



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

PROPUESTA TECNOLÓGICA

“ESTUDIO DE LAS INTERRUPCIONES DE SERVICIO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL RECONECTADOR TRIPSAVER II EN EL ALIMENTADOR 02/04 SAN ÁNDRES EN EL TRAMO DE MEDIA TENSIÓN AÉREA DE LA EMPRESA ELÉCTRICA RIOBAMBA S.A.”

PROPUESTA TECNOLÓGICA PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTROMECAÁNICA.

AUTOR:

Luis Jairo Ortega Córdova

TUTOR:

Ing. MSc. Jefferson Alberto Porras Reyes

LATACUNGA, MARZO 2025

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Ortega Córdova Luis Jairo, con cédula de ciudadanía N.º 060423534-1 declaro ser autor de la presente PROPUESTA TECNOLÓGICA: **“ESTUDIO DE LAS INTERRUPCIONES DE SERVICIO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL RECONECTADOR TRIPSAVER II EN EL ALIMENTADOR 02/04 SAN ÁNDRES EN EL TRAMO DE MEDIA TENSIÓN AÉREA DE LA EMPRESA ELÉCTRICA RIOBAMBA S.A.”**, siendo el Ing. MSc. Jefferson Alberto Porras Reyes, tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente estudio investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Latacunga, marzo del 2025.



Ortega Córdova Luis Jairo
C.C: 060423534-1

AVAL DEL TUTOR DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

En calidad de Tutor de la Propuesta Tecnológica sobre el título:

“ESTUDIO DE LAS INTERRUPCIONES DE SERVICIO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL RECONECTADOR TRIPSAVER II EN EL ALIMENTADOR 02/04 SAN ÁNDRES EN EL TRAMO DE MEDIA TENSIÓN AÉREA DE LA EMPRESA ELÉCTRICA RIOBAMBA S.A.”, de: Ortega Córdova Luis Jairo con número de cédula N.º 060423534-1, de la carrera de Ingeniería en Electromecánica, considero que dicha Propuesta Tecnológica es merecedor del aval de aprobación al cumplir las normas técnicas, traducción y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

Latacunga, marzo del 2025.



Ing. MSc. Porras Reyes Jefferson Alberto
C.C. 070440044-9
TUTOR

AVAL DE MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN


En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban la presente propuesta tecnológica de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, el postulante: Ortega Córdova Luis Jairo con número de cédula, N.º 060423534-1 con el título de Proyecto de titulación: **“ESTUDIO DE LAS INTERRUPCIONES DE SERVICIO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL RECONECTADOR TRIPSAVER II EN EL ALIMENTADOR 02/04 SAN ÁNDRES EN EL TRAMO DE MEDIA TENSIÓN AÉREA DE LA EMPRESA ELÉCTRICA RIOBAMBA S.A.”**, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

Latacunga, 27 de febrero del 2025


.....
Ing. Cruz Panchi Luis Rolando MSc.
C.C: 0502595176


.....
Ing. Albán Andrade Efren Damián MSc.
C.C: 050252951-4


.....
Ing. Moreano Martínez Edwin Homero MSc.
C.C: 0502607500

AGRADECIMIENTO

Un eterno agradecimiento a la Universidad Técnica de Cotopaxi, a cada uno de sus señores docentes e investigadores por sus conocimientos y experiencias impartidas en este viaje académico. Especialmente, agradezco a la Empresa Eléctrica Riobamba S.A. por la confianza brindada, resaltando el aporte indispensable de mi tutor de tesis por su orientación y paciencia durante este proceso investigativo, sus conocimientos y sugerencias fueron esenciales para dar forma a la investigación del tema.

Luis Jairo Ortega Córdova

DIDICATORIA

El presente estudio de investigación va dedicada al esfuerzo y apoyo incondicional de mi señor padre Néstor. Este logro no es solo mío, sino también de mi familia que Dios me ha permitido formar que con sus sacrificios y apoyo único han sido la fuerza impulsora en cada paso que he dado en este camino académico. Los amo.

Luis Jairo Ortega Córdova

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TÍTULO: “ESTUDIO DE LAS INTERRUPCIONES DE SERVICIO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL RECONECTADOR TRIPSAVER II EN EL ALIMENTADOR 02/04 SAN ÁNDRES EN EL TRAMO DE MEDIA TENSIÓN AÉREA DE LA EMPRESA ELÉCTRICA RIOBAMBA S.A.”

Autor: Ortega Córdova Luis Jairo

RESUMEN

El incremento anual de la demanda de energía eléctrica ha impulsado a las empresas distribuidoras a mejorar constantemente sus sistemas para garantizar un servicio continuo, confiable y de calidad, compuestos principalmente de alimentadores de media tensión, los mismo que contienen equipos de corte y de protección, en el cual encontramos a los reconectores automáticos, los mismos que contribuyen a mejorar la confiabilidad reduciendo su duración y frecuencia en las interrupciones del servicio. En este contexto, este estudio analiza la factibilidad de implementar el reconector TripSaver II en el alimentador 02/04 San Andrés en el tramo de media tensión aérea de la Empresa Eléctrica Riobamba S.A. Para ello se inicia evaluando su ubicación con datos registrados en el período marzo 2022 a abril 2023. El mismo que al concluir ha permitido optimizar así los recursos existentes en mejora a la calidad del servicio, lo que beneficia tanto a la empresa distribuidora como a sus clientes. El análisis mostró que, aunque la implementación del reconector TripSaver II tendría un costo inicial alto, reduce en un 80% de 2.277 eventos a 456 en las fallas transitorias mejorando su continuidad en la red afectada. En relación, el reconector TripSaver II, resulta ideal en cortes momentáneos y zonas con mayor duración de interrupciones de servicio.

Palabras claves: Interrupciones de servicio, Continuidad, Fallas transitorias, Tripsaver II.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

TITLE: "STUDY OF SERVICE INTERRUPTIONS FOR THE IMPLEMENTATION OF THE TRIPSAVER II RECLOSER ON FEEDER 02/04 SAN ANDRÉS IN THE OVERHEAD MEDIUM VOLTAGE SECTION OF EMPRESA ELÉCTRICA RIOBAMBA S.A.

Author: Ortega Córdova Luis Jairo

ABSTRACT

The annual increase in electricity demand has driven distribution companies to constantly improve their systems to ensure a continuous, reliable, and high-quality service, primarily consisting of medium-voltage feeders, which include switching and protection equipment, among which we find automatic reclosers. These reclosers contribute to improving reliability by reducing both the duration and frequency of service interruptions. In this context, this study analyzes the feasibility of implementing the TripSaver II recloser on the 02/04 San Andrés feeder in the medium-voltage aerial section of Empresa Eléctrica Riobamba S.A. To do so, its location is first evaluated with data recorded from March 2022 to April 2023. The results have allowed for the optimization of existing resources to improve service quality, benefiting both the distribution company and its customers. The analysis showed that, although the implementation of the TripSaver II recloser would incur a high initial cost, it reduces transient fault events by 80%, from 2,277 events to 456, improving network continuity in the affected area. In relation, the TripSaver II recloser is ideal for momentary outages and areas with longer service interruption durations.

Keywords: Service interruptions, Continuity, Transient faults, TripSaver II.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y APLICADAS
CARRERA: INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA


Nombre del estudiante: Luis Jairo Ortega Córdova

AVAL DE TRADUCCIÓN- Profesional Externo

Erika Daniela García Alban con cédula de identidad número: 0650055122 Licenciada/o; Magíster en: Licenciada en pedagogía del idioma inglés, con número de registro de la SENESCYT: 1019-2025-3038654; **CERTIFICO** haber revisado y aprobado la traducción al idioma Inglés del resumen del trabajo de investigación con el título: **“ESTUDIO DE LAS INTERRUPCIONES DE SERVICIO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL RECONECTADOR TRIPSAVER II EN EL ALIMENTADOR 02/04 SAN ÁNDRES EN EL TRAMO DE MEDIA TENSIÓN AÉREA DE LA EMPRESA ELÉCTRICA RIOBAMBA S.A.”** de: Luis Jairo Ortega Córdova egresado/a de la carrera de Ingeniería Electromecánica perteneciente a la Facultad de: Ciencias de la ingeniería y aplicadas.

En virtud de lo expuesto y para constancia de lo mismo se registra la firma respectiva.

Latacunga, Febrero, 2024



Erika Daniela Garcia Alban
Nombre completo del docente, Mg.
CI: 0650055122

ÍNDICE GENERAL

1. INFORMACIÓN GENERAL.....	1
2. INTRODUCCIÓN	2
2.1. Situación Problemática.....	3
2.2. Formulación del Problema	3
2.3. Objeto y Campo de acción.....	3
2.3.1. Objeto de la investigación	3
2.3.2. Campo de acción	3
2.4. Beneficiarios.....	4
2.4.1. Beneficios directos	4
2.4.2. Beneficios indirectos	4
2.5. Justificación.....	4
2.6. Objetivos	4
2.6.1. Objetivo general	4
2.6.2. Objetivos específicos.....	4
2.6.3. Sistema de tareas	5
3. MARCO TEÓRICO	6
3.1. Revisión bibliográfica.....	6
3.2. Sistema Eléctrico de Potencia	8
3.4. Sistema Eléctrico de Distribución.....	8
3.6. Subestación Eléctrica	9
3.7. Niveles de Volaje	9
3.8. Fallas	10
3.8.1 Fallas simétricas	10
3.8.2 Fallas asimétricas.....	10
3.9. Reconectores Automáticos	11

3.9.1	Componentes del reconectador.....	13
3.10.	TripSaver II.....	13
3.10.1	Características TripSaver II.....	17
4.	MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS.....	19
4.1.	Variables de investigación.....	20
4.1.1.	Variable independiente.....	20
4.1.2.	Variable dependiente.....	20
4.2.	Fallas en el sistema.....	20
4.2.1.	Muestreo de fallas.....	20
4.3.	Estudio del alimentador.....	21
4.3.1.	Estudio actual.....	21
4.3.1.	Interrupciones de servicio.....	22
4.4.	Causas y subcausas.....	24
4.4.1.	Costos ocasionados.....	24
4.5.	Beneficios económicos que entrega el reconectador TripSaver II.....	25
4.5.1.	Indicador SAIDI.....	25
4.5.2.	Indicador SAIFI.....	25
4.5.3.	Indicador CAIDI.....	26
4.5.4.	Datos obtenidos del alimentador 02/04 San Andrés.....	27
4.5.5.	Ventajas del reconectador TripSaver II.....	28
4.6.	Beneficios económicos que entrega el reconectador TripSaver II.....	30
5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	32
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	32
6.1.	Conclusiones.....	33
6.2.	Recomendaciones.....	34
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	34

ANEXOS	37
ANEXO A	47

ÍNDICE DE FIGURA:

Figura 3.1 Componentes principales del sistema eléctrico de potencia	9
Figura 3.2 Componentes principales del sistema eléctrico de distribución.....	9
Figura 3.3 Componentes principales de una subestación eléctrica	10
Figura 3.4 Tipos de fallas simétricas	11
Figura 3.5 Tipos de fallas asimétricas	11
Figura 3.6 Secuencia de una operación típica de un reconectador	12
Figura 3.7 Reconectador de apertura visible TripSaver II de S&C.....	14
Figura 3.8 TripSaver II en falla temporal	15
Figura 3.9 TripSaver II en apertura	15
Figura 3.10 TripSaver II en cierre	16
Figura 3.11 TripSaver en falla permanente	16
Figura 3.12 TripSaver II en interrupción momentánea	16
Figura 3.13 TripSaver II volviéndose a cerrar	17
Figura 3.14 TripSaver II se vuelve abrir por falla permanente.....	17
Figura 4.1 Subestación N°4 Tapi de la EERSA.....	21
Figura 4.2 Fallas transitorias en el alimentador 02/04 San Andrés	23
Figura 4.3 Gráfica por costos por fallas en el alimentador 02/04 San Andrés	24

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Sistema de tareas.....	5
Tabla 3.1 Niveles de voltaje	10
Tabla 3.2 Componentes de un reconectador.....	13
Tabla 3.3 Características en comparación con otros reconectores	19
Tabla 4.1 Subestación N° 4 Tapi de la EERSA.....	22
Tabla 4.2 Costos por fallas transitorias.....	24
Tabla 4.3 Comparativa del reconectador actual y el reconectador TripSaver II	30

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título:

“Estudio de las interrupciones de servicio para la implementación del reconector TripSaver II en el alimentador 02/04 San Andrés en el tramo de media tensión aérea de la Empresa Eléctrica Riobamba S.A.”

Fecha de inicio:

14 de octubre 2024.

Fecha de finalización:

07 de marzo 2025.

Lugar de ejecución:

Región: Sierra.

Provincia: Cotopaxi.

Cantón: Latacunga.

Lugar: Universidad Técnica de Cotopaxi.

Facultad que auspicia: Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas (CIYA).

Carrera que auspicia: Ingeniería en Electromecánica.

Proyecto de investigación vinculado: Modelo de gestión de activos en sistemas electromecánicos en el sector multisectorial de la provincia de Cotopaxi.

Autor: Ortega Córdova Luis Jairo.

Correo institucional: luis.ortega5341@utc.edu.ec.

Tutor de titulación: Ing. MSc. Porras Reyes Jefferson Alberto.

Área de conocimiento: Ingeniería, Industria y Construcción.

Sub-área: Ingeniería y Procesos afines.

Línea de investigación: Tecnología de la información y de las comunicaciones, robótica, automatización y optimización de sistemas.

Sublíneas de investigación de la carrera: Automatización, control y protecciones de sistemas electromecánicos.

2. INTRODUCCIÓN

La ambición de este estudio es que la Empresa Eléctrica Riobamba S.A. mejore el servicio de distribución de energía eléctrica a sus clientes del alimentador 02/04 San Andrés, del sector de Cochapamba ubicada al noroeste de la ciudad de Riobamba. Mediante de un análisis técnico y económico se busca reducir más del 80% de las fallas transitorias temporales, de acuerdo a las especificaciones técnicas entregadas por el fabricante (S&C Electric Company) [1]. Siendo su propósito eliminar las interrupciones momentáneas recurrentes y gestionirlas de manera electrónica mediante auto alimentación, abandonando así las prácticas tradicionales como "quemar fusibles", que provocan interrupciones permanentes incluso en fallas temporales. Así mismo se pretende evitar la práctica de "preservar fusibles" [2]. La cual causa interrupciones momentáneas para todos los usuarios del alimentador en cada evento, generando un alto número de quejas al centro de control de la EERSA, debido a la falta de continuidad de servicio, requiriendo así en muchos de los casos la intervención de personal operativo para reemplazar los fusibles en los ramales afectados.

En la subestación N°4 Tapi de la EERSA controlada por un operador que monitorea las señales e indicadores que detectan anomalías de la red en el sistema, las mismas que son reportadas al centro de control, el cual toma acciones inmediatas, como las pruebas de reconexión, según sea el tipo de falla reportado, con el fin de minimizar su tiempo de respuesta. Sin embargo, en varias ocasiones algunas fallas reportadas son complejas, por sus condiciones adversas que pueden llegar a demorar entre varias horas hasta días en solucionarse. Por ello se provee que con la implementación del reconectador TripSaver II, se minimizara estas fallas temporales para poder entregar así un servicio continuo.

El servicio que la Empresa Eléctrica Riobamba S.A. (EERSA) brinda a sus usuarios o abonados debe ser continuo, confiable y eficiente, ya que se encuentran bajo la supervisión constante del organismo ente regulador denominada como la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCERNNR), que mide sus aspectos técnicos como en criterios esenciales, tales como la atención al cliente, sus pérdidas de energía, la reparación de daños reportados y los cortes prolongados hablando de los principales.

Chimborazo, posicionada en la sierra central y siendo una de tres principales provincias del país que atraviesa un continuo crecimiento, experimentando en el año 2023 un incremento del 6.8% llegando a alcanzar así los 23.640 GWh en su demanda energética [3]. El mismo que obliga a

la EERSA a implementar nuevas tecnológicas para el fortalecimiento de sus redes de distribución. Por ello, como objetivo para el año 2025, se ha propuesto realizar el estudio de factibilidad para la implementación del reconectador TripSaver II en el alimentador 02/04 San Andrés como inicio a una medida para disminuir esta problemática.

2.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

El repetitivo índice de falta de continuidad de servicio eléctrico en el alimentador 02/04 San Andrés registradas proporcionan un análisis de sus posibles causas que la afectan, asignando una principal, la cual sería la variable dependiente del problema de esta investigación, preguntándonos: ¿Cómo afecta la no continuidad de servicio eléctrico a los clientes residenciales e industriales del sector de Cochapamba de la parroquia San Isidro, por interrupciones ocasionados hasta ser determinado sus causas, ¿sus reparaciones y sus costos? Identificando como variable independiente a la alta frecuencia de fallas transitorias en el alimentador 02/04 San Andrés de media tensión aérea.

2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La problemática nace al registrarse un alto y frecuente índice de fallas transitorias en el alimentador 02/04 San Andrés afectando a la continuidad y confiabilidad de la red eléctrica de la EERSA.

2.3. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN

2.3.1. Objeto de la investigación

Analizar la implementación del reconectador automático TripSaver II como una posible solución tecnológica mejorar sus tiempos de respuesta frente a fallas transitorias en redes eléctricas aéreas, mejorando la confiabilidad y la continuidad del suministro eléctrico.

2.3.2. Campo de acción

El estudio se enfoca en el análisis de la continuidad del servicio eléctrico en el alimentador 02/04 San Andrés, con especial atención en el sector de Cochapamba de la parroquia San Isidro. Se investigan las causas de las interrupciones del servicio, sus impactos en los clientes residenciales e industriales, así como los costos asociados a las fallas y sus reparaciones. La variable independiente es la alta frecuencia de fallas transitorias en la red de media tensión aérea, mientras que la variable dependiente es la afectación a los usuarios debido a la falta de

continuidad del suministro eléctrico. Enmarcándose dentro de los campos de ciencias y tecnologías correspondientes a la UNESCO, con el que se trabaja en el área 07 Ingeniería, Industria y Construcción, con el campo específico 071 Ingeniería y procesos afines y finalmente el Campo detallado 0714 Electrónica y Automatización como se puede apreciar en la tabla 2.1 [4].

Tabla 2.1 Campos de ciencias y tecnologías de la UNESCO.

CAMPOS DE LA UNESCO		
07 Ingeniería, Industria y Construcción	071 Ingeniería y Procesos Afines	0714 Electrónica y Automatización.

2.4. BENEFICIARIOS

2.4.1. Beneficiarios directos

EERSA, usuarios del alimentador, personal o grupos que realiza mantenimiento.

2.4.2 Beneficiarios indirectos

Comunidad en general de la región servida por la EERSA, empresas locales y economía regional, sector de la salud y de emergencias, entidades gubernamentales y reguladores.

2.5. JUSTIFICACIÓN

El presente estudio surge de la necesidad de mejorar la continuidad del suministro eléctrico, específicamente en la zona noroeste de la ciudad de Riobamba, un sector vulnerable debido a los constantes cortes de energía reportados y los daños ocasionados por su ubicación geográfica. Esto responde a una creciente de su demanda energética por parte de su población, conformada principalmente por usuarios micro industriales. Siendo los principales beneficiarios los habitantes del sector de Cochapamba, en la parroquia de San Isidro, quienes carecen de fuentes alternativas de generación eléctrica. Este trabajo tiene como objetivo aumentar la confiabilidad del suministro eléctrico proporcionado por la Empresa Eléctrica Riobamba S.A. (EERSA), manteniendo la continuidad del servicio.

2.6. OBJETIVOS

2.6.1. Objetivo general

Analizar la efectividad del reconectador TripSaver II en el alimentador 02/04 San Andrés, en el tramo de media tensión aérea de la Empresa Eléctrica Riobamba S.A., mediante la recopilación y análisis de datos históricos de fallas transitorias en el sector de Cochapamba, la evaluación de tiempos de respuesta del dispositivo y la comparación con los métodos tradicionales de restablecimiento, con el propósito de mantener la continuidad del servicio y disminuir la necesidad de intervención manual del personal operativo.

2.6.2. Objetivos específicos

- Estudiar el estado actual del alimentador 02/04 San Andrés en el tramo de media tensión aérea mediante la recopilación de datos históricos de fallas transitorias y tiempos de interrupción.
- Conservar la ubicación del reconectador actual por la del reconectador TripSaver II analizando sus costos y beneficios asociados a su implementación.
- Validar mediante un software su factibilidad de implementación en el alimentador 02/04 San Andrés de la EERSA.

2.6.3. Sistema de tareas

Tabla 2.1 Sistema de tareas.

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultados esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
Estudiar el estado actual del alimentador 02/04 San Andrés mediante la recopilación de datos históricos de fallas transitorias y tiempos de interrupción.	Tarea N° 1 Revisión bibliográfica y documentación técnica de la EERSA recopilando registros de fallas transitorias reportadas. Tarea N°2 Análisis de la base de datos del SAR de la EERSA reportados en el periodo marzo 2022 a febrero 2023.	Diagnóstico de patrones que incurrieron en la frecuencia de fallas transitorias reportadas determinando su impacto ocasionado por interrupciones del servicio.	Análisis documental de base de datos de la EERSA reportados en el periodo marzo 2022 a febrero 2023.
Ratificar la ubicación optima del reconectador TripSaver II, sus costos y beneficios asociados a su implementación.	Tarea N° 1 Análisis del punto de ubicación del reconectador actual para validar la ubicación del TripSaver II cuantificando gastos de implementación. Tarea N° 2	Justificación técnica de la ubicación del TripSaver II, estimando costos de adquisición, instalación y operación.	Simulación en el software Cyme la operación en la ubicación actual determinando su impacto en la continuidad del servicio, analizando cotizaciones del equipo, costos de instalación y mantenimiento.

	Justificación técnica de la ubicación considerando criterios técnicos y económicos.		
Validar mediante un software su factibilidad de implementación en el alimentador 02/04 San Andrés de la EERSA.	<p>Tarea N° 1</p> <p>Simular el impacto del TripSaver II en el alimentador 02/04 San Andrés analizando su efecto en la reducción de interrupciones transitorias y mejora de la continuidad del servicio.</p> <p>Tarea N° 2</p> <p>Simular el impacto del TripSaver II en el alimentador 02/04 San Andrés, analizando su efecto en la reducción de interrupciones transitorias y mejora de la continuidad del servicio.</p>	Validación técnica y económica significativa en fallas transitorias y beneficios económicos por la implementación.	Informe técnico con la validación de la factibilidad técnica y económica de la implementación del TripSaver II.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Ron Critelli director senior de servicios e ingeniería se suministros de energía de Power & Light Company (FPL) en el caso de estudio con el nombre "Confiabilidad Energética" de la S&C Electric Company en el año 2020, Florida, EE. UU determina que las condiciones, como el clima o el follaje, no deben dictar su capacidad para brindar un servicio de calidad a sus clientes, evaluando los problemas que tienen en cuenta las inevitabilidades del medio ambiente y diseño una estrategia para una solución integrada que abordaría cortes de cualquier duración. Implicando mejorar la red mediante la inversión en tecnologías para actualizar sus alimentadores, decidiendo instalar más de 4,000 interruptores de fallas IntelliRupter PulseCloser significando una mejor coordinación para que se puedan colocar más dispositivos en serie en los alimentadores, lo que permite a FPL segmentar aún más las líneas y reducir la cantidad de clientes afectados. Dado que resolver cortes de energía incluso de segundos de duración es una prioridad para FPL, configuró los interruptores de fallas IntelliRupter para que se disparen en una fase individual si una falla es temporal y luego bloqueen las tres fases solo cuando una falla sea permanente, un cambio de los disyuntores en las subestaciones. que parpadean a todos en el alimentador en las tres fases. Dado que los reconectores TripSaver II ahorran a los clientes cortes innecesarios o prolongados causados por fallas temporales y a FPL los costos operativos para reemplazarlos. En general, en los días de cielo azul, FPL descubrió

que los alimentadores endurecidos funcionaron hasta un 46 % mejor que los alimentadores no endurecidos. Tales elogios, así como la drástica mejora en la confiabilidad, inspiraron a FPL a comunicarse con S&C para innovar en una nueva solución de red inteligente para eliminar las molestas operaciones de fusibles sobre los transformadores de distribución aéreos. FPL notó que después de haber resuelto varios de sus desafíos de confiabilidad y resiliencia, estas ubicaciones de transformadores eran su siguiente enfoque para el avance de la red. Una cantidad significativa de cortes en transformadores aéreos solo requirieron el reemplazo de fusibles, lo que indica que las causas de estas fallas probablemente fueron temporales. En colaboración con S&C, los equipos inventaron el interruptor de reinicio automático VacuFuse, que prueba fallas en transformadores de distribución aéreos, mejora la experiencia del cliente y evita costos operativos [5].

Julio S. Omori superintendente de redes inteligentes y proyectos especiales de COPEL en el caso de estudio con el nombre "Mejorando la Confiabilidad" de la S&C Electric Company en el año 2020, Paraná, Brasil determina que cuando la agencia promulgó umbrales de desempeño del Índice de Duración Promedio de Interrupciones del Sistema (SAIDI) y del Índice de Frecuencia Promedio de Interrupciones del Sistema (SAIFI) para medir la capacidad de las empresas de servicios públicos para cumplir con los contratos de concesión. Estos umbrales de índice plantearon grandes desafíos para muchas empresas de servicios públicos brasileñas porque tenían que cumplirlos para evitar consecuencias financieras y una posible pérdida de sus contratos. Como resultado, COPEL se vio obligada a disminuir su desempeño SAIDI con relativa rapidez, principalmente en sus áreas de servicios rurales, que tenían la confiabilidad más pobre. COPEL estaba interesado en el reconectador montado en cortacircuitos TripSaver II de S&C, que proporciona una estrategia avanzada de protección lateral que detecta si las fallas son temporales y restaura la energía automáticamente cuando lo son. COPEL también quedó particularmente impresionado con la función visible de apertura del reconectador TripSaver II, junto con el soporte técnico de S&C y el menor tiempo de instalación. Durante las pruebas, dos juegos de reconectores TripSaver II instalados en sistemas trifásicos evitaron 62 visitas de camiones en Maringá y 83 visitas de camiones en Cascavel. Determinando que los reconectores TripSaver II eran la mejor solución para su sistema y finalmente los seleccionó para un despliegue de 3,300 unidades en todo el sistema. Dado que S&C proporcionó más de 200 opciones diferentes de curvas características tiempo-corriente (TCC), COPEL tuvo la flexibilidad de seleccionar diferentes curvas para satisfacer sus necesidades de coordinación del sistema. Cuando COPEL comenzó a revisar las capacidades del reconectador TripSaver II, los

datos revelaron una mejora significativa en el desempeño. Durante el despliegue inicial de 1.750 unidades a lo largo de 23 meses, COPEL logró una reducción de costos operativos equivalente al 20% del valor de su inversión. Luego de instalar otras 1.550 unidades, COPEL dispuso de 3.300 reconectores monofásicos desplegados en 1.419 lugares de instalación. Los dispositivos permitieron reducir el SAIDI en un 68,1%, reduciendo la duración promedio de la interrupción en 45 minutos y permitiendo a COPEL cumplir con los estrictos requisitos de desempeño establecidos por la ANEEL. El despliegue también permitió a COPEL evitar largos recorridos de camiones a áreas de servicio rurales, liberando a sus equipos de servicios públicos para que estuvieran disponibles para otros servicios de mayor valor agregado [6].

Edison Guanochanga jefe de protecciones de la Empresa Eléctrica Riobamba S.A.(EERSA), en el caso de estudio con el nombre "Ubicación de elementos y equipos de protección de redes de distribución de Medio Voltaje" de la Empresa Eléctrica Riobamba S.A.(EERSA), en el año 2024, Riobamba, Ecuador determina que una vez realizado el estudio y determinado la ubicación de los puntos para la instalación de descargadores de sobrevoltaje y de los seccionadores con interruptor de vacío con reconexión automática autoalimentado TripSaver II se determinan las mismas para su implementación en los alimentadores bajo análisis. Dado los recursos asignados para la ejecución del proyecto se contempla la instalación de los interruptores de vacío con reconexión automática autoalimentado TripSaver II en 5 alimentadores. Así mismo, con relación a los descargadores de sobrevoltaje se contempla la instalación únicamente en el alimentador A0208. Para este caso se analiza la correlación existente entre las características de las redes de medio voltaje de la Empresa Eléctrica Riobamba S.A.(EERSA), las condiciones climáticas y medioambientales que prevalecen en el área de servicio, y su influencia en los indicadores de calidad FMIK (Frecuencia de media de interrupción por KVA instalado) y TTIK (Tiempo medio de interrupción por KVA instalado). A través de un análisis de correlaciones, se pretende proporcionar información valiosa para la toma de decisiones y la mejora continua de la infraestructura eléctrica de la Empresa Eléctrica Riobamba S.A.(EERSA), con el fin de garantizar un servicio eléctrico más confiable y eficiente para sus clientes, al tiempo que se consideran los desafíos técnicos y medioambientales. Este estudio representa un paso importante hacia la optimización de la gestión de recursos donde la calidad del servicio son aspectos cruciales para el desarrollo y bienestar de la comunidad estableciendo que las condiciones climáticas, es decir el viento es el principal factor que afecta a la cantidad de desconexiones mientras que presente una fuerte correlación inversa con el tiempo medio de las desconexiones [7].

3.2 SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA

Llegando al sistema eléctrico de potencia (SEP) actual, al cual se lo define como un conjunto de instalaciones y dispositivos para generar, transmitir y distribuir energía eléctrica a los usuarios de una zona, región, ciudad o país. La función principal del SEP es suministrar a todos los usuarios con energía eléctrica a un mínimo costo posible, en la cantidad deseada y con un nivel aceptable de confiabilidad, seguridad y calidad. Los elementos que componen un SEP se muestran en la Figura 3.1 [8].

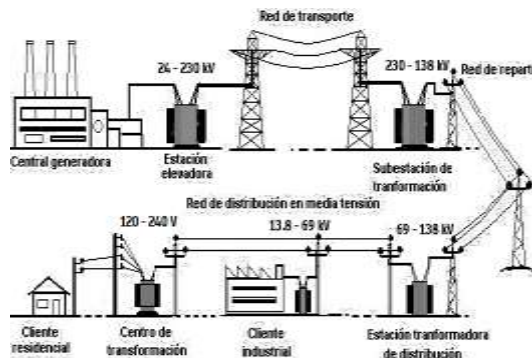


Figura 3.1 Componentes del sistema eléctrico de potencia.

3.3 SISTEMA ELÉCTRICO DE DISTRIBUCIÓN

Las subestaciones eléctricas (S/E) de distribución suministra energía eléctrica a uno o más alimentadores de media voltaje (MV), donde la mayoría son radiales. El diagrama básico de un sistema eléctrico de distribución (SED) se muestra en la Figura 3.1, donde se ilustra los componentes principales de las subestaciones (S/E), muchos de los ellos son del tipo reparables. El hecho que el SED sea el elemento menos confiable dentro del SEP se debe a que las empresas de distribución a menudo tienen cientos, miles o incluso millones de componentes y clientes como se muestra en la Figura 3.2 [9].

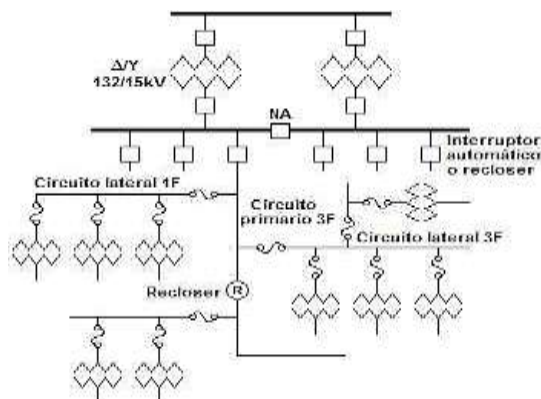


Figura 3.2 Componentes del sistema eléctrico de distribución.

3.4 SUBESTACIÓN ELÉCTRICA

Una subestación eléctrica se emplea en niveles de medio y alto voltaje para la distribución de energía en media tensión, generalmente a valores de 13,8/7,6 kV, y en baja tensión de 120/240 V, como lo indica la Figura 3.3 [10]. Por lo general, está conformada por transformadores reductores de 69 kV a 13,8 kV, aisladores tipo suspensión, columna y espiga, pararrayos, cuchillas seccionadoras, interruptores de potencia, postes de hormigón, reguladores de voltaje e interruptores de distribución.

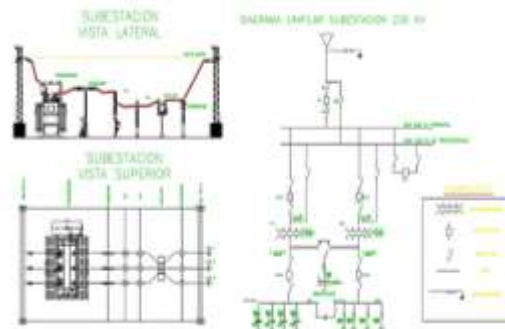


Figura 3.3 Componentes de una subestación eléctrica.

3.5 NIVELES DE VOLTAJE

En el Sistema Nacional Interconectado (SNI), los niveles de voltaje están estandarizados para asegurar una distribución de energía segura y eficiente [11]. Estos niveles se clasifican principalmente en transmisión, subtransmisión y distribución, los cuales se describen a continuación en la Tabla 3.1:

Tabla 3.1 Niveles de voltaje.

Clasificación de niveles de voltaje	
Bajo voltaje.	Voltaje menor o igual a 0.6 KV.
Medio voltaje.	Voltaje mayor a 0,6 y menor igual a 40 KV.
Alto voltaje grupo 1.	Voltaje mayor a 40 y menor igual a 138 KV.
Alto voltaje grupo 2.	Voltaje mayor a 138 KV.

Fuente: Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables.

3.6 SISTEMA DE PROTECCIONES ELÉCTRICAS

Un sistema de protecciones eléctricas es un conjunto de dispositivos y estrategias diseñadas para detectar y aislar fallas en una red eléctrica con el objetivo de minimizar daños a los equipos, garantizar la seguridad de las personas y mantener la estabilidad del sistema. Sus principales componentes incluyen dispositivos de protección como fusibles, que se funden ante sobrecorrientes y cortocircuitos; interruptores automáticos (breakers), como se indica en la

Figura 3.4 que interrumpen el flujo de corriente ante sobrecargas; relés de protección, que supervisan variables eléctricas y activan interruptores en caso de falla. La coordinación y selectividad son esenciales en estos sistemas, asegurando que solo se interrumpa la parte afectada y que la protección más cercana a la falla actúe primero, evitando cortes innecesarios y mejorando la confiabilidad del sistema [12].

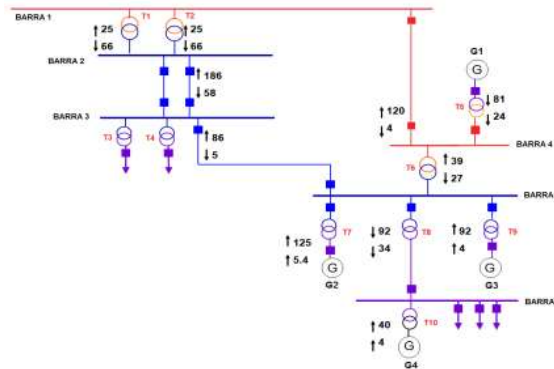


Figura 3.4 Circuito básico de un sistema de protecciones.

3.7 FALLAS EN EL SISTEMA ELÉCTRICO

El diagnóstico de fallas en las redes de distribución es de gran importancia incluso en las redes de media tensión y baja tensión. Del mismo modo, la identificación y localización de tales eventos es un importante factor para la calidad del servicio. Para el diagnóstico de fallas en tiempo real se realiza con algoritmos que consisten principalmente en el cálculo de la impedancia de la línea de falla, basados en parámetros de voltaje y la corriente registrada en el instante de falla. Se establece una relación entre la impedancia y la distancia de la falla, teniendo presente los parámetros de la línea (Sullivan et al., 1996). Este método es eficiente para los sistemas de transmisión porque permite detectar en un punto preciso la ocurrencia de la interrupción. Sin embargo, tal algoritmo no es aplicable a redes de distribución son sistemas con mayor complejidad, poseen más elementos y más entramados en su topología, en la cual, la distancia asociada con la impedancia estimada, puede coincidir con diferentes puntos de un sistema ramificado [13].

3.7.1 Fallas simétricas

Son aquellas fallas que se localizan con facilidad, ya que generalmente implican operaciones en daños trifásicos con corrientes extremadamente altas afectando a las tres fases que a través de ellas llevan la misma corriente de falla. Pueden clasificarse en cuatro tipos como se muestra en la Figura 3.4 [14]:

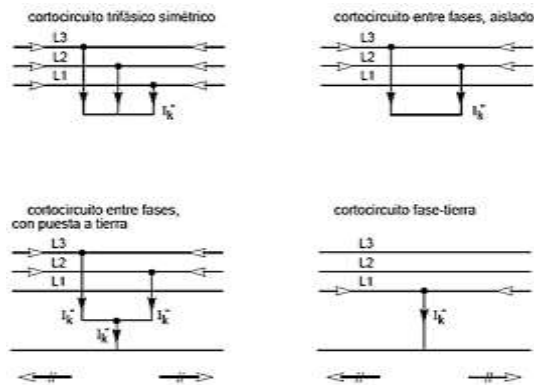


Figura 3.4 Tipos de fallas simétricas.

3.6.1. Fallas asimétricas

Son fallas que resultan muy difíciles de localizar y pueden involucrar operaciones en corrientes bajas, medias o altas. Se clasifican en tres tipos representados en la Figura 3.5 [15]:

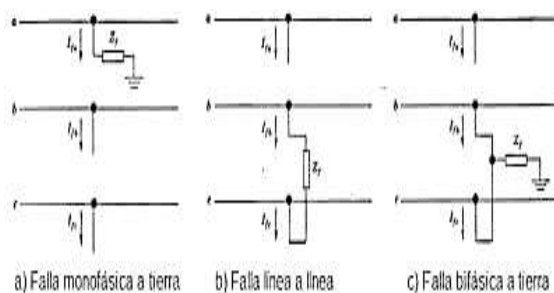


Figura 3.5 Tipos de fallas asimétricas.

3.7 RECONECTADORES AUTOMÁTICOS

Es un dispositivo de protección (DP) capaz de detectar una sobrecorriente, interrumpirla y reconectar automáticamente para restablecer el suministro eléctrico. Cuenta con un control que permite realizar varias reconexiones sucesivas, pudiendo ajustar tanto el intervalo como la secuencia de dichas reconexiones. Esta función de reconexión evita que una falla transitoria se convierta en una falla permanente, mejorando la continuidad del servicio eléctrico [16].

Los reconectores automáticos (RA) tienen una secuencia de operación que se puede programar para un máximo de tres reconexiones y cuatro aperturas, de acuerdo con el estudio de coordinación. Los tiempos de apertura se ajustan según las curvas tiempo-corriente, tanto en operación rápida como en operación retardada. La Figura 3.6 muestra la secuencia típica de operación del reconector, con los tres intervalos de reconexión y el uso de las curvas durante la desconexión del dispositivo [17].

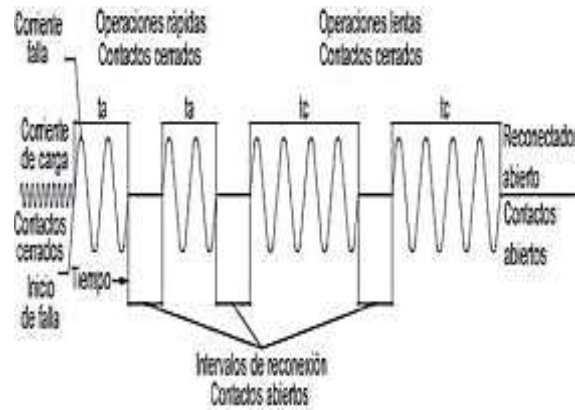


Figura 3.6 Secuencia de una operación típica de un reconector.

3.7.2. Componentes del reconector

El reconector consta de un gabinete de control que se puede estandarizar como un equipo de control a distancia; cuando el capacitor detecta un impulso de corriente, se cierra mediante una selenoide que atrae la placa para cerrar los interruptores mediante barras impulsoras de las cuales está compuesta. La apertura se realiza mediante un pulso del condensador que pasa a través de la bobina de apertura, lo que provoca que la armadura gire y active un mecanismo de apertura. Este diseño flexible permite el movimiento tanto de los contactos como de los aisladores, separando el tanque de los conductores. Los bushings del reconector proporcionan el aislamiento necesario para los sensores de tensión encapsulados y los transformadores de corriente, cumpliendo con la norma técnica DIN 47636-630 del Instituto Alemán de Normalización. Estos bushings están fabricados con polímero y soportan 3 metros de cable de aluminio de 185 mm² para 400 A, lo que permite que el reconector sea compacto y se conecte a sistemas aislados o desnudos, reduciendo el riesgo de fallas [18]. El reconector necesita una alimentación auxiliar de 120/240 V para su gabinete de control, que se conecta a través de un cable en la parte inferior del dispositivo. Además, incluye un indicador confiable del estado del contacto (abierto o cerrado) que es visible para el operador, facilitando su manejo y permitiendo la opción de bloquear las bobinas de cierre desde el panel de control. En la Tabla 3.2 se detallan cada uno de sus componentes:

Tabla 3.2 Componentes de un reconectador.

Partes estructurales del reconectador	
Tanque.	Soporte acerado con aislamiento, protege de los factores externos.
Placa del mecanismo.	Indica si es posible maniobrar o desbloquear el reconectador.
Solenoides de cierre.	Válvula controlada por energía eléctrica para el cierre.
Barra impulsora de contacto.	Mediante el pulso de la solenoide, libera la fuerza mecánica.
Interruptor de vacío.	Funciona como rompe carga.
Conexión flexible.	Conductores ajustables y flexibles.
Bushings aislantes de EPDM/Goma siliconada.	Aisladores con terminación de punta 15Kv internas.
Transformador de tensión.	Se utiliza en caso de no tener otra fuente de conexión.
Bushings aislantes según normas DIN 47 636-630.	Aislantes de cerámico con puntas exteriores, sirven de soporte.
Transformador de corriente.	Reduce la corriente para evitar pérdidas, y un mejor control.
Cables protegidos.	Conductores reforzados para cualquier tipo de eventos de cortocircuitos.
Solenoides de apertura.	Válvula controlada por energía eléctrica, para la apertura.
Módulo de entrada del cable de comunicación (SCEM).	Sirve para controlar mediante SCADA remoto.
Soporte para la instalación de los descargadores.	Soporte adjunto entre pararrayo y reconectador.
Entrada del cable de comunicación.	Cable con tecnología Ethernet con conectores RJ45 para comunicación.
Resorte de apertura.	Ejerce fuerza de fricción para los contactos de apertura y cierre.
Barra de apertura.	Cuchillas de apertura automática.
Enganche.	Seguro de en trabamiento del contacto.
Resorte de contacto.	Ejerce fuerza de fricción para obtener un buen contacto y evitar pérdidas.
Contactos.	Sirven para unir conexiones de diferentes tipos entre un conductor u otro.
Cable al gabinete de control.	Conductores de alimentación para el funcionamiento.

Fuente: Universidad de la Asociación de la Educación y la Cultura.

3.8 TRIPSAVER II

El reconectador montado en cortocircuito TripSaver II de S&C es un dispositivo monofásico, autoalimentado y controlado electrónicamente, que mantiene el suministro eléctrico y reduce la necesidad de viajes de camiones con cuadrillas. Una estrategia de reconexión en los ramales garantiza que las fallas transitorias no causen interrupciones prolongadas y que los otros ramales en el alimentador no sufran "parpadeos" y son instalados en la red como lo indica la Figura 3.7 [19].

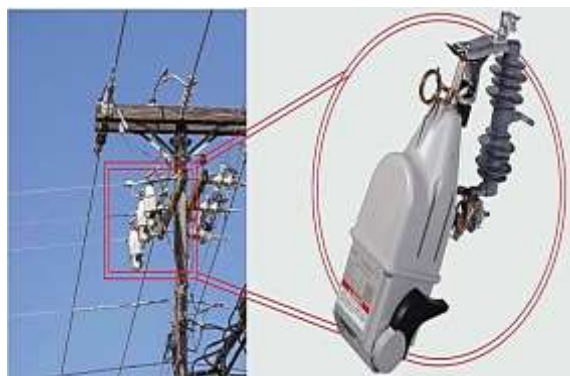


Figura 3.7 Reconectador de apertura visible TripSaver II de S&C.

Este interruptor que opera en vacío, es ideal para proteger ramales que sufren fallas momentáneas con frecuencia, controlado electrónicamente y con alimentación autónoma, se puede instalar en soportes de cortacircuitos con fusibles, lo que previene interrupciones permanentes en el suministro eléctrico que se producirían cuando un fusible del ramal se activa debido a una falla momentánea, utilizado generalmente en redes de distribución de energía eléctrica con el propósito de aumentar la confiabilidad y continuidad del servicio. Es un reconectador monopolar diseñado para interrumpir y restablecer el flujo de corriente en respuesta a posibles fallas temporales, lo que ayuda a disminuir el tiempo de interrupción para los clientes de las empresas distribuidoras de energía. Tiene una secuencia operativa de apertura cierre-apertura-caída con un intervalo de tiempo para reconexión de 5 segundos, reajustando cinco segundos después de la desconexión, quedando listo para la siguiente secuencia. La primera operación de apertura tiene un tiempo de despeje muy rápido relacionado entre 1.5 a 5.0 ciclos. La segunda operación de apertura presenta una característica de tiempo corriente equivalente a la de una curva para fusible ya sea de velocidad K o de velocidad T, proporcionando una excelente coordinación con el interruptor automático del alimentador de la subestación y con los fusibles de los transformadores aguas abajo, disponible en capacidades de voltaje de 15, 15/25, 25 y 25/34.5 kV, diseñado especialmente para proteger circuitos laterales que suelen experimentar fallas momentáneas. Esta solución de SmartGrid elimina los apagones permanentes que pueden ocurrir cuando los fusibles laterales se activan en respuesta a tales fallas. Evitando interrupciones momentáneas en los alimentadores cuando se dispara el interruptor de la subestación para proteger el fusible durante una falla temporal [20].

El TripSaver II es un reconectador autoalimentado y controlado electrónicamente, equipado con un interruptor de falla en vacío. Se instalan en montajes nuevos o existentes de los Disyuntores de Fusible tipo XS. Su secuencia de operación incluye apertura-cierre-apertura-caída con un

intervalo de recierre de 5 segundos y el interruptor se reinicia 5 segundos después de la caída, preparándose para la próxima operación. Su primera apertura utiliza un ciclo muy rápido, con un tiempo de despeje de entre 1.5 y 5.5 ciclos. La segunda apertura se basa en una característica de tiempo-corriente similar a una curva de fusible de velocidad "K" o "T". Esta secuencia de operación asegura una excelente coordinación con el interruptor de la subestación y con los fusibles de los transformadores aguas abajo. Para el estudio de nuestro caso debemos saber cómo trabaja el TripSaver II en una falla temporal aguas abajo, a continuación, se muestra en la siguiente Figura 3.8 [21].

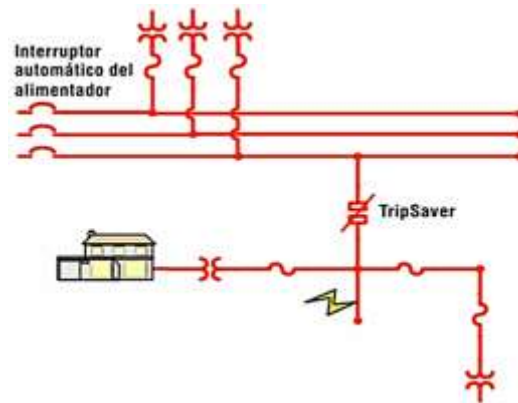


Figura 3.8 TripSaver II en falla temporal.

La primera operación de apertura utiliza la curva rápida. El TripSaver II se abre, como se muestra en la Figura 3.9. Únicamente los usuarios que son abastecidos por el ramal experimentan una interrupción momentánea [22].

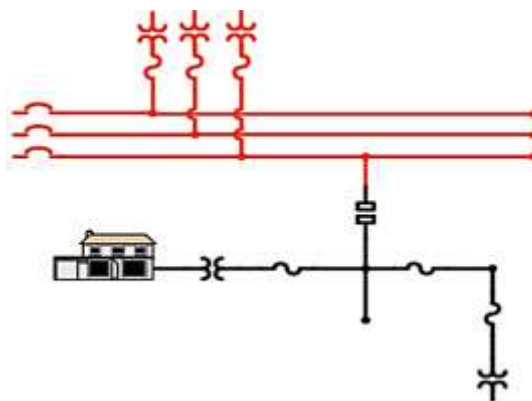
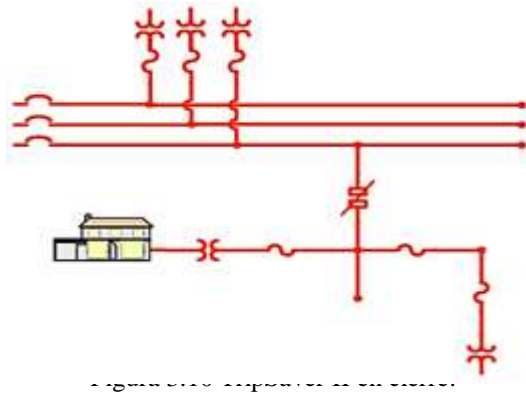


Figura 3.9 TripSaver II en apertura.

El TripSaver II se vuelve a cerrar, restableciéndoles la energía a los usuarios que son abastecidos por el ramal, según se muestra en la Figura 3.10. Como la falla fue temporal ya no se necesita una segunda operación de apertura regresando a su curva rápida después de 15 segundos [23].



Así trabaja el TripSaver II en una falla permanente aguas abajo, como se muestra en la Figura 3.11 [24].

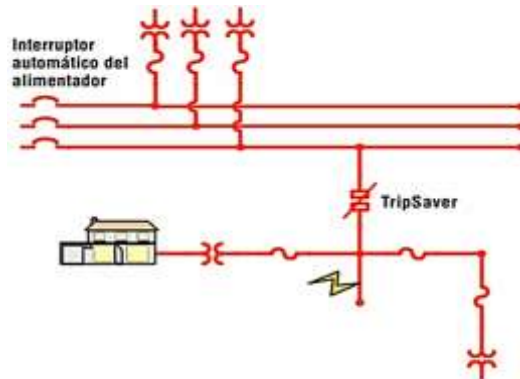


Figura 3.11 TripSaver II en falla permanente.

Al igual que en el caso anterior, la primera operación de apertura utiliza la curva rápida. El TripSaver II se abre, según se muestra en la Figura 3.12. Nuevamente, sólo los usuarios que son abastecidos desde el ramal experimentan una interrupción momentánea [25].

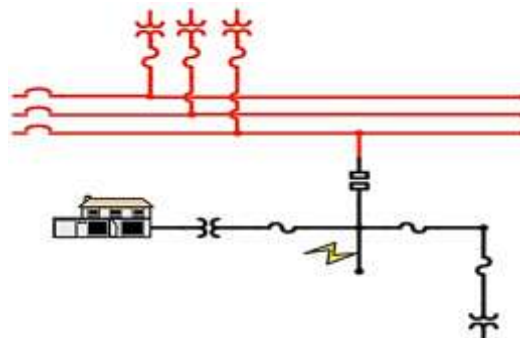


Figura 3.12 TripSaver II en interrupción momentánea.

El TripSaver II se vuelve a cerrar, como se ve en la Figura 3.13 [26].

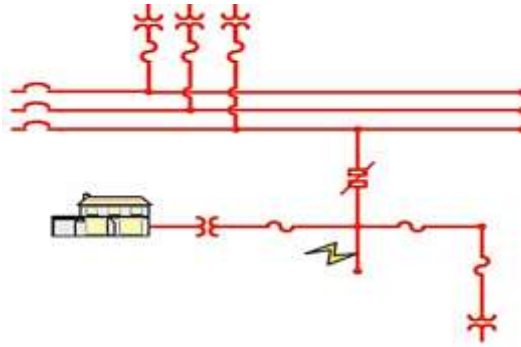


Figura 3.13 TripSaver II volviéndose a cerrar.

Debido a que la falla es permanente, el TripSaver II se vuelve a abrir por la curva lenta. Luego se desengancha de la misma manera que lo hace un cortocircuito fusible estándar, dando muestra visible de que la sección del alimentador que tiene falla ha quedado aislada, como se muestra en la Figura 3.14 [27].

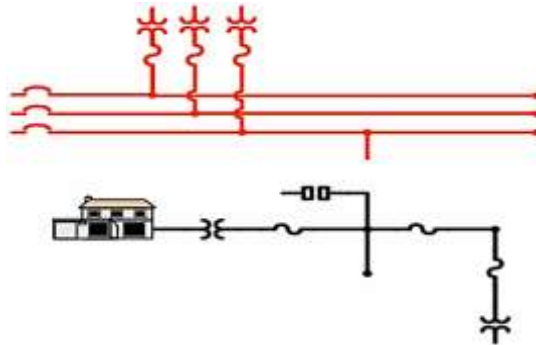


Figura 3.14 TripSaver II se vuelve abrir por falla permanente.

3.8.1 Características TripSaver II

Es un reconectador monofásico diseñado para aplicaciones específicas en redes eléctricas, con capacidades de voltaje que oscilan entre 15 kV y 34.5 kV, lo que le permite ajustarse a distintos sistemas de distribución que es autoalimentado y controlado electrónicamente, garantiza un funcionamiento eficiente y confiable, ya que está diseñado para detectar y reaccionar ante fallas transitorias, eliminando el riesgo de apagones permanentes y mejorando la continuidad del suministro. Su secuencia de operación consta de un ciclo de apertura-cierre-apertura-caída, con un intervalo de re cierre de 5 segundos, reiniciándose automáticamente. La primera realiza de forma muy rápida, en un rango de 1.5 a 5.5 ciclos de tiempo de despeje, mientras que la segunda apertura presenta características de tiempo-corriente que se asemejan a las curvas de fusible de velocidad "K" o "T", garantizando una excelente coordinación con los interruptores de subestación y los fusibles de transformadores. Pueden instalarse en sistemas nuevos o en sistemas ya existentes, específicamente en disyuntores de fusible tipo XS, evitando viajes

innecesarios de cuadrillas operativas, lo que contribuye a reducir costos operativos. Por último, su estrategia de reconexión asegura que las fallas transitorias no causen interrupciones prolongadas y minimiza los "parpadeos" en otros ramales del alimentador. Opera de manera autónoma, identificando fallas transitorias en la línea del sistema y actuando para interrumpir y restablecer el suministro eléctrico sin requerir intervención manual. Puede disminuir de manera significativa tanto la cantidad como la duración de las interrupciones en el suministro eléctrico, especialmente en zonas donde las fallas temporales o transitorias, como las provocadas por ramas de árboles o animales salvajes, son las más frecuentes [28].

El TripSaver II identifica una falla en la línea y, a través del monitoreo de la corriente y la tensión, toma las medidas adecuadas. Cuando se detecta una falla transitoria, el dispositivo corta el flujo de corriente en la línea de distribución para proteger tanto la red como los equipos conectados. Tras un breve lapso, el TripSaver II intenta restablecer el suministro de energía. Si la falla fue temporal, como en el caso de que una rama de árbol haya tocado la línea de transmisión, el servicio se recupera de manera rápida. Si la falla continúa tras varios intentos de reconexión, el dispositivo se mantiene abierto, aislando la sección afectada de la red eléctrica, permitiendo que los equipos de operación o mantenimiento puedan acudir para realizar las reparaciones necesarias [29]. Sus ventajas del reconectador TripSaver II se destacan al compararlo con otros tipos de reconectores disponibles en el mercado como el reconectador hidráulico monofásico y el seccionador electrónico estilo Dropout. En la Tabla 3.3 [30]. Se presentan de manera detallada sus beneficios y características físicas en relación con los demás dispositivos conectados a la red.

Tabla 3.3 Características en comparación con otros reconectores y el TripSaver II.

Característica / Beneficio	Reconectador Hidráulico Monofásico	Seccionador Electrónico estilo Dropout	TripSaver II
Fácil de reiniciar.	✓		✓
Control electrónico.		✓	✓
No requiere interruptor de puenteo.		✓	✓
Se ajusta a los montajes de cortocircuito.		✓	✓
Sin apagón momentáneo en el alimentador principal para fallas laterales.	✓		✓

4. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

En este capítulo se presenta la metodología adoptada para el desarrollo del estudio cuyo

objetivo es el de garantizar la continuidad del suministro eléctrico en el sector de Cochabamba mediante la propuesta de implementación del reconectador TripSaver II en el alimentador 02/04 San Andrés, utilizando la base de datos del periodo marzo 2022 – febrero 2023 reportador a la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables el periodo anterior. Finalmente, se formularon conclusiones y recomendaciones considerando sus costos, su efectividad y su impacto.

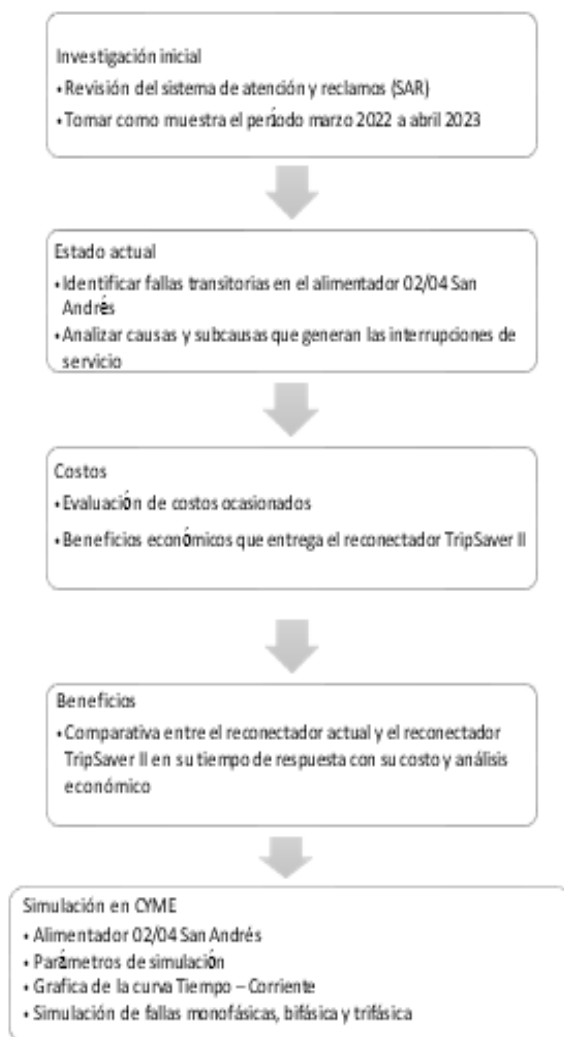


Figura 4.1 Diagrama de flujo del estudio de factibilidad del reconectador TripSaver II en el alimentador 02/04 San Andrés.

4.1 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

4.1.1. Variable independiente

Frecuencia de fallas transitorias en el alimentador 02/04 San Andrés de la EERSA.

4.1.2. Variable dependiente

Continuidad del servicio eléctrico.

4.2 FALLAS EN EL SISTEMA

4.2.1. Muestreo de fallas

La Empresa Eléctrica Riobamba S.A. (EERSA), entre marzo de 2022 y febrero de 2023, registro interrupciones de servicio que las hemos clasificado para facilitar su análisis y gestión. El período fue escogido por la alta frecuencia de eventos que afectaron a la continuidad del servicio en el alimentador 02/04 San Andrés, como se indica en el Anexo 1.

Principalmente abarcada por los factores ambientales, como la interferencia por árboles y condiciones climáticas extremas; añadidos a problemas asociados propios de la red que incluyen fallas en el equipamiento y deficiencias de diseño; además de factores externos, como daños ocasionados por terceros como los accidentes de tránsito; por ello cada causa principal se desglosa en subcausas específicas, lo que permite detallar los elementos que contribuyeron a las interrupciones del servicio, su impacto y frecuencia reportados al centro de control de la EERSA explicados a detalle en el Anexo 2 y 3 se muestra una clasificación organizada en categorías y subcategorías causales de fallas, proporcionando un desglose detallado para identificar las relaciones entre sus factores que la ocasionan.

4.3 ESTUDIO DEL ALIMENTADOR

4.3.1. Estado actual del alimentador 02/04 San Andrés

Para este estudio se ha considerado a la subestación N° 4 Tapi ubicada en la intersección de las calles Pastaza, Bolívar y Carchi, con las coordenadas -1.642956 -78.679672 <https://maps.app.goo.gl/du3b3Y4xSQCSRrwe9> en la ciudad de Riobamba, provincia de Chimborazo, mostrada en la Figura 4.1. La misma está conformada por 4 alimentadores, con una capacidad total de 50 MVA y atiende a 28.255 clientes, resumida en la Tabla 4.1. según los datos correspondientes al periodo comprendido entre marzo de 2022 a febrero del 2023, de la Empresa Eléctrica Riobamba S.A. (EERSA).



Figura 4.1 Subestación N° 4 Tapi de la EERSA.

Tabla 4.1 Subestación N° 4 Tapi de la EERSA.

Subestación N° 4 Tapi			
Alimentador	Número de clientes	Potencia consumida kVA	Potencia instalada kVA
15_04_Licán.	7.917	9.514	1.541
15_04_Los Álamos.	6.216	9.921	1.462
15_04_Multiplaza.	6.914	13.324	1.750
15_04_San Andrés.	7.208	17.711	1.435

4.3.2. Interrupciones transitorias de servicio reportadas

Los datos reportados por la EERSA a la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCERNR) del año 2023, correspondientes al periodo de marzo de 2022 a febrero de 2023. Se logró identificar sus principales fallas, clasificándolos por su tipo, por su frecuencia, su duración y los costos asociados a los mismos. Registrándose un total de 4.757 quejas en las líneas aéreas del alimentador 02/04 San Andrés, perteneciente a la Subestación 4 Tapi. El análisis de estas quejas ha permitido identificar varios puntos críticos en la red eléctrica, destacando las principales causas que afectan la infraestructura.

Las fallas transitorias en una red eléctrica se caracterizan por ser interrupciones momentáneas del servicio que no ocasionan daños permanentes en la infraestructura y pueden resolverse sin necesidad de reemplazos significativos. Dentro del análisis de quejas reportadas en el alimentador 02/04 San Andrés, se identificaron ciertos tipos de fallas que pueden clasificarse como transitorias debido a su naturaleza temporal y a la posibilidad de restauración rápida del servicio.

Uno de los problemas más recurrentes dentro de esta categoría son los cables secundarios arrancados, que representaron 977 quejas, equivalentes al 20,54% del total. Estas fallas suelen ser causadas por factores climáticos, intervenciones externas o esfuerzos mecánicos, lo que provoca desconexiones momentáneas en el suministro eléctrico. Sin embargo, en muchos casos, el servicio puede restablecerse de manera rápida mediante la reinstalación o reconexión de los cables sin que sea necesario un reemplazo mayor.

Otro tipo de falla transitoria identificada corresponde a las fallas en puertos, grilletes y grapas en las cajas de paso de media tensión, las cuales generaron 533 quejas, equivalentes al 11,20%. Estas fallas pueden afectar la continuidad del suministro eléctrico debido a conexiones deficientes o flojas que provocan interrupciones momentáneas. En la mayoría de los casos, este tipo de problema puede resolverse mediante ajustes o reposicionamientos de los componentes sin requerir una intervención mayor.

En total, las fallas transitorias en el alimentador 02/04 San Andrés representan 31,74% de las quejas registradas en el período analizado. La rápida atención a estos problemas podría contribuir significativamente a la mejora en la calidad del servicio eléctrico y a la reducción de quejas de los usuarios, optimizando la operación del sistema y minimizando costos asociados a intervenciones correctivas más complejas.

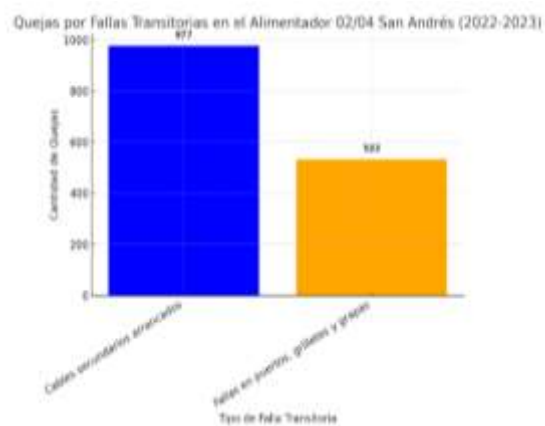


Figura 4.2 Fallas transitorias en el alimentador 02/04 San Andrés de la EERSA.

4.7. Causas y subcausas de las fallas transitorias en el alimentador 02/04 San Andrés

Las fallas transitorias en el alimentador 02/04 San Andrés pueden clasificarse en función de su origen y sus factores causales. Estas fallas, caracterizadas por ser interrupciones momentáneas sin daños permanentes en la infraestructura, se ven principalmente influenciadas por factores ambientales, problemas en la red y agentes externos. La identificación de estas fallas permite

una mejor comprensión de su impacto y la planificación de estrategias de mitigación.

Desde el punto de vista de los factores ambientales, las fallas transitorias incluyen aquellas causadas por interferencia de árboles y condiciones climáticas extremas, como lluvias intensas y vientos fuertes. Dentro del análisis reportado, las fallas climáticas representan el 5% del total, con 180 eventos y 10,49 horas de interrupción, lo que indica que, si bien su impacto es relativamente bajo en condiciones normales, podría aumentar en escenarios de clima severo.

En cuanto a los problemas asociados a la red, se identifican fallas en el equipamiento y deficiencias de diseño, que pueden manifestarse en cables secundarios arrancados y fallas en puertos, grilletes y grapas en cajas de paso de media tensión. Estas fallas pueden deberse a la falta de mantenimiento preventivo o a la degradación natural de los materiales, lo que provoca interrupciones transitorias del servicio. Su rápida identificación y corrección es clave para evitar fallas de mayor impacto.

Finalmente, los factores externos como daños ocasionados por terceros, accidentes de tránsito o vandalismo pueden generar interrupciones momentáneas en la red. En este sentido, las interrupciones de servicio representan el 10% de las fallas totales, con 2.276 eventos y 132,66 horas de duración. Este tipo de fallas destaca la importancia de implementar estrategias de protección en la infraestructura eléctrica para minimizar la incidencia de incidentes externos y reducir la cantidad de fallas transitorias en el sistema.

4.4.1. Costos ocasionados por fallas transitorias en el alimentador 02/04 San Andrés

El costo estimado de materiales y mano de obra relacionado con cada una de las causas de fallas ocasionadas en el alimentador 02/04 San Andrés, mencionadas en el Anexo 4 están vinculadas a las quejas atendidas por la EERSA y calculadas a través de sus costos de materiales y su mano de obra detallada del período marzo de 2022 y febrero de 2023, se presenta mediante las fallas más comunes y sus costos asociados, los cuales se muestran gráficamente, tal como se especifica en la Tabla 4.3 y en la Figura 4.4.

Tabla 4.3 Costos por fallas.

Total de costos en el alimentador 02/04 San Andrés		
Causal de fallas.	Costo de mano de obra.	Costo de materiales.
Ambientales.	\$ 661,07	\$ 44,15
Climáticas.	\$ 2.580,45	\$ 427,47
Red de alto, medio y bajo voltaje	\$ 258.46	\$ 122.80
Otras.	\$ 408.79	\$ 8,19
	\$ 3.908,77	\$ 602.61

El análisis de los costos ocasionados por fallas en el alimentador 02/04 San Andrés revela que la mayor carga económica proviene del mantenimiento, con un costo de \$8.428,55 en mano de obra y \$247,18 en materiales, lo que indica que una parte significativa del presupuesto se destina a trabajos correctivos y preventivos. Las fallas climáticas y aquellas causadas por terceros también representan costos elevados, sumando \$2.580,45 y \$2.454,55 en mano de obra, respectivamente, lo que resalta la vulnerabilidad del sistema ante factores externos. En contraste, los costos por ampliación y mejoras muestran un gasto significativo en materiales (\$2.559,07), lo que sugiere inversiones en infraestructura para optimizar el servicio. Con un costo total de \$15.450,89 en mano de obra y \$3.436,59 en materiales, es evidente la necesidad de estrategias que reduzcan la ocurrencia de fallas, como la implementación del TripSaver II, que podría minimizar los costos operativos y mejorar la eficiencia en la red.

4.5. Beneficios económicos que entrega el reconectador TripSaver II

Para evaluar el impacto financiero de la implementación se realiza un análisis considerando la reducción de las interrupciones y su efecto en costos operativos estimado por interrupción por un valor de 6.00 USD/hora, con una reducción esperada de fallas del 80% (coeficiente 0.80). Con los datos técnicos y la información sobre las fallas, se realiza un análisis costo-beneficio para determinar la viabilidad de implementar el reconectador TripSaver II. Este análisis toma en cuenta los costos de adquisición, instalación y mantenimiento, así como los ahorros potenciales resultantes de la reducción de interrupciones y pérdidas económicas. Los resultados se evalúan utilizando indicadores financieros como el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR). Para ello, se utiliza el costo de interrupción por hora establecido por la empresa en \$6.00 USD y se estima que el TripSaver II podría reducir las interrupciones en

un 80%. A partir de esta estimación, se calcularán los beneficios anuales para cada tipo de falla, comenzando con el cálculo de los beneficios anuales. Por lo tanto, se establece que el:

$$\text{Beneficio anual} = \text{duración de interrupciones (horas)} * \text{costo por hora} * \text{reducción} * 365 \text{ días.} \quad (1)$$

Ahora, calculamos para cada una de las causas de fallas:

$$\text{Beneficio anual de fallas simétricas} = \text{duración de interrupciones (horas)} * \text{costo por hora} * \text{reducción} * 365 \text{ días.}$$

$$\text{Beneficio anual de fallas simétricas} = 5,13 * 6 * 0,5 * 365$$

$$\text{Beneficio anual de fallas simétricas} = 5.613,9 \text{ USD.}$$

$$\text{Beneficio anual de interrupciones de servicio} = \text{duración de interrupciones (horas)} * \text{costo por hora} * \text{reducción} * 365 \text{ días.}$$

$$\text{Beneficio anual de interrupciones de servicio} = 2.276 * 6 * 0,5 * 365$$

$$\text{Beneficio anual de interrupciones de servicio} = 2.493,78 \text{ USD.}$$

$$\text{Beneficio anual de fallas climáticas} = \text{duración de interrupciones (horas)} * \text{costo por hora} * \text{reducción} * 365 \text{ días.}$$

$$\text{Beneficio anual de fallas climáticas} = 10,49 * 6 * 0,5 * 365$$

$$\text{Beneficio anual de interrupciones de servicio} = 17.103,9 \text{ USD.}$$

$$\text{Beneficio anual de mantenimiento y obras} = \text{duración de interrupciones (horas)} * \text{costo por hora} * \text{reducción} * 365 \text{ días.}$$

$$\text{Beneficio anual de mantenimiento y obras} = 3.055 * 6 * 0,5 * 365$$

$$\text{Beneficio anual de interrupciones de servicio} = 3.347,58 \text{ USD.}$$

Finalmente, sumamos el total de los beneficios anuales:

$$\text{Suma de total beneficios anuales} = \text{fallas simétricas} + \text{interrupciones de servicio} + \text{fallas climáticas} + \text{fallas mantenimiento y obras.} \quad (2)$$

$$\text{Suma de total beneficios anuales} = 5.613,9 + 2.493,78 + 17.103,9 + 3.347,58$$

$$\text{Suma total de beneficios anuales} = 28.859,46 \text{ USD.}$$

Continuamos con el cálculo de flujo de caja neto anual:

Dado que el TripSaver II tiene un costo de mantenimiento anual de \$2,000 USD, calculamos el flujo de caja neto anual como:

$$\text{Flujo de caja neto anual} = \text{beneficio anual total} - \text{costo de mantenimiento.}$$

(3)

$$\text{Flujo de caja neto anual} = 28.859,46 - 2.000 = 26.859,46 \text{ USD.}$$

Seguimos con el valor actual neto (VAN):

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{\text{Flujo de caja neto actual}}{(1+r)^t} \quad (4)$$

Donde la empresa tiene como objetivos una inversión inicial de \$50.000 USD, aplicando una tasa de descuento del 10% y un horizonte de evaluación de 5 años, con un Valor Actual Neto (VAN) calculado en base a un flujo de caja neto de \$26.859,46 USD anual. Donde:

$$VAN = \frac{26.859,46}{(1+0.10)^1} + \frac{26.859,46}{(1+0.10)^2} + \frac{26.859,46}{(1+0.10)^3} + \frac{26.859,46}{(1+0.10)^4} + \frac{26.859,46}{(1+0.10)^5} - 50.000$$

$$VAN = 24.417,70 + 22.197,90 + 20.179,91 + 18.345,37 + 16.677,61 - 50.000.$$

$$VAN = 51.818,00 \text{ USD.}$$

Por ultimo calculamos la Tasa Interna de Retorno (TIR):

La TIR es la tasa que hace que el VAN sea igual a cero. Su fórmula es:

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{\text{Flujo de caja neto actual}}{(1+TIR)^t} - \text{Inversión inicial} \quad (5)$$

$$TIR = 15,53\%.$$

Se observar que la inversión de la Empresa Eléctrica Riobamba S.A. en la implementación del TripSaver II es rentable, según los supuestos proporcionados, dado que el Valor Actual Neto (VAN) es positivo y la Tasa Interna de Retorno (TIR) supera el 10% definido en función del costo del financiamiento, el riesgo del proyecto y las tasas de rentabilidad de inversiones alternativas en el sector eléctrico, lo que indica la viabilidad del proyecto. Este análisis incluye un estudio histórico del período de marzo de 2022 a febrero de 2023, con las interrupciones clasificadas por tipo, que afectan la fiabilidad del sistema eléctrico de la EERSA. Para ello, se calcularán los índices de frecuencia de interrupciones de servicio (SAIFI), la duración promedio de las interrupciones (SAIDI). Se espera lograr una reducción del 20% en los indicadores SAIDI y SAIFI relacionados con el tiempo de interrupción, lo que también contribuirá a disminuir las sanciones impuestas por los organismos reguladores. Estas estadísticas servirán para identificar las causas que afectan las redes de distribución de media tensión en el alimentador 02/04 San Andrés, lo que facilitará la implementación de correcciones y medidas para mejorar el suministro de energía en la zona por parte de la EERSA. En el alimentador 02/04 San Andrés se registran 7.208 clientes, mientras que el total de clientes en todos los alimentadores de la Subestación 4 Tapi asciende a 28.255. A continuación, se procederá a calcular la proporción de interrupciones. Por lo tanto, se establece que:

$$\text{Interrupciones en San Andrés} = \frac{\text{Clientes en San Andrés}}{\text{Total de clientes en todos los alimentadores}} * \text{Total de interrupción} \quad (6)$$

$$\text{Interrupciones en San Andrés} = \frac{7.208}{28.255} * 4.757 = 1.212,77 \text{ horas.}$$

Ahora, calculamos la duración de interrupciones:

$$\text{Duración de interrupciones San Andrés} = \frac{\text{Clientes San Andrés}}{\text{Total de clientes en todos los alimentadores}} * \text{Duración total de interrupción} \quad (7)$$

$$\text{Duración de interrupciones San Andrés} = \frac{7.208}{28.255} * 326.61 = 83,28 \text{ horas.}$$

El análisis financiero de la implementación del reconectador TripSaver II en el alimentador 02/04 San Andrés muestra un fuerte potencial de ahorro y rentabilidad para la empresa. El beneficio anual total de la reducción de interrupciones se estima en \$28.859,46 USD, lo que refleja un impacto positivo significativo, especialmente cuando se considera que el costo de mantenimiento anual del TripSaver II es de solo \$2.000 USD. El flujo de caja neto anual resultante es de \$26.859,46 USD, lo que resalta un retorno atractivo para la inversión.

Al calcular el Valor Actual Neto (VAN), se obtiene un valor de \$51.818,00 USD, lo que indica que la inversión en el TripSaver II es financieramente viable, ya que el VAN es positivo. Este valor se obtiene utilizando una tasa de descuento del 10% y un horizonte de evaluación de 5 años. Además, la Tasa Interna de Retorno (TIR) calculada es del 15,53%, superando ampliamente el umbral del 10%, lo que respalda aún más la rentabilidad del proyecto.

4.5.1 Indicador SAIDI

Indica el promedio de duración de interrupciones por cliente en horas se calculará mediante su fórmula que es:

$$\text{SAIDI} = \frac{\sum C_i N_i}{N_{\text{total}}} \quad (8)$$

Donde:

D_i = Duración total de interrupciones en el alimentador por horas.

N_i = Número de clientes afectados en cada interrupción.

N_t = Número total de clientes.

4.5.2. Indicador SAIFI

Representa la cantidad promedio de interrupciones por cliente en un año. Su cálculo se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$SAIFI = \frac{\sum C_i}{N_{total}} \quad (9)$$

Donde:

C_i = Cantidad total de interrupciones en el alimentador.

4.5.3. Indicador CAIDI

Indicando el tiempo promedio de cada interrupción.

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI} \quad (10)$$

4.5.4. Datos obtenidos del alimentador 02/04 San Andrés

Cientes totales: $N_t = 7.208$ usuarios.

Interrupciones totales: $C_i = 4.757$ reportadas.

Duración total de interrupciones: $D_i = 326,61$ horas.

4.5.4.1. Cálculos

$$SAIDI = \frac{\sum C_i N_i}{N_{total}} = \frac{326.61 * 7.208}{7.208} = 326.61 \text{ horas.}$$

$$SAIFI = \frac{\sum C_i}{N_{total}} = \frac{4.757}{7.208} = 0,66 \text{ interrupciones por cliente.}$$

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI} = \frac{326.61}{0,66} = 494.86 \text{ minutos} = 8,25 \text{ horas por interrupción.}$$

Los resultados de los indicadores de confiabilidad del alimentador 02/04 San Andrés evidencian una problemática significativa en la duración de las interrupciones del servicio eléctrico. El SAIDI, con un valor de 326,61 horas, indica que los clientes experimentan interrupciones

prolongadas a lo largo del año, lo que sugiere tiempos de restauración deficientes. Aunque el SAIFI es relativamente bajo (0,66 interrupciones por cliente al año), esto significa que, si bien las fallas no son frecuentes, su impacto es considerable debido a su duración.

El CAIDI, con un valor de 8,25 horas por interrupción, muestra que cada falla toma un tiempo prolongado en resolverse, lo que afecta directamente la calidad del servicio y genera insatisfacción en los usuarios. Esto podría deberse a la falta de automatización en la red, procedimientos manuales de restauración o equipos de protección ineficientes. La presencia de reconectores automáticos ayudaría a reducir significativamente estos tiempos, evitando que las interrupciones se prolonguen innecesariamente.

Para mejorar la confiabilidad del alimentador, se recomienda optimizar la ubicación del reconector TripSaver II, asegurando su instalación en un punto estratégico donde pueda reducir la duración de las interrupciones. Esto permitiría disminuir el SAIDI y el CAIDI, mejorando la calidad del servicio sin necesidad de incrementar la infraestructura de protección de la red. Implementar esta solución no solo beneficiaría a los usuarios, sino que también optimizaría la operación y mantenimiento de la red eléctrica, reduciendo costos asociados a interrupciones prolongadas.

Los resultados también señalan que la implementación del TripSaver II contribuiría a una reducción del 20% en los índices SAIDI y SAIFI, lo que mejoraría significativamente la fiabilidad del sistema y disminuiría las sanciones regulatorias. Este proyecto no solo promete un retorno financiero favorable, sino que también incrementará la eficiencia operativa, mejorará la calidad del servicio eléctrico en la zona y optimizará el uso de recursos para la EERSA. En resumen, la inversión es rentable y se justifica tanto por los beneficios económicos como por las mejoras en la calidad del servicio.

4.5.5. Ventajas del reconector TripSaver II

Esta clasificación facilita la identificación y priorización de las áreas críticas para mitigar el impacto en la infraestructura eléctrica. Una vez identificadas estas áreas, se procede a una evaluación comparativa entre el reconector automático común y el TripSaver II. En esta etapa, se analizan las características técnicas de ambos dispositivos, evaluando su capacidad para reducir la frecuencia y duración de las fallas identificadas, destacando sus diferencias clave en términos de funcionalidad, costo, efectividad y beneficios operativos como se menciona en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4 Comparación tipos de reconectores.

Comparativa detallada de reconectores existentes en el mercado		
Características	Reconector actual	Reconector TripSaver II
Funcionamiento.	Reconecta manualmente tras una interrupción.	Reconecta automáticamente tras fallas transitorias.
Tiempo de respuesta.	Depende del tiempo de intervención del personal.	Restablecimiento automático en segundos.
Tipo de fallas.	Generalmente no puede distinguir entre fallas permanentes y transitorias.	Diseñado para identificar y gestionar fallas transitorias, minimizando interrupciones.
Costos de mantenimiento.	Costos moderado, pero puede implicar mayor intervención manual.	Mantenimiento más bajo gracias a la automatización.
Costo inicial.	Generalmente más bajo en comparación con el TripSaver II.	Mayor costo inicial debido a tecnología avanzada (\$5.000 por unidad)
Impacto en la continuidad del servicio.	Puede resultar en interrupciones prolongadas y repetidas.	Minimiza la duración de las interrupciones al restaurar el servicio rápidamente.
Efectividad.	Efectivo, pero puede ser ineficiente en redes con alta incidencia de fallas transitorias.	Muy efectivo para redes con fallas recurrentes, mejorando significativamente los índices de fiabilidad (SAIFI y SAIDI).
Análisis económico.	Retorno de inversión limitado y período de recuperación más largo.	Alto retorno de inversión (166%) y período de recuperación muy corto (0.21) días.
Capacidad de monitoreo.	Limitada, requiere intervención manual para evaluación.	Integración con sistemas de monitoreo que permiten análisis en tiempo real y registro de datos.
Beneficios adicionales.	Mejora en la confiabilidad, pero limitado en prevención.	Mejora en la confiabilidad y eficiencia operativa, reducción de costos a largo plazo por menos interrupciones.

La comparativa entre el reconector habitual y el TripSaver II resalta diferencias significativas en términos de funcionalidad, costo, efectividad y beneficios operativos, lo que permite identificar cuál de estos dispositivos es más adecuado dependiendo de las necesidades específicas de la red eléctrica.

Funcionamiento y tiempo de respuesta: El reconector habitual depende de la intervención manual del personal para restablecer el servicio, lo que puede generar interrupciones prolongadas. En contraste, el TripSaver II está diseñado para reconectar automáticamente tras fallas transitorias, con un tiempo de respuesta de segundos, minimizando la duración de las interrupciones. Esto mejora considerablemente la continuidad del servicio.

Tipo de fallas y efectividad: Mientras que el reconector convencional no puede distinguir entre fallas permanentes y transitorias, lo que limita su efectividad en redes con alta incidencia de fallas transitorias, el TripSaver II está específicamente diseñado para identificar y gestionar fallas transitorias, reduciendo las interrupciones y mejorando los índices de fiabilidad (SAIFI y SAIDI). Esto lo convierte en una opción mucho más efectiva para redes con fallas recurrentes, optimizando la fiabilidad del sistema eléctrico.

Costo y análisis económico: El reconector habitual tiene un costo inicial más bajo y unos

costos de mantenimiento moderados, pero su rendimiento es limitado, lo que podría implicar un mayor retorno de inversión a largo plazo debido a las intervenciones manuales frecuentes. Por su parte, el TripSaver II, aunque tiene un costo inicial más alto debido a su tecnología avanzada, ofrece un alto retorno de inversión (166%) y un período de recuperación muy corto (0,21 días). Además, su mantenimiento es más bajo, gracias a la automatización, lo que contribuye a una reducción de costos operativos en el largo plazo. A través de su integración con sistemas de monitoreo en tiempo real, el TripSaver II también permite una gestión más eficiente de las interrupciones, con la capacidad de registrar y analizar datos, lo cual es limitado en el reconfigurador convencional.

En resumen, aunque el reconfigurador habitual sigue siendo una opción viable y más económica a corto plazo, el TripSaver II ofrece mejores beneficios operativos y económicos a largo plazo, al proporcionar una mayor efectividad, un menor tiempo de interrupción, y un alto retorno de inversión. Esto lo hace particularmente adecuado para redes con alta recurrencia de fallas transitorias y donde la fiabilidad y la eficiencia operativa son prioridades.

4.6. Simulación de fallas transitorias en el software CYME

El estudio de simulación de fallas debe diferenciar entre fallas monofásicas, bifásicas y trifásicas para verificar la coordinación de protecciones, basándose en los resultados de la simulación para optimizar la protección y minimizar interrupciones innecesarias, verificando la secuencia de operación junto con otros dispositivos de protección. La implementación en el software CYME permite una evaluación detallada del impacto del TripSaver II en la red. Este software optimiza la configuración del dispositivo para adaptarse a las necesidades específicas de la red, reduciendo el riesgo de errores en la configuración y operación, al permitir la simulación y análisis en un entorno virtual, facilitando la planificación y la toma de decisiones basadas en datos precisos, como se muestra continuación.

El Anexo 5 muestra una interfaz de un software de gestión de redes eléctricas donde se lista una serie de alimentadores identificando al ALM-1500002T04, indicando un esquema de la red utilizado para monitorear o planificar, mostrando un esquema de una red eléctrica trazado donde las líneas rojas representan la topología de un alimentador identificado como "75026_MTA," con sus ramas y derivaciones visibles. Este trazado de media utilizado para el monitoreo, análisis de fallas o planificación de mantenimiento de la red.

El anexo 6 muestra el análisis de sistemas eléctricos, específicamente de un gráfico de

perfil de tensión con el identificador "ALIM-1500020T04". El gráfico, representado en un diagrama cartesiano, tiene la "Distancia desde la fuente (π)" en el eje horizontal y el "Nivel de Tensión" en el eje vertical, con tres líneas de colores roja, verde y azul que muestran la caída de tensión en las fases A, B y C, respectivamente.

El anexo 7 muestra un diagrama esquemático de un sistema eléctrico de protección y distribución de energía en el lado izquierdo, con etiquetas numéricas (50, 51, 50N, 51N) refiriéndose a dispositivos de protección del reconectador TripSaver II en el ALIM-1500020T04, se observa un mensaje en la parte inferior indicando que no se encontró una conexión en la base de datos. A la derecha, se encuentra un gráfico de coordenadas cartesianas que muestra una curva característica tiempo-corriente, utilizada para la coordinación de protecciones, representando diferentes dispositivos de protección (como fusibles o interruptores automáticos) con curvas que indican la relación entre el tiempo de operación y la corriente de falla. Las anotaciones en el gráfico proporcionan detalles sobre los dispositivos que representan las curvas. La atmósfera es técnica y profesional, con colores predominantes en tonos azules, verdes y grises, típicos de interfaces de software de ingeniería, sin elementos que sugieran emociones específicas. Estas curvas ofrecen una referencia gráfica de cómo responde cada equipo frente a las variaciones de corriente, facilitando la evaluación del desempeño de la protección en cada tipo de falla. Al comparar los tiempos de respuesta de los dispositivos, se puede determinar la efectividad de la coordinación de protecciones. El TripSaver II, al ser un dispositivo rápido, debería ser el primero en operar en caso de fallas locales, minimizando las interrupciones innecesarias. Los reclosers deben intervenir en secciones más grandes de la red, mientras que los fusibles actúan como protección de último recurso.

La simulación gráfica de coordinación de protecciones para fallas monofásicas, bifásicas y trifásicas muestra cómo los dispositivos operan ante distintos niveles de corriente de falla. En las fallas monofásicas, con corrientes menores, el TripSaver II actúa rápidamente, reduciendo el impacto en la fase afectada. En las fallas bifásicas, con mayor corriente, el TripSaver II sigue siendo el primero en actuar, mientras que el recloser entra en acción si el TripSaver no responde a tiempo. En las fallas trifásicas, con las corrientes más altas, tanto el recloser como el fusible están listos para operar después del TripSaver II, cubriendo secciones más amplias de la red ante fallas severas, como se muestra en el Anexo 8.

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En un sistema de distribución con configuración radial, la ocurrencia de una falla interrumpe el suministro eléctrico en los tramos de red ubicados aguas abajo del punto de protección más cercano a la falla. Dependiendo del esquema de protección implementado, los indicadores de calidad del servicio técnico pueden verse afectados en mayor o menor medida, lo cual podría derivar en sanciones o penalizaciones por parte del ente regulador. Además, la Energía No Suministrada (ENS) está relacionada con el esquema de distribución y los equipos de protección presentes en la red. Si existe la opción de transferir carga entre alimentadores cercanos, este indicador puede reducirse significativamente mediante la optimización de los puntos de seccionamiento y transferencia de carga en la red, disminuyendo así la cantidad de carga desconectada. En este marco, el estudio propone reducir los indicadores FMIK y TTIK promedio del sistema eléctrico a través del alimentador 02/04 San Andrés.

Los resultados obtenidos mediante la metodología seleccionada y el uso de software para el desarrollo de algoritmos confirmaron las expectativas iniciales de la investigación. Se determinó la ubicación óptima para instalar el reconectador TripSaver II, lo que resultó en una mejora significativa en los índices de confiabilidad del AMV. Estos índices, como el SAIDI y el SAIFI, se redujeron aproximadamente en un 80%, lo que es un resultado notable, dado que refleja una disminución considerable de las interrupciones de servicio con tiempos prolongados. El análisis causal de fallas y costos de operación y mantenimiento refleja la realidad de la calidad del servicio.

La falta de servicio es la falla más frecuente, representando un 39% del total de las fallas registradas en el alimentador 02/04 San Andrés, seguida por el alumbrado público apagado con un 22%, y los trabajos programados con un 20%. Estas tres fallas representan el 81% del total de las fallas analizadas. Para mejorar la calidad del servicio, se deben plantear alternativas óptimas de actuación.

El análisis de las causas de las fallas se realizó utilizando el diagrama de causa-efecto (Ishikawa), identificando las principales causas de fallas: las causadas por terceros con un 37%, las causadas por condiciones climáticas con un 28%, y las de mantenimiento, que representan el 19%. Al asociar las causas con sus efectos y basarnos en los registros de reclamos, se ha logrado un enfoque más claro de la problemática.

Con los resultados obtenidos, se establece la necesidad de implementar estrategias

óptimas y un plan de mejoras, con la expectativa de que otras empresas en el país puedan diseñar e implementar planes similares o mejorados.

El análisis causal y los costos de operación y mantenimiento se basaron en lineamientos que buscan mejorar la calidad del servicio en la transmisión de energía eléctrica, identificando causas y subcausas por medio de la unificación de datos y analizando los reclamos, lo que nos permite realizar un análisis por sectores, agrupando las causas y subcausas. La comparación de los índices SAIDI y SAIFI antes y después de implementar mejoras, como el TripSaver II, muestra resultados significativos: el SAIDI, que mide la duración promedio de interrupciones por cliente, se redujo de 0,0106 a 0,0053 horas, lo que indica menos tiempo sin suministro. Por su parte, el SAIFI, que refleja la frecuencia promedio de interrupciones por cliente, pasó de 0,4778 a 0,2389 evidenciando una disminución del 50% en la cantidad de interrupciones. Esto demuestra que la implementación de estas medidas no solo mejora la calidad del servicio eléctrico, sino que también reduce el impacto de las fallas en los usuarios.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- El análisis del estado actual indica que las fallas en el alimentador 02/04 San Andrés son de naturaleza temporal, las mismas que pueden ser mitigadas eficientemente, evitando interrupciones prolongadas y asegurando un servicio eléctrico más continuo y confiable para los usuarios logrando reducir estas fallas en 80%, disminuyendo de 2.277 a 456 eventos en el período analizado. Como resultado, los indicadores de calidad del servicio mejoraron significativamente, con una reducción del SAIDI de 0,0106 a 0,0053 horas y del SAIFI de 0,4778 a 0,2389, lo que indica una disminución del 50% en la cantidad de interrupciones por cliente. Además, el análisis reveló que 81% de las fallas estuvieron relacionadas con interrupciones del servicio.
- Se ratificó la ubicación óptima para la instalación del reconectador TripSaver, permitiendo alcanzar una reducción significativa en el sistema ocasionado en el sector de Cochapamba, logrando una mejora aproximada del 80% en los indicadores de confiabilidad, continuidad del servicio, sus costos y beneficios. El análisis financiero determinó un beneficio anual de \$28.859,46 USD, con un costo de mantenimiento anual de \$2.000 USD, generando un flujo de caja neto de \$26,859.46 USD. Adicionalmente, se calculó

un Valor Actual Neto (VAN) de \$51.818,00 USD y una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 15,53%, superando el umbral del 10%, lo que confirma la rentabilidad del proyecto. Además, la automatización del sistema permitiría reducir en un 20% los costos operativos asociados a la intervención manual de personal técnico.

- La validación para la implementación del reconectador TripSaver II mediante el software CYME indica que contribuirá a la mejora de la confiabilidad y la continuidad del servicio en el sector de Cochapamba, reduciendo así de manera efectiva las interrupciones temporales, disminuyendo los tiempos de inactividad y garantizando una mayor estabilidad en el suministro eléctrico.

6.2. Recomendaciones

- Identificar las zonas críticas con base en los reportes de fallas con indicadores de confiabilidad priorizando las áreas más vulnerables enfocándose a mejorar el servicio eléctrico.
- Implementar escalonadamente en función de las necesidades que los indicadores de confiabilidad lo indiquen de cada uno de los alimentadores de la EERSA de acuerdo a una planificación asegurando un equilibrio para el fortalecimiento de la red no afectando el presupuesto aprobado anual.
- Desarrollar un plan de mantenimiento preventivo específico para el reconectador TripSaver II con el fin de asegurar su correcto funcionamiento óptimo contando con un plan de respuesta de cualquier eventualidad asegurando la continuidad y satisfacción de los usuarios.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Giovanni Manassero Junior, "Protección y automatización de sistemas de energía eléctrica I. La evolución de los sistemas de energía eléctrica," Escuela Politécnica de USP, Sao Paulo, Departamento de Ingeniería en Energía Eléctrica y Automatización agosto. 2019.
- [2] William H. Kersting, Distribution System Modeling and Analysis, Segunda ed., Taylor & Francis Group, Ed. Las Cruces, New Mexico: CRC Press, 2002.
- [3] IEEE, "Todo está en los Planes," IEEE Power & Energy Magazine, pp. 20- 29, Mar/Abr 2015.
- [4] Ricardo Alberto Hincapié Isaz, Ramón Alfonso Gallego Rendón Horus Emmanuel Salazar García, "Metodología para el planeamiento de sistemas de distribución considerando incertidumbre en la demanda, Vol. 19, Universidad Tecnológica de Pereira," ISSN 0122-1701, Pereira, Colombia, Scientia et Technica Afio XIX ISSN 0122-1701,

Mar. 2014.

- [5] David Cardona Vásquez, "Modelo para Asistir en la Planeación de Corto y Mediano Plazo de! Sistema Eléctrico colombiano," Facultad de Minas, Escuela de Sistemas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia, Tesis Magister Ingeniería de Sistemas 2011.
- [6] Agnelo M. Cassula, Leonidas C. Resende, RONALDA M. ALMEIDA, Mario T. Yamasaki, Gustavo M. F. Paula Armando M. Leite da Silva, "Reliability evaluation of distribution systems considering automatic reclosers," International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems, Ames, IA, USA, 2004.
- [7] Wanir J. Medeiros Junior y Jose W. L. Nerys, "Recloser modernization using digital signal processors," IEEE International Symposium on Industrial Electronics, Ajaccio, France, doi: 10.1109/ISIE.2004.1572038, 2004.
- [8] S. Jamali and H. Shateri, "Optimal Siting of Recloser and Sectionalizers to Reduce Non-Distributed Energy," IEEE/PBS Transmission & Distribution Conference & Exposition: Asia and Pacific, Dalian, China, doi: 10.1109/TDC.2005.1547113, 2005.
- [9] Lingfeng Wang y Chanan Singh, "Reliability-Constrained Optimum Recloser Placement in Distributed Generation Using Ant Colony System Algorithm," IEEE PES Power Systems Conference and Exposition, Atlanta, GA, USA, doi: 10.1109/PSCE.2006.29, 2006.
- [10] A. M. Mohamad, I. Z. Abidin, M. Z. Baharuddin and E. C. Yeoh A. H. Hashim, "Determination of Auto-Recloser Location Using Cost Analysis in the Sabah Electricity Distribution Network," in IEEE International Power and Energy Conference, Putra Jaya, Malaysia, 2006, pp. 587-590.
- [11] Naigang Cui, Rongjun Mu Jichao Tian, "Optimal Formation Reconfiguration Using Genetic Algorithms," International Conference on Computer Modeling and Simulation, Macau, China, doi: 10.1109/ICCMS.2009.54., 2009.
- [12] Hasan Monsef y Saeed Zolfaghari Moghadam Masoud Jafari, "Optimum number, placement and capacity of DGs and reclosers using analysis Hierarchical process and genetic," 10th International Conference on Environment and Electrical Engineering, Rome, Italy, doi: 10.1109/EEEIC.2011.5874832, 2011.
- [13] Alejandro Nuiiez Jiménez y José Ortiz de Lanzagorta Jaime Legeren Álvarez, "Introducción a los Algoritmos genéticos," Informe de seminario Modelización y Análisis Numéricos DMAMI, Madrid, Seminario 2012.
- [14] Carlos Eduardo Homem de Mello y Carlos Alexandre de Sousa Penin Daniel Perez Duarte, "Intelligent system to management of reclosers and proposition of maneuvers in distribution network," IEEE PES Conference on Innovative Smart Grid Technologies (ISGT Latin America), Sao Paulo, Brazil, doi: 10.1109/ISGT-LA.2013.6554407, 2013.
- [15] A. Grajales, R. A. Hincapié, M. Granada and R. A. Gallego O. D. Montoya, "Methodology for optimal distribution system planning considering automatic reclosers to improve reliability indices," IEEE PES Transmission & Distribution Conference and Exposition - Latin America (PES T&D-LA), Medellin, Colombia, doi: 10.1109/TDC-LA.2014.6955232, 2014.
- [16] O. D. Montoya, R. A. Hincapié and M. Granada A. Alzate, "Optimal location of reclosers in distribution systems considering reliability in communication channels," Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia, IEEE 6th Latin American Symposium on Circuits & Systems doi:10.1109/LASCAS.2015.7250487, 2015.
- [17] Jerome V. Josken y Dennis A. Walder Michael Costa, "Fault Hunting Using Three-Phase Reclosers," IEEE Rural Electric Power Conference, Asheville, NC, USA, doi: 10.1109/REPC.2015.19, 2015.
- [18] Nicanor Quijano, and Angela I. Cadena Miguel A. Velasquez, "Multi- objective planning of recloser-based protection systems on DG enhanced feeders," IEEE PES

- Innovative Smart Grid Technologies Latin America (ISGT LATAM), Montevideo, Uruguay, doi: 10.1109/ISGT-LA.2015.7381262, 2015.
- [19] Qiu Qin and N. Eva Wu, "Recloser allocation and placement for rural distribution systems," IEEE Power & Energy Society General Meeting, Denver, CO, USA, doi: 10.1109/PESGM.2015.7286412., 2015.
- [20] Oscar Danilo Montoya Giraldo, Ricardo Alberto Hincapié Isaza y Mauricio Granada Echeverría Juan Pablo Gallego Londono, "Ubicación óptima de reconectores y fusibles en sistemas de distribución," ITECKNE, Pereira, Colombia, doi: ISSN 1692-1798, ISSN Digital 2339 - 3483, 2016.
- [21] Mario Aldemar Ríos Giraldo, "Localización Óptima de Reconectores Normalmente Abiertos para Transferencia de Carga," Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia, Magister en Ingeniería Eléctrica 2016.
- [22] Ewald Erasmus y Raj Naidoo, "Smart distribution and optimization of the number and position of reclosers to minimize equipment damage," IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT-Europe), Torino, doi:10.1109/ISGTEurope.2017.8260133, 2017.
- [23] S. Charles Raja y P. Venkatesh G. Siva Priya, "Distributed generator and reclosers placement in distribution system with reliability consideration," Innovations in Power and Advanced Computing Technologies (i-PACT), Vellore, India, doi: 10.1109/IPACT.2017.8244910, 2017.
- [24] Anton I. Karpov and Dmitry A. Akimov, "Integral indicators improvement (SAIFI) of power supply reliability in electric distribution systems based on reclosers placement optimization," IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIconRus), Moscow and St. Petersburg, Russia, doi: 10.1109/EIconRus.2018.8317182, 2018.
- [25] O. D. Montoya, A. Grajales, R. A. Hincapié and M. Granada L. F. Grisales, "Optimal Planning and Operation of Distribution Systems Considering Distributed Energy Resources and Automatic Reclosers," IEEE Latin America Transactions, vol. 16, no. 1, pp. 126-134, enero. 2018.
- [26] O. D. Montoya, A. Grajales, R. A. Hincapié and M. Granada L. F. Grisales, "Optimal Planning and Operation of Distribution Systems Considering Distributed Energy Resources and Automatic Reclosers," IEEE Latin America Transactions, vol. 16, no. 1, pp. 126-134, enero. 2018.
- [27] O. D. Montoya, A. Grajales, R. A. Hincapié and M. Granada L. F. Grisales, "Optimal Planning and Operation of Distribution Systems Considering Distributed Energy Resources and Automatic Reclosers," IEEE Latin America Transactions, vol. 16, no. 1, pp. 126-134, enero. 2018.
- [28] O. D. Montoya, A. Grajales, R. A. Hincapié and M. Granada L. F. Grisales, "Optimal Planning and Operation of Distribution Systems Considering Distributed Energy Resources and Automatic Reclosers," IEEE Latin America Transactions, vol. 16, no. 1, pp. 126-134, enero. 2018.
- [29] Aouzar Estebsari and Alireza Bahmanyar Arash Zeinalzadeh, "Multi-Objective Optimal Placement of Recloser and Sectionalizer in Electricity Distribution Feeders," IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC/I&CPS Europe), Genova, Italy, doi: 10.1109/EEEIC.2019.8783430, 2019.
- [30] Shahid Junaid Ansari, Afroz Alam, Salman Khan, Mustufa Sarwar y Mohammad Zaid Hira Sultan, "Reliability Improvement of a Radial Distribution System with Recloser Placement," International Conference on Computing, Power and Communication

Technologies (GUCON), New Delhi, India, 978-93-5351-098, 2019.