

**ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE  
RECONECTADORES DE MEDIA TENSIÓN EN LAS SUBESTACIONES DE  
EPM**

**LEIDY ORTIZ DUARTE**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA ELÉCTRICA  
MEDELLÍN  
2023**

**ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE  
RECONECTADORES DE MEDIA TENSIÓN EN LAS SUBESTACIONES DE  
EPM**

**LEIDY ORTIZ DUARTE**

**Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Electricista**

**Asesor**

**William Orozco Murillo**

**Msc en Gestión Energía Industrial**

**Jortin Vargas Ortega**

**Msc en Gestión de la informática Educativa**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**MEDELLÍN**

**2020**

## Contenido

	<b>Pág.</b>
Resumen .....	7
Introducción .....	11
1. Planteamiento del problema .....	12
1.1 Descripción .....	12
1.2 Formulación .....	12
2. Justificación.....	13
3. Objetivos .....	14
3.1 Objetivo general .....	14
3.2 Objetivos específicos .....	14
4. Referentes teóricos .....	15
4.1 Reconnectores .....	15
4.1.1 Función del Reconnectador.....	16
4.1.2 Características Operativas.....	16
4.1.3 Componente de un Reconnectador.....	17
4.1.4 Operación del Reconnectador.....	17
4.2 Mantenimiento del reconnector .....	18
4.2.1 Mantenimiento preventivo.....	18
4.2.2 Normas del Mantenimiento.....	18
5. Metodología .....	20
5.1 Tipo de proyecto.....	20
5.2 Método.....	20
5.3 Instrumentos de recolección de información.....	21
5.3.1 Fuentes primarias.....	21
5.3.2 Fuentes secundarias.....	21
6. Resultados .....	22

6.1	Infraestructura del reconectador, Pruebas de diagnóstico, Modos de falla e Interacción con el software .....	22
6.1.1	Infraestructura de un Reconectador.....	22
6.1.2	Pruebas de diagnósticas.....	28
6.1.3	Modos de Fallas. ....	33
6.1.4	Interacción con el Software y programación.....	33
6.2	Mantenimiento Centrado en Confiabilidad .....	39
6.2.1	Fallas Funcionales. ....	39
6.2.2	Modos de fallas. ....	40
6.2.3	Efectos de falla. ....	40
6.2.4	Consecuencias de la falla. ....	42
6.2.5	¿Qué logra el RCM?.....	50
6.3	Validación del modelo de plan estratégico de mantenimiento preventivo .....	50
6.3.1	Índice de Condición del Reconectador.....	50
7.	Presupuesto.....	60
8.	Cronograma.....	61
9.	Conclusiones .....	62
10.	Recomendaciones.....	63
11.	Referencias bibliográficas .....	64

## Lista de figuras

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Proceso de recierre en unidad de operación .....	17
<b>Figura 2.</b> Infraestructura del Reconectador Automático.....	22
<b>Figura 3.</b> Operación de cierre y apertura del Reconectador .....	23
<b>Figura 4.</b> Carcasa de aislamiento .....	24
<b>Figura 5.</b> Dispositivo de disparo/cierre/bloqueo manual .....	24
<b>Figura 6.</b> Cubículo mando de control .....	25
<b>Figura 7.</b> Actuador Magnético en estado cerrado .....	26
<b>Figura 8.</b> Transformador de corriente .....	26
<b>Figura 9.</b> Transformador de tensión.....	27
<b>Figura 10.</b> Módulo de control .....	28
<b>Figura 11.</b> Umbral de tensión de flameo graficado vs presión en botellas de vacío .....	31
<b>Figura 12.</b> Inicio de programa ETIMS.....	34
<b>Figura 13.</b> Despliegue de menú de selección.....	35
<b>Figura 14.</b> Indicador de conexión estable .....	35
<b>Figura 15.</b> Activación de panel de control.....	36
<b>Figura 16.</b> Variables de voltaje y corriente en tiempo real.....	36
<b>Figura 17.</b> Ajustes generales de equipo .....	37
<b>Figura 18.</b> Guardar cambios.....	37
<b>Figura 19.</b> Menú de maintenace count.....	38
<b>Figura 20.</b> Ingreso a diagnósticos y eventos .....	38
<b>Figura 21.</b> Descarga programación .....	39
<b>Figura 22.</b> Acciones a falta de .....	44
<b>Figura 23.</b> Preguntas “a falta de” Para Hoja de Decisiones RCM.....	46
<b>Figura 24.</b> Diagrama de toma de decisiones para la programación del mantenimiento .....	54
<b>Figura 25.</b> Diagrama de toma de decisiones para la programación del mantenimiento Reconectores EPM .....	58

## Lista de tablas

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1.</b> Valores del ensayo de resistencia de aislamiento .....	30
<b>Tabla 2.</b> Nivel de tensión de ensayo de aislamiento a frecuencia industrial (kV) .....	32
<b>Tabla 3.</b> Hoja de Trabajo de Información RCM (Modulo de control).....	41
<b>Tabla 4.</b> Hoja de Trabajo de Información RCM (Modulo de potencia) .....	42
<b>Tabla 5.</b> Columna 1 y 2 de la Hoja de Decisión RCM .....	44
<b>Tabla 6.</b> Registro de tareas proactivas en Hoja de decisión RCM.....	46
<b>Tabla 7.</b> Columna de Tareas propuestas, Frecuencia inicial y “A realizar por” Para Hoja de Decisiones RCM.....	47
<b>Tabla 8.</b> Hoja de trabajo de decisión CRM (Modulo de Control).....	48
<b>Tabla 9.</b> Hoja de trabajo de decisión CRM (Modulo de Potencia) .....	49
<b>Tabla 10.</b> Puntuaciones de criterio para el cálculo de la condición del Reconectador .....	52
<b>Tabla 11.</b> Factor de Ponderación para el cálculo de la Condición.....	52
<b>Tabla 12.</b> Puntuación y factores de ponderación para el cálculo del índice de importancia .....	53
<b>Tabla 13.</b> Puntuaciones para el cálculo de la condición del Reconectador #1.....	55
<b>Tabla 14.</b> Factor de Ponderación para el cálculo de la Condición del Reconectador #1 .....	56
<b>Tabla 15.</b> Índice de condición e índice de importancia de 12 Reconectores pertenecientes a EPM .....	58
<b>Tabla 16.</b> Presupuesto para la realización del trabajo de grado .....	60
<b>Tabla 17.</b> Cronograma de actividades para la realización del trabajo de grado.....	61

## **Resumen**

# **ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE RECONECTADORES DE MEDIA TENSIÓN EN LAS SUBESTACIONES DE EPM**

**LEIDY ORTIZ DUARTE**

Empresas públicas de Medellín cuenta con una infraestructura de 151 Subestaciones de energía donde se tiene una población de 216 Reconectores trifásicos; este grupo de reconectores no cuentan con un plan de mantenimiento preventivo, lo que conlleva a daños catastróficos o pérdidas de los activos. El objetivo de este proyecto es elaborar un plan de Mantenimiento Preventivo para Reconectores de media tensión, con el fin de mejorar la calidad del servicio, optimizando las inversiones en infraestructura, reduciendo costos operativos y haciendo una red de distribución más eficiente. Para alcanzar los objetivos de este proyecto primero se identificarán factores ambientales y de operación de la red que afectan la eficiencia de los reconectores, aprendiendo a reconocer y buscar las fallas, a ejecutar pruebas de rutina, y validar su estado de funcionamiento para ingresar en operación. Obteniendo información de las bases de datos de la operación real del sistema de distribución, se puede definir y establecer las actividades que eviten el deterioro de los equipos y los daños recurrentes. Después de haber validado este modelo se puede concluir además que al enfocarse en el mantenimiento de reconectores con niveles críticos altos se evitan trabajos de mantenimiento innecesarios y redundantes al tiempo que se ofrece un servicio de distribución eléctrica más eficiente.

*Palabras claves:* Reconector, Mantenimiento preventivo, Eficiencia, Distribución.

## **Abstract**

Empresas Públicas de Medellín has an infrastructure of 151 power substations with a population of 216 three-phase reclosers; this group of reclosers does not have a preventive maintenance plan, which leads to catastrophic damage or loss of assets. The objective of this project is to develop a preventive maintenance plan for medium voltage reclosers in order to improve the quality of service, optimizing investments in infrastructure, reducing operating costs and making the distribution network more efficient. To achieve the objectives of this project we will first identify environmental and network operation factors that affect the efficiency of the reclosers, learning to recognize and search for faults, to perform routine tests, and validate their operating status to enter into operation. By obtaining information from the databases of the actual operation of the distribution system, it is possible to define and establish activities to avoid equipment deterioration and recurrent damage. After having validated this model, it can be further concluded that by focusing on the maintenance of reclosers with high critical levels, unnecessary and redundant maintenance works are avoided while offering a more efficient electrical distribution service.

*Keywords:* Recloser, Preventive maintenance, Efficiency, Distribution.



## Glosario

**Circuito Eléctrico:** Es la interconexión de dos o más componentes que contiene una trayectoria cerrada. Dichos componentes pueden ser resistencias, fuentes, interruptores, condensadores, semiconductores o cables (Gardey & Perez, 2021)

**Desempeño:** Desempeño es el acto de cumplir una obligación, realizar una actividad, dedicarse a una tarea. Esta acción también puede vincularse a la representación de un papel (Perez & Merino, 2021)

**Distribución:** Comprende toda la infraestructura y la organización que posibilita la llegada de productos y servicios a los mayoristas, a los minoristas y/o a los consumidores finales, de modo que involucra numerosos aspectos, que a menudo funcionan como eslabones de una cadena, entre ellos se ubica el transporte y el equipo humano (Etecé, 2021)

**Eficiencia:** La eficiencia tiene que ver con el vínculo entre la energía que se invierte y la energía que se aprovecha en un procedimiento o en un sistema (Perez & Gardey, Eficiencia - Qué es, definición, en la física y en la economía., 2021)

**Energía:** La energía es la capacidad de los cuerpos para realizar un trabajo y producir cambios en ellos mismos o en otros cuerpos. Es decir, el concepto de energía se define como la capacidad de hacer funcionar las cosas (Endesa, 2023)

**Función:** Hablamos de una función, en su sentido más simple cuando se procede a la elaboración de un sistema de acciones que conducen a la terminación de un plan. Esta puede referirse a la razón para lo que algo sirve (Martinez, 2023)

**Mantenimiento:** Consiste en la realización de una serie de actividades, como reparaciones y actualizaciones, que permiten que el paso del tiempo no afecte al rendimiento de un bien de capital, propiedad de la empresa. La realización de un correcto mantenimiento es necesario en todas las actividades económicas, además de que exige una serie de gastos por parte de la organización (Guillermo, 2020)

**Modelación:** Se usan modelos como referentes de lo que se quiere construir, realizando un diagrama previo, que ayude a observar las interrelaciones de este complejo sistema (Fingermann, 2014)

**Potencia:** Es el resultado de multiplicar la diferencia de potencial entre los extremos de una carga y la corriente que circula allí (Perez & Merino, Potencia, 2021)

**Proyecto:** Se entiende por proyecto a una planificación consistente en un conjunto de actividades que se encuentran interrelacionadas y coordinadas, con el fin expreso de alcanzar resultados específicos en el marco de las limitaciones impuestas por factores previos condicionantes: un presupuesto, un lapso de tiempo o una serie de calidades establecidas (Etecé, 2021)

**Reconector:** Es un interruptor con reconexión automática, instalado preferentemente en líneas de distribución. Es un dispositivo de protección capaz de detectar una sobre-corriente, interrumpirla y reconectar automáticamente para re-energizar la línea (SectorElectricidad, 2017)

**Seguridad:** La seguridad consiste en la contención de los riesgos dentro de niveles considerados normales o aceptables, dado que el riesgo jamás puede ser eliminado en su totalidad en ningún contexto (Etecé, 2020)

**Sobrecarga:** La sobrecarga eléctrica es un fenómeno que se produce cuando hay un exceso de consumo eléctrico que provoca que la intensidad de la corriente que atraviesa un circuito eléctrico sea mayor que la intensidad máxima que soporta ese mismo circuito (EnergyGo, 2023)

**Software:** El software es un conjunto de reglas o programas que dan instrucciones a un ordenador para que realice tareas específicas. También se conoce como aplicaciones de software, paquetes de software, herramientas de software y programas de software. El software puede utilizarse para gestionar datos, automatizar procesos y crear aplicaciones o productos informáticos (Armetrics, 2022)

**Subestación:** Las subestaciones eléctricas son instalaciones encargadas de realizar transformaciones de tensión, frecuencia, número de fases o conexiones de dos o más circuitos. Se ubican cerca de las centrales generadoras, en la periferia de las zonas de consumo o en el exterior e interior de los edificios (Endesa, 2023)

## **Introducción**

Empresas Públicas de Medellín (EPM), tiene un importante número de reconectores trifásicos destinados a la atención del servicio de energía en los municipios de Antioquia, estos equipos incorporan tecnologías recientes como son cámaras de vacío, controles automáticos, relé de protección, comunicaciones, etc. Estos reconectores requieren diferentes formas y grados de atención para su funcionamiento. El propósito de este proyecto es proponer un plan estratégico de mantenimiento que abarque la atención de estos componentes y estas tecnologías, mediante una modelación y las aplicaciones técnicas de RCM, para buscar una disponibilidad de los activos y una continuidad en el servicio, cumpliendo con los indicadores de desempeño SAIDI y SAIFI que exige la Regulación Nacional.

## **1. Planteamiento del problema**

### **1.1 Descripción**

Empresas públicas de Medellín, es un operador de red que atiende el mercado de distribución de energía en el Departamento de Antioquia. Para ello cuenta con una infraestructura importante de 151 Subestaciones de energía, entre las cuales se tienen 34 subestaciones de configuración reducida, que a su vez tienen reconectores de media tensión para conectar las salidas de circuito de 13,2 kV desde las subestaciones hacia la red de distribución. En dichas subestaciones se tiene una población de 216 Reconectores trifásicos.

Este grupo de reconectores no cuentan con un plan de mantenimiento preventivo, lo que implica que EPM atiende estos activos con Mantenimientos Correctivos, lo que conlleva a daños catastróficos o pérdidas de los activos. Formular un plan de mantenimiento Preventivo permite una mayor duración de los equipos e instalaciones, uniformidad en la carga de trabajo para el personal de mantenimiento debido a una programación de actividades, los equipos operan en mejores condiciones de seguridad y hay un menor costo de las reparaciones (Lievano, 2006)

Si no se realiza el mantenimiento a tiempo, pueden ocurrir una serie de problemas y consecuencias negativas, tanto a corto como a largo plazo; que hacen que la empresa pierda valor en varios escenarios. Entre las principales problemáticas se encuentra: graves consecuencias para las personas que los manipulan, fallas eléctricas, sobrecargas, baja calidad del producto o daños a la maquinaria (SolucionesEnEnergia, 2023)

### **1.2 Formulación**

¿Cómo afecta la falta de un plan de mantenimiento preventivo en los reconectores de EPM a la prestación del servicio de energía y al tiempo de respuesta a fallas en la red eléctrica?

## **2. Justificación**

Actualmente, EPM necesita elaborar estrategias y planes de mantenimientos orientados a realizar una gestión técnica, adecuada y suficiente para la población de reconectores de media tensión que están operando en la red de distribución desde hace un tiempo y que busca garantizar la confiabilidad del suministro de energía eléctrica a unos costos eficientes y razonables; gestionando la vida útil de los equipos de corte y maniobra, generando valor a la comunidad.

### **3. Objetivos**

#### **3.1 Objetivo general**

Elaborar un plan de Mantenimiento Preventivo de los Reconectores de media tensión, con el fin de mejorar la calidad del servicio (SAIFI, SAIDI), optimizando las inversiones en infraestructura, reduciendo costos operativos y haciendo una red de distribución más eficiente.

#### **3.2 Objetivos específicos**

Conocer la infraestructura del reconector en cuanto a sus componentes en la parte de potencia, módulo de control, pruebas de diagnóstico, la interacción con el software y su programación y definición de modos de falla.

Proponer una metodología basada en RCM (Mantenimiento centrado en la confiabilidad) que tenga en cuenta los modos de falla y las actividades que previenen la ocurrencia de dichos modos, con el fin de estructurar un plan de tareas y actividades.

Validar el modelo con datos estadísticos, obtenidos de la operación real del sistema.

## 4. Referentes teóricos

### 4.1 Reconectores

Los equipos de Reconectores son parte esencial de la red, monitorean sistemas de corriente, voltaje, sistema de comunicaciones, control y protecciones; que en conjunto desarrollan procesos de corte, reconexión y protección de la línea.

El Reconector es un interruptor con reconexión automática, instalado preferentemente en líneas de distribución. Es un dispositivo de protección capaz de detectar una sobre corriente, interrumpirla y reconectar automáticamente para re-energizar la línea. Está dotado de un control que le permite realizar varias reconexiones sucesivas, pudiendo, además, variar el intervalo y la secuencia de estas reconexiones (Campuzano, 2014)

En EPM eran utilizados anteriormente dos tipos de Reconectores: Reconector de extinción del arco al vacío y Reconector de extinción del arco con gas sf<sub>6</sub>, sin embargo, en la actualidad se ha optado por conservar únicamente los Reconectores de extinción del arco al vacío.

- Reconector de extinción del arco al vacío: Este Equipo utiliza interruptores cuya operación es tripolar y el vacío como medio de extinción de arco. Aislado con una espuma y un actuador magnético único para la apertura y para el cierre (Edaltec Group, 2021)
- Reconector de extinción del arco con gas sf<sub>6</sub>: Este es un equipo eléctrico de interrupción (corriente de falla y apertura bajo carga) con capacidad de recierre automático. En realidad, está provisto de cámaras de extinción de arco en vacío y puede ser suministrado con aislamiento en gas SF<sub>6</sub> o en resina. Cuenta con transformadores de corriente y sensores de tensión que le permiten monitorear de forma eficiente mediante un relé de control y protección el estado de la línea de distribución. Posee una serie de protecciones configurables mediante un panel de control o PC (Edaltec Group, 2021)

### **4.1.1 Función del Reconectador.**

La función de un Reconectador se basa en la detección de una sobrecarga o un cortocircuito en la red eléctrica e inmediatamente apagarla, un instante después el Reconectador vuelve a reestablecer la energía, pero si el problema sigue presente, abre el circuito nuevamente. Si el problema sigue presente después de tres intentos, el Reconector está programado para considerar que el problema es permanente y permanece abierto. Luego, el personal de la compañía de energía debe reparar el problema en la línea y restablecer el Reconector para restablecer la energía (Eaton, 2023)

### **4.1.2 Características Operativas.**

Disparo y control: El tiempo de disparo se identifica como la curva tiempo-corriente (TCC) e incluye tanto la característica del control como el tiempo de operación del mecanismo. Este tiempo se denomina tiempo total de despeje y variará en función del nivel de corriente de falla (IEEE std, 2018)

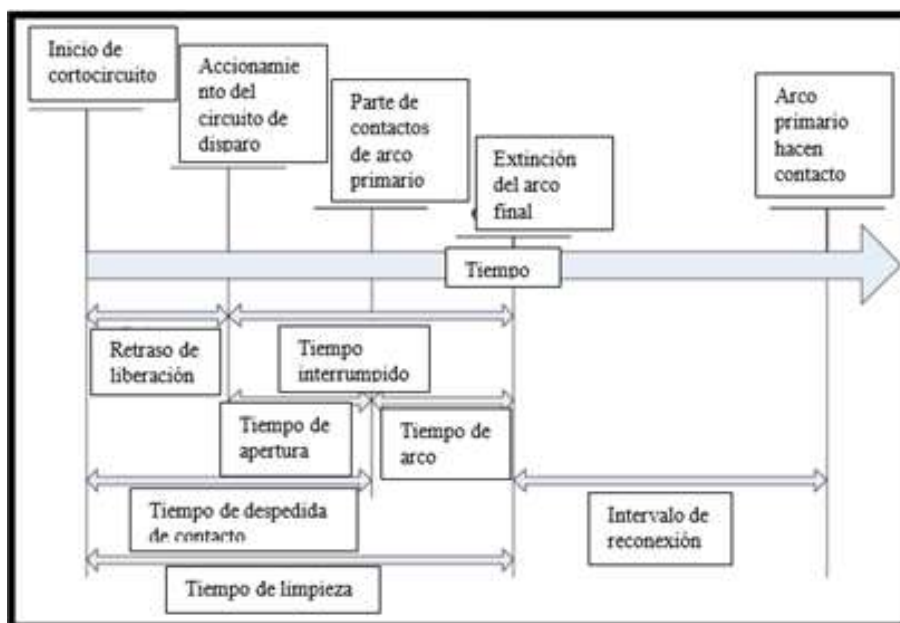
Función de bloqueo (a veces denominada función de bloqueo-apertura): la función de bloqueo evita cualquier otra operación de recierre y también puede ser iniciada por comandos locales o supervisión. En funcionamiento normal, un reconectador automático termina en bloqueo después de que ha operado a través de su número total de operaciones programadas y no pudo Restaurar la energía al circuito (IEEE std, 2018)

Intervalo de reposición: Es el tiempo que transcurre después de una o más operaciones para restablecer las operaciones al número total de operaciones programadas. Para un reconectador típico de cuatro disparos, si la falla es temporal y el reconectador vuelve a cerrar con éxito en el segundo intervalo de recierre, el intervalo de reinicio es el tiempo para que el reconectador regrese a la secuencia de operación de cuatro disparos, tres recierres (IEEE std, 2018)

Intervalo de recierre: Es la duración del tiempo abierto entre las operaciones de disparo y el recierre de los contactos, el Reconectador proporciona varios intentos de recierre, normalmente



tres para evitar una interrupción (IEEE std, 2018). En la Figura 1 se puede observar dicho proceso.



**Figura 1.** Proceso de recierre en unidad de operación

Nota: Adaptado de *Unidad de operación*, de Comisión Internacional Electrotecnológica, 2018

Fuente: Extraído de <https://www.studocu.com/cl/document/pontificia-universidad-catolica-de-valparaiso/protecciones-de-sistemas-electricos/ieee-c3760-2018-gracias/70782142>

#### 4.1.3 Componente de un Reconector.

El reconector se compone de las siguientes partes: Unidad de Interrupción, Actuador Magnético, Carcasa de Aislamiento, Batería y Cargador de batería, Cubículo de Mando, Transformador de corriente (TC), Transformador Potencial (TP)

#### 4.1.4 Operación del Reconector.

Puede ser operado de manera local y remota. La operación local se realiza en el sitio de instalación y requiere la intervención de una persona que conozca el equipo y tenga las herramientas necesarias. La operación remota la realiza el Centro de Control que monitorea constantemente el estado y funcionamiento de los equipos y envía comandos de apertura o cierre o ejecutar maniobras a necesidad del operador de red.

## **4.2 Mantenimiento del reconectador**

El mantenimiento consiste en llevar a cabo diferentes actividades que buscan identificar el estado operativo del equipo o alguna anomalía presente, entre las tareas básicas que se incluyen en el mantenimiento encontramos: Inspección Visual, lubricación de mecanismos, limpieza de componentes, pruebas eléctricas y de Comunicación.

El Mantenimiento que se propone con este proyecto es de tipo Preventivo Centrado en la confiabilidad, lo que nos conduce a identificar los componentes y modos de fallas de cada uno.

### **4.2.1 Mantenimiento preventivo.**

El mantenimiento preventivo, o mantenimiento técnico planificado, consiste en trabajar en los equipos a intervalos regulares o según criterios predefinidos. Su objetivo principal es reducir el riesgo de averías en bienes, máquinas y equipos, pero también ayuda a conseguir objetivos más generales. Por esta razón, la mayoría de las fábricas y empresas buscan aumentar la proporción de mantenimiento preventivo implementado en contraposición al mantenimiento correctivo (Talva, 2022)

### **4.2.2 Normas del Mantenimiento.**

Todos los reconectores deben recibir mantenimiento después de varias operaciones, después de un intervalo de tiempo, de acuerdo con las recomendaciones del fabricante o la experiencia operativa, cumpliendo con las normas que rigen la operación como la ANSI C37.61 (1973), IEEE Std C37.60 (2018) y IEC 62271-111 (2019)

Mantenimiento basado en el tiempo transcurrido: Las inspecciones iniciales deben realizarse de acuerdo con las recomendaciones del fabricante. La frecuencia de la inspección y el mantenimiento variará según el servicio operativo y las condiciones locales (Las condiciones locales de humedad y temperatura pueden afectar la frecuencia del mantenimiento) Un examen exhaustivo de los registros de mantenimiento que se extiendan a lo largo de varios años será útil para determinar los programas de mantenimiento adecuados (ANSI, 1973)

Mantenimiento basado en el número de operaciones: Los reconvertadores pueden recibir mantenimiento después de un cierto número de operaciones determinadas a partir de las lecturas del contador de operaciones del reconvertador (ANSI, 1973)

Mantenimiento basado en el tiempo transcurrido y el número de operaciones: En mantenimiento de reconvertadores; el uso del intervalo de tiempo únicamente como base para el servicio no tiene en cuenta la frecuencia y severidad de las operaciones del reconvertador. Por otra parte, el uso exclusivo del número de operaciones ignora el tiempo transcurrido durante el cual el petróleo puede haberse deteriorado. Un método sugerido para combinar el tiempo transcurrido y los factores de operación es el siguiente: El mantenimiento y la inspección interna de los reconvertadores deben realizarse cada 100 operaciones o cada tres años, lo que ocurra primero. Sin embargo, la experiencia operativa con diseños particulares es la mejor base para establecer programas de mantenimiento (ANSI, 1973)

## **5. Metodología**

### **5.1 Tipo de proyecto**

Para realizar este proyecto de investigación aplicada, primero se debe indagar a profundidad la temática de los reconectores, es decir, sus componentes, su modo de operación, configuración de software y la interacción con los sistemas de comunicaciones y de automatización, además de estudiar los manuales de fabricantes y las normas técnicas disponibles. Como vemos se estarán adquiriendo nuevos conocimientos, pero adicionalmente el proyecto constará de un segundo momento en donde se realizará la guía de mantenimiento preventivo para los Reconectores pertenecientes a las subestaciones de EPM.

### **5.2 Método**

Para alcanzar los objetivos de este proyecto primero se identificarán factores ambientales y de operación de la red que afectan la eficiencia de los reconectores, aprendiendo a reconocer y buscar las fallas, a ejecutar pruebas de rutina, y validar su estado de funcionamiento para ingresar en operación. Haciendo uso de las fuentes de información, se empleará una metodología de estudio del comportamiento de fallas de los reconectores que están en operación para deducir unos parámetros que nos indiquen las características propias que se aplicarían a un modelo teórico de tasa de fallas. El modelo propuesto también involucra un modelo de gestión de activos que tiene en cuenta las matrices de criticidad y el ciclo de vida del activo.

Obteniendo información de las bases de datos de la operación real del sistema de distribución, se pueden obtener los coeficientes para aplicar una formulación del modelo y de este modo hacer una validación del comportamiento de los reconectores. En consecuencia, definir y establecer las actividades que eviten el deterioro de los equipos y los daños recurrentes.

Se utilizarán además los Software ENTEC y COOPER como referente para las simulaciones a realizar, ya que son un sistema de programación que ofrece un entorno de desarrollo integrado (IDE) con un lenguaje de programación propio.

### **5.3 Instrumentos de recolección de información**

#### **5.3.1 Fuentes primarias.**

Información recolectada de las diferentes capacitaciones con personal técnico del equipo Gestión Técnica de la Unidad de servicios de Mantenimiento y distribución.

#### **5.3.2 Fuentes secundarias.**

Información obtenida de Manuales, Informes y Guías de Mantenimiento elaborados por personal del Equipo de Gestión Técnica y también de revistas especializadas en el ramo de la ingeniería Eléctrica.

- Manual de Software de ENTEC (Para realizar las Pruebas de Rutina)
- Manual de procedimiento de programación relé ENTEC
- Guía Técnica para la Configuración de Parámetros y Verificación del Estado de los Reconnectores ENTEC
- Documentos técnicos producidos por autores e investigadores que publican sus artículos en la revista IEEE

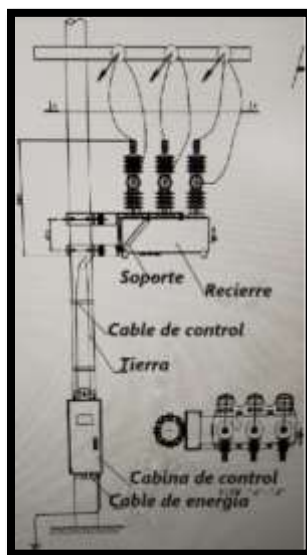
## 6. Resultados

### 6.1 Infraestructura del reconectador, Pruebas de diagnóstico, Modos de falla e Interacción con el software

#### 6.1.1 Infraestructura de un Reconectador

La infraestructura de un Reconectador, desempeña una función fundamental en la gestión y protección de sistemas eléctricos. Principalmente controla el flujo de energía eléctrica en la red y restaura automáticamente el suministro eléctrico después de una interrupción momentánea.

El reconectador se instala en un poste exterior con un soporte conectado a la parte superior del gabinete (Ver Figura 2), adicionalmente contenidos en el disyuntor se encuentran: el interruptor de vacío que se encarga del disparo /cierre del equipo, el actuador magnético que convierte una señal eléctrica o magnética en movimiento mecánico y el transformador de corriente (CT) que proporciona información esencial para el monitoreo de la carga.



**Figura 2.** Infraestructura del Reconectador Automático

Nota: Tomado del Manual de Usuario, *EPR Reconectador automático*, Entec Electric & Electronic Co, 2016

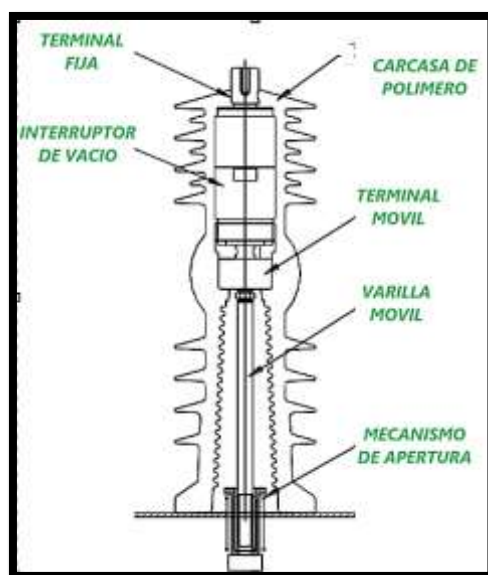
Fuente: Extraído de Chrome

extension://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/https://www.face.coop/legislacion/index.php?option=com\_attachments&task=download&id=1797

A continuación, se mencionan cada uno de los elementos que conforman la estructura del Reconectador:

#### *Interruptor.*

El Interruptor del Reconectador trifásico es separado con aislamiento completo e instalado en una carcasa aislada y es operado por la misma varilla de aislamiento que está conectada al final del contacto móvil, esta transfiere una fuerza impulsora del actuador magnético al interruptor para operación de cierre y apertura (Ver Figura 3).



**Figura 3.** Operación de cierre y apertura del Reconectador

Nota: Tomado del Manual de Usuario, *EPR Reconectador automático*, Entec Electric & Electronic Co, 2016

Fuente: Extraído de chrome-

extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.face.coop/legislacion/index.php?option=com\_attachments&task=download&id=1797

#### *Transformador de corriente.*

El Transformador de corriente (CT) está moldeado dentro de la carcasa de aislamiento y su función principal es monitorear las diferentes fallas que existen en el sistema y enviar las señales a la electrónica de control (Ver Figura 4).



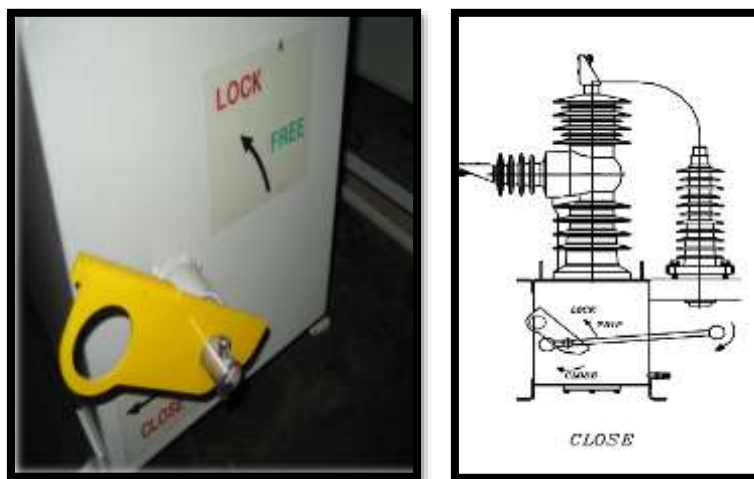
**Figura 4.** Carcasa de aislamiento

Nota: Tomado del Manual de Usuario, *EPR Reconectador automático*, Entec Electric & Electronic Co, 2016

Fuente: Extraído de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.face.coop/legislacion/index.php?option=com\_attachments&task=download&id=1797

*Dispositivo de disparo/cierre/bloqueo manual.*

El Dispositivo de disparo/cierre/bloqueo manual está ubicado en el lado frontal del gabinete de acero inoxidable, esto permite durante fallas en el circuito de control o reparación de la línea maniobrar utilizando una pértiga desde el nivel del suelo (Ver Figura 5).



**Figura 5.** Dispositivo de disparo/cierre/bloqueo manual

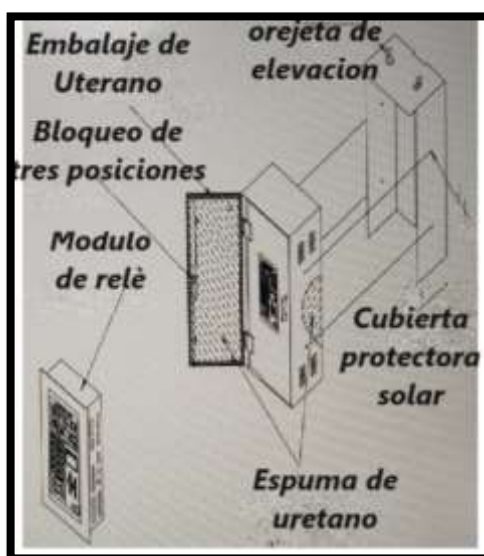
Nota: Tomado del Manual de Usuario, *EPR Reconectador automático*, Entec Electric & Electronic Co, 2016

Fuente: Extraído de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.face.coop/legislacion/index.php?option=com\_attachments&task=download&id=1797



### *Cubículo del mando de control.*

El Cubículo del mando de control está diseñado para montajes expuestos al aire libre con un grado de protección muy alto, la puerta está bloqueada con un dispositivo de bloqueo de tres posiciones y sellada con empaques de uretano reemplazable, todos los respiradores están protegidos contra la entrada de insectos, el microprocesador está completamente sellado contra entrada de agua (ENTECH ELECTRIC & ELECTRONIC CO., 2016) (Ver Figura 6).



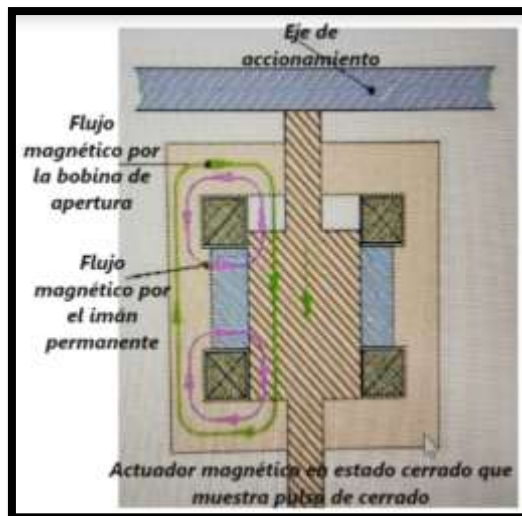
**Figura 6.** Cubículo mando de control

Nota: Tomado del Manual de Usuario, *EPR Reconectador automático*, Entec Electric & Electronic Co, 2016

Fuente: Extraído de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.face.coop/legislacion/index.php?option=com\_attachments&task=download&id=1797

### *Actuador magnético.*

El Actuador magnético funciona mediante el circuito de rectificación con el voltaje CA de 110 o 220 V suministrado desde fuentes de alimentación externas y la batería cargada con las fuentes de voltaje bajo o la batería primaria de CC. Dado que el actuador utiliza enganche magnético y utiliza la bobina de disparo y cierre por separado, puede proporcionar una operación sin mantenimiento (Ver Figura 7).



**Figura 7.** Actuador Magnético en estado cerrado

Nota: Tomado del Manual de Usuario, *EPR Reconectador automático*, Entec Electric & Electronic Co, 2016

Fuente: Extraído de chrome-

extension://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/https://www.face.coop/legislacion/index.php?option=com\_attachments&task=download&id=1797

*Transformador de corriente.*

El Transformador de corriente está localizado en la parte interna del interruptor y tiene como fin monitorear la corriente en la red, lo que le permite enviar señales para mantener el dispositivo en funcionamiento en caso de fallas de sobre corrientes y proteger los equipos relacionados (Ver Figura 8).



**Figura 8.** Transformador de corriente

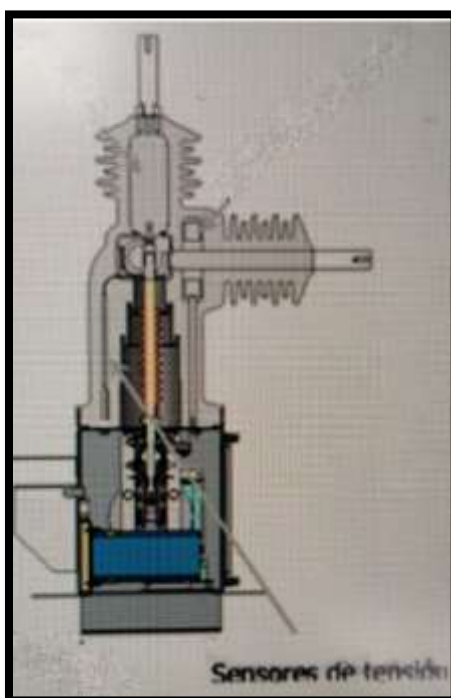
Nota: Tomado del Manual de Usuario, *EPR Reconectador automático*, Entec Electric & Electronic Co, 2016

Fuente: Extraído de chrome-

extension://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/https://www.face.coop/legislacion/index.php?option=com\_attachments&task=download&id=1797

### *Transformador de tensión.*

El Transformador de Tensión está localizado en la parte interna del interruptor y tiene como fin monitorear la tensión en la red, lo que le permite enviar señales para mantener el dispositivo en funcionamiento en caso de fallas o sobretensiones y proteger los equipos relacionados (Ver Figura 9).



**Figura 9.** Transformador de tensión

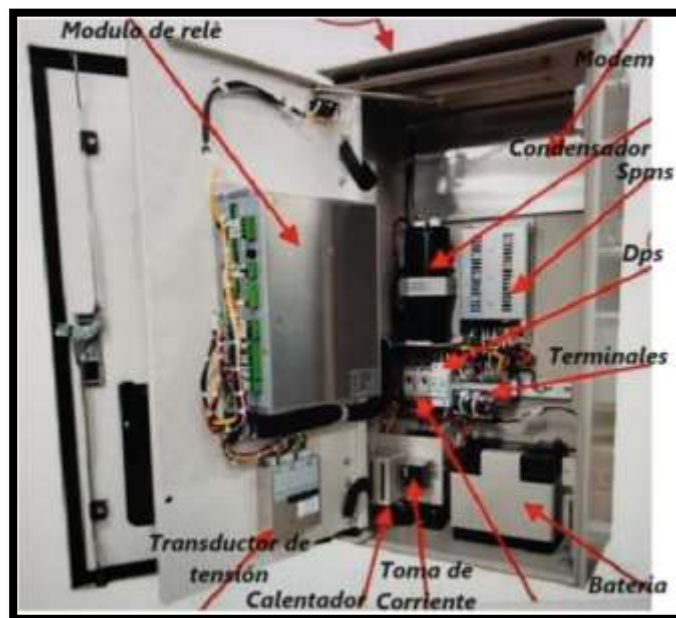
Nota: Tomado de Transformador de tensión, Omega Electric, 2023

Fuente: Extraído de <https://omegaelectric.pe/recloser-reconectador/>

### *Módulo de control.*

El Módulo de control está constituido de un módulo de relé que se parametriza para realizar ciertas funciones dependiendo las condiciones de la red eléctrica, tiene una alimentación AC y adicional tiene respaldo de dos baterías de 12VDC cada una, adicionalmente tiene capacitores que son componentes electrónicos para almacenar y liberar energía eléctrica en forma de carga eléctrica, cuya principal función es energizar la bobina actuadora del interruptor, tiene una protección sobre tensión DPS que se utiliza para medir o transformar niveles de voltaje en sistemas de energía eléctrica y un módulo SMPS que es un tipo de fuente de alimentación

eléctrica que utiliza componentes electrónicos como interruptores y transformadores para convertir la energía eléctrica (Ver Figura 10).



**Figura 10.** Módulo de control

Nota: Tomado de Transformador de tensión, Omega Electric, 2023

Fuente: Extraído de <https://omegaelectric.pe/recloser-reconectador/>

### 6.1.2 Pruebas de diagnósticas.

Estas pruebas ayudan a identificar problemas potenciales, evaluar el estado del reconectador y planificar el mantenimiento necesario.

*Inspección visual.*

Es un procedimiento que implica la evaluación cuidadosa de las partes exteriores e interiores del reconectador para identificar visualmente cualquier signo de desgaste, daño, corrosión, contaminación o cualquier otra condición que pueda afectar su funcionamiento y confiabilidad.

### *Prueba de Contacto.*

Esta prueba verifica el estado del sistema terminal a terminal, pasando por el contacto principal del reconectador, ya sea para puesta en servicio de equipos nuevos o para realizar seguimientos al desgaste de la superficie del contacto principal durante la operación a lo largo de la vida útil del activo. Un valor de resistencia elevada origina caídas de tensión, generación de calor, pérdidas de potencia, deterioros locales en los contactos, etc.

La norma (IEEE PC37.100.1<sup>TM</sup>/D9, 2007) en el numeral 6.4 explica que la medición de la caída de tensión de corriente directa (DC) o la resistencia se debe hacer antes del ensayo de aumento de temperatura, con el equipo de maniobra y control a temperatura ambiente por un período de 8 horas y después del ensayo de elevación de temperatura, cuando el equipo se ha enfriado a una temperatura igual al ambiente. Las resistencias medidas en estos dos ensayos no se deben diferenciar en más del 20%.

### *Resistencia de Aislamiento.*

Se define como la resistencia que ofrece un aislamiento al aplicarle un voltaje en DC durante un tiempo dado. La resistencia de aislamiento también depende de factores externos al elemento bajo evaluación, tales como temperatura, humedad, fatiga eléctrica y mecánica, entre otros factores.

El resultado de esta prueba tiene mayor poder predictivo si se compara con resultados de un registro histórico de pruebas efectuadas. De esta forma, se puede verificar la tendencia del nivel de aislamiento, ya que un valor bajo en la resistencia de aislamiento lograría indicar contaminación o la existencia de un problema que pudiera causar daños a corto plazo (Megger, 2006)

<b>Tensión Nominal del equipo [V]</b>	<b>Tensión DC mínima del ensayo [V]</b>	<b>Valor mínimo de resistencia de aislamiento recomendado [MΩ]</b>
<b>250</b>	500	25
<b>600</b>	1000	100
<b>1000</b>	1000	100
<b>2500</b>	1000	500
<b>5000</b>	2500	1000
<b>8000</b>	2500	2000
<b>15000</b>	2500	5000
<b>25000</b>	5000	20000
<b>34500 y superiores</b>	15000	10000

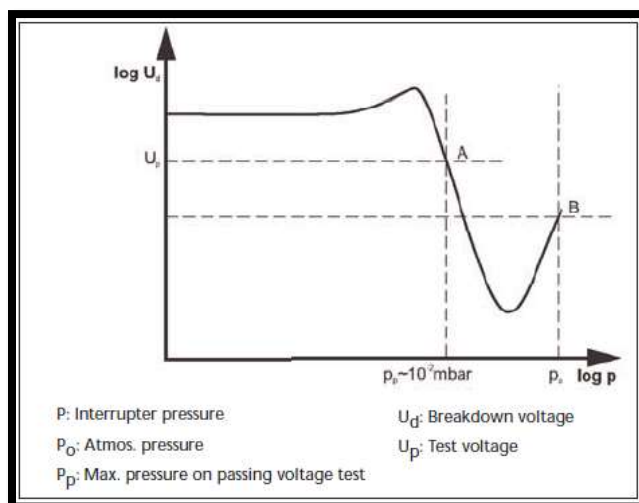
**Tabla 1.** *Valores del ensayo de resistencia de aislamiento*

Fuente: Propia

#### *Integridad de vacío.*

Dentro de las rutinas de mantenimiento a los interruptores de los Reconectores, es importante realizar la prueba de integridad al interruptor de vacío, y con ello determinar su estado, chequear la integridad de la botella de vacío en forma rápida y conveniente por medio de una relación conocida entre la tensión de flameo y la botella de vacío, mediante la aplicación de una tensión adecuada de prueba en corriente directa al reconector, conociendo el resultado inmediatamente.

La curva mostrada en la Figura 11 ilustra las relaciones entre la presión interna de la botella de vacío y su capacidad para inhibir flameo. Esta relación permite que se verifique indirectamente el vacío midiendo el umbral de tensión. Una ventaja especial de este método es que no se necesita desarmar el reconector de circuito a fin de probarlas.



**Figura 11.** Umbral de tensión de flameo graficado vs presión en botellas de vacío

Nota: Tomado de *Umbral de tensión de flameo graficado vs presión en botellas de vacío*, IEEE PC37.100.1<sup>TM</sup>/D9, 2007

Fuente: Extraído de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.ewh.ieee.org/soc/pes/switchgear/minutes/2007-1/S07SWGRa6.pdf

#### *Prueba de Tensión Aplicada.*

Es una prueba de inyección de alta tensión que tiene como objeto someter el aislamiento del equipo a esfuerzos eléctricos de diseño los cuales soportará durante su vida de operación. El nivel de tensión utilizada debe ser acorde con lo recomendado por el fabricante y lo indicado por las normas correspondientes.

La prueba se basa en someter al equipo a un nivel de tensión del 75% del valor de diseño durante un tiempo de 60 segundos. La prueba se efectúa incrementando la tensión en forma progresiva, verificando el valor de la corriente de fuga que circula por el aislamiento. Una corriente excesiva o un incremento súbito de la corriente es un indicativo de que pueden existir problemas de aislamiento (Megger, 2006)

La norma (NTC 54 26, 2006) en el numeral 8 y la (IEEE C37.60<sup>TM</sup>, 2012) en el numeral 101, exponen que cuando se realizan ensayos que involucran contactos abiertos en vacío, se recomienda tener precauciones adecuadas, tales como blindajes o distancia, para proteger al personal que realiza el ensayo de posibles radiaciones X debido, por ejemplo, a la separación incorrecta del contacto o la aplicación de tensión superior a la especificada.

<b>Tensión Nominal Del Equipo [kV]</b>	<b>75% Nivel de tensión de ensayo de Aislamiento a Frecuencia Industrial [kV]</b>
	<b>1 [min] – Seco</b>
<b>15</b>	27
<b>15,5</b>	37,5
<b>27</b>	45
<b>38</b>	52,5

**Tabla 2.** Nivel de tensión de ensayo de aislamiento a frecuencia industrial (kV)

Fuente: Propia

*Ensayo open – close – reclose (OCR).*

El objetivo del ensayo es determinar la operación eléctrica, tiempos de apertura y cierre del reconectador automático. Esto último se realiza mediante la inyección de una corriente equivalente o mayor a la corriente mínima de disparo programada en el reconectador y verificando la respuesta del equipo a sobre corrientes y al recierre automático. Con esta prueba también se comprueba el correcto funcionamiento de los transformadores de corriente y el relé de protección del reconectador ante condiciones de falla simuladas. El instrumento utilizado para la ejecución de la prueba es el MULTIAMP OCR – 8015.

La norma (NTC 54 26, 2006) en el numeral 7 expone los diversos ensayos de rutina a los que deben someterse los reconectores automáticos. Una de estas pruebas es el ensayo de corriente mínima de disparo y el otro es el ensayo de tiempo – corriente.

El ensayo de Corriente Mínima de Disparo establece que los reconectores deben cumplir la corriente nominal mínima de disparo dentro de los límites especificados de  $\pm 10\%$ . El reconectador debe estar conectado a una fuente de energía de baja tensión de corriente alterna con un medio para elevar la corriente en todo el reconectador. El procedimiento de ensayo consiste en ajustar el reconectador para un disparo instantáneo e inyectar rápidamente una corriente en todo el reconectador que producirá un valor de 80% aproximadamente de la corriente mínima de disparo anticipada para el flujo.



### 6.1.3 Modos de Fallas.

Evaluando los eventos que se presentan durante la operación se identifica los diferentes modos de fallas que impactan la funcionalidad de los Reconectores.

- Fallas del DPS debido al envejecimiento, sobrecarga, impactos físicos u otros factores.
- Falla Sistemática en múltiples Reconectores dentro de un sistema o en un modelo específico de Reconectores.
- Golpe por Vehículos: Se refiere a un evento en el cual un el reconector sufre daños mecánicos o eléctricos.
- Hermeticidad de Control dada por falta de mantenimiento e inspección visual de los empaques.
- Hurto.
- Recalentamiento de Polos: El recalentamiento de estos polos se produce cuando se genera un exceso de calor en esta área, además falta de Mantenimiento y pruebas de termografías.
- Sobretensiones: Son aumentos temporales y anormales en el voltaje eléctrico dentro del sistema eléctrico en el que opera el Reconector.
- Vida final útil: Según los estudios de la tarjeta electrónica tiene 10 años de vida útil, pero depende de las condiciones en las que el reconector se encuentra sometido.

### 6.1.4 Interacción con el Software y programación.

El software ETIMS para Windows, se implementa para el manejo de los equipos de protección regulación y maniobra, además de contar con acceso para realizar modificaciones, visualización de parámetros de tensión, corrientes, curvas de mínima corriente de disparo, ajustes de corrientes, carga y descarga de archivos que proceden de fuentes internas y externas del programa.

Utilizando el software ETIMS se puede realizar la programación del relé Entec y hacer ajustes basados en la información suministrada por “IDO” (ingeniería de operación) la cual nos permite descargar ajustes de fabricación, actualización de su versión de firmware y realizar pruebas de apertura y cierre desde el control al interruptor (Ver Figura 12).

¿Cómo se utiliza el programa?

- Se debe realizar la conexión entre el Pc y el Relé.
- Se procede a abrir el software y a seleccionar la referencia del equipo que se desea intervenir.
- Se ingresa usuario y contraseña.



**Figura 12.** Inicio de programa ETIMS

Fuente: Propia

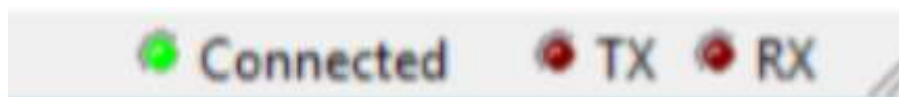
- En el Menú de inicio del software se observan todas las opciones de manejo de este y sus herramientas en la parte superior. En la primera pestaña se encuentra el tipo de conexión. Se despliega la pestaña en connect type para seleccionar el método de comunicación deseada y se presiona ok para establecer el control del relé por medio del software, se debe esperar que se realícele proceso de carga (Ver Figura 13).



**Figura 13.** Despliegue de menú de selección

Fuente: Propia

- Para estar seguros que el equipo se encuentra conectado se verifica que el indicador de conexión en la parte inferior derecha se encienda de color verde. La información del sistema se recibe automáticamente del dispositivo, estando listo para realizar ajustes o validar información (Ver Figura 14).

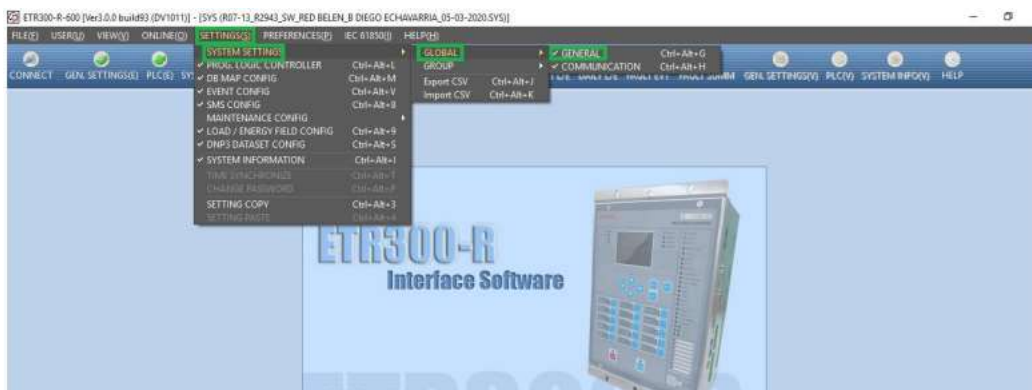


**Figura 14.** Indicador de conexión estable

Fuente: Propia

- Activar panel de control: Con la conexión entre el panel de control y el maestro, haga clic en "VALOR ACTIVO Y CONTROL" ahora está disponible para controlar la Operación y verificar las mediciones (Ver Figura 15).



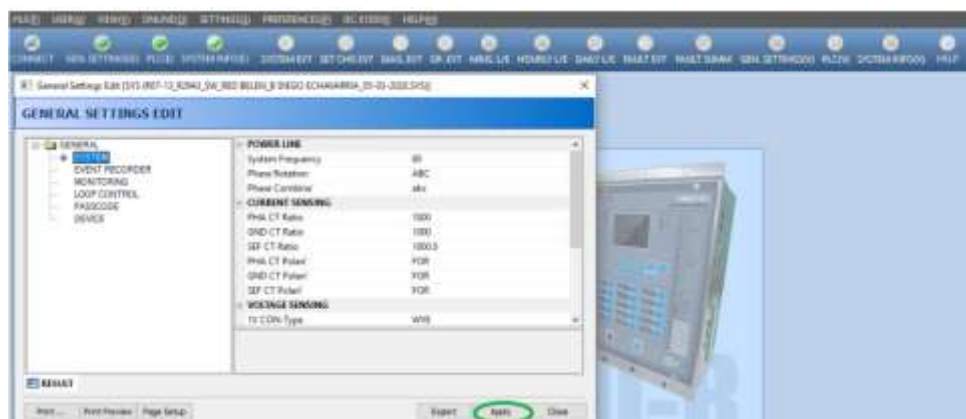


**Figura 17.** Ajustes generales de equipo

Fuente: Propia

- Apply: Esta opción se utiliza para capturar la información de los cambios que se efectúan de la programación seleccionando APPLY y dando en CLOSE para cerrar la ventana donde se realizó el cambio.

Nota: Para poder hacer efectivo el cambio se debe realizar una carga previa de la ubicación donde se realizó la modificación (Ver Figura 18).



**Figura 18.** Guardar cambios

Fuente: Propia

- Parámetros de configuración: esta opción permite verificar y modificar la cantidad de accionamientos de apertura y cierre y el porcentaje de desgaste de contactos, estos datos son registrados para llevar un control del equipo, se ingresa dando clic en SETTINGS luego MAINTENACE CONFIG donde se despliegan dos opciones de las cuales se selecciona COUNT para realizar las verificaciones o modificaciones ya mencionadas (Ver Figura 19).



**Figura 19.** Menú de maintenace count

Fuente: propia

- Como ver los diagnósticos del equipo: Para dar uso de esta herramienta se debe ingresar a VIEW luego DIACNOSTIC EVENT para así lograr verificar todos los eventos o diagnósticos que registra el relé en terreno.

Nota: esta opción solo permite acceso si se está conectado al relé, ya que el relé es quien almacena toda la información de los diagnósticos y eventos (Ver Figura 20).



**Figura 20.** Ingreso a diagnósticos y eventos

Fuente: Propia

- Como descargar programación: Se procede a seleccionar ONLINE (en línea) el cual despliega una pestaña de opciones en la que se escoge DOWNLOAD (descargar) seguido de esto se despliega otra lista de opciones en la que se selecciona DOWNLOAD ALL (descargar todo) (Ver Figura 21).



**Figura 21.** Descarga programación

Fuente: Propia

- Para dar inicio a esta descarga se selecciona DOWNLOAD (descargar). Se procede a dar clic en el icono FILE y seleccionando FILE SAVE AS... para así guardar los archivos descargados.

## 6.2 Mantenimiento Centrado en Confiabilidad

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad o también conocido como RCM es el proceso utilizado para determinar que debe hacerse para asegurar que todo activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su actual contexto operacional; El único hecho que impide que un activo no pueda desempeñarse adecuadamente es alguna clase de falla, por lo que la primer tarea en RCM es verificar que circunstancias y eventos llevan a que el activo falle (Aladon Ltd, 2002)

### 6.2.1 Fallas Funcionales.

Desde el punto de vista de (Aladon Ltd, 2002) los estados de falla se conocen como fallas funcionales ya que ocurren cuando el activo no puede cumplir cierta función para la cual fue diseñado; como un activo es diseñado para ejecutar varias funciones, es posible que cada una de estas falle y por consiguiente pueden haber gran variedad de estados de falla también.

### **6.2.2 Modos de fallas.**

Una vez que se identifica la falla funcional lo que prosigue es detectar que hechos pueden haber causado cada falla, o sea los modos de falla. Se deben considerar las fallas que hayan presentado equipos similares, fallas que ya se estén interviniendo, fallas que no se han presentado pero que se consideran posibles, fallas por el desgaste del uso del activo, fallas causadas por error humano y también errores de diseño. Se debe realizar el registro de cada falla y luego describir los modos de cada falla, esta descripción debe contener suficiente detalle como para poder seleccionar una estrategia de manejo apropiada (Aladon Ltd, 2002)

### **6.2.3 Efectos de falla.**

El siguiente paso es realizar un listado con los efectos de falla, es decir lo que ocurre cuando se presenta la falla. Para (Aladon Ltd, 2002) este listado debe contener: la evidencia de que la falla ha ocurrido, de qué modo representa una amenaza a la seguridad, de qué manera afecta la producción, que daños físicos causo y que debe hacerse para reparar la falla.

Los efectos de falla se registran en la última columna de la hoja de información, junto al modo de falla correspondiente como se puede observar en la Tabla 3 y la Tabla 4.



HOJA DE TRABAJO DE INFORMACIÓN R C M						
SUBESTACIONES					Fecha: 6/10/24	
COMPONENTE / ELEMENTO: MODULO DE CONTROL					Revisado por: Gilberto Eladio Giraldo (Profesional C en Operaciones y Negocios )	
Elaborado por: LEIDY ORTIZ DUARTE						
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA (Causa de la falla)		EFECTO DE LA FALLA (Que sucede cuando falla)
1	El control del reconector con fuente externa de 120VAC y Fuente interna de 24VDC	A	Bloqueado	1	Tarjeta Principal fallada	No deja operar ninguna tecla la interfaz Ni de parametrización ni de configuración.
1		A	Bloqueado	2	Comunicación Interrumpida entre el Modulo de Control y Potencia	El reconector no efectua ninguna maniobra de apertura y cierre
1		B	Control apagado	1	Falta la alimentación principal AC y el respaldo de batería no funciona	El modulo de control se apaga.
2	Comunicar al Centro de Control	A	No comunica	1	Tarjeta de comunicaciones quemada	debido a sobretensiones o cortocircuitos
2		A	No comunica	2	Error de instalación del sistema puesta a tierra	Se queman los puertos de comunicaciones. Se queman las tarjetas de comunicación.
2		A	No comunica	3	GPRS no comunica	En el centro de control el equipo no es visible, ni recibe ni envía información.
3	Proteger la Red de Media Tension	A	Operación Erronea de la protección	1	Error de Programación	El reconector se desconecta sin una causa razonable.
3		B	No protege por el bypass	2	Mala configuración de protección	El reconector esta con mala configuración y no esta protegido
3		C	configuración errónea	3	Modificación de un equipo	El reconector no tiene coordinación con los equipos que lo componen al momento del algún cambio
4	Resplado de fuente por baterías	A	Incapaz de operar el equipo ante falla de la AC	1	Envejecimiento- de batería	El reconector queda sin respaldo ante una interrupción de la red eléctrica de media tensión.
5	controlan y procesan la entrada de los impulsos eléctricos	A	no ejecuta funcionalidades de diseño o programación	1	Sobreesfuerzos mecánicos	Rele: Modulo Principal (CPU) fallado, debido a fatiga del material
		B	no indica presencia de señales digitales de control	2	debido a sobrecargas, sobretensión y cortocircuitos	tarjetas con puertos malos por fatiga del material
		C	display del relé no permite lectura	3	Oxidación por Presencia de Humedad	el rele no responde debido a ingresos de humedad o presencia de animales

**Tabla 3.** Hoja de Trabajo de Información RCM (Modulo de control)

Fuente: Propia

HOJA DE TRABAJO DE INFORMACIÓN R C M						
RECONNECTADORES					Fecha: 6/10/24	
COMPONENTE / ELEMENTO: MODULO DE POTENCIA					Revisado por: Gilberto Eladio Giraldo (Profesional C en Operaciones y Negocios )	
Elaborado por: Leidy Ortiz Duarte						
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA (Causa de la falla)		EFECTO DE LA FALLA (Que sucede cuando falla)
1	El modulo de Potencia del reconnector es abrir o cerrar el circuito de Media Tension.	A	Bloqueado	1	Mecanica	El reconnector no realiza maniobras ni en Local/Remoto
1		A	Bloqueado	2	Humedad	Produce corrosion y sulfatacion en los componentes y no obedece los comando ni maniobra
1		B	Recalentamiento de terminales	1	Cortocircuito en la red	El reconnector queda inhabilitado, inservible
1		B	Recalentamiento de terminales	2	conexiones flojas o deficientes	El reconnector se averia la terminal y se fisura el aislador
1		C	Falla del aislamiento	1	Descarga Atmosferica	El reconnector queda inhabilitado.
1		C	Falla del aislamiento Fase-Fase Fase-Tierra	2	Polucion (industrial y salina)	El reconnector abre el circuito. El reconnector tiende a flamear y deteriora los metales por salitres.
1		D	Tiempos de apertura y cierre superiores a los	1	Pérdida de sincronismo en la operación	Elementos de transmisión, debido a fatiga del material.

**Tabla 4.** Hoja de Trabajo de Información RCM (Modulo de potencia)

Fuente: Propia

#### 6.2.4 Consecuencias de la falla.

Un punto fuerte de RCM es que no se realiza el mantenimiento proactivo para evitar las falla sino para evitar o reducir las consecuencias de las fallas, adicionalmente clasifica las consecuencias en cuatro grupos:

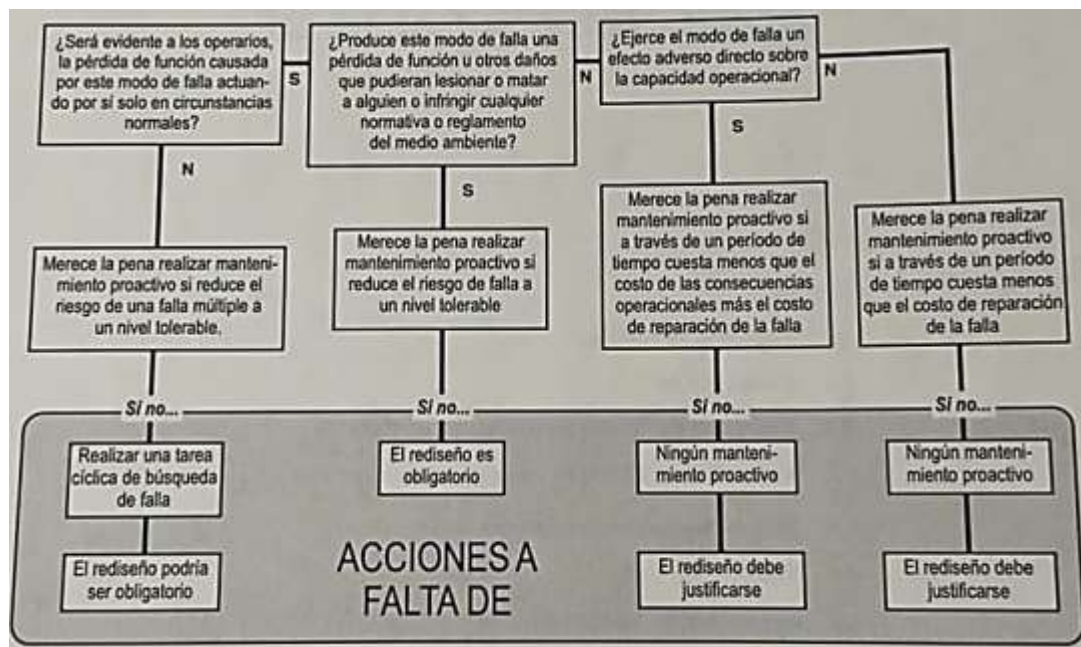
- Consecuencias de fallas ocultas: Aunque no tienen un impacto directo, exponen a la organización a otras fallas con consecuencias serias.
- Consecuencias ambientales y para la seguridad: es decir que pueden causar un daño o la muerte a alguna persona o infringir un reglamento ambiental.
- Consecuencias operacionales: Es decir que afectan la producción.
- Consecuencias No-Operacionales: Son las que no afectan la seguridad, la producción y solo se relacionan con el costo directo de la reparación.

Las técnicas de manejo de fallas se dividen en dos categorías según (Aladon Ltd, 2002):

Tareas Proactivas: Son las que se realizan antes de que se presente la falla y abarcan lo que se conoce como mantenimiento predictivo.

Acciones a falta de: Estas abordan directamente el estado de falla y se eligen cuando no se puede efectuar una tarea proactiva efectiva (Ver Figura 22). RCM reconoce tres grandes categorías de acciones a falta de:

- Búsqueda de fallas: Implica revisar las funciones constantemente para detectar si han fallado.
- Rediseñar: Implica hacer cambios de única vez a las capacidades iniciales de un sistema.
- Mantenimiento no programado: Se deja que la falla ocurra para luego repararla.



**Figura 22.** Acciones a falta de

Fuente: Tomado de Acciones a falta de, RCM Case Study: On load tap changer, (Sueiro, E. & Asociados, Traducción) 2002

A continuación, se explicará paso a paso cómo debe quedar diligenciada la Hoja de decisión RCM según el Manual de (Aladon Ltd, 2002). La hoja de decisión muestra no solo que acción se ha seleccionado para tratar cada modo de falla, sino que también muestra porque se ha seleccionado.

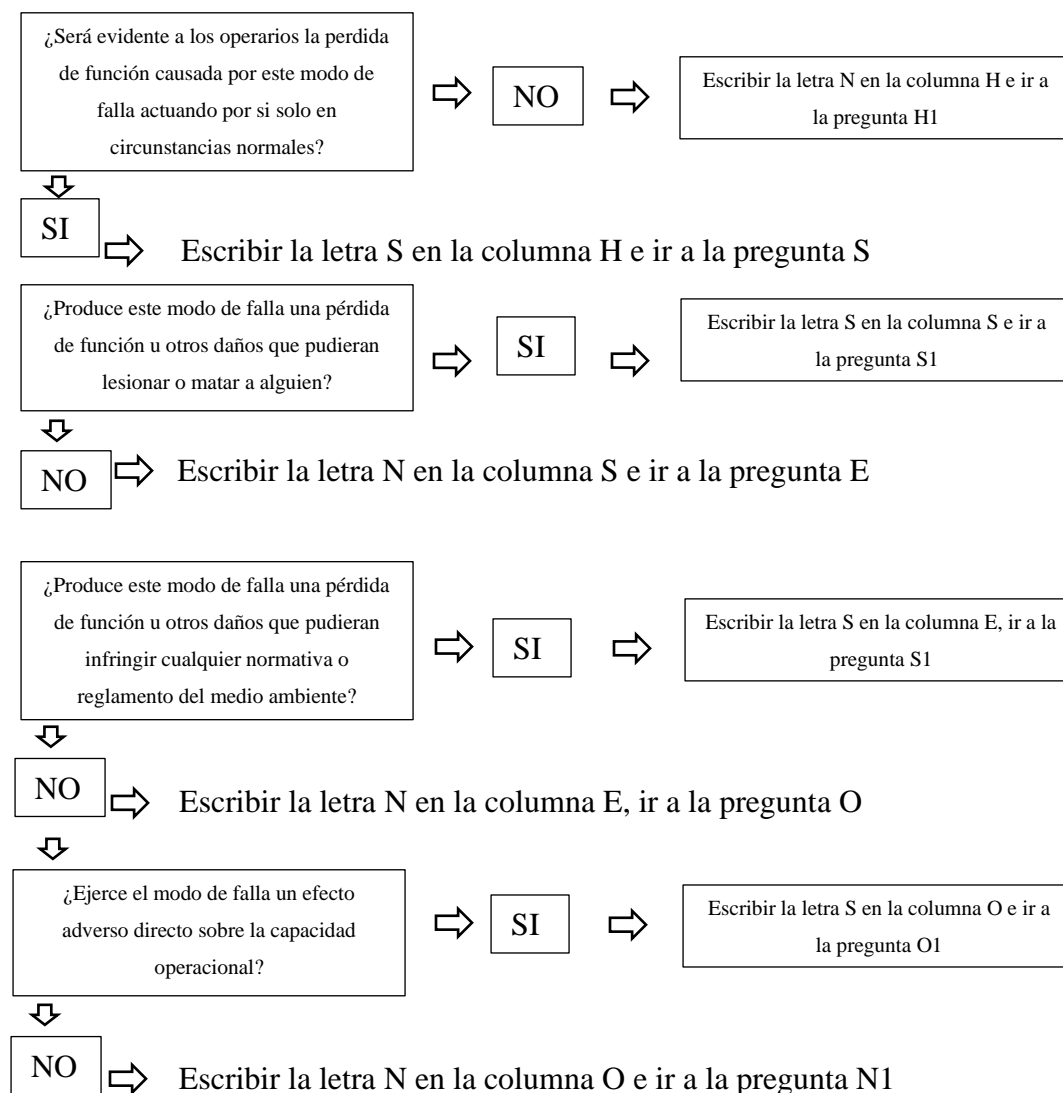
- En la primer columna titulada Información de Referencia lo que se hace es el cruce de la información que se registró previamente en la hoja de información. Se registra la Función (F), la Falla Funcional (FF) y el Modo de Falla(FM) (Ver Figura 23)

Información Referencia			Evaluación de consecuencias			
F	FF	FM	H	S	E	O
1	A	1	S	N	N	S
1	A	2	S	N	N	S
1	B	1	S	N	N	S
2	A	1	S	N	N	S
2	A	2	S	N	N	S

**Tabla 5.** Columna 1 y 2 de la Hoja de Decisión RCM

Fuente: Propia

- En la siguiente columna se observa el título de Evaluación de consecuencias y las casillas H (Falla Oculta), S (Consecuencias para la seguridad), E (Consecuencias para el medio ambiente), O (Consecuencias Operacionales) que se utilizan para registrar las respuestas a las preguntas concernientes a las consecuencias de cada modo de falla. Las preguntas se hacen para cada modo de falla y se registra la respuesta de la siguiente manera:



- Las tres columnas siguientes Tituladas H1, H2, H3 registran si ha sido seleccionada una tarea proactiva. La H1 registra si se encontró una tarea para anticipar el modo de falla a tiempo, la H2 registra si se encontró una tarea de reacondicionamiento cíclico y la columna



- En la columna de tareas propuestas se deben escribir las tareas que han sido seleccionadas, sea una tarea proactiva o una tarea de búsqueda de falla. Debe ser descrita de forma que quede clara la acción a realizar (Ver Figura 26)
- En la columna de frecuencia inicial se registran las frecuencias con las que se debe realizar cada tarea en particular (Ver Figura 26)
- En la columna de “a realizar por” se escribe que miembro del equipo realiza la tarea. Debe ser una persona competente y confiable para realizar esa tarea en específico (Ver Figura 26)

Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por
Reemplazar Tarjeta Principal	N/A	Tecnico
Pruebas de diagnosticos (Continuidad) Probar funciones de apertura y cierre por medio del Software	Cuatro años	Tecnologo
Inspeccion periodica al Modulo de Control, Verificando estado de la Bateria	6 Meses	Tecnico
Cambiar Tarjeta de Comunicación	N/A	Tecnologo
Verificar continuidad y estado de las conexiones de Puesta a tierra	Un año	Tecnico
Verificar diariamente las alarmas que aparecen en el centro de control	Diario	Operador del Centro de Control

**Tabla 7.** Columna de Tareas propuestas, Frecuencia inicial y “A realizar por” Para Hoja de Decisiones RCM

Fuente: Propia

Las siguientes Tablas (Ver Tabla 8 y 9) muestra la Hoja de Decisiones RCM creada para utilizarse en la ruta de mantenimiento de los Reconectores de Media tensión pertenecientes a EPM.

HOJA DE DECISION RCM II							SUBESTACIONES							Fecha: 07/10/2023	
							COMPONENTE / ELEMENTO: RECONECTADORES							Revisó: Gilberto Eladio Giraldo (Profesional C en Operaciones y	
Elaborado por: LEIDY ORTIZ DUARTE															
Información Referencia			Evaluación de consecuencias				H1 S1 01 N1	H2 S2 02 N2	H3 S3 03 N3	Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por
F	FF	FM	H	S	E	O				H4	H5	S4			
1	A	1	S	N	N	S	N	S	N				Reemplazar Tarjeta Principal	N/A	Tecnico
1	A	2	S	N	N	S	S	N	N				Pruebas de diagnosticos (Continuidad) Probar funciones de apertura y cierre por medio del Software	Cuatro años	Tecnologo
1	B	1	S	N	N	S	S	N	N				Inspeccion periodica al Modulo de Control, Verificando estado de la Bateria	6 Meses	Tecnico
2	A	1	S	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Cambiar Tarjeta de Comunicación	N/A	Tecnologo
2	A	2	S	N	N	S	S	N	N				Verificar continuidad y estado de las conexiones de Puesta a tierra	Un año	Tecnico
2	A	3	S	N	N	S	N	N	N	S	N	N	Verificar diariamente las alarmas que aparecen en el centro de control	Diario	Operador del Centro de Control
3	A	1	S	N	N	S	N	N	N	S	N	N	evento que hace sospechar mala operación de las protecciones	Evento	Ingeniero
3	B	2	S	N	N	S	S	N	N				Realizar configuraciones de protecciones	Evento	Ingeniero
3	C	3	S	N	N	S	S	N	N				Realizar configuraciones de protecciones	Evento	Ingeniero
4	A	1	S	N	N	S	S	N	N				Inspeccion periodica del estado de la Bateria , asi mismo realizar sus respectivas pruebas	6 Meses	Tecnico
5	A	1	S	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Cambio de la Tarjeta Principal	Evento	Tecnico
5	B	2	S	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Cambio de la Tarjeta Principal	Evento	Tecnico
5	C	3	S	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Cambio de Display del Rele	Deterioro	Tecnico

**Tabla 8.** Hoja de trabajo de decisión CRM (Modulo de Control)

Fuente: Propia



HOJA DE DECISION RCM II			SUBESTACIONES									Fecha: 07/10/23			
			COMPONENTE / ELEMENTO: RECONECTADORES									Revisó: Gilberto Eladio Giraldo (Profesional C en Operaciones y Negocios )			
Elaborado por: LEIDY ORTIZ DUARTE															
Información Referencia			Evaluación de consecuencias				H1 S1 01 N1	H2 S2 02 N2	H3 S3 03 N3	Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por
F	FF	FM	H	S	E	O			H4	H5	S4				
1	A	1	S	N	N	S	S	N	N				Realizar revision periodica de las operaciones por medio del medidor y hacer maniobras de apertura y cierra en modo local	6 meses	Tecnico
1	A	2	S	N	N	S	N	N	N				Reposicion de equipo de interruptor de potencia	Evento	Tecnologo
1	B	1	S	N	N	S	S	N	N				Se realiza cambio de terminales en ambos lado (fuente y carga) pruebas de aislamiento y resistencia de contacto.	Evento	Tecnico
1	B	2	S	N	N	S	N	N	N				Reposicion de equipo de interrptor de potencia, por caminos de corrientes de fuga.	Evento	Tecnico
1	C	1	S	N	N	S	S	N	N				Reposicion de equipo de interrptor de potencia, por caminos de corrientes de fuga.	Evento	Tecnólogo
1	C	2	S	N	N	S	S	N	N				Mantenimiento programado	1 Año	Tecnólogo
1	D	1	S	N	N	S	S	N	N				Mantenimiento programado	Evento	Tecnólogo

**Tabla 9.** Hoja de trabajo de decisión CRM (Modulo de Potencia)

Fuente: Propia

### 6.2.5 ¿Qué logra el RCM?

- Mayor Seguridad e Integridad Ambiental: Tomar medidas para minimizar o eliminar todos los riesgos identificables relacionados con los equipos y la seguridad ambiental.
- Mejor rendimiento operativo (producción, calidad del producto y servicio al cliente): Este esfuerzo por adaptar y centralizar el mantenimiento da como resultado mejoras dramáticas en las operaciones de los activos físicos existentes.
- Mayor rentabilidad del mantenimiento: Esto ayuda a garantizar que todo lo gastado en mantenimiento se utilice donde marque la mayor diferencia.
- Mayor vida útil de componentes costosos: Debido al cuidadoso énfasis en el uso de técnicas de mantenimiento in situ.
- Base de datos global: Permite adaptarse a circunstancias cambiantes sin tener que repensar todas las estrategias de mantenimiento desde el principio. Además, la información almacenada en las hojas de trabajo de RCM reduce el impacto de la rotación de empleados y la consiguiente pérdida de experiencia.
- Mejorar la motivación de los empleados: Profundizar el conocimiento y crear un sentido de pertenencia más amplio.
- Mejor trabajo en equipo: Proporciona un sistema eficaz de pasos a seguir e involucra a todos los implicados en el mantenimiento.

## 6.3 Validación del modelo de plan estratégico de mantenimiento preventivo

### 6.3.1 Índice de Condición del Reconector

El cálculo del índice de condición presenta dos etapas principales: en primer lugar, se consideran los criterios utilizados para evaluar la condición de los reconectores y en segundo lugar se determinen los factores de ponderación de cada criterio. A continuación, se analizan los nueve criterios que propone (Walliyamethee & Hongesombut, 2019) para evaluar la condición de los reconectores:

- Edad de servicio: El Reconectador que tiene más de 20 años de servicio tendrá una alta tasa de fallas.
- Condición del aislamiento: La resistencia de aislamiento superior a la estándar garantiza que el Reconectador no se averíe.
- Condición de contacto: Acumular la energía hasta que se caliente mucho puede causar daños al interruptor.
- Numero de contador de operaciones: Los Reconectores de operación frecuente tienen más probabilidad de deteriorarse que los de menor operación.
- Nivel de corriente de corto circuito: La corriente de corto circuito provoca el deterioro del aislamiento al igual que las condiciones de contacto e interruptor del Reconectador.
- Tipo de Reconectador: El Reconectador más confiable es el Reconectador de vacío con aislamiento de gas y Reconectador de vacío con aislamiento sólido.
- Contaminación: Los aisladores deben limpiarse con frecuencia para reducir la posibilidad de descargas disruptivas o averías.
- Condición observada: Observación de las condiciones externas como derrames de aceite, oxido en tanques y encontrar conexiones sueltas.
- Condición del controlador y de la fuente de alimentación: La fuente, la batería y el transformador de voltaje deben estar en buenas condiciones.

Los puntajes que se deben asignar a cada criterio según su condición también son proporcionados por (Walliyamethee & Hongesombut, 2019) como podemos observar en la Tabla 10:

Criterios	Puntuaciones				
	1	2	3	4	5
Edad de servicio (años)	<5	(5,10]	(10,15]	(15,20]	> 20
Condición de aislamiento (G-)	>10	[5,10)	[1,5)	-	< 1
Condición de contacto ( $\mu$ -)	<255	(225, 270]	(270, 315]	(315, 360]	> 360
Contador de operaciones número (veces)	<1000	(1000, 2000]	(2000, 3500]	(3500, 5000]	> 5000
Corriente de cortocircuito nivel (%Ic)	<20	(20,40]	(40,60]	(60,80]	> 80
Tipo de reconectador	sólido / vacío	SF6/ vacío	oil/ vacío	aceite / aceite	-
Contaminación	bajo	-	medio	-	alto
Condición observada	bien	-	leve deterioro racionar	-	pobre
Controlador y fuente de alimentación condición	bien	-	leve deterioro racionar	-	pobre

**Tabla 10.** Puntuaciones de criterio para el cálculo de la condición del Reconectador  
Fuente: (Walliyamethee & Hongesombut, 2019)

El segundo paso es determinar los factores de ponderación para cada criterio, los factores de ponderación se presentan a continuación en la Tabla 11:

Criterios	Pesos
edad de servicio	6
Estado del aislamiento	14
Condición de contacto	14
Número de contador de operaciones	10
Nivel de corriente de cortocircuito	10
Tipo de reconectador	14
Contaminación	3
Condición observada	9
Estado del controlador y de la fuente de alimentación	20

**Tabla 11.** Factor de Ponderación para el cálculo de la Condición  
Fuente: (Walliyamethee & Hongesombut, 2019)

Con base en la Tabla 10 y 11, el índice de condición del Reconector se podrá calcular así:

$$CI = \frac{\sum_{i=1}^9 (S_i \times W_i)}{\sum_{i=1}^9 (S_{i,max} \times W_i)} \times 100 \quad (1)$$

Donde CI es el índice de condición del Reconector, Si y Wi son la puntuación y los factores de ponderación de criterios i, respectivamente. Si, Max es una puntuación máxima de criterios i, que es igual a 5.

Entonces, los Reconectores se dividen en tres grupos según el índice de condición:

- Buen estado: Reconectores con índice de condición no mayor a 25
- Condición moderada: Reconector que tiene mínimo 25 pero no más de 50
- Mal estado: Reconector con índice superior a 50

Adicionalmente se evaluará el índice de importancia del Reconector teniendo en cuenta tanto el número de clientes como la carga total del Reconector (Ver Tabla 12)

Criterios	Puntuaciones					Pesos
	1	2	3	4	5	
Número de clientes (clientes)	<1000	1001 - 2000	2001 - 3000	3001 - 4000	> 4000	65
carga total (kVA)	<3000	3001 - 6000	6001 - 9000	9001 - 12000	> 12000	35

**Tabla 12.** Puntuación y factores de ponderación para el cálculo del índice de importancia

Fuente: (Walliyamethee & Hongesombut, 2019)

Con base en la Tabla 12 el índice de importancia se calcularía así:

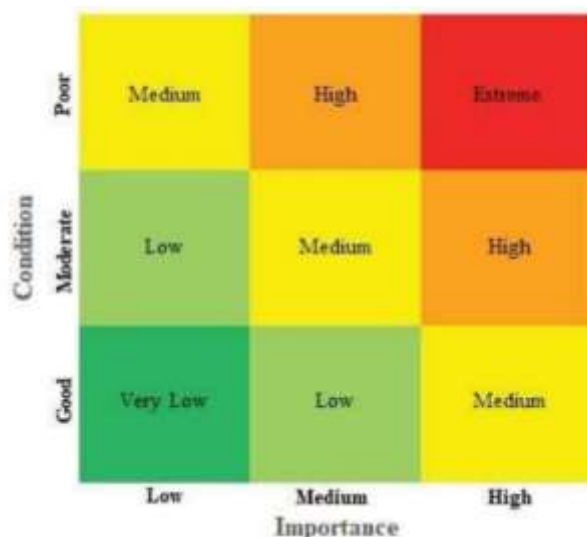
$$I = \frac{\sum_{i=1}^2 (S_i \times W_i)}{\sum_{i=1}^2 (S_{i,max} \times W_i)} \times 100 \quad (2)$$

Donde  $I$  es el índice de importancia del Reconector,  $S_i$  y  $W_i$  son la puntuación y los factores de ponderación de criterios  $i$ , respectivamente.  $S_{i, Max}$  es una puntuación máxima de criterios.

Según el índice de importancia los Reconectores se dividen así:

- Importancia Baja: Restauradores con índice de importancia no mayor a 35
- Importancia Media: Reconectores con más de 35 pero no mayor a 70
- Alta Importancia: Reconectores con índice de importancia mayor a 70

Solo resta evaluar la prioridad del Reconector para la programación del mantenimiento, para esto se tiene en cuenta el índice de condición y el índice de importancia; se debe ubicar el Reconector en el siguiente diagrama (Ver Figura 24) en donde el eje  $x$  muestra la importancia del Reconector y el eje  $y$  muestra la condición.



**Figura 24.** Diagrama de toma de decisiones para la programación del mantenimiento

Fuente: Fuente: (Walliyamethee & Hongesombut, 2019)

Nota: El diagrama se divide en nueve segmentos, que representan 5 niveles: en el extremo rojo se ubican los Reconectores que tienen mayor necesidad de mantenimiento, en la zona naranja se encuentran los que requieren un mantenimiento alto, en la zona amarilla van los que requieren un mantenimiento medio, la zona verde claro incluye los que requieren un mantenimiento leve y por último la zona verde oscura incluye los que requieren menor mantenimiento.

Para mostrar el funcionamiento de este modelo se utilizaron los datos de doce Reconectores de diferentes subestaciones, edades, cargas y áreas de servicio. En primer lugar, se mostró paso a paso la aplicación del modelo de (Walliyamethee & Hongesombut, 2019) con los datos del Reconector #1 y en segundo lugar se creó el Diagrama de tomas de decisiones con los datos de los doce Reconectores (Los puntajes de los criterios para el cálculo del índice de condición se presenta con base a los datos reales del sistema de reconectores de EPM)

El primer paso para replicar el modelo fue seleccionar los criterios utilizados para evaluar la condición de los reconectores y asignarle las respectivas puntuaciones:

DATOS RECONECTADOR			
CIRCUITO	316-11	IDENTIFICACION	R1243
UBICACIÓN	CAUCASIA		
EDAD DE SERVICIO	2016		
CONDICION DE AISLAMIENTO	POLO (1-2) 49.7	POLO (3-4) 49.4	POLO (5-6) 49.2
CONDICION DE CONTACTO	POLO (1-2) 81	POLO (3-4) 79	POLO (5-6) 85
CONTADOR DE OPERACIONES	335		
CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO	16kA		
TIPO DE RECONECTADOR	VACIO		
CONTAMINACION	ALTA		
CONDICION OBSERVADA	BIEN		
CONTROLADOR	BIEN		

**Tabla 13.** Puntuaciones para el cálculo de la condición del Reconector #1

Fuente: (Walliyamethee & Hongesombut, 2019)

Nota: Adaptado de Puntuaciones de criterio para el cálculo de la condición (Ver Tabla 10)

El segundo paso fue determinar los factores de ponderación para cada criterio:

PUNTAJE	
EDAD DE SERVICIO	2
CONDICION DE AISLAMIENTO	1
CONDICION DE CONTACTO	1
CONTADOR DE OPERACIONES	1
CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO	1
TIPO DE RECONECTADOR	1
CONTAMINACION	5
CONDICION OBSERVADA	3
CONTROLADOR	1

**Tabla 14.** Factor de Ponderación para el cálculo de la Condición del Reconectador #1

Fuente: (Walliyamethee & Hongesombut, 2019)

Nota: Adaptado de Factor de Ponderación para el cálculo de la Condición (Ver Tabla 11)

De acuerdo con la siguiente fórmula y la información de las Tablas 13 y 14 el índice de condición del reconectador se calculó así:

Donde CI es el índice de condición del Reconectador,  $S_i$  y  $W_i$  son la puntuación y los factores de ponderación de criterios  $i$ , respectivamente.  $S_{i, \text{Max}}$  es una puntuación máxima de criterios  $i$ , que es igual a 5.

$$CI = \frac{\sum_{i=1}^9 (S_i \times W_i)}{\sum_{i=1}^9 (S_{i, \text{max}} \times W_i)} \times 100 \quad (1)$$

$$CI = (2 \times 6) + (1 \times 14) + (1 \times 14) + (1 \times 10) + (1 \times 10) + (1 \times 14) + (5 \times 3) + (3 \times 9) + (1 \times 20) / (5 \times 6) + (5 \times 14) + (5 \times 14) + (5 \times 10) + (5 \times 10) + (5 \times 14) + (5 \times 3) + (5 \times 9) + (5 \times 20)$$

$$CI = 136/500$$

$$CI = 0.272 * 100$$

$$CI = 27.2$$

Entonces, el Reconectador #1 se ubicó en una Condición moderada (Reconectador que tiene mínimo 25 pero no más de 50)

Adicionalmente se evaluó el índice de importancia del Reconectador teniendo en cuenta tanto el número de clientes como la carga total del Reconectador.



Donde II es el índice de importancia del Reconectador, Si y Wi son la puntuación y los factores de ponderación de criterios i, respectivamente. Si, Max es una puntuación máxima de criterios.

$$II = \frac{\sum_{i=1}^2 (S_i \times W_i)}{\sum_{i=1}^2 (S_{i,max} \times W_i)} \times 100$$

Criterio de números de clientes

$$II = (2 \times 65) / (5 \times 65)$$

$$II = 0.4 \times 100$$

$$II = 40$$

Carga total en Kva

$$II = (1 \times 35) / (5 \times 35)$$

$$II = 0.2 \times 100$$

$$II = 20$$

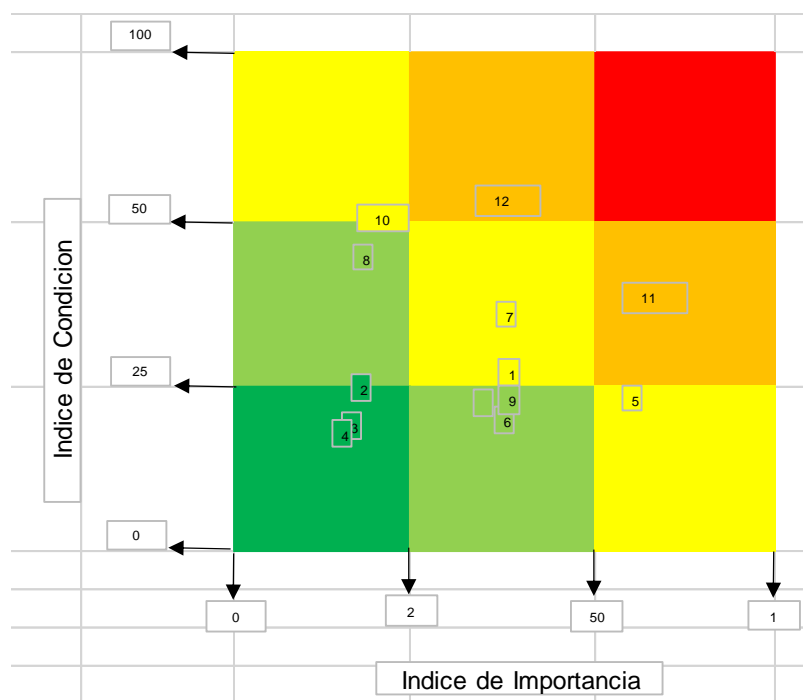
Lo que Según la Tabla 12 de Puntuación y factores de ponderación para el cálculo del índice de importancia del modelo (Walliyamethee & Hongesombut, 2019) lo ubicó como de Importancia Media (Reconectores con más de 35 pero no mayor a 70)

Solo resta evaluar la prioridad del Reconectador para la programación del mantenimiento, para esto se tiene en cuenta el índice de condición y el índice de importancia; se debe ubicar el Reconectador en el diagrama de toma de decisiones en donde el eje x muestra la importancia del Reconectador y el eje y muestra la condición. En el Diagrama se ubicó el resultado de los doce Reconectores después de haber realizado el mismo procedimiento que se mostró con el Reconectador #1.

INDICE DE CONDICION RECONECTADORES	INDICE DE IMPORTACIA RECONECTADORES
27.2	40
24.8	20
22.4	20
21.2	20
23.6	60
33.6	40
45.2	40
24.5	20
39.6	20
21.2	20
36	60
20	40

**Tabla 15.** Índice de condición e índice de importancia de 12 Reconectores pertenecientes a EPM

Fuente: Propia



**Figura 25.** Diagrama de toma de decisiones para la programación del mantenimiento Reconectores EPM

Fuente: (Walliyamethee & Hongesombut, 2019)

Nota: Adaptado de Diagrama de toma de decisiones para la programación del mantenimiento (Ver Figura 24)

Observando la Figura 25 se puede evidenciar que los Reconectores que requieren con mayor rapidez el mantenimiento son los numero 11 y 12 (situados en la zona naranja que contiene los que requieren un alto mantenimiento, debido a su condición en las que se encuentra con alta contaminación), seguirían los numero 10, 7, 5 y 1 (Estos se encuentran en la zona amarilla y son un grupo de transformadores que requieren un nivel de mantenimiento medio). También se observan los que requieren poco mantenimiento que en este caso serían los numero 8, 9 y 6 (son los ubicados por Walliyamethee & Hongesombut en una zona verde clara) y los que no tienen necesidad de mantenimiento según su índice de condición e importancia que son los numero 2, 3 y 4.

## 7. Presupuesto

Descripción	Cantidad	Valor Unitario	Total
<b>Recursos Humanos</b>			
Investigador	160 Horas	\$12.000	\$1.920.000
Asesor	32 Horas	\$16.000	\$512.000
Capacitadores	32 Horas	\$14.000	\$448.000
<b>Bienes</b>			
Computadora	2	\$3.500.000	\$7.000.000
Celular	1	\$1.500.000	\$1.500.000
Memoria USB	1	\$50.000	\$50.000
Licencia del Programa ETIMS	1	\$2.800.000	\$2.800.000
Impresora	1	\$500.000	\$500.000
Materiales de Escritorio	-	\$200.000	\$200.000
Adquisición de Bibliografía	-	\$600.000	\$600.000
Herramientas de mantenimiento	-	\$2.000.000	\$2.000.000
<b>Servicios</b>			
Acceso a internet	8 Meses	\$90.000	\$720.000
Acceso a telefonía	8 Meses	\$50.000	\$400.000
Energía	8 Meses	\$150.000	\$1.200.000
Transporte	8 Meses	\$150.000	\$150.000
-	-	<b>SUBTOTAL</b>	\$20.000.000
<b>Margen de error en la planeación</b>	-	10%	\$2.000.000
<b>Imprevistos</b>	-	10%	\$2.000.000
-	-	<b>TOTAL</b>	\$24.000.000

**Tabla 16.** Presupuesto para la realización del trabajo de grado

Fuente: Propia

## 8. Cronograma

Actividad	Cronograma de actividades							
	Meses							
	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
Asignación docente asesor								
Selección del proyecto								
Introducción a la temática								
Recolección de información								
Primer adelanto del proyecto								
Apropiación tecnológica								
Análisis de resultados								
Corrección de errores								
Entrega final								

**Tabla 17.** Cronograma de actividades para la realización del trabajo de grado

Fuente: Propia

## 9. Conclusiones

El objetivo de este proyecto era elaborar un plan de Mantenimiento Preventivo de los Reconectores de media tensión de EPM para mejorar la calidad del servicio a la vez que se reducían los costos operativos. Este objetivo se pudo cumplir gracias al conocimiento que se había adquirido durante el tiempo trabajado en el área de mantenimiento de Reconectores. Incluso después de desarrollar el proyecto se puede decir que estos conocimientos en cuanto al funcionamiento, la estructura y las diversas maneras en que se pueden presentar fallas en estos equipos se han ampliado en gran medida, logrando así desarrollar el propósito principal de este trabajo de grado: Un Plan de Mantenimiento Preventivo Centrado en Confiabilidad que puede ser replicado en diferentes instalaciones ya que ha sido validado con datos estadísticos, obtenidos de la operación real del sistema.

Adicionalmente podemos concluir lo siguiente:

- Es fundamental que antes de iniciar cualquier actividad de mantenimiento en los Reconectores se conozcan todas las especificaciones técnicas, recomendaciones de los fabricantes, el tiempo de vida útil esperado, las medidas de seguridad y no menos importante cada uno de sus componentes y posibles formas en que puede fallar. Esto ayudará a desempeñar la actividad de mantenimiento de una manera más eficiente, disminuirá costos y permitirá un mejor funcionamiento de la maquinaria.
- Si se aplica con éxito este RCM se puede esperar que haya un aumento en la eficiencia del sistema ya que se disminuyen los fallos. Esto a su vez genera una reducción de costos de mantenimiento ya que muchas de las fallas se logran resolver antes de que ocurran.
- Después de haber comprobado este modelo se puede concluir que al enfocarse en el mantenimiento de reconectores con niveles críticos altos se evitan trabajos de mantenimiento innecesarios y redundantes al tiempo que se ofrece un servicio de distribución eléctrica más eficiente.

## 10. Recomendaciones

A modo de recomendación para mejorar nuestro pensum académico considero que es necesario incluir más experiencias prácticas en cada una de las materias ofrecidas, esto con el fin de que los estudiantes podamos ir comprendiendo que se espera del Ingeniero Eléctrico en cada uno de los campos de acción que tiene esta carrera. De igual manera considero necesario también fortalecer el manejo de herramientas ofimáticas, ser más exigentes en cuanto al manejo de un segundo idioma y ofrecer como parte del pensum el curso de introducción a la vida laboral que se hace tan necesario hoy en día.

Adicionalmente considero que la universidad debería inculcar más en sus futuros egresados el interés por continuar con sus estudios sea a través de una especialización o una maestría y garantizar que el tema económico no sea un impedimento para acceder a estas.

## 11. Referencias bibliográficas

- Aladon Ltd. (2002). RCM Case Study: On load tap changer . (*Sueiro, E. & Asociados, Traducción*) . Copyright heid Aladon Ltd.
- ANSI, C. (1973). *American National Standard*. Obtenido de IEEE Standard Guide for the Application, Operation, and Maintenance of Automatic Circuit Recloser:  
<https://pdfcoffee.com/ansi-c3761-1973-ieee-std-321-1973pdf-5-pdf-free.html>
- Arimetrics. (2022). *Qué es Software*. Obtenido de Arimetrics:  
<https://www.arimetrics.com/glosario-digital/software>
- Campuzano, H. S. (19 de Junio de 2014). *Reconectadores, seccionadores, protecciones y equipos de medición*. Obtenido de SlideShare:  
<https://es.slideshare.net/JHONMRJHON/reconectadores-seccionadores-protecciones-y-equipos-de-medicin>
- Eaton. (2023). *Reconectores: conceptos fundamentales de los reconectores*. Obtenido de Eaton:  
<https://www.eaton.com/ar/es-mx/products/medium-voltage-power-distribution-control-systems/reclosers/reclosers--fundamentals-of-reclosers.html#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20un%20reconector%3F,problema%20como%20un%20corto%20circuito>.
- Edaltec Group. (2021). *Reconector Eléctrico*. Obtenido de <https://edaltec-group.com/reconectadores/>
- Endesa. (2023). *La energía*. Obtenido de Endesa Fundacion:  
<https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/que-es-la-energia>
- Endesa. (2023). *Subestaciones eléctricas*. Obtenido de Endesa Fundacion :  
<https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/subestaciones-electricas>
- EnergyGo. (2023). *¿Qué es una sobrecarga eléctrica?* Obtenido de EnergyGo:  
<https://blog.energygo.es/glosario/definicion-sobrecarga-electrica/>
- ENTEC ELECTRIC & ELECTRONIC CO. (Enero de 2016). *EPR RECONECTADOR AUTOMATICO MANUAL DE USUARIO* . Obtenido de MANUAL DE USUARIO :  
 chrome-



- extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.face.coop/legislacion/index.php?option=com\_attachments&task=download&id=1797
- Etecé. (30 de Septiembre de 2020). *Seguridad*. Obtenido de Concepto: <https://concepto.de/seguridad/>
- Etecé. (5 de Agosto de 2021). *Distribución*. Obtenido de Concepto.De: <https://concepto.de/distribucion/>
- Etecé. (5 de Agosto de 2021). *Proyecto*. Obtenido de Concepto: <https://concepto.de/proyecto/>
- Fingermann, H. (23 de Enero de 2014). *Concepto de modelado*. Obtenido de DeConceptos.com: <https://deconceptos.com/general/modelado>
- Gardey, A., & Perez, J. (7 de Julio de 2021). *Circuito eléctrico - Qué es, clasificación, definición y concepto*. Obtenido de Definicion.De: <https://definicion.de/circuito-electrico/>
- Guillermo, W. (1 de Diciembre de 2020). *Mantenimiento*. Obtenido de Economipedia: <https://economipedia.com/definiciones/mantenimiento.html>
- IEEE C37.60™. (2012). *High-voltage switchgear and controlgear –Part 111: Automatic circuit reclosers and fault interrupters for alternating current systems up to 38 kV*. Obtenido de INTERNATIONALELECTROTECHNICALCOMMISSION: <https://pdfcoffee.com/iec-62271-111-2012-ieee-c3760-3-pdf-free.html>
- IEEE PC37.100.1™/D9. (2007). *Draft Standard of Common Requirements for High Voltage Power Switchgear Rated Above 1000 V*. Obtenido de Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.ewh.ieee.org/soc/pes/switchgear/minutes/2007-1/S07SWGRa6.pdf>
- IEEE std, C. (2018). *Commission, International Electrotechnical*. Obtenido de High voltage switchgear and controlgear: <https://www.studocu.com/cl/document/pontificia-universidad-catolica-de-valparaiso/protecciones-de-sistemas-electricos/ieee-c3760-2018-gracias/70782142>
- Lievano, M. (Septiembre de 2006). *IMPLEMENTACIÓN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DEL EQUIPO DE FLEXIBILIDAD DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE EMCALI*. Obtenido de Universidad Autonoma De Occidente: <chrome->

extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/6078/T04084.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Martinez, A. (8 de Agosto de 2023). *Definición de Función*. Obtenido de ConceptoDefinicion: <https://conceptodefinicion.de/funcion/>

Megger. (2006). *Evaluación de Estado de Equipo de Subestación*. Obtenido de EG-531/MIL/5M/11.2006: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.artec-ingenieria.com/pdf/Guias\_Tecnicas\_Megger/Castellano/Equipos%20de%20subestaciones.pdf

NTC 54 26. (2006). *REQUISITOS PARA RECONECTORES AUTOMÁTICOS DE CIRCUITO AÉREOS, MONTAJE TIPO PEDESTAL, DE BÓVEDA SECA Y SUMERGIBLES E INTERRUPTORES DE FALLA PARA SISTEMAS DE CORRIENTE ALTERNA HASTA DE 38 KV*. Obtenido de Icontec: <https://docplayer.es/90643464-Norma-tecnica-colombiana-5426.html>

Omega Electric. (2023). *Transformadores y Estabilizadores industriales*. Obtenido de Servicios Industriales : <https://omegaelectric.pe/recloser-reconectador/>

Perez, J., & Gardey, A. (23 de Junio de 2021). *Eficiencia - Qué es, definición, en la física y en la economía*. Obtenido de Definicion.De: <https://definicion.de/eficiencia/>

Perez, J., & Merino, M. (7 de Junio de 2021). *Desempeño - Qué es, definición y concepto*. . Obtenido de Definicion.De: <https://definicion.de/desempeno/>

Perez, J., & Merino, M. (6 de Julio de 2021). *Potencia*. Obtenido de Definicion.De: <https://definicion.de/potencia/>

SectorElectricidad. (3 de Diciembre de 2017). *Reconectores*. Obtenido de SectorElectricidad : <https://www.sectorelectricidad.com/19183/reconectores/>

SolucionesEnEnergia. (20 de Marzo de 2023). *5 riesgos en tu planta de luz por falta de mantenimiento*. Obtenido de Soluciones en energia: <https://rentadepantallas.com.mx/planta-de-luz-falta-de-mantenimiento/>

Talva, M. (20 de Enero de 2022). *Mantenimiento preventivo: todo lo que tienes que saber*. Obtenido de Mobility Work: <https://mobility-work.com/es/blog/mantenimiento-preventivo/>

Walliyamethee, N., & Hongesombut, K. (2019). *Programacion de Mantenimiento de Restauradores de Distribucion. Uso de Tecnicas RCM*. Bangkok : Autoridad Provincial de Electricidad.