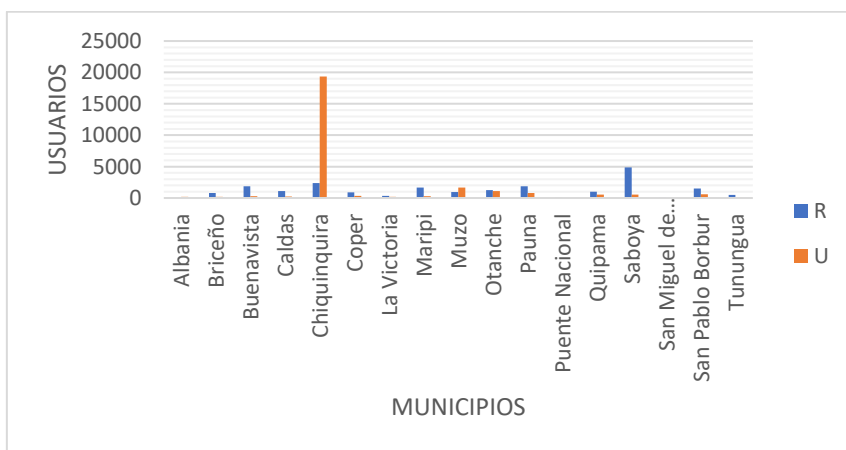
**Tabla 2.** *Usuarios del Occidente de Boyacá*

<b>MUNICIPIO</b>	<b>RURAL</b>	<b>URBANO</b>	<b>TOTAL</b>
<b>Albania</b>	-	196	196
<b>Briceño</b>	783	202	985
<b>Buenavista</b>	1876	280	2156
<b>Caldas</b>	1114	236	1350
<b>Chiquinquirá</b>	2391	19347	21738
<b>Coper</b>	893	362	1255
<b>La Victoria</b>	319	168	487
<b>Maripi</b>	1689	287	1976
<b>Muzo</b>	953	1642	2595
<b>Otanche</b>	1270	1094	2364
<b>Pauna</b>	1849	803	2652



<b>Puente Nacional</b>	126		126
<b>Quipama</b>	980	529	1509
<b>Saboya</b>	4868	553	5421
<b>San Miguel de Sema</b>	73	-	73
<b>San Pablo Borbur</b>	1526	614	2140
<b>Tunungua</b>	490	105	595
<b>Total general</b>	<b>21200</b>	<b>26418</b>	<b>47618</b>

Figura 5. Gráfica Usuarios vs Municipios



En cada municipio y la conexión entre ellos, la Empresa de Energía de Boyacá EBSA S.A E.S.P tiene nombrados los circuitos en media tensión y para efectos de optimización de tiempo, digitación y comunicación interna, se codifican los circuitos, para la Zona Occidente se tienen 53 circuitos y 2182 Nodos o transformadores en los circuitos



**Tabla 3.** *Circuitos de zona de occidente*

MUNICIPIO Y CIRCUITO	CÓDIGO DE CIRCUITO
ALBANIA	
Briceño - Tunungua Albania 13,2 kV	14998
BRICEÑO	
Briceño - Mora y Piedra Gorda 13,2 kV	14997
Briceño - Tunungua Albania 13,2 kV	14998
BUENAVISTA	
Buenavista - Urbano - Maripi 13,2 kV	14912
Buenavista - Vda Sabaneta 13,2 kV	14913
Buenavista - Vda San Pedro 13,2 kV	14926
Cantino - Herradura - Cañaveral 13,2 kV	14942
CALDAS	
Nariño - Caldas 13,2 kV	14990
Nariño - Quipe Monte y Pinal 13,2 kV	14991
CHIQUINQUIRA	
Briceño - Tunungua Alabania 13,2 kV	14996
Chiquinquirá - Casa Blanca 13,2 kV	14905
Nariño - Resguardo 13,2 kV	14984
COPER	
Cantino - Coper - Vda Resguardo 13,2 kV	14950



Cantino - Herradura - Cañaveral 13,2 kV	14921
Cantino - Vda Cantino Alto 13,2 kV	14921
Paunita - Vda Paunita 13,2 kV	14927
LA VICTORIA	
Muzo - Quipama Mina La Victoria 13,2 kV	14932
MARIPI	
Buenavista - Urbano - Maripi 13,2 kV	14912
Buenavista - Vda Sabaneta 13,2 kV	14913
Guanares - Zulia 13,2 kV	14945
Muzo - Vda Egidos Guazo 13,2 kV	14933
Paunita - Vda Narapay 13,2 kV	14926
MUZO	
Muzo - Muzo Urbano 13,2 kV	14933
Muzo - Vda Egidos Guazo 13,2 kV	14933
Paunita - Vda Paunita 13,2 kV	14926
OTANCHE	
Otanche - Otanche Urbano 13,2 kV	14966
Otanche - Vda Pizarra 13,2 kV	14967
Otanche - Vda Tambria 13,2 kV	14968
Santa Barbara - Mina Coscuez 13,2 kV	14961
Velasquez - El Marfil 13,2 kV	45921
PAUNA	



Briceño - Mora y Piedra Gorda 13,2 kV	14999
Chiquinquirá - Casa Blanca 13,2 kV	14905
Guanares - Topito - Furatena - 13,2 kV	14944
Pauna - Honda y Volcan 13,2 kV	14941
Pauna - Manote La Esperanza 13,2 kV	14940
PUENTE NACIONAL	
Garavito - El Limite - Pte Nacional 13,2 kV	14979
QUIPAMA	
Muzo - Quipama Mina La Victoria 13,2 kV	14932
Muzo - Vda Egidios Guazo 13,2 kV	14933
Santa Barbara - Mina Coscuez 13,2 kV	14961
SABOYA	
Chiquinquirá - Casa Blanca 13,2 kV	14905
Garavito - El Limite - Pte Nacional 13,2 kV	14979
Garavito - Garavito Urbano 13,2 kV	14978
Saboya - Vda Merchan 13,2 kV	14974
SAN PABLO BORBUR	
San Martin - Calamaco - San Rafael 13,2 kV	14958
San Martin - Caserio San Martin 13,2 kV	14992
San Martin - Peña Blanca 13,2 kV	14956
San Martin - Siberia 13,2 kV	14955
Santa Barbara - Mina Coscuez 13,2 kV	14961



TINJACA

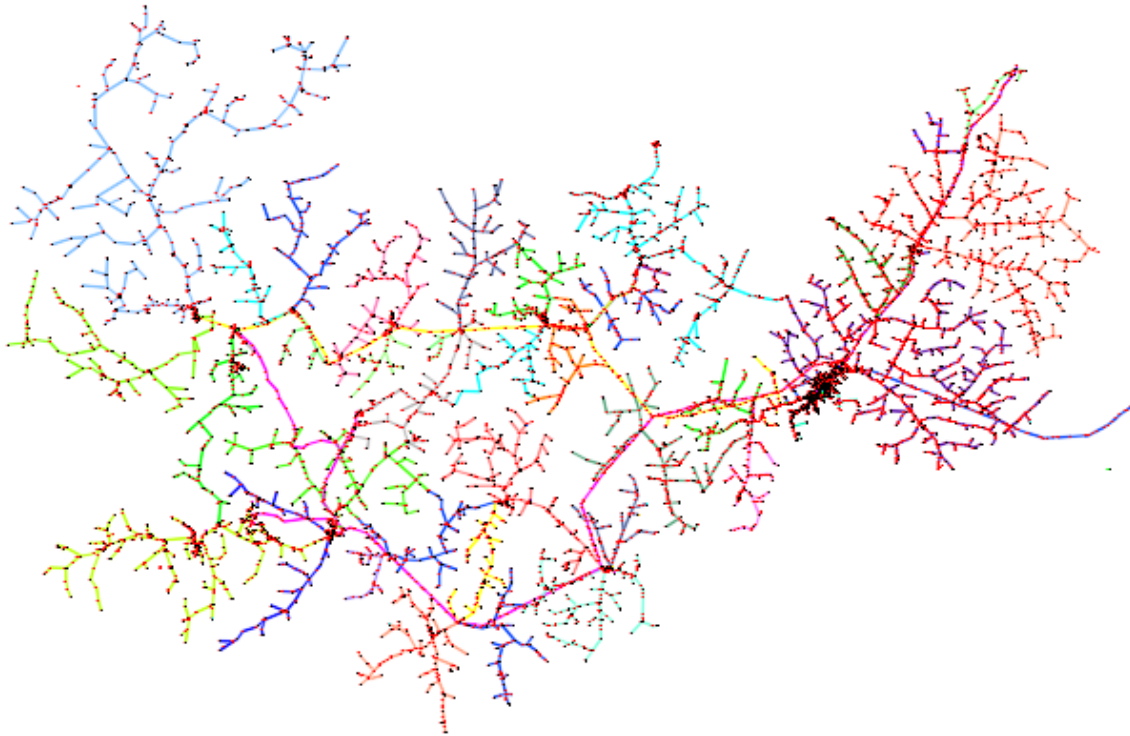
Chiquinquirá - Casa Blanca 13,2 kV 14905

TUNUNGUA

Briceño - Tunungua Alabania 13,2 kV 14998

---

**Figura 6.** *Ubicación de los circuitos y nodos*



## 2.5 El transformador

Los transformadores son un elemento clave en el desarrollo de la industria eléctrica. Gracias a ellos se pudo realizar, de una manera práctica y económica, el transporte de energía eléctrica a grandes distancias. Un transformador eléctrico es una máquina estática de corriente



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

Para lograrlo, transforma la electricidad que le llega al devanado de entrada en magnetismo para volver a transformarla en electricidad, en las condiciones deseadas, en el devanado secundario.

### 2.5.1 Componentes del transformador eléctrico

Los transformadores están compuestos por diferentes elementos entre los que destacan como principales el núcleo y los devanados.

**Figura 7.** Modelización de un transformador monofásico ideal



Donde:

$V_p$  =Tensión del primario

$N_p$  =Número de espiras (vueltas) del primario

$V_s$  =Tensión del secundario

$N_s$  = Número de espiras (vueltas) del secundario

El núcleo de los transformadores está formado por chapas de acero al silicio aisladas entre ellas. Están compuestos por dos partes principales: las columnas, que es la parte donde se montan



los devanados, y las culatas, que es la parte donde se realiza la unión entre las columnas. El núcleo se utiliza para conducir el flujo magnético, ya que es un gran conductor.

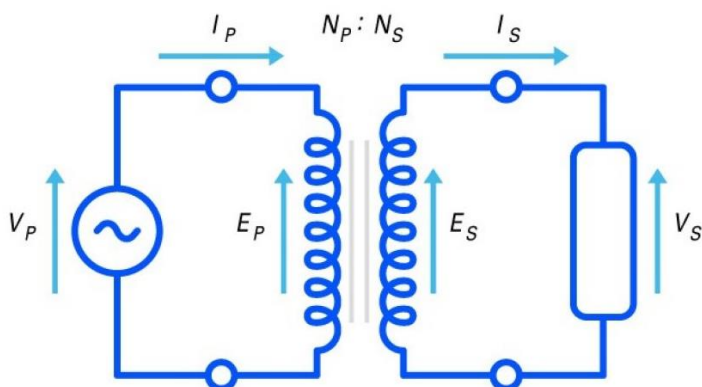
Por su parte el devanado es un hilo de cobre enrollado a través del núcleo en uno de sus extremos y recubierto por una capa aislante, que suele ser barniz. Está compuesto por dos bobinas, la primaria y la secundaria. La relación de vueltas del hilo de cobre entre el devanado primario y el secundario indicará la relación de transformación. El nombre de primario y secundario es algo simbólico: por definición allá donde apliquemos la tensión de entrada será el primario y donde obtengamos la tensión de salida será el secundario

### ***2.5.2 Funcionamiento de los transformadores eléctricos***

Los transformadores se basan en la inducción electromagnética. Al aplicar una fuerza electromotriz en el devanado primario, es decir una tensión, se origina un flujo magnético en el núcleo de hierro. Este flujo viajará desde el devanado primario hasta el secundario. Con su movimiento originará una fuerza electromagnética en el devanado secundario.

Según la Ley de Lenz, la corriente debe ser alterna para que se produzca esta variación de flujo. El transformador no puede utilizarse con corriente continua.

**Figura 8.** Esquema básico de funcionamiento de un transformador ideal



La relación de transformación del transformador la definimos con la siguiente ecuación:

$$\frac{N_P}{N_S} = \frac{V_P}{V_S} = \frac{I_S}{I_P} = r_t \quad EC. 1$$

Donde:

$I_P$  =Intensidad de corriente del primario

$I_S$  = Intensidad de corriente del secundario

$r_t$  =Relación de transformación

### 2.5.3 Tipos de transformadores eléctricos

Aunque basados en los mismos principios básicos, se diferencian varios tipos de transformadores que se clasifican en dos grandes grupos: transformadores de potencia y de medida.

### 2.5.4 Transformadores de potencia

Los transformadores eléctricos de potencia sirven para variar los valores de tensión de un circuito de corriente alterna, manteniendo su potencia. Su funcionamiento se basa en el fenómeno de la inducción electromagnética.



### 2.5.5 Transformadores eléctricos elevadores.

Tienen la capacidad de aumentar el voltaje de salida en relación al voltaje de entrada. En estos transformadores el número de espiras del devanado secundario es mayor a las del devanado primario.

**Figura 9.** Modelización de un transformador elevador



### 2.5.6 Transformadores eléctricos reductores.

Los transformadores eléctricos reductores tienen la capacidad de disminuir el voltaje de salida en relación al voltaje de entrada. En estos transformadores el número de espiras del devanado primario es mayor al secundario.

Cualquier transformador elevador puede actuar como reductor, si lo conectamos al revés, del mismo modo que un transformador reductor puede convertirse en elevador.

**Figura 10.** Modelización de un transformador reductor

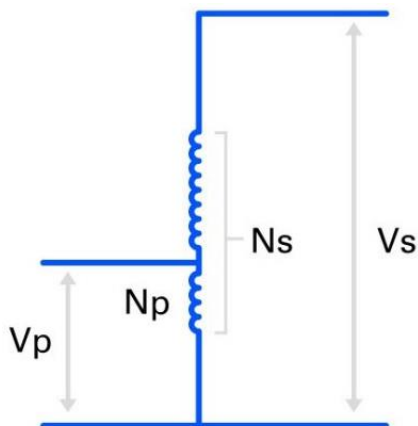


### 2.5.7 Autotransformadores

Se utilizan cuando es necesario cambiar el valor de un voltaje, pero en cantidades muy pequeñas. La solución consiste en montar las bobinas de manera sumatoria. La tensión, en este caso, no se introduciría en el devanado primario para salir por el secundario, sino que entra por un punto intermedio de la única bobina existente.

Esta tensión de entrada ( $V_p$ ) únicamente recorre un determinado número de espiras ( $N_p$ ), mientras que la tensión de salida ( $V_s$ ) tiene que recorrer la totalidad de las espiras ( $N_s$ ).

**Figura 11.** Modelización de un autotransformador





### ***2.5.8 Transformadores eléctricos de medida***

Sirven para variar los valores de grandes tensiones o intensidades para poderlas medir sin peligro.

### ***2.5.9 Transformadores eléctricos de intensidad***

Toma una muestra de la corriente de la línea a través del devanado primario y lo reduce hasta un nivel seguro para medirlo. Su devanado secundario está enrollado alrededor de un anillo de material ferromagnético y su primario está formado por un único conductor, que pasa por dentro del anillo.

El anillo recoge una pequeña muestra del flujo magnético de la línea primaria, que induce una tensión y hace circular una corriente por la bobina secundaria.

### ***2.5.10 Transformador eléctrico potencial***

Se trata de una máquina con un devanado primario de alta tensión y uno secundario de baja tensión. Su única misión es facilitar una muestra del primero que pueda ser medida por los diferentes aparatos.

### ***2.5.11 Transformadores trifásicos***

Puesto que el transporte y la generación de electricidad se realiza de forma trifásica, se desarrollaron transformadores de estas características.

Pueden crearse transformadores trifásicos de dos maneras: una es mediante tres transformadores monofásicos y la otra con tres bobinas sobre un núcleo común.

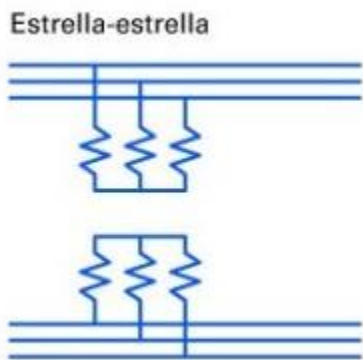
Esta última opción es la más recomendable, debido a que el resultado es un transformador más pequeño, más ligero, más económico y algo más eficiente.

La conexión de este tipo de transformadores puede ser:



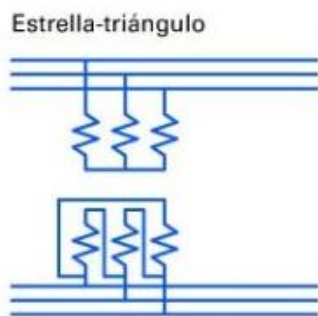
### 2.5.12 Estrella-estrella

Figura 12. Conexión de un transformador trifásico con la fuente de alimentación Estrella-  
Estrella



### 2.5.13 Estrella-triángulo

Figura 13. Conexión de un transformador trifásico con la fuente Estrella – triángulo

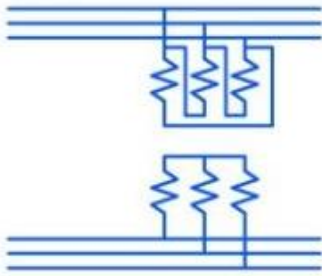


### 2.5.14 Triángulo-estrella

Figura 14. Conexión de un transformador trifásico con la fuente triángulo – estrella



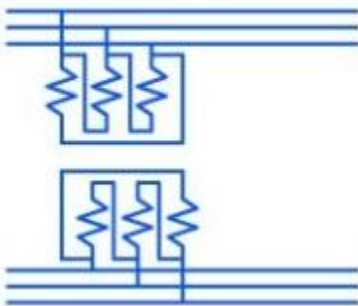
Triángulo-estrella



### 2.5.15 Triángulo-triángulo

Figura 15. Conexión de un transformador trifásico con la fuente de alimentación triángulo – triángulo

Triángulo-triángulo



### 2.5.16 Transformador ideal y transformador real

En un transformador ideal, la potencia de entrada es igual a la potencia de salida. Esto se representa de la siguiente forma:

$$P_P = P_S$$

$$V_P * I_P = V_S * I_S$$

De la EC 1 tenemos

$$\frac{V_P}{V_S} = \frac{I_S}{I_P} = \frac{N_P}{N_S}$$

Finalmente tenemos

$$N_P * I_P = N_S * I_S \quad EC 2$$



Lo que ocurre en los transformadores reales es que existen pequeñas pérdidas que se manifiestan en forma de calor. Estas pérdidas las causan los materiales que componen un transformador eléctrico, y pueden ser de diferentes tipos:

#### ***2.5.17 Pérdidas en el cobre***

Debidas a la resistencia propia del cobre al paso de la corriente.

#### ***2.5.18 Pérdidas por corrientes parásitas***

Son producidas por la resistencia que presenta el núcleo ferromagnético al ser atravesado por el flujo magnético.

#### ***2.5.19 Pérdidas por histéresis.***

Son provocadas por la diferencia en el recorrido de las líneas de campo magnético cuando circulan en diferente sentido cada medio ciclo

#### ***2.5.20 Pérdidas a causa de los flujos de dispersión en el primario y en el secundario***

Estos flujos provocan una autoinductancia en las bobinas primarias y secundarias.

#### ***2.5.21 Aplicaciones de los transformadores***

Los transformadores son elementos muy utilizados en la red eléctrica. Una vez generada la electricidad en el generador de las centrales, y antes de enviarla a la red, se utilizan los transformadores elevadores para elevar la tensión y reducir así las pérdidas en el transporte producidas por el efecto Joule. Una vez transportada se utilizan los transformadores reductores para darle a esta electricidad unos valores con los que podamos trabajar.



Los transformadores también son usados por la mayoría de los electrodomésticos y aparatos electrónicos, ya que normalmente trabajan a tensiones de un valor inferior al suministrado por la red.

Además, los transformadores forman parte de un elemento clave en la seguridad eléctrica de los hogares: el diferencial. Este dispositivo utiliza transformadores para comparar la intensidad que entra con la que sale del hogar. Si la diferencia entre estos es mayor a 10 mA desconecta el circuito evitando que podamos sufrir lesiones. (ENDESA, 2022)

### ***2.5.22 Los Transformadores Nivel II***

El Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE, en el artículo 12, estandarizan los niveles de tensión, y la EBSA S.A. E.S.P los adopta de la siguiente manera:

**Tabla 4.** *Niveles de tensión*

<b>NIVEL DE TENSIÓN</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Nivel I	Sistemas o proyectos con tensión Nominal menor a 1KV. Revisión por pérdidas
Nivel II	Sistemas o proyectos con tensión Nominal Mayor o igual a 1KV y menor de 30KV
Nivel III	Sistemas o proyectos con tensión Nominal Mayor o igual a 30KV y menor de 57KV
Nivel IV	Sistemas o proyectos con tensión Nominal Mayor o igual a 57KV

En las redes eléctricas para el occidente de Boyacá se tiene los niveles de tensión de 110 V, 220 V, 13.2 KV y 34.5 KV, entonces, los transformadores de Nivel II son aquellos que en el primario reciben 13.2 KV y en el secundario sale 220 V, ya sean bifásicos o trifásicos.



### 3. Desarrollo de la metodología

Para dar alcance a los objetivos planteados para la investigación se plantean las siguientes etapas:

**Etapa 1** – Diagnóstico actual: Para esta etapa inicial se realizará levantamiento de información de la fuente, es decir, se recolectará información de la empresa que permita analizar la situación actual del mantenimiento y operación de los transformadores de distribución de II Nivel. Para ello recopilará información histórica de los últimos 2 años, y además, se diseñará y aplicará un instrumento tipo encuesta orientada al personal responsable de las tareas de mantenimiento de los transformadores de Nivel II.

**Etapa 2** - Análisis AMFE: En la segunda etapa, a partir de la información obtenida en la etapa anterior se realizará el análisis de los efectos generados por las fallas del uso de los transformadores de distribución de II Nivel para la empresa de estudio mediante AMFE (Análisis de nodos, los efectos y las criticidades).

**Etapa 3** – Tareas de MCC: Por último, a partir de una triangulación de los resultados obtenidos hasta el momento y la información consolidada en el marco teórico y conceptual se definirán las tareas de mantenimiento de los transformadores de distribución de II Nivel adecuadas estableciendo también las frecuencias para cada una de ellas.

Para nuestro caso, tenemos que:

#### 3.1 Contexto operacional

El sistema de transformación de la energía que sale desde la sub estación principal de Chiquinquirá a una tensión de 34.5 KV llegando a los diferentes municipios a sub estaciones que transforman la tensión de 34.5 KV a 13.2 KV, de allí se desprenden las redes de distribución local alimentando los transformadores de potencia de nivel I y nivel II, pasándolas de 13.2 KV a 220 V



y 110 V para suministrar servicio de energía eléctrica a los usuarios de uso final con el fin de aprovechar los diferentes electrodomésticos o maquinas utilizados en las viviendas, fabricas, o industrias. El suministro de energía debe tener disponibilidad las 24 horas al día.

Función primaria: transformar energía eléctrica de 13.2 KV a 220 V y 110V con transformadores nivel II monofásicos y bifásicos que son de 5 KVA, 10 KVA, 15 KVA, 25 KVA y 35.5 KVA que depende de acuerdo con el número de usuarios y la carga requerida por cada usuario.

Función secundaria: los transformadores son en aceite, instalación aérea, se instalan con protección de DPS en media tensión y en baja tensión contra sobretensiones y protección de fusibles en media tensión y baja tensión contra sobre corrientes, al ser instalados a la intemperie requiere protección IP 65.

### **3.2 Análisis e identificación de los modos de Fallas**

Para conseguir el objetivo principal de RCM como es asignar tareas de mantenimiento se necesita conocer las fallas que afectan las funciones del activo y sus modos de falla.

#### **3.2.1 Falla**

Se define “falla” como la incapacidad de cualquier activo de hacer aquello que sus usuarios quieren que haga. También se define como el no cumplimiento de un estándar de funcionamiento y toma el nombre de Falla funcional.

De acuerdo con la norma SAEJA1011. Estado en el cual un activo físico ó un sistema es incapaz de realizar una función específica con un nivel de desempeño deseable. Un activo puede tener diferentes funciones, por lo tanto, tiene diferentes estados de falla.

#### **3.2.2 Tipos de Fallas funcionales**

Frecuente, probable, ocasional, remota, extremadamente remota.



### ***3.2.3 Análisis de modo y sus efectos de falla***

En RCM se tiene varios métodos como FMECA, FMEA, AMFE, significan lo siguiente:

- FMECA. Análisis de la causa de falla, criticidad de los modos de fallo.
- FMEA Análisis de los modos y efectos de falla.
- AMFE Análisis moda de fallas y efecto falla.
- Consecuencias para la seguridad y el medio ambiente.
- Consecuencias operacionales.
- Consecuencias no operacionales.

La diferencia de un análisis FMECA con el AMFE es la calificación de la criticidad al modo de falla que se realiza en FMECA.

### ***3.2.4 Modo de Falla***

Un modo de falla se refiere al efecto que produce la falla observada. Es cualquier evento que pueda causar la falla de un activo físico (o sistema o proceso), la descripción de un modo de falla debe consistir de un sustantivo y un verbo. La descripción debe ser lo suficientemente detallada para poder seleccionar una estrategia de manejo apropiada.

### ***3.2.5 ¿Por qué analizar los modos de falla?***

Una máquina puede fallar por diversos motivos. Un grupo de máquinas o un sistema como una línea de producción puede fallar por cientos de razones. Para una planta entera, los números ascienden a miles, inclusive hasta decenas de miles.

La mayoría de los gerentes no se sienten muy cómodos el pensar en el tiempo y el esfuerzo involucrado en la identificación de todos estos modos de falla. Muchos deciden que este tipo de análisis es demasiado trabajoso, y abandonan la idea por completo. Pero cuando hacen esto, pasan



por lo alto el hecho de que en el día a día el mantenimiento es realmente manejado al nivel de modo de falla.

Los modos de falla pueden ser clasificados en tres grupos de la siguiente manera:

- Cuando la capacidad cae por debajo del funcionamiento deseado
- Cuando el funcionamiento deseado se eleva encima de la capacidad inicial
- Cuando desde el comienzo el activo físico no es capaz de hacer lo que se quiere.

Las cinco causas principales cuando la capacidad es decreciente:

- Deterioro
- Fallas de Lubricación
- Polvo o suciedad
- Desarme
- Errores humanos que reducen la capacidad
- Funcionamiento por encima de la capacidad inicial. Esto ocurre principalmente debido a

cuatro razones:

- Sobrecarga deliberada constante
- Sobrecarga no intencional constante
- Sobrecarga no intencional repentina
- Procesamiento o material de empaque incorrecto.

• Efectos de falla: Los efectos de falla describen que pasa cuando ocurre una falla. La descripción de los efectos de falla debe incluir toda la información necesaria para ayudar en la



evaluación de las consecuencias de las fallas. Concretamente, al describir los efectos de una falla, debe hacerse constar lo siguiente:

- La evidencia (si la hubiera) de que se ha producido una falla
- Las maneras (si las hubiera) en que la falla supone una amenaza para la seguridad o el medio ambiente
- Las maneras (si las hubiera) en que afecta la producción o las operaciones.
- Los daños físicos (si los hubiera) causados por la falla.
- Que debe hacerse para reparar la falla.
- Fuentes de información acerca de Modos y efectos de falla.
- El fabricante o proveedor del equipo
- Listas genéricas de modos de falla
- Registros de antecedentes técnicos

### ***3.2.6 Evaluación consecuencias de falla***

La naturaleza y la gravedad de los efectos de la falla definen las consecuencias de la misma. En otras palabras, definen la manera en la que los dueños y los usuarios de los activos creerán que cada falla es importante. Los efectos de la falla describen que sucede cuando ocurre la falla, mientras las consecuencias describen cómo (y cuanto) importa. Entonces podemos decir, que, si podemos reducir los efectos de una falla en términos de frecuencia ó severidad, estaremos reduciendo sus consecuencias. Si las consecuencias son serias, entonces se harán esfuerzos considerables para evitar, eliminar o minimizar sus consecuencias. Sobre todo, si la falla puede afectar la integridad del ser humano, o si tiene efectos serios sobre el medio ambiente. Esto también



es válido si las fallas interfieren con la producción o las operaciones, o si pueden causar daños secundarios significativos.

Por otro lado, si la falla solo tiene consecuencias menores, es posible que no se tome ninguna acción proactiva, y que la falla sea simplemente sea reparada una vez ocurra.

### **3.3 Funciones ocultas y evidentes**

Una función evidente es aquella cuya falla eventual e inevitablemente se hará evidente por si sola a los operadores en circunstancias normales. No obstante, algunas fallas ocurren de tal forma que nadie sabe que el elemento se ha averiado a menos que produzca otra falla. Una función oculta es aquella cuya falla no se hará evidente a los operarios bajo circunstancias normales, si se produce por si sola.

El primer paso en el proceso RCM es separar las funciones ocultas de las evidentes porque las ocultas necesitan de un manejo especial.

### **3.4 Categoría fallas evidentes**

Las fallas evidentes se clasifican en tres categorías de importancia decreciente:

- Consecuencias para la seguridad y el medio ambiente
- Consecuencias operacionales
- Consecuencias no operacionales

### **3.5 Consecuencias de fallas ocultas**

La aparición de fallas ocultas por sí solo no resultan evidentes, dentro del proceso normal de desarrollo operacional, por lo que para poder identificar o reconocer las fallas ocultas, el grupo de trabajo deberá responder la siguiente cuestión:



- ¿Será la pérdida de función causada por este modo de fallo, por si mismo, ser evidente dentro de las operaciones bajo circunstancias normales? Si la respuesta a esta cuestión es no, el modo de fallo será oculto (no evidente), y si la respuesta es sí, el modo de fallo será evidente.

- Los dispositivos de seguridad que cumplen funciones de protección (ocultas) trabajan básicamente de la siguiente forma:

- Alertan a los operadores ante condiciones anormales
- Detienen el equipo en caso de falla
- Eliminan o alivian las condiciones anormales que siguen a una falla y que de otra manera podrían causar daños más serios
- Asumen el control de una función que ha fallado
- Previene que surjan situaciones peligrosas

En esencia, la función principal de los equipos de protección es asegurar que las consecuencias de fallos de función protegida sean mucho menos serias, dado el caso de que esta no tuviera protección. Los equipos de protección son en la mayoría de los casos, parte de un sistema, con al menos dos componentes:

Equipo de protección

La función protegida

De forma general, típicas funciones ocultas incluyen: Equipos de emergencia médica, la mayoría de los equipos de detección combate y protección contra el fuego, los equipos de protección de sobrecarga, y sobre velocidad, los componentes de estructuras redundantes, los



sistemas de emergencia de paradas y la mayoría de los equipos de generación de potencia de emergencia.

Rutinas de mantenimiento relacionadas con la prevención de fallas múltiples causados por fallas ocultas.

Uno de los caminos que puede minimizar los efectos de un fallo múltiple es tratar de disminuir la probabilidad de ocurrencia de las fallas ocultas, chequeando periódicamente si la función oculta está trabajando correctamente. La aplicación de estas tareas está orientada básicamente a equipos de protección y componentes de activos tales como circuitos eléctricos o instrumentos de control. El chequeo se debe realizar en condiciones de operación reales o bajo condiciones simuladas.

- Pueden existir situaciones donde es imposible aplicar una tarea de búsqueda de fallos ocultos:

- Cuando la función oculta de un equipo de protección no puede ser chequeada sin destruir dicho equipo (como en el caso de fusibles de protección o discos de ruptura). - Cuando es imposible acceder al equipo con funciones ocultas (problema relacionado con el diseño).

- Donde resulte sumamente peligroso simular las condiciones reales de operación del activo con funciones ocultas.

Finalmente, cuando una tarea de búsqueda de fallos ocultos resulta ser no técnicamente factible, existen dos posibles acciones a ejecutar:

- Si el modo de fallo oculto puede generar fallo múltiple que afecte a la seguridad o al ambiente, el rediseño es obligatorio.



- Si el modo de fallo oculto genera un fallo múltiple que no afecta la seguridad y el medio ambiente es recomendable no realizar ninguna actividad de mantenimiento programada, y es posible pensar en un rediseño, si las consecuencias son económicamente muy costosas

### 3.6 Selección Actividades de mantenimiento con RCM

Análisis NPR: es la multiplicación de la ocurrencia\*severidad\*detección.

$$NPR = (OCURENCIA)(SEVERIDAD)(DETECCION)$$

### 3.7 Ocurrencia

valor asociado a la probabilidad que el modo de falla ocurre, también se le conoce como DETECCIÓN.

Tabla 5. Parámetros de la detección

DETECCIÓN	PROBABILIDAD DE LA DETECCIÓN	VALOR
ABSOLUTA INCERTIDUMBRE	EL CONTROL DEL DISEÑO NO PUEDE DETECTAR UNA CAUSA POTENCIAL/ MECANISMO Y MODO DE FALLO SUBSECUENTE	10
MUY REMOTA	MUY REMOTA LA PROBABILIDAD DEL CONTROL DE DISEÑO PARA DETECTAR CAUSAS POTENCIALES/ MECANISMOS Y MODOS DE FALLOS	9
REMOTA	IDENTIFICAR MODOS DE PROBLEMA POTENCIALES Y SU IMPACTO EN LA CONFIABILIDAD DEL PROCESO O ACTIVIDAD	8
MUY BAJA	MUY BAJA LA PROBABILIDAD DEL CONTROL DE DISEÑO PARA DETECTAR CAUSAS POTENCIALES/ MECANISMOS Y MODOS DE FALLOS	7
BAJA	BAJA LA PROBABILIDAD DEL CONTROL DE DISEÑO PARA DETECTAR CAUSAS POTENCIALES/ MECANISMOS Y MODOS DE FALLOS	6
MODERADA	MODERADA LA PROBABILIDAD DEL CONTROL DE DISEÑO PARA DETECTAR CAUSAS POTENCIALES/ MECANISMOS Y MODOS DE FALLOS	5
MUY MODERADA	MUY MODERADA LA PROBABILIDAD DEL CONTROL DE DISEÑO PARA DETECTAR CAUSAS POTENCIALES/ MECANISMOS Y MODOS DE FALLOS	4
ALTA	ALTA LA PROBABILIDAD DEL CONTROL DE DISEÑO PARA DETECTAR CAUSAS POTENCIALES/ MECANISMOS Y MODOS DE FALLOS	3
MUY ALTA	MUY ALTA LA PROBABILIDAD DEL CONTROL DE DISEÑO PARA DETECTAR CAUSAS POTENCIALES/ MECANISMOS Y MODOS DE FALLOS	2
CASI SEGURO	CONTROL DE DISEÑO DETECTARÁ CAUSAS POTENCIALES/ MECANISMOS Y MODOS DE FALLOS SUBSECUENTES	1

Severidad: Es un indicador de que tan grave es la consecuencia. Se diseña para cada consecuencia probable



$$S = FO + SF + MA + IC + OR + OC$$

Donde:

FO: Consecuencias asociadas a Fallas ocultas

SF: Consecuencias asociadas a Seguridad Física

MA: Consecuencias asociadas a Medio ambiente

IC: Consecuencias asociadas a imagen Corporativa

OR: Consecuencias asociadas operaciones de reparación

OC: Consecuencias asociadas a afectación de clientes

Al hablar de equipos como los transformadores, realizamos una tabla tabulando los índices de severidad.

**Tabla 6. Severidad**

EFFECTO	EFFECTO DE SEVERIDAD	VALOR
PELIGROSO SIN ALERTA	VALOR DE SEVERIDAD MUY ALTO CUANDO UN MODO DE PROBLEMA POTENCIAL AFECTA LA OPERACIÓN DEL SISTEMA SIN ALERTA	10
PELIGROSO CON ALERTA	VALOR DE SEVERIDAD MUY ALTO CUANDO UN MODO DE PROBLEMA POTENCIAL AFECTA LA OPERACIÓN DEL SISTEMA CON ALERTA	9
MUY ALTO	IDENTIFICAR MODOS DE PROBLEMA POTENCIALES Y SU IMPACTO EN LA CONFIABILIDAD DEL PROCESO O ACTIVIDAD	8
ALTO	SISTEMA INOPERABLE CON EQUIPO DAÑADO	7
MODERADO	SISTEMA INOPERABLE CON DAÑOS MENORES	6
BAJO	SISTEMA INOPERABLE SIN DAÑOS	5
MUY BAJO	SISTEMA OPERABLE CON UNA SIGNIFICANTE DEGRADACION DE RENDIMIENTO	4
MENOR	SISTEMA OPERABLE CON UNA DEGRADACION DE RENDIMIENTO	3
MUY MENOR	SISTEMA OPERABLE CON MINIMA INTERFERENCIA	2
NINGUNO	NO HAY EFECTOS	1

Fuente: los autores



De las cuales, podemos resolver de la siguiente forma:

- Inspección operativa
- Inspección predictiva
- Preventiva prueba
- Preventivo intrusiva
- Preventivo no intrusivo
- Rediseño

### **3.8 Actividades Preventivas**

#### **3.8.1 *Tareas programadas a condición***

Las actividades programadas en base a condición (predictivas), se basan en el hecho de que la mayoría de los modos de fallo no ocurren instantáneamente, si no que se desarrollan progresivamente en un periodo de tiempo. Si la evidencia de este tipo de modo de fallos puede ser detectada bajo condiciones normales de operación, es posible que se puedan tomar acciones programadas en base a la condición del activo que ayuden a prevenir este modo de fallo y/o eliminar sus consecuencias. Este tipo de fallo se denomina fallo Potencial se define como una condición física identificable la cual indica que una falla funcional está a punto de suceder ó que ya está ocurriendo dentro del proceso

#### **3.8.2 *Tarea de Reacondicionamiento***

Son aquellas actividades de prevención realizadas a los activos (en la mayoría de los casos activos mayores) a un intervalo de frecuencia menor al límite operativo de la vida del activo, en función del análisis de sus funciones en el tiempo. Las tareas de restauración programadas son conocidas como “overhauls”.



### ***3.8.3 Tarea de sustitución***

Este tipo de actividad preventiva está orientada específicamente hacia el remplazo de componentes o partes usadas de un activo, por nuevos, a un intervalo de tiempo menor al de la vida útil antes de que fallen.

### ***3.8.4 Tareas de búsqueda de fallos ocultos***

Consisten en acciones de chequeo a los fallos ocultos de los activos con funciones ocultas, a intervalos regulares de tiempo, con el fin de detectar si las funciones ocultas funcionan correctamente, o están en estado de fallo.

### ***3.8.5 Tareas correctivas***

Las actividades que se ejecutan en caso de que las actividades de prevención no son efectivas:

- Rediseño en caso de que las actividades de prevención no ayudan a reducir los modos de fallo que afecten la seguridad, el medio ambiente, la operación, es necesario hacer un rediseño que minimice ó elimine las consecuencias de los modos de fallo.

- Actividades de mantenimiento no programado en el caso que no se consigan actividades de prevención económicamente más baratas que los posibles efectos de los modos de fallo, se podrá tomar la decisión de esperar que ocurra el fallo.

## **4. Propuesta Implementación De RCM En Los Transformadores De Distribución**

**Nivel II En El Sector Rural En La Zona Occidente Del Departamento De Boyacá De**

**La EBSA Empresa De Energía De Boyacá S.A E.S.P.**



### 4.1.1 Descripción de las fallas actuales de los transformadores de nivel II en el occidente de Boyacá

A continuación, se muestra una tabla que es el reporte que actualmente recibe la Empresa De Energía De Boyacá S.A E.S.P. de la zona occidente.

**Tabla 7. Averías transformadores zona Occidente**

Aviso	Ubicac.técnica	Denominación	Fecha de aviso	Descripción	Orden	Inicio deseado	Fin avería
1000024429	EB-Z3-LIN-NT2-CH00-AL04-TA76	Trafo Distribucion -38227	18/03/2022	TRANSFORMADOR QUEMADO NODO 38227		18/03/2022	20/03/2022
1000024728	EB-Z3-LIN-NT2-BU00-AL03-TA37	Trafo Ditrubucion -7327	22/04/2022	trafo quemado nodo 7327	10032731	22/04/2022	24/04/2022
1000025188	EB-Z3-LIN-NT2-MU00-AL01-TA92	Trafo Distribucion -7983	25/06/2022	TRANSFORMADOR QUEMADO NODO 7983	10033646	25/06/2022	27/06/2022
1000025249	EB-Z3-LIN-NT2-CA00-AL01-TA15	Trafo Distribucion -7288	11/07/2022	Trafo quemado nodo 7288 Coper	10033750	11/07/2022	13/07/2022
1000025447	EB-Z3-LIN-NT2-GU00-AL02-TA36	Trafo Ditrubucion -7769	08/08/2022	TRASFO QUEMADO 7769 ALTO MINERO	10034140	08/08/2022	10/08/2022
1000025451	EB-Z3-LIN-NT2-SM00-AL03-TA12	Trafo Distribucion -7862	08/08/2022	TRANSF QUEMADO NODO 7862 S P BORBUR	10034163	08/08/2022	10/08/2022
1000025496	EB-Z3-LIN-NT2-MU00-AL01-TA76	Trafo Distribucion -7081	11/08/2022	Trafo quemado nodo 7081 QUIPAMA Vda maca	10034215	11/08/2022	13/08/2022
1000025710	EB-Z7-LIN-NT2-VE00-AL01-TB86	Trafo Ditrubucion -38523	14/09/2022	Trafo quemado nodo 38523 Otanche	10034688	14/09/2022	16/09/2022
1000025732	EB-Z3-LIN-NT2-PA00-AL02-TA09	Trafo Distribucion -7499	17/09/2022	Transformador quemado Nodo 7499 pauna	10034745	17/09/2022	19/09/2022
1000025799	EB-Z3-LIN-NT2-CH00-AL04-TB45	Trafo Distribucion -38182	27/09/2022	TRAN QUEMADO N 38182 vinculo Saboya	10034864	27/09/2022	29/09/2022
1000025818	EB-Z3-LIN-NT2-PA00-AL02-TA09	Trafo Distribucion -7499	29/09/2022	TRANSFORMADOR QUEMADO NODO 7499	10035003	29/09/2022	01/10/2022
1000025840	EB-Z3-LIN-NT2-BR00-AL02-TA14	Trafo Ditrubucion -6772	03/10/2022	transformador quemado nodo 6772 TUNUNGUA	10035005	03/10/2022	05/10/2022
1000025848	EB-Z3-LIN-NT2-BU00-AL01-TA04	Trafo Distribucion -7320	04/10/2022	Transformador Quemado Nodo 7320	11057743	04/10/2022	06/10/2022
1000025849	EB-Z3-LIN-NT2-BU00-AL01-TA76	Trafo Distribucion -65551	04/10/2022	transformador quemado nodo 65551 MARIPI	11057746	04/10/2022	06/10/2022
1000025855	EB-Z3-LIN-NT2-GA00-AL01-TA05	Trafo Distribucion -7007	04/10/2022	transformador quemado nodo 7007 SABOYA -	10035002	04/10/2022	06/10/2022
1000025860	EB-Z3-LIN-NT2-BR00-AL01-TA10	Trafo Ditrubucion -38655	04/10/2022	transformador quemado nodo 38655	11057741	04/10/2022	06/10/2022
1000025861	EB-Z3-LIN-NT2-BU00-AL01-TB00	Trafo Distribucion -7653	04/10/2022	transformador quemado nodo 7653	11057742	04/10/2022	06/10/2022
1000025868	EB-Z3-LIN-NT2-SB00-AL01-TA05	Trafo Distribucion -65666	05/10/2022	Trafo quem N 65666 Otanche LA FLORIDA	10035026	05/10/2022	07/10/2022
1000025872	EB-Z3-LIN-NT2-PA00-AL01-TA15	Trafo Distribucion -7441	06/10/2022	transfo quemado N 7441 PAUNA LA ESPERANZ	10035024	06/10/2022	08/10/2022
1000025873	EB-Z3-LIN-NT2-PA00-AL04-TA10	Trafo Ditrubucion -38465	06/10/2022	transf quemado N 38465 PAUNA CARACOL	10035023	06/10/2022	08/10/2022
1000025875	EB-Z3-LIN-NT2-OT00-AL03-TA45	Trafo Distribucion -6871	06/10/2022	transfo quemado N 6871 OTAN SEVILLA H2O	10035025	06/10/2022	08/10/2022
1000025876	EB-Z3-LIN-NT2-BU00-AL01-TA38	Trafo Distribucion -7229	06/10/2022	Transformador Quemado Nodo 7229	10035142	06/10/2022	08/10/2022
1000025882	EB-Z3-LIN-NT2-OT00-AL02-TB23	Trafo Distribucion -38516	06/10/2022	Trafo quemado N 38516 altazor	10035083	06/10/2022	08/10/2022
1000025883	EB-Z3-LIN-NT2-GA00-AL02-TA10	Trafo Distribucion -38422	07/10/2022	trafo quemado N 38422 ALTO SAN LLANADA	10035085	07/10/2022	09/10/2022
1000025886	EB-Z3-LIN-NT2-CH00-AL01-TA30	Trafo Distribucion -6574	07/10/2022	Trafo quemado nodo 6574 Chiquinquirá	11057853	07/10/2022	09/10/2022
1000025891	EB-Z3-LIN-NT2-GU00-AL04-TA23	Trafo Distribucion -38327	08/10/2022	Transfo quemado N: 38327 PAUNA CARARE ES	10035084	08/10/2022	10/10/2022
1000025904	EB-Z3-LIN-NT2-GU00-AL04-TA41	Trafo Distribucion -38464	10/10/2022	transfo quemado N 38464TOPITO QUIBUCO	10035164	10/10/2022	12/10/2022
1000025910	EB-Z3-LIN-NT2-CA00-AL03-TA22	Trafo Ditrubucion -7619	10/10/2022	Trafo quemado N 7619 GUAZIMAL CANEYES	10035165	10/10/2022	12/10/2022
1000025919	EB-Z3-LIN-NT2-MU00-AL01-TA56	Trafo Distribucion -7073	12/10/2022	Transf Quemado N 7073 MACANAL ESCUELA	10035166	12/10/2022	14/10/2022
1000025928	EB-Z3-LIN-NT2-GU00-AL04-TA07	Trafo Distribucion -7521	13/10/2022	Trafo quemado N 7521 Pauna TOPITO Y QUIB	10035205	13/10/2022	15/10/2022
1000025932	EB-Z3-LIN-NT2-OT00-AL02-TA40	Trafo Distribucion -38028	13/10/2022	TRANSF QUEMADO N 38028 LAGUNA CORRALEJA	10035163	13/10/2022	15/10/2022
1000025943	EB-Z3-LIN-NT2-OT00-AL03-TA38	Trafo Ditrubucion -38484	14/10/2022	Trafo quemado nodo 38484 Otanche	10035162	14/10/2022	16/10/2022
1000025952	EB-Z3-LIN-NT2-MU00-AL04-TA39	Trafo Distribucion -7719	14/10/2022	Transfo Quemado de N 7719 egidos mango	10035167	14/10/2022	16/10/2022
1000025956	EB-Z3-LIN-NT2-BU00-AL03-TA11	Trafo Distribucion -7204	14/10/2022	TRANSFORMADOR QUEMADO NODO 7204	11057938	14/10/2022	16/10/2022
1000025957	EB-Z3-LIN-NT2-BU00-AL01-TA28	Trafo Distribucion -7248	14/10/2022	TRANSFORMADOR QUEMADO NODO 7248	11057940	14/10/2022	16/10/2022
1000025967	EB-Z3-LIN-NT2-SM00-AL02-TA25	Trafo Distribucion -68305	16/10/2022	FORMADOR QUEMADO NODO 68305	10035208	16/10/2022	18/10/2022
1000025968	EB-Z3-LIN-NT2-SM00-AL02-TA30	Trafo Distribucion -68332	16/10/2022	TRANSFO QUEMADO N 68332 LOS PAEZ	10035202	16/10/2022	18/10/2022
1000025971	EB-Z3-LIN-NT2-BU00-AL01-TA42	Trafo Distribucion -7232	17/10/2022	Trafo quemado nodo 7232 Maripi	11057943	17/10/2022	19/10/2022
1000025978	EB-Z3-LIN-NT2-CH00-AL04-TA66	Trafo Distribucion -38145	18/10/2022	Trafo quemado N 38145 Chiquinquirá SASA	10035209	18/10/2022	20/10/2022
1000025984	EB-Z3-LIN-NT2-CA00-AL01-TA26	Trafo Distribucion -7290	18/10/2022	transfo quemado N 7290 COPER Vd palmar.	10035245	18/10/2022	20/10/2022

Fuente: los autores

Esta tabla es alimentada en el centro de control con los reportes diarios que se reciben de los técnicos de la zona al momento que se identifica la falla en un transformador de distribución.

Como se evidencia en el reporte emitido por el centro de control, tiene una numeración consecutiva de la recepción del reporte, la ubicación técnica viene dada de un software llamado



SPARD, pero en la denominación sólo especifica que es un transformador y el nodo, cosa que es redundante en la columna denominación y, por otro lado, en la descripción da la consecuencia, sin tener en cuenta las posibles causas de la quema del transformador.

Son diversos los factores que ocasionan las fallas en los transformadores de nivel II en el occidente de Boyacá, entre los cuales se encuentran:

Incorrecta instalación técnica

Posición geográfica del transformador

Falta de conocimiento técnico de los operarios

No seguir procedimientos técnicos estandarizados

Manipulación por terceros

Falta de mantenimiento forestal

Ubicación topográfica del transformador

Falta de protecciones

Descargas atmosféricas

Sobrecarga

Falta de mantenimiento preventivo.

#### ***4.1.2 Propuesta del formulario de la toma de datos en campo***

La primera parte de la propuesta que realizamos es que, aparte de reportar la falla al centro de control, se diligencie un formulario por parte del técnico y desde un celular o computadora con internet, al cual accede por medio de su cuenta institucional al siguiente link

<https://forms.office.com/r/VsaA7nJupj>



donde se tiene en cuenta las posibles causas de la falla del transformador, como se muestra a continuación:

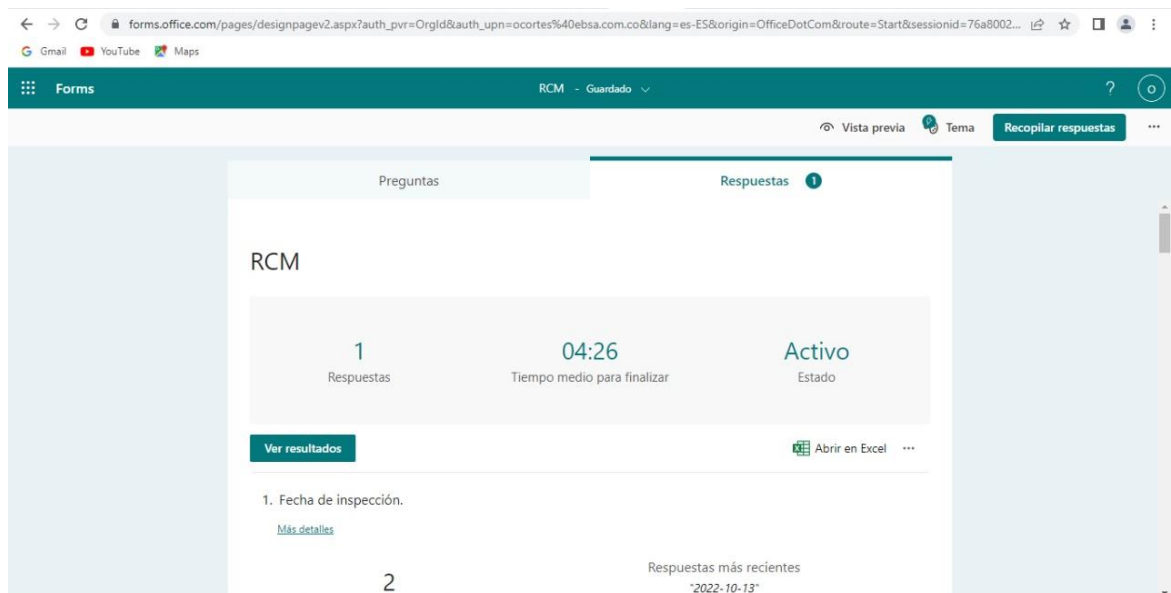
**Figura 16.** *Formulario RCM creado en Outlook 365*

Fuente: los autores

Después de diligenciar el formulario, llegará un aviso al creador de dicho formulario con los datos solicitados en la forma, los cuales pueden ser vistos en línea o descargados en un archivo Excel



**Figura 17.** Interfaz de resultados de la forma RCM en la web



fuelle: los autores

## 5. Creación del programa de RCM

Además de lo descrito anteriormente, se creó en Excel un programa, el cual será presentado a la empresa de energía de Boyacá con el fin que sea adherido al SAP que maneja la empresa.

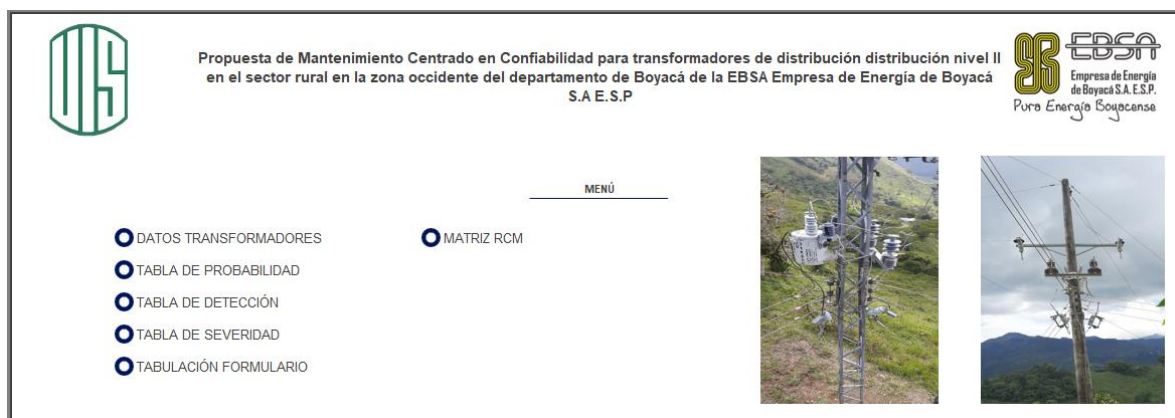
Este programa piloto se presenta a continuación:

**Figura 18.** Portada tabla de Excel para la implementación del RCM





Figura 19. Menú tabla de Excel para la implementación del RCM



Fuente: Los autores

Este programa fue alimentado con datos propios de la empresa de energía de Boyacá, en los cuales aparecen los funcionarios de la zona occidente, sus códigos SAP, la numeración de nodos de circuitos y transformadores, junto con la ubicación.



Figura 20. Datos de transformadores existentes para la implementación del RCM


NODO TRANSFORMADOR	NODO CIRCUITO	NOMBRE CIRCUITO	USUARIOS_NODO	MUNICIPIO
7089	14932	Muzo - Quipama Mina La Victoria 13,2 kV		8 Quipama
6981	14974	Saboya - Vda Merchan 13,2 kV		4 Saboya
38015	14926	Paunita - Vda Narapay 13,2 kV		13 Maripi
38041	14968	Otanche - Vda Tambria 13,2 kV		5 Otanche
38026	14968	Otanche - Vda Tambria 13,2 kV		2 Otanche

Además, incluye las tablas de los análisis realizados en la sección 7.5.7 de este trabajo



Figura 21. Tablas para la evaluación de la criticidad de los distintos modos de falla.

DATOS TRANSFORMADORES	TABLA DE PROBABILIDAD	TABLA DE DETECCIÓN	TABLA DE SEVERIDAD	TABULACIÓN FORMULARIO
MATRIZ RCM				
 <i>Propuesta de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para transformadores de distribución distribución nivel II en el sector rural en la zona occidente del departamento de Boyacá de la EBSA Empresa de Energía de Boyacá S.A E.S.P</i> 				
PROBABILIDAD - SOBRE UNA ESCALA DE 1-10, SE EVALÚA CADA PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE CADA FALLA (10= LA MÁS PROBABLE).				
FALLA FUNCIONAL	INDICE DE PROBABILIDAD DE FALLO	VALOR		
MUY ALTA: PROBLEMAS CASI INEVITABLES	<1 DE 2	10		
	1 DE 3	9		
ALTA: FALLOS REPETITIVOS	IDENTIFICAR MODOS DE PROBLEMA POTENCIALES Y SU IMPACTO EN LA CONFIABILIDAD DEL PROCESO O ACTIVIDAD	8		
	1 DE 20	7		
MODERADAS: PROBLEMAS OCACIONALES	1 DE 80	6		
	1 DE 400	5		
Portada	MENÚ	DATOS TRANSFORMADORES	<b>TABLA DE PROBABILIDAD</b>	TABLA DE DETECCIÓN

DATOS TRANSFORMADORES	TABLA DE PROBABILIDAD	TABLA DE DETECCIÓN	TABLA DE SEVERIDAD	TABULACIÓN FORMULARIO
MATRIZ RCM				
 <i>Propuesta de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para transformadores de distribución distribución nivel II en el sector rural en la zona occidente del departamento de Boyacá de la EBSA Empresa de Energía de Boyacá S.A E.S.P</i> 				
DETECCIÓN	PROBABILIDAD DE LA DETECCIÓN	VALOR		
ABSOLUTA INCERTIDUMBRE	EL CONTROL DEL DISEÑO NO PUEDE DETECTAR UNA CAUSA POTENCIAL/MECANISMO Y MODO DE FALLO SUBSECUENTE	10		
MUY REMOTA	MUY REMOTA LA PROBABILIDAD DEL CONTROL DE DISEÑO PARA DETECTAR CAUSAS POTENCIALES/MECANISMOS Y MODOS DE FALLOS	9		
REMOTA	IDENTIFICAR MODOS DE PROBLEMA POTENCIALES Y SU IMPACTO EN LA CONFIABILIDAD DEL PROCESO O ACTIVIDAD	8		
MUY BAJA	MUY BAJA LA PROBABILIDAD DEL CONTROL DE DISEÑO PARA DETECTAR CAUSAS POTENCIALES/MECANISMOS Y MODOS DE FALLOS	7		
BAJA	BAJA LA PROBABILIDAD DEL CONTROL DE DISEÑO PARA DETECTAR CAUSAS POTENCIALES/MECANISMOS Y MODOS DE FALLOS	6		
MODERADA	MODERADA LA PROBABILIDAD DEL CONTROL DE DISEÑO PARA DETECTAR CAUSAS	5		
Portada	MENÚ	DATOS TRANSFORMADORES	TABLA DE PROBABILIDAD	<b>TABLA DE DETECCIÓN</b>



DATOS TRANSFORMADORES	TABLA DE PROBABILIDAD	TABLA DE DETECCIÓN	TABLA DE SEVERIDAD	TABULACIÓN FORMULARIO
<i>Propuesta de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para transformadores de distribución distribución nivel II en el sector rural en la zona occidental del departamento de Boyacá de la EBSA Empresa de Energía de Boyacá S.A.E.S.P</i>				
	EFECTO	EFECTO DE SEVERIDAD	VALOR	
	PELIGROSO SIN ALERTA	VALOR DE SEVERIDAD MUY ALTO CUANDO UN MODO DE PROBLEMA POTENCIAL AFECTA LA OPERACIÓN DEL SISTEMA SIN ALERTA	10	
	PELIGROSO CON ALERTA	VALOR DE SEVERIDAD MUY ALTO CUANDO UN MODO DE PROBLEMA POTENCIAL AFECTA LA OPERACIÓN DEL SISTEMA CON ALERTA	9	
	MUY ALTO	IDENTIFICAR MODOS DE PROBLEMA POTENCIALES Y SU IMPACTO EN LA CONFIABILIDAD DEL PROCESO O ACTIVIDAD	8	
	ALTO	SISTEMA INOPERABLE CON EQUIPO DAÑADO	7	
	MODERADO	SISTEMA INOPERABLE CON DAÑOS MENORES	6	
	BAJO	SISTEMA INOPERABLE SIN DAÑOS	5	

Fuente: Los autores

Después de descargar la información de la forma de Outlook 365, creamos una pestaña que es la tabulación del formulario en donde se plasman los resultados la cual será alimentada por funcionarios de la Empresa de Energía de Boyacá, y se muestra a continuación

Figura 22. Tabulación de los resultados obtenidos

DATOS TRANSFORMADORES	TABLA DE PROBABILIDAD	TABLA DE DETECCIÓN	TABLA DE SEVERIDAD	TABULACIÓN FORMULARIO
<i>Propuesta de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para transformadores de distribución distribución nivel II en el sector rural en la zona occidental del departamento de Boyacá de la EBSA Empresa de Energía de Boyacá S.A.E.S.P</i>				
14.01.2022	14968	38041 Oranche	POCISIÓN GEOGRAFICA DEL TRANSFORMADOR	QUEMA DE TRANSFORMADOR CRISTIAN AGUDELO
17.01.2022	14904	38477 Chiquinquirá	MANIPULACIÓN POR TERCEROS	QUEMA DE TRANSFORMADOR OMAR CORTES
31.01.2022	14999	6730 Briceño	FALTA DE MANTENIMIENTO FORESTAL	QUEMA DE TRANSFORMADOR CRISTIAN SIACHOQUE
07.02.2022	14934	65770 Muzo	UBICACIÓN TOPOGRÁFICA	QUEMA DE TRANSFORMADOR OVIDIO SAAVEDRA
09.02.2022	14974	7132 Saboya	MANIPULACIÓN POR TERCEROS	QUEMA DE TRANSFORMADOR OVIDIO SAAVEDRA
09.02.2022	14918	7286 Coper	MANIPULACIÓN POR TERCEROS	QUEMA DE TRANSFORMADOR EDVIN AVILA
14.02.2022	14932	7050 Quipama	MANIPULACIÓN POR TERCEROS	QUEMA DE TRANSFORMADOR JD AVILA
15.02.2022	14961	7081 Quipama	INCORRECTA INSTALACIÓN TÉCNICA	QUEMA DE TRANSFORMADOR JD AVILA
21.02.2022	14948	6917 San Pablo Borbur	POCISIÓN GEOGRAFICA DEL TRANSFORMADOR	QUEMA DE TRANSFORMADOR EDVIN AVILA
23.02.2022	14905	38102 Chiquinquirá	POCISIÓN GEOGRAFICA DEL TRANSFORMADOR	QUEMA DE TRANSFORMADOR FREDY SANTANA
28.02.2022	14979	38421 Saboya	POCISIÓN GEOGRAFICA DEL TRANSFORMADOR	QUEMA DE TRANSFORMADOR OVIDIO SAAVEDRA

Los datos de la tabulación comienzan a llenar los espacios de la matriz definitiva de nuestro RCM, la cual se presenta a continuación



Figura 23. Tabla de los resultados obtenidos en el análisis.

TABLA DE PROBABILIDAD				TABLA DE DETECCIÓN				TABLA DE SEVERIDAD			
Propuesta de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para transformadores de distribución distribución nivel II en el sector rural en la zona occidental del departamento de Boyacá de la EBSA											
<b>7- MATRIZ RCM</b>											
<b>ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA AMFE (5 PRIMERAS PREGUNTAS DEL RCM)</b>											
FALLA FUNCIONAL	MODOS DE FALLA (CAUSA DE LA FALLA)	EFECTO DE LA FALLA O CONSECUENCIA (QUE OCURRE CUANDO FALLA)	PROBABILIDAD	DETECCIÓN	SEVERIDAD	NPR	TIPO DE CONSECUENCIA	TIPO DE TAREAS	TIPO DE TAREAS	TIPO DE TAREAS	TIPO DE TAREAS
ALTA: FALLOS REPETITIVOS	POSICIÓN GEOGRÁFICA DEL TRANSFORMADOR	QUEMA DE TRANSFORMADOR	7	5	7	245	OPERACIONAL	REDISEÑO	REDISEÑO	REDISEÑO	REDISEÑO
ALTA: FALLOS REPETITIVOS	POSICIÓN GEOGRÁFICA DEL TRANSFORMADOR	QUEMA DE TRANSFORMADOR	7	5	7	245	OPERACIONAL	REDISEÑO	REDISEÑO	REDISEÑO	REDISEÑO
ALTA: FALLOS REPETITIVOS	POSICIÓN GEOGRÁFICA DEL TRANSFORMADOR	QUEMA DE TRANSFORMADOR	7	5	7	245	OPERACIONAL	REDISEÑO	REDISEÑO	REDISEÑO	REDISEÑO
ALTA: FALLOS REPETITIVOS	POSICIÓN GEOGRÁFICA DEL TRANSFORMADOR	QUEMA DE TRANSFORMADOR	7	5	7	245	OPERACIONAL	REDISEÑO	REDISEÑO	REDISEÑO	REDISEÑO
MUY ALTA: PROBLEMAS CASI INEVITABLES	MANIPULACIÓN POR TERCEROS	QUEMA DE TRANSFORMADOR	10	7	10	700	OPERACIONAL	BASADA EN CONDICIÓN	BASADA EN CONDICIÓN	BASADA EN CONDICIÓN	BASADA EN CONDICIÓN
BAJA: POCAS PROBLEMAS RELATIVAMENTE	FALTA DE MANTENIMIENTO FORESTAL	QUEMA DE TRANSFORMADOR	4	4	5	120	OCULTA	CÍCLICA DE DETECCIÓN	CÍCLICA DE DETECCIÓN	CÍCLICA DE DETECCIÓN	CÍCLICA DE DETECCIÓN
BAJA: POCAS PROBLEMAS RELATIVAMENTE	UBICACIÓN TOPOGRÁFICA	QUEMA DE TRANSFORMADOR	7	5	5	175	OCULTA	BÚSQUEDA DE FALLA	BÚSQUEDA DE FALLA	BÚSQUEDA DE FALLA	BÚSQUEDA DE FALLA
MUY ALTA: PROBLEMAS CASI INEVITABLES	MANIPULACIÓN POR TERCEROS	QUEMA DE TRANSFORMADOR	10	7	10	700	SEGURIDAD	CÍCLICA DE DETECCIÓN	CÍCLICA DE DETECCIÓN	CÍCLICA DE DETECCIÓN	CÍCLICA DE DETECCIÓN
MUY ALTA: PROBLEMAS CASI INEVITABLES	MANIPULACIÓN POR TERCEROS	QUEMA DE TRANSFORMADOR	10	7	10	700	SEGURIDAD	CÍCLICA DE DETECCIÓN	CÍCLICA DE DETECCIÓN	CÍCLICA DE DETECCIÓN	CÍCLICA DE DETECCIÓN

Propuesta de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para transformadores de distribución distribución nivel II en el sector rural en la zona occidental del departamento de Boyacá de la EBSA											
<b>7- MATRIZ RCM</b>											
<b>ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA AMFE (5 PRIMERAS PREGUNTAS DEL RCM)</b>											
CIRCUITO	TRANSFORMADOR	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODOS DE FALLA (CAUSA DE LA FALLA)	EFECTO DE LA FALLA O CONSECUENCIA (QUE OCURRE CUANDO FALLA)	PROBABILIDAD	DETECCIÓN	SEVERIDAD	NPR	TIPO DE CONSECUENCIA	TIPO DE TAREAS
14151	31918	FUNCIÓN PRIMARIA	ALTA: FALLOS REPETITIVOS	POSICIÓN GEOGRÁFICA DEL TRANSFORMADOR	QUEMA DE TRANSFORMADOR	7	5	7	245	OPERACIONAL	REDISEÑO
14174	4491	FUNCIÓN PRIMARIA	ALTA: FALLOS REPETITIVOS	POSICIÓN GEOGRÁFICA DEL TRANSFORMADOR	QUEMA DE TRANSFORMADOR	7	5	7	245	OPERACIONAL	REDISEÑO
14143	31941	FUNCIÓN PRIMARIA	ALTA: FALLOS REPETITIVOS	POSICIÓN GEOGRÁFICA DEL TRANSFORMADOR	QUEMA DE TRANSFORMADOR	7	5	7	245	OPERACIONAL	REDISEÑO
14143	31941	FUNCIÓN PRIMARIA	ALTA: FALLOS REPETITIVOS	POSICIÓN GEOGRÁFICA DEL TRANSFORMADOR	QUEMA DE TRANSFORMADOR	7	5	7	245	OPERACIONAL	REDISEÑO
14194	31477	FUNCIÓN PRIMARIA	MUY ALTA: PROBLEMAS CASI INEVITABLES	MANIPULACIÓN POR TERCEROS	QUEMA DE TRANSFORMADOR	10	7	10	700	OPERACIONAL	BASADA EN CONDICIÓN
14199	4731	FUNCIÓN PRIMARIA	BAJA: POCAS PROBLEMAS RELATIVAMENTE	FALTA DE MANTENIMIENTO FORESTAL	QUEMA DE TRANSFORMADOR	4	4	5	120	OCULTA	CÍCLICA DE DETECCIÓN
14174	4570	FUNCIÓN PRIMARIA	BAJA: POCAS PROBLEMAS RELATIVAMENTE	UBICACIÓN TOPOGRÁFICA	QUEMA DE TRANSFORMADOR	7	5	5	175	OCULTA	BÚSQUEDA DE FALLA
14174	7132	FUNCIÓN PRIMARIA	MUY ALTA: PROBLEMAS CASI INEVITABLES	MANIPULACIÓN POR TERCEROS	QUEMA DE TRANSFORMADOR	10	7	10	700	SEGURIDAD	BASADA EN CONDICIÓN
14193	7214	FUNCIÓN PRIMARIA	MUY ALTA: PROBLEMAS CASI INEVITABLES	MANIPULACIÓN POR TERCEROS	QUEMA DE TRANSFORMADOR	10	7	10	700	SEGURIDAD	BASADA EN CONDICIÓN
14192	7661	FUNCIÓN PRIMARIA	MUY ALTA: PROBLEMAS CASI INEVITABLES	MANIPULACIÓN POR TERCEROS	QUEMA DE TRANSFORMADOR	10	7	10	700	SEGURIDAD	BASADA EN CONDICIÓN

del departamento de Boyacá de la EBSA Empresa de Energía de Boyacá S.A.E.S.P

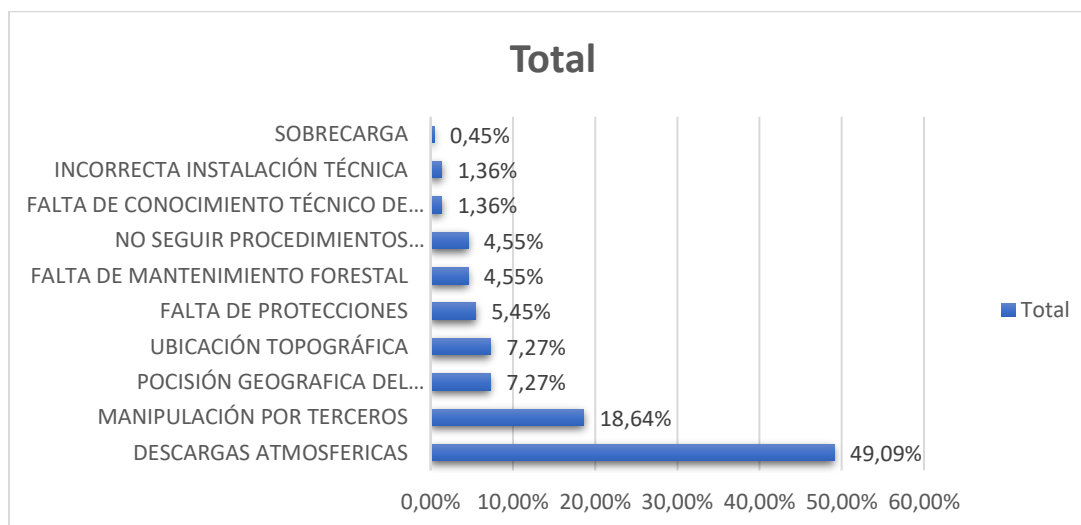
<b>TAREAS DE MANTENIMIENTO (2 ÚLTIMAS PREGUNTAS DEL RCM)</b>						
TIPO DE CONSECUENCIA	TIPO DE TAREAS	DESCRIPCIÓN DE LAS TAREAS PROPUESTAS	FRECUENCIA	EJECUTOR	HORAS HOMBRE	CUADRILLA
OPERACIONAL	REDISEÑO	se debe realizar reubicación de SFE buscando un mejor asentamiento natural	POTENCIAL (PUNTO DONDE SE DETECTA LA FALLA)	JD AVILA		
OPERACIONAL	REDISEÑO	se debe realizar reubicación de SFE buscando un mejor asentamiento natural	POTENCIAL (PUNTO DONDE SE DETECTA LA FALLA)	JULIO HERNANDEZ		
OPERACIONAL	REDISEÑO	se debe realizar reubicación de SFE buscando un mejor asentamiento natural	POTENCIAL (PUNTO DONDE SE DETECTA LA FALLA)	CRISTIAN AGUDELO		
OPERACIONAL	REDISEÑO	se debe realizar reubicación de SFE buscando un mejor asentamiento natural	POTENCIAL (PUNTO DONDE SE DETECTA LA FALLA)	CRISTIAN AGUDELO		
OPERACIONAL	BASADA EN CONDICIÓN (PDM)	localizar personal que manipule transformador, utilizar herramientas jurídicas, practicar en manipulable por terceros.	POTENCIAL (PUNTO DONDE SE DETECTA LA FALLA)	OMAR CORTES		
OCULTA	CÍCLICA DE DETECCIÓN (PM)	realizar mantenimiento forestal periódico en transformador crítico, red tronzo aislado.	POTENCIAL (PUNTO DONDE SE DETECTA LA FALLA)	CRISTIAN SIAHOQUE		
OCULTA	BÚSQUEDA DE FALLA	se debe realizar reubicación de SFE buscando un mejor asentamiento natural	POTENCIAL (PUNTO DONDE SE DETECTA LA FALLA)	OPIDIO SAAVEDRA		
SEGURIDAD	CÍCLICA DE DETECCIÓN (PM)	localizar personal que manipule transformador, utilizar herramientas jurídicas, practicar en manipulable por terceros.	POTENCIAL (PUNTO DONDE SE DETECTA LA FALLA)	OPIDIO SAAVEDRA		
SEGURIDAD	CÍCLICA DE DETECCIÓN (PM)	localizar personal que manipule transformador, utilizar herramientas jurídicas, practicar en manipulable por terceros.	POTENCIAL (PUNTO DONDE SE DETECTA LA FALLA)	EDWIN AVILA		
SEGURIDAD	CÍCLICA DE DETECCIÓN (PM)	localizar personal que manipule transformador, utilizar herramientas jurídicas, practicar en manipulable por terceros.	POTENCIAL (PUNTO DONDE SE DETECTA LA FALLA)	JD AVILA		

Fuente: Los Autores



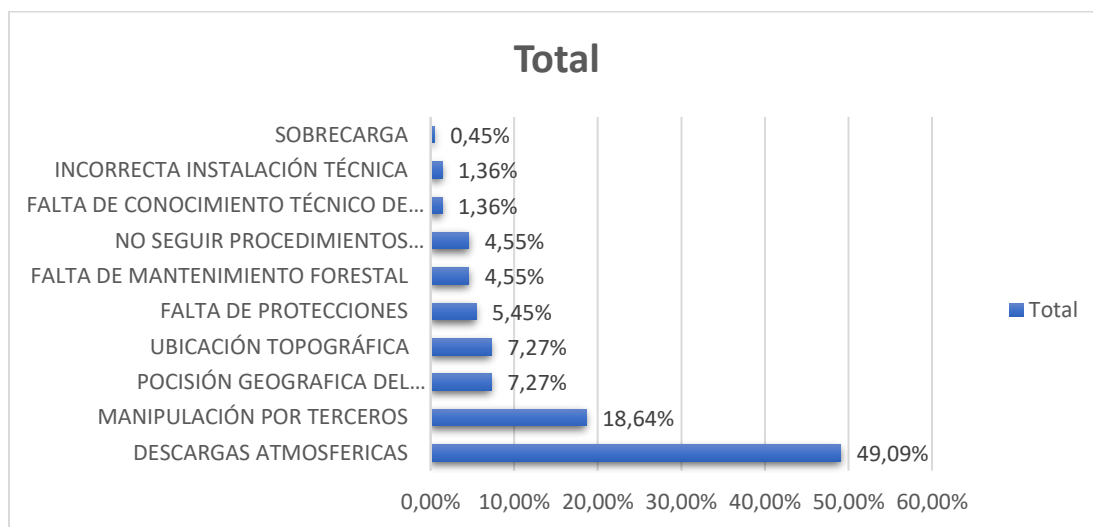
De acuerdo a los resultados de la tabla y la ponderación de los 220 eventos, se presenta los siguientes resultados en valores numéricos y en porcentaje.

CAUSA DE FALLA	NUMERO DE EVENTOS
DESCARGAS ATMOSFERICAS	108
FALTA DE CONOCIMIENTO TÉCNICO DE OPERARIOS	3
FALTA DE MANTENIMIENTO FORESTAL	10
FALTA DE PROTECCIONES	12
INCORRECTA INSTALACIÓN TÉCNICA	3
MANIPULACIÓN POR TERCEROS	41
NO SEGUIR PROCEDIMIENTOS ESTANDARIZADOS	10
POCISIÓN GEOGRAFICA DEL TRANSFORMADOR	16
SOBRECARGA	1
UBICACIÓN TOPOGRÁFICA	16
<b>Total general</b>	<b>220</b>





CAUSA DE FALLA	NUMERO DE EVENTOS
DESCARGAS ATMOSFERICAS	49,09%
FALTA DE CONOCIMIENTO TÉCNICO DE OPERARIOS	1,36%
FALTA DE MANTENIMIENTO FORESTAL	4,55%
FALTA DE PROTECCIONES	5,45%
INCORRECTA INSTALACIÓN TÉCNICA	1,36%
MANIPULACIÓN POR TERCEROS	18,64%
NO SEGUIR PROCEDIMIENTOS ESTANDARIZADOS	4,55%
POCISIÓN GEOGRAFICA DEL TRANSFORMADOR	7,27%
SOBRECARGA	0,45%
UBICACIÓN TOPOGRÁFICA	7,27%
<b>Total general</b>	<b>100,00%</b>



Los demás resultados, se presentan como anexo en una tabla de Excel, en el cual se incluyen:

- CAUSA VS # EVENTOS
- CIRCUITOS POR EVENTOS
- TRAFOS AFECTADOS TIPO FALLA



## 6. Conclusiones

Durante el estudio de la información de los transformadores existentes es notorio que la empresa de energía de Boyacá no hace mantenimiento preventivo de los equipos instalados y en la actualidad trabajan hasta la falla, los mantenimientos que realizan es sobre los circuitos que alimentan los nodos, ya que un circuito lleva varios transformadores, esta propuesta plantea una mejora bastante significativa para la planeación de los PM's en este tipo de equipos

De acuerdo a los resultados de la matriz realizada, se encuentra que los transformadores han fallado en su mayoría por descargas atmosféricas en un 49.09%, la manipulación por terceros con un 18.64%, la posición geográfica y ubicación topográfica en un 7.27% cada una, la falta de protecciones con un 5.45%, la falta de mantenimiento forestal y no seguir los procedimientos estandarizados con un 4.55% cada una, la falta de conocimiento de los técnicos y la incorrecta instalación con un 1.36% cada una y finalizando con el 0.45% por sobrecarga, obteniendo como resultado la quema de los transformadores y además, se identifica que el numero de prioridad del riesgo es bastante critico ya que la mayoría de resultados es superior a 200.

Según matriz elaborada del RCM, se plantean tareas de mantenimiento

Correctivo, para cada uno de los equipos reportados, planteando los siguientes mantenimientos. Daño por descarga eléctrica, aplicación e instalación de drenadores en la red de MT y en arranques, tomar medidas de puestas a tierra e instalación de posos capacitivos en S/E revisión de protecciones en MT y BT revisión de conexiones del sistema de puesta a tierra. Manipulación por tercero, localizar personas que manipulan trasformadores, utilizar herramientas jurídicas, instalar protecciones no manipulables por terceros. Posición geográfica del trasformador,



se debe realizar reubicación a lugar menos montañoso de la S/E, buscando apantallamiento natural. Falta de protecciones, implementar revisión e instalación de protecciones en BT Y MT para evitar daños mayores. Falta de mantenimiento forestal, realizar mantenimiento forestal periódico en transformadores críticos, cambio de red abierta por red trenzada aislada. No seguir procedimientos estandarizados, capacitación a personal de EBSA en procedimiento seguro de instalación de transformadores. Falta de conocimiento técnico de operarios, capacitación a personal de EBSA en procedimiento seguro de instalación de transformadores.

## 7. Recomendaciones

Se recomienda, capacitación al personal sobre tecnologías de la información, para que esta propuesta genere mejores resultados y se pueda desarrollar con éxito el proyecto.

## 8. Bibliografía

Boyacá, E. d. (2018). *Empresa de Energía de Boyacá* . Obtenido de <https://www.ebsa.com.co/entidad/index/historia>

Boyacá, G. d. (21 de Junio de 2012). *Gobernación de Boyacá*. Obtenido de <https://www.boyaca.gov.co/aspectos-geograficos/>

ENDESA. (2022). *Fundación Endesa*. Obtenido de <https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/corrientes-alternas-con-un-transformador-electrico>

MOUBRAY. John. *Reliability-Centered Maintenance RCM II*. New York: Industrial Press Inc, 1997. P.7



Ocampo, J. (1997). *IDENTIDAD DE BOYACÁ*. TUNJA: JOTAMAR.

SAE JA1011. Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes. Society of Automotive Engineers, Inc 1999.