UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

DIRECCIÓN DE POSGRADO

MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD

MODALIDAD: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Título:

Método de predicción de zonas de confiabilidad para análisis y mejoramiento de índices de calidad de servicio técnico en el área de concesión EEASA-NAPO

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de magister en Electricidad mención Sistemas Eléctricos de Potencia

Autor:
Ing. Héctor Xavier Moreno Núñez
Tutor:
MSc. Carlos Iván Quinatoa Caiza

LATACUNGA - ECUADOR
2025

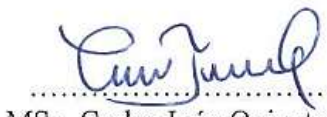
AVAL DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación "MÉTODO DE PREDICCIÓN DE ZONAS DE CONFIABILIDAD PARA ANÁLISIS Y MEJORAMIENTO DE ÍNDICES DE CALIDAD DE SERVICIO TÉCNICO EN EL ÁREA DE CONCESIÓN EEASA-NAPO" presentado por: HÉCTOR XAVIER MORENO NÚÑEZ, para optar por el título magíster en Electricidad mención sistemas eléctricos de potencia.

CERTIFICO

Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y se considera que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación para la valoración por parte del Tribunal de Lectores que se designe y su exposición y defensa pública.

Latacunga, 17, de Noviembre 2025.



MSc. Carlos Iván Quinatoa Caiza
CC.: 0503287864

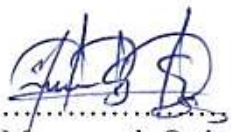
AVAL DEL TRIBUNAL

El trabajo de Titulación: "MÉTODO DE PREDICCIÓN DE ZONAS DE CONFIABILIDAD PARA ANÁLISIS Y MEJORAMIENTO DE ÍNDICES DE CALIDAD DE SERVICIO TÉCNICO EN EL ÁREA DE CONCESIÓN EEASA-NAPO", ha sido revisado, aprobado y autorizado su impresión y empastado, previo a la obtención del título de Magíster en Electricidad mención Sistemas Eléctricos de Potencia; el presente trabajo reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la exposición y defensa.

Latacunga, 17, de noviembre 2025

……..
Ing. Mauricio Eduardo Mullo Pallo MSc.
CC.: 050375518-3
Presidente del tribunal

……..
Ing. Armando Salvador Freire Freire MSc.
CC.: 050384283-3
Lector 2



……..
Ing. Yadyra Monserrath Ortiz Gonzalez MSc.
CC.: 172246411-0
Lector 3

DEDICATORIA

A mi esposa, Kathy, quien con su cariño, compañía y palabras de aliento me sostuvo en las horas más largas de este camino. Gracias amor por tu infinita paciencia y por recordarme siempre por qué valía la pena continuar.

A mis padres, Washington y Alicia, que con su paciencia, amor y apoyo constante, hicieron posible alcanzar una meta profesional más.

A mi hermana Katherine que es parte importante de mi vida, y a mi amada sobrina Domenique que siempre están apoyándome.

A mi extraordinaria familia que siempre están pendientes de mi superación personal y bienestar.

Ing. Héctor Xavier Moreno Núñez

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por sus bendiciones que ahora me permiten culminar ésta meta, y por haberme bendecido con una grandiosa esposa y una maravillosa familia que me han apoyado en todo momento.

A mi esposa Kathy, por su amor, comprensión y apoyo constante durante cada etapa de este proceso. Gracias por tu paciencia, por motivarme en los momentos difíciles y por ser siempre mi mayor impulso.

A mis padres, por su confianza y por enseñarme el valor del esfuerzo y la dedicación.

A mi hermana y sobrina, que siempre son mi apoyo y motivación para alcanzar nuevas metas.

A mis familiares, en especial a Rosy, Marco, Jenny y Renato, por su apoyo y palabras de aliento gracias por estar siempre pendientes de mí y de mi superación personal.

Al Magister Carlos Quinatoa por su incondicional ayuda en el desarrollo del proyecto, y sobre todo por su valioso tiempo que me permiten culminar el proyecto.

A la Empresa Eléctrica Ambato S.A. y en especial al Ingeniero Nelson Muso por su incondicional apoyo y amistad que me brinda para poder superarme cada día.

Ing. Héctor Xavier Moreno Núñez

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Quien suscribe, declara que asume la autoría de los contenidos y los resultados obtenidos en el presente trabajo de titulación.

Latacunga, Noviembre, 17, 2025

Ing. Héctor Xavier Moreno Núñez
C.C.: 172112098-6

RENUNCIA DE DERECHOS

Quien suscribe, cede los derechos de autoría intelectual total y/o parcial del presente trabajo de titulación a la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Latacunga, noviembre, 17, 2025

Ing. Héctor Xavier Moreno Núñez
C.C.: 172112098-6

AVAL DEL PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Quien suscribe, declara que el presente Trabajo de Titulación: "MÉTODO DE PREDICCIÓN DE ZONAS DE CONFIABILIDAD PARA ANÁLISIS Y MEJORAMIENTO DE ÍNDICES DE CALIDAD DE SERVICIO TÉCNICO EN EL ÁREA DE CONCESIÓN EEASA-NAPO" contiene las correcciones a las observaciones realizadas por los lectores en sesión científica del tribunal.

Latacunga, noviembre, 17, 2025.

.....

Ing. Mauricio Eduardo Mullo Pallo MSc.
CC.: 050375518-3
Presidente del tribunal

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSGRADO

MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD

MENCIÓN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA

Título: "Método de predicción de zonas de confiabilidad para análisis y mejoramiento de índices de calidad de servicio técnico en el área de concesión EEASA-NAPO".

Autor: Ing. Héctor Xavier Moreno Núñez
Tutor: Quinatoa Caiza Carlos Iván MSc.

RESUMEN

El presente trabajo desarrolla un método de predicción de zonas de confiabilidad para mejorar los índices de calidad de servicio técnico en los alimentadores de la subestación Tena, perteneciente a la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A. (EEASA–NAPO). La investigación inicia con el análisis histórico de fallas registradas en el sistema de distribución durante el período 2023–2024, identificando las principales causas, zonas críticas y características operativas de cada alimentador. Posteriormente se diseña un algoritmo inteligente basado en optimización por enjambre de partículas/colonia de hormigas, con el objetivo de determinar la ubicación óptima de reconectadores automáticos para minimizar los indicadores SAIDI, SAIFI, FMIK y TTIK. El algoritmo procesa la información topológica, tasas de falla, número de clientes y tiempos de restablecimiento, generando múltiples escenarios de ubicación para seleccionar aquellos que producen la mayor mejora en la confiabilidad. En el Capítulo III se realiza la validación del método mediante el software CYME, confirmando la factibilidad de las ubicaciones propuestas y comparando los resultados obtenidos con la simulación industrial. Se logra una reducción significativa de los indicadores de confiabilidad en los cinco alimentadores analizados, además de una disminución de costos operativos asociados a movilizaciones por fallas. Los resultados demuestran que la metodología propuesta es eficaz para mejorar la calidad del servicio técnico, optimizar la operación de la red y cumplir con los límites establecidos por la normativa ARCONEL. Finalmente, se determina la viabilidad técnica y económica de la implementación de reconectadores automáticos en puntos estratégicos de la red de distribución EEASA-NAPO.

Palabras clave: Confiabilidad eléctrica, Reconectadores automáticos, Optimización de redes de distribución, Algoritmos inteligentes, Colonia de hormigas / Enjambre de partícula.

UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI
DIRECCION DE POSGRADO

MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD

MENCIÓN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA

THEME: "Method for predicting reliability zones for the analysis and improvement of technical service quality indices in the EEASA-NAPO concession area".

Author: Ing. Héctor Xavier Moreno Núñez

Tutor: MSc. Quinatoa Caiza Carlos Iván

ABSTRACT

This research develops a predictive method for reliability zone identification aimed at improving the technical service quality indices in the distribution feeders of the Tena substation, operated by the Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A. (EEASA–NAPO). The study begins with an analysis of historical failure records from the 2023–2024 period, identifying the main causes of interruptions, critical areas, and operational characteristics of each feeder. Subsequently, an intelligent optimization algorithm based on particle swarm optimization/ant colony optimization is designed to determine the optimal placement of automatic reclosers, with the objective of minimizing the reliability indicators SAIDI, SAIFI, FMIK, and TTIK. The algorithm processes the topological data, failure rates, customer counts, and restoration times, generating multiple candidate solutions and selecting those that provide the greatest improvement in system reliability. In Chapter III, the proposed method is validated using CYME software, confirming the technical feasibility of the selected locations and comparing the results with industrial-grade simulations. Significant reductions in reliability indices are achieved across all five feeders analyzed, along with decreased operational costs associated with field mobilizations. The findings demonstrate that the proposed methodology is effective in improving technical service quality, optimizing network operation, and ensuring compliance with ARCONEL regulations. Finally, the study concludes that implementing automatic reclosers at the optimized locations is technically and economically viable for the EEASA–NAPO distribution system.

keyword: Electrical reliability, Automatic reclosers, Distribution network optimization, Intelligent algorithms, Ant colony / Particle swarm.

Yo Castellano Moreno Digna Mercedes con cédula de identidad número: 0501314462 Licenciada en ciencias de la educación profesora de enseñanza media en la especialización de idiomas: inglés y francés, con número de registro de la SENECYT: 1005-03-338742; **CERTIFICO** haber revisado y aprobado la traducción al idioma inglés del resumen del trabajo de investigación con el título **"Método de predicción de zonas de confiabilidad para análisis y mejoramiento de índices de calidad de servicio técnico en el área de concesión EEASA-NAPO"** de: Héctor Xavier Moreno Núñez, aspirante a Magister en Electricidad en mención Sistemas Eléctricos de Potencia.

Latacunga, noviembre, 17, 2025

.....
Lic. Castellano Moreno Digna Mercedes
C.C: 0501314462

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. AVAL DEL TUTOR ii
2. AVAL DEL TRIBUNAL iii
3. DEDICATORIA iv
4. AGRADECIMIENTO v
5. RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA vi
6. RENUNCIA DE DERECHOS vii
7. AVAL DEL PRESIDENTE DEL TRIBUNAL viii
8. RESUMEN ix
9. ABSTRACT x
10. CAPÍTULO I. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA-METODOLÓGICA 6
10.1. Antecedentes de la investigación o fundamentación del estado del arte 6
10.2. Fundamentación Teórica. 7
10.2.1. Sistemas eléctricos de potencia 7
10.2.2. Sistema Eléctrico de Distribución. 7
10.2.3. Topología de los circuitos primarios de distribución 7
10.2.4. Reconectador automático. 10
10.2.5. Operación del reconectador 10
10.2.6. Marco Regulatorio: Calidad del servicio eléctrico de distribución 11
10.2.7. Habilitación de reconexión automática de interruptores de circuito 13
10.2.8. Reconectadores Monofásicos TripSaver 13
10.2.9. Reconectador Trifásico 14
10.2.10. Habilitación de esquema salvador de fusibles (fuse saving) 15
10.2.11. Implementación de esquemas FLISR 15
10.3. Fundamentación Metodológica 16

10.4. Conclusiones Capítulo I 16
11. CAPÍTULO II. PROPUESTA CAPÍTULO 18
11.1. Título del proyecto 18
11.2. Objetivo del Proyecto 18
11.3. Descripción de la propuesta 18
11.4. Metodología o procedimientos para el cumplimiento de los objetivos 20
11.4.1. Diagramas Topológicos 21
11.4.2. Diagramas Esquemáticos 22
11.4.3. Definición de Datos de Entrada 34
11.4.4. Descripción del Modelo 37
11.4.5. Definición de Casos de Estudio 44
11.4.6. Aplicación del Algoritmo de Enjambre de Partículas 63
a. Ingreso de la matriz de condiciones iniciales. 64
11.5. Conclusiones Capítulo II 65
12. CAPÍTULO III. APLICACIÓN Y/O VALIDACION DE LA PROPUESTA 67
12.1. Validación del Algoritmo 67
12.2. Simulación en Software CYME 71
12.3. Comparación de Resultados 78
12.4. Análisis de Incidencias y Costos 79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. *Esquema radial*.....8

Figura 2. *Esquema anillo*.....9

Figura 3. *Esquema mallado*.....9

Figura 4. *Secuencia de operación de reconectador automático.*.....10

Figura 5. *Componentes de un Reconectador TripSaver*.....14

Figura 6. Reconectador trifásico.....15

Figura 7. Esquema de automatización FLISR.....16

Figura 8. *Procedimiento para la implementación del Proyecto de Investigación*.....20

Figura 9. *Diagrama Topológico del Sistema de Análisis*.....22

Figura 10. *Esquema de Red de Alimentador Arosemena Tola*.....22

Figura 11. *Esquema de Red de Alimentador Amazonas*.....25

Figura 12. Esquema del alimentador Misahuallí.....27

Figura 13. Esquema del alimentador Paushiyacu.....30

Figura 14. Esquema del Alimentador Perimetral.....32

Figura 15. Diagrama Unifilar de los Reconectadores e Interruptores.....34

Figura 16. *Codificación de la Ubicación Óptima de los Reconectadores*.....36

Figura 17. *Esquema Básico para el Análisis de Ubicación de Reconectadores*.....38

Figura 18. Diagrama de Flujo del Algoritmo de Colonia de Hormigas en Python.....65

Figura 19. Iteraciones del Algoritmo en Funcionamiento para la Mejora de Indicadores.....67

Figura 20. Respuesta del Algoritmo Planteado para el Alimentador Amazonas.....67

Figura 21. Nueva Ubicación del Alimentador Amazonas.....68

Figura 22. Repuesta de Cada Iteración en Algoritmo Planteado.....68

Figura 23. Nueva Ubicación del Alimentador Arosemena Tola.....69

Figura 24. Nueva Ubicación del Alimentador Misahualli.....70

Figura 25. Nueva Ubicación del Alimentador Paushiyacu 70

Figura 26. Nueva Ubicación del Alimentador Perimetral 71

Figura 27. Configuración Inicial del Software Cyme para Alimentador Amazonas 71

Figura 28. Simulación de Reconectadores de acuerdo con Ubicación Sugerida 72

Figura 29. Resultados de la Simulación con Ubicación óptima de Reconectadores 73

Figura 30. Ubicación del Reconectador en el Nodo B del Alimentador Arosemena Tola 73

Figura 31. Resultados de Simulación Cyme Indicadores Nodo B 74

Figura 32. Ubicación del Reconectador en el Nodo R091 del Alimentador Arosemena Tola 74

Figura 33. Resultados de Simulación Cyme Indicadores Nodo R091 75

Figura 34. Ubicación del Reconectador en el Nodo K del Alimentador Arosemena Tola 76

Figura 35. Resultados de Simulación Cyme Indicadores Nodo K 76

Figura 36. Ubicación del Reconectador en el Nodo 3 R068 del Alimentador Arosemena Tola 77

Figura 37. Resultados de Simulación Cyme Indicadores Nodo R068 78

Figura 38. Causas Principales de Apertura de Alimentador Arosemena Tola 80

Figura 39. Causas Principales de Apertura de Alimentador Amazonas 80

Figura 40. Incidencias del Alimentador Misahualli 81

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1. *Actividades a realizarse para el cumplimiento de los objetivos del proyecto.* 3

Tabla 2. *Límites para los índices de calidad del servicio técnico.* 12

Tabla 3. *Componentes y Características del Alimentador Arosemena Tola* 23

Tabla 4. *Componentes y Características del Alimentador Amazonas* 25

Tabla 5. *Componentes y Características del Alimentador Misahualli* 27

Tabla 6. *Componentes y Características del Alimentador Paushiyacu* 30

Tabla 7. *Componentes y Características del Alimentador Perimetral* 32

Tabla 8. *Variables Involucradas en el Sistema de Optimización* 35

Tabla 9. *Parámetros Iniciales de las variables a ser Optimizadas* 36

Tabla 10. *Datos Históricos de Alimentador Amazonas* 44

Tabla 11. *Indicadores de Calidad en Alimentador Amazonas*.....50

Tabla 12. *Datos Históricos de Servicio del Alimentador de Arosemena Tola* 50

Tabla 13. *Indicadores de Calidad de cada Alimentador* 63

Tabla 14. *Matriz de Entrada para el Algoritmo de Enjambre de Partículas* 63

Tabla 15. *Ubicación de Reconectadores de cada Alimentador*……...69

Tabla 16. *Comparación de Resultados entre CYME y el Algoritmo Planteado* 78

INTRODUCCIÓN

El sistema de distribución de energía eléctrica en el Departamento Zona Oriental Napo de la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro S.A, está sujeto a fallas e interrupciones del servicio debido a factores técnicos, climáticos, ambientales y actividades de terceros. Debido al uso de la electricidad, los usuarios exigen actualmente calidad y continuidad del suministro eléctrico, por lo tanto, todas las actividades operativas del día a día son fundamentales para que la empresa de distribución pueda prestar un servicio eficiente.

En este impulso de mejora, las empresas distribuidoras de electricidad se ven obligadas a utilizar herramientas tecnológicas para minimizar el tiempo de restablecimiento del servicio y prestar atención inmediata a diversas situaciones de emergencia eléctrica, de tal manera que puedan garantizar el cumplimiento de los índices de calidad de servicio técnico y las regulaciones vigentes y sujetas a revisiones periódicas por las entidades de control.

La automatización de los sistemas de distribución de energía eléctrica corresponde al concepto de la tendencia mundial "Smart Grid". Lograr estas automatizaciones en el sistema de distribución implica varios factores y algunas formas de inteligencia artificial para lograr predecir ciertas tendencias, sin embargo, en lo que respecta a la confiabilidad de los alimentadores de distribución, se ha analizado la reconfiguración automatizada para lograr mejoras significativas, puesto que al utilizar interruptores de transferencia de carga automáticos, estos permiten restablecer el servicio eléctrico, disminuir la cantidad de suspensiones de energía y reducir el número de clientes afectados.

Antecedentes: la Dirección de Posgrado de la Universidad Técnica de Cotopaxi, dentro del programa de Maestría en Electricidad, específicamente en la mención de Sistemas Eléctricos de Potencia, presenta en su línea específica de investigación las energías alternativas y renovables eficiencia energética y protección ambiental y entre sus sublíneas de investigación la correspondiente a la explotación y diseño de sistemas eléctricos de potencia, temática a la que se enfoca el presente artículo, Método De Predicción De Zonas De Confiabilidad Para Análisis Y Mejoramiento De Índices De Calidad De Servicio Técnico En El Área De Concesión EEASA-Napo.

Este trabajo de investigación es requerido por la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A, misma que será la encargada de proporcionar la información necesaria para el

estudio, en el cual se analizará el área de concesión correspondiente al Departamento Zona Oriental Napo, utilizando datos históricos de fallas de la cadena de suministro de energía eléctrica considerando interruptores primarios, reconectadores automáticos y seccionadores en el sistema de distribución, considerando sus causas, ubicación geográfica, clientes afectados y tiempos de restablecimiento, seguido del respectivo análisis de tasas de falla, confiabilidad y métodos adecuados para disminuir los indicadores de calidad del servicio técnico considerando evitar incumplimientos normativos.

Planteamiento del problema

Debido a diversos factores, en donde se incluyen las condiciones climáticas y ambientales, así como el estado de los equipos y componentes, ocurren ciertos eventos en los sistemas eléctricos que causan suspensiones de energía eléctrica no programadas a los consumidores.

Sin embargo, los análisis de los indicadores de calidad de los sistemas energéticos, de manera histórica se han centrado principalmente en la confiabilidad a nivel de generación y transmisión de electricidad; sin embargo, estudios muestran que el 80% de las interrupciones ocurren a nivel de distribución, por lo que este tema es de gran importancia para cuantificar las tasas de interrupciones y la calidad del servicio técnico asociado a ellas.

Por lo tanto, el cálculo del índice de confiabilidad permite determinar el estado en el que se encuentra el sistema de distribución y así determinar los puntos máximos de conflicto con el fin de evaluar y cuantificar el efecto de variabilidad de estos factores con ayuda del método propuesto se busca alcanzar el estado óptimo de operación, en los puntos identificados para la reubicación e instalación de nuevos equipos automáticos, con el objetivo de que los alimentadores primarios pertenecientes a la subestación Tena, de la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A, mantenga su índice de calidad de servicio técnico dentro de los límites permisibles especificados en la norma ARCONEL-009-24.

Formulación del problema

¿Cómo mejorar los índices de calidad de servicio técnico a fin de cumplir con las regulaciones vigentes basados en el estado actual del sistema y contemplando la posibilidad de adquisición y ubicación de nuevos equipos de maniobras, así como la reubicación de los existentes?

Objetivo General

Diseñar un sistema automático de distribución y reconfiguración óptima de la red, utilizando el método de sistema de localización de la falla, aislamiento y restauración del servicio (FLISR), para mejorar los índices de calidad de servicio técnico de la red de distribución de EEASA-DZON, subestación Tena.

Objetivos Específicos

1. Realizar el análisis de la situación actual de los índices de confiabilidad de alimentadores pertenecientes a la subestación Tena para determinar los puntos de falla más representativos y sus causas.
2. Realizar el diseño del algoritmo de reconfiguración y optimización para la aplicación en el sistema de distribución de la subestación Tena.
3. Realizar el análisis de impacto económico y del estado final de los índices de confiabilidad del sistema para la implementación del estudio.

Sistemas de tareas con relación a los objetivos específicos

Tabla 1.

Actividades a realizarse para el cumplimiento de los objetivos del proyecto.

Objetivos Específicos	Actividad (tarea)	Resultado de la actividad	Descripción de la actividad (técnicas e instrumentos)
1	Recopilación de información para el desarrollo del trabajo.	Métodos de análisis de confiabilidad, optimización, automatización de sistemas de distribución, FLISR.	Investigación científica.
2	Solicitud de datos históricos registrados en EEASA-DZON.	Tablas de datos de eventos registrados en el año 2022.	Entregados por la sección técnica de la EEASA-DZON.
	Ubicación geográfica de los dispositivos fallados o actuados.	Se dibujan los dispositivos registrados en coordenadas UTM.	Software ArcGIS-CYMDIST.
	Categorización de los tipos de eventos ocurridos según su naturaleza.	Se crea un documento digitalizado y organizado para facilitar la manipulación de datos.	Software EXCEL. Software PHYTON.

	Implementación de algoritmo de optimización y automatización. Aplicación de algoritmo al sistema de distribución.	Se realiza la programación conforme a los datos analizados. Se utiliza el algoritmo implementado para el análisis de alimentadores.	Software CYMDIST.
3	Análisis de resultados. Análisis económico.	Se realiza el análisis con los datos recopilados y se determina el método más adecuado para lograr el objetivo general. Se analiza el impacto económico de la estrategia a utilizar.	Software EXCEL, CYMDIST. Software EXCEL.

Justificación

La implementación de un sistema de automatización de distribución y reconfiguración óptima de la red utilizando la metodología de Sistema de Localización de Falla, Aislamiento y Restauración del Servicio (FLISR) representa una estrategia crucial para mejorar significativamente los índices de calidad de servicio técnico en la red de distribución de EEASA-DZON, específicamente en la subestación Tena. En la actualidad, la red eléctrica se enfrenta a diversos desafíos, como interrupciones no planificadas, tiempos de restauración prolongados y una gestión subóptima de los recursos. Estos problemas afectan directamente la confiabilidad y eficiencia del suministro eléctrico, lo que se traduce en una experiencia deficiente para los usuarios finales y, en última instancia, en pérdidas económicas.

La implementación del FLISR permitirá la identificación rápida y precisa de fallas en la red, facilitando la toma de decisiones automatizada para aislar una falla y así reconfigurar el sistema, minimizando así los tiempos de interrupción del servicio. Este enfoque no solo mejorará la confiabilidad operativa de la red, sino que también contribuirá a la reducción de pérdidas económicas asociadas con interrupciones prolongadas y costosos tiempos de respuesta manual. Además, al optimizar como se distribuye la carga y la capacidad de la red, se logrará utilizar eficientemente los recursos disponibles, mejorando la sostenibilidad y la eficiencia operativa en la subestación Tena del Departamento Zona Oriental Napo.

El proyecto también responde a la creciente necesidad de modernizar la infraestructura eléctrica, alineándola con las demandas tecnológicas actuales y futuras. La implementación de un sistema de FLISR no solo aborda los desafíos existentes, sino que también establece las bases para integrar tecnologías avanzadas, como la inteligencia artificial y el Internet de las cosas (IoT), que pueden potenciar aún más la confiabilidad y operatividad de la red eléctrica en el largo plazo. En este contexto, el proyecto se posiciona como una inversión estratégica que no solo mejora la calidad de servicio actual, sino que también garantiza la preparación para los desafíos a futuro con respecto a la distribución eléctrica.

Hipótesis

Mejorar los índices de calidad de servicio técnico en la red de distribución eléctrica en el área de concesión de la EEASA-DZON mediante la instalación y reubicación de reconectadores en los alimentadores de la subestación Tena implementando la metodología FLISR.

CAPÍTULO I. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA-METODOLÓGICA

10.1. Antecedentes de la investigación o fundamentación del estado del arte

Las estadísticas muestran que el 90% de las interrupciones del servicio reportadas por los consumidores se deben a problemas dentro del sistema de distribución y generalmente a fallas transitorias. Los sistemas de distribución configurados radialmente experimentan condiciones que causan interrupciones y fallas en el servicio, incluyendo algunos mantenimientos programados y otras operaciones a menudo no programadas y causadas por eventos imprevistos como cortocircuitos, descargas atmosféricas, fallas de componentes, fallas de equipos, etc. En un sistema de distribución de energía con topología radial, la confiabilidad y la continuidad del servicio se vuelven esenciales porque si algún componente falla provoca una interrupción en el suministro de energía [1].

La confiabilidad es una forma de garantizar el servicio a todos los usuarios que se benefician del servicio de energía eléctrica, ya que contempla indicadores de continuidad del servicio, obligando a los agentes distribuidores a prestar cada vez más atención a sus servicios y tratar de predecir y corregir los factores que causan las interrupciones de servicio de energía eléctrica u operaciones fuera de los límites aceptables; mientras que cuando se intenta cuantificar la confiabilidad en la distribución eléctrica, se puede utilizar un índice de confiabilidad que proporcione información suficiente sobre el servicio brindado para tomar decisiones correctivas, preventivas o predictivas.

Una forma eficaz de reducir estas cifras de confiabilidad es reconfigurar los alimentadores del circuito principal para encontrar una red con una topología donde la confiabilidad sea el factor más importante. Algunos trabajos en la literatura proponen algoritmos genéticos que permiten la reconfiguración de sistemas de distribución considerando los índices de confiabilidad donde la función objetivo puede minimizar SAIFI, minimizar SAIDI o minimizar SAIFI y SAIDI, estos indicadores son similares a FMIK, TTIK, pero toman en cuenta el diferente tratamiento de las variables involucradas en el análisis [16].

10.2. Fundamentación Teórica.

10.2.1. Sistemas eléctricos de potencia

El sistema de energía eléctrica "SEP" es una red de componentes instalados para la producción, transmisión y entrega de electricidad y consta de tres partes principales: plantas de energía, líneas de transmisión y sistemas de distribución.

Cada parte que conforma el sistema consta de diversos elementos cuya función es transportar energía desde la central de generación hasta el consumidor final, lo que a su vez requiere de un servicio de alta calidad y, sobre todo, continuo. Una central eléctrica es un lugar donde se produce electricidad utilizando energía primaria. Finalmente, las líneas de transmisión son las encargadas de transferir electricidad desde el centro de generación de energía al centro de distribución a través de varias etapas [3].

10.2.2. Sistema Eléctrico de Distribución.

El sistema de distribución consta de escalones reductores desde el sistema de transmisión a un nivel de tensión inferior, que puede ser: 22 kV, 13.8 kV, 6,3 kV, etc., para lo cual se utilizan subestaciones [4].

Los sistemas de distribución de energía tradicionales tienen una estructura centralizada, es decir, la potencia y el control parten de un lugar de la subestación y llegan a los consumidores a través de una red denominada alimentador principal, y su distribución tiene una estructura adecuada conforme a las necesidades operativos, sin embargo, existen casos en los cuales estas configuraciones forman un anillo que garantiza la continuidad del servicio en caso de circunstancias imprevistas. Además, entre los elementos que permiten operar y controlar los sistemas de distribución se encuentran los dispositivos de operación y protección como disyuntores, seccionadores, reconectadores, etc [4].

10.2.3. Topología de los circuitos primarios de distribución

Generalmente, en el sistema de distribución los clientes de los servicios eléctricos no se concentran en un solo punto; asimismo, existen diversas configuraciones de la red principal del sistema de distribución, resultantes del diseño de las calles, la forma del área de cobertura del circuito y las posibles obstrucciones, las más destacadas son: radial, anillo y malla [5].

10.2.3.1. Esquema radial

En la Figura 1 siguiente se muestra el diagrama que corresponde a la topología radial de los sistemas primarios de distribución [5].

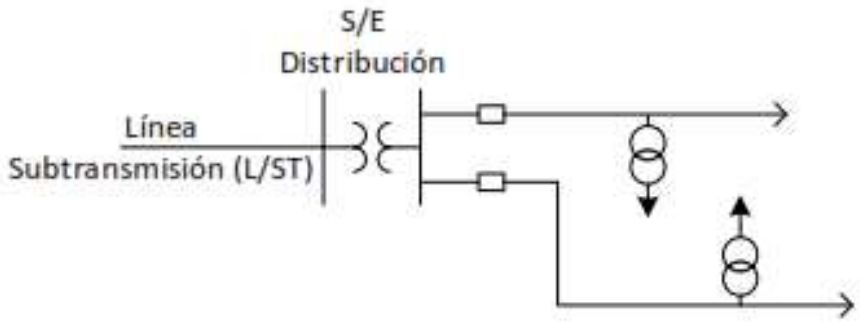


Figura 1. *Esquema radial*

Las principales funciones de este sistema son:

- Tienen una única vía de flujo de energía y carecen de sistemas de respaldo.
- Es el más común por su sencillez.
- Bajos costos de construcción.
- Es adecuado para lugares con limitada densidad de carga debido a su costo económico.
- Los componentes del sistema se encuentran conectados en serie y la confiabilidad del servicio es baja [5].

10.2.3.2. Esquema anillo

Las principales características de este tipo de programa se las presenta a continuación:

- Tienen dos vías de circulación mareal y por tanto cuentan con sistemas de respaldo.
- Tienen uno o más sistemas de discos normalmente abiertos que indican una topología compleja.
- Altos costos de construcción.
- Debido a consideraciones de costo, es adecuado para áreas con alta densidad de carga alrededor del sistema.
- Aproveche la alta confiabilidad del servicio, es decir Servicio más continuo que las soluciones radiales [5].

En la figura 2 se representa la topología de anillo de los sistemas primarios de distribución.

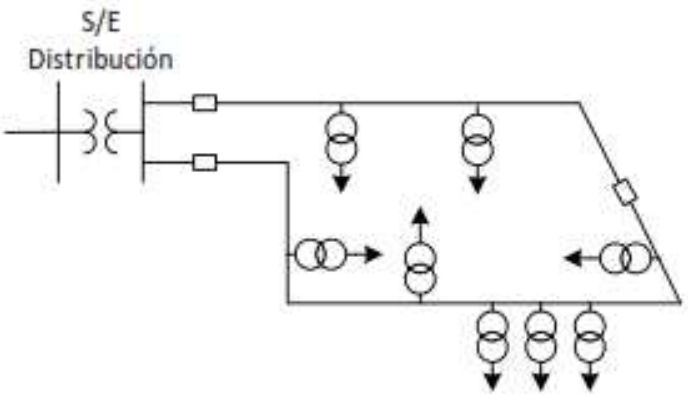


Figura 2. *Esquema anillo*

10.2.3.3. Esquema mallado

Un diagrama de malla tiene las siguientes propiedades [5]:

- Tiene múltiples caminos para permitir el flujo de corriente y tiene múltiples subestaciones de distribución que forman el elemento de respaldo del sistema.
- Mayor costo respecto a las otras dos opciones.
- Utilizado en áreas importantes con alta densidad de carga.
- La confiabilidad de otros servicios es mayor en comparación con otras soluciones [5].

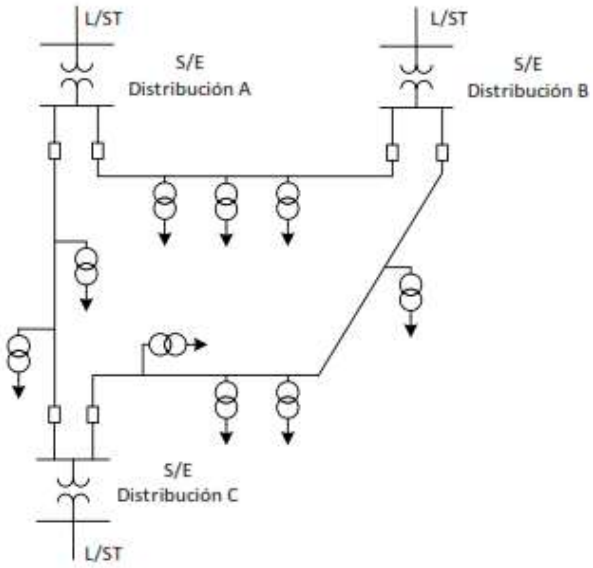


Figura 3. *Esquema mallado*

10.2.4. Reconectador automático.

Un reconectador es un elemento de protección el cual está diseñado para interrumpir la corriente de falla, interrumpir el flujo de energía eléctrica y detectar condiciones de sobrecorriente. En pocas palabras, la función de un reconectador es detectar un problema dentro del circuito y luego desconectarlo en un momento programado. El cierre automático, y apertura múltiple, se puede utilizar para evitar perturbaciones transitorias, de modo que, si la falla es por esta causa y se elimina, al desconectar la línea, funcionará en modo de auto cierre y la energía se restaurará al apagar, pero de lo contrario, si la falla se mantiene, después del número de recierres programado, el dispositivo se mantendrá abierto hasta que el operador lo cierre, esta situación se conoce como bloqueo "lockout" [3].

10.2.5. Operación del reconectador

Para entender la secuencia de trabajo de un reconectador, se debe considerar lo siguiente:

- Tiempo de conexión. Estos son los rangos de tiempo que los contactos de recierres permanecen abiertos entre los comandos de cierre y apertura o recierres [3].
- Tiempo de reposición. Este es el momento en que el reconectador reinicia la secuencia y programación de operaciones se completa de forma parcial porque la falla es temporal o ha sido despejada por algún otro elemento de protección [3].
- Corriente mínima de funcionamiento. Es el valor mínimo de corriente que permite que el reconectador empiece a realizar la secuencia de acciones establecida [3].

La secuencia de funcionamiento normal de un reconectador que se abre en un caso de falla continua tal y como se muestra en la Figura 4 [3].

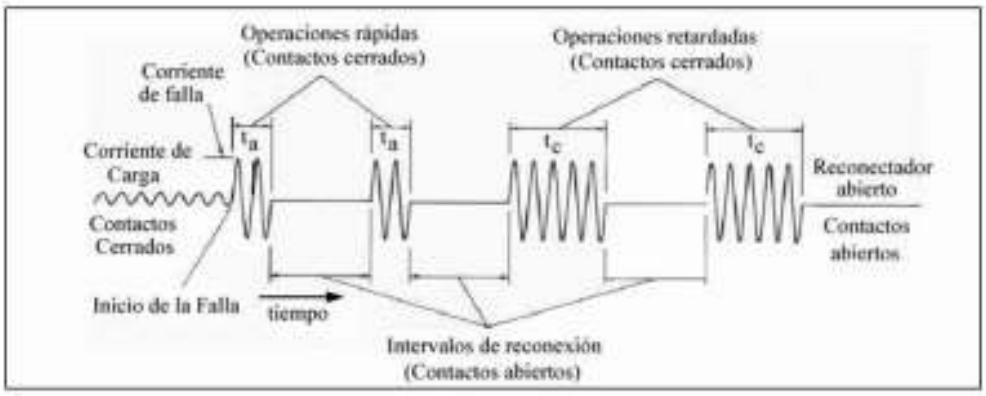


Figura 4. *Secuencia de operación de reconectador automático.*

10.2.6. Marco Regulatorio: Calidad del servicio eléctrico de distribución

El Directorio de la Agencia de Regulación y Control de Electricidad dicta la REGULACION ARCONEL 009/24, como entidad de control y regulación encargado del sector eléctrico es la responsable de garantizar un nivel óptimo de calidad a los consumidores. Para hacer esto, determina el nivel de calidad y los procedimientos de evaluación para el servicio de distribución eléctrica, que debe tenerse en cuenta para las empresas de distribución, de acuerdo con los siguientes datos: [2]

- Calidad del servicio técnico: duración de interrupciones y frecuencia de interrupciones [2].
- Calidad del producto: factor de Potencia, perturbaciones de voltaje y nivel de voltaje [2].
- Calidad del servicio comercial: atención de reclamos, solicitudes y errores en facturación y medición [2].

La calidad de los servicios técnicos (duración y frecuencia de las interrupciones) es el principal indicador y objetivo de la evaluación. Esto se encuentra directamente relacionado y evaluado con base en la duración y frecuencia total de las interrupciones del servicio de energía eléctrica. Estas se almacenan en el historial durante al menos los últimos tres años y se pueden clasificar según los siguientes parámetros: [2]

- Por su causa: no programadas o programadas
- Por su origen: externas o internas
- Por su duración: menor o mayor a tres minutos
- Por el voltaje nominal: alto, medio o bajo voltaje [2]

Para calcular el índice de calidad, la interrupción del sistema se calcula en tres minutos, incluido todas las interrupciones internas y externas, programadas y no programadas, calcule el índice de calidad para toda la red de distribución (RD) y cada alimentador semi -excitante principal (AJ), la siguiente expresión [2]:

- Frecuencia Media de Interrupción por kVA nominal Instalado (FMIK): la cantidad de veces que el kVA promedio sufrió una interrupción de servicio [2].

$$FMIK_i = \frac{kVA_i}{kVA_{Ti}}$$

$$FMIK = \sum_i FMIK_i$$

- Tiempo Total de interrupción por kVA nominal Instalado (TTIK): el tiempo medio en que el kVA promedio no tuvo servicio [2].

$$TTIK_i = \frac{kVA_i * t_i}{kVA_{Ti}}$$

$$TTIK = \sum_i TTIK_i$$

Los valores límites permitidos para los índices de calidad del servicio técnico, son los siguientes [2]:

Tabla 2.

Límites para los índices de calidad del servicio técnico.

Índice	Red	Alimentador	
		Alta densidad	Baja densidad
FMIK	6.0	7.0	9.5
TTIK	8.0	10.0	16.0

Fuente: Regulación ARCONEL 009/24

La mejora de los indicadores de calidad del servicio del sistema de distribución está directamente relacionada con la correcta operación e instalación de los equipos de la red eléctrica. En este sentido, se debe priorizar los equipos de protección de la red de distribución para mitigar el impacto de los eventos de falla y realizar la transferencia de carga en condiciones adecuadas. y protegería la vida útil de otros elementos que conforman la red [10].

10.2.7. Habilitación de reconexión automática de interruptores de circuito

Actualmente EEASA-DZON está implementando en alimentadores primarios, nuevos equipos con un sistema de recierre automático de contactos en caso de fallas monofásicas, bifásicas y trifásicas que utiliza un esquema de protección de "fuse blowing" que requiere la desactivación inmediata de las reconexiones para que los fusibles puedan operar tanto en fallas permanentes como temporales, y el recierre automático de disyuntores es una práctica común aceptada por la industria y es muy efectiva para mejorar la confiabilidad del sistema [6].

Un reconectador es un dispositivo eléctrico de protección ampliamente utilizado en todo sistema de distribución de energía eléctrica ya que trabaja como interruptor automático en redes de medio y alto voltaje. Su funcionamiento puede ser comparado como un disyuntor de bajo voltaje instalado en una localidad domiciliaria; debido a que cuando ocurre o se suscita una falla dentro del circuito, este tiende a realizar una apertura para proteger los elementos que están conectados.

El principio de cómo opera un reconectador es clasificar una falla del circuito al que está conectado en tipo transitorias o temporales, si es una falla del tipo transitoria, el reconectador pasa por el proceso de “apertura, análisis y cierre” reanudando la continuidad de entrega del servicio hasta antes de las tres reconexiones automáticas. En el caso de que a pesar de los tres recierres, el reconectador sigue detectando una falla, pasa de ser una falla transitoria a una falla permanente y corta el suministro de energía eléctrica hasta el momento en que dicha incidencia, sea solucionada y posteriormente, se reanude el servicio.

Este tipo de equipos pueden ser conectados tanto en ramales principales, como en derivaciones trifásicas y monofásicas.

10.2.8. Reconectadores Monofásicos TripSaver

Los reconectadores TripSaver son dispositivos diseñados para proteger las redes eléctricas contra fallas transitorias. Estos equipos tienen la capacidad de instalarse directamente sobre los conductores de media tensión y destacan por incorporar una estrategia conocida como protección lateral. Esto permite que las empresas de distribución eléctrica mejoren significativamente su comprensión sobre el origen de más del 80% de las fallas en sus redes, optimizando su respuesta ante estas eventualidades.

El principal objetivo del reconectador TripSaver que se observa en la **Figura 5** es ofrecer una solución inteligente que minimice las interrupciones transitorias en los sistemas eléctricos. Para ello, aísla las fallas en las líneas laterales, evitando que afecten a los alimentadores principales. Esto no solo incrementa la confiabilidad del servicio, sino que también genera ahorros económicos y mejora la eficiencia técnica de las redes.

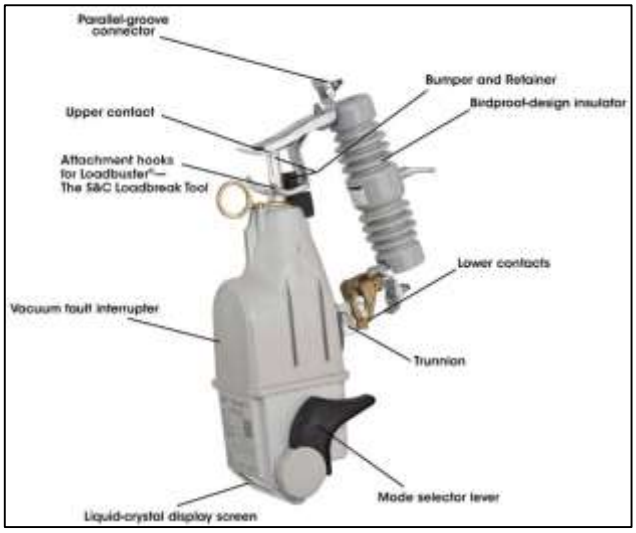


Figura 5. *Componentes de un Reconectador TripSaver*

Entre sus principales ventajas, su diseño permite localizar rápidamente las desconexiones, facilitando a los técnicos restablecer el servicio en el punto exacto donde se encuentra instalado. En cuanto al aspecto económico, son especialmente útiles en áreas remotas con condiciones climáticas, geográficas o de fauna adversas, ya que eliminan la necesidad de realizar inspecciones manuales extensas. Esto reduce significativamente los costos asociados a la movilización de equipos para atender fallas transitorias.

10.2.9. Reconectador Trifásico

El reconectador trifásico que se observa en la **Figura 6** es un dispositivo que realiza la apertura, análisis y cierre de las tres fases de un alimentador o derivación, funcionando de manera similar a un reconectador monofásico. Su propósito principal es proteger las líneas aéreas de distribución y evitar interrupciones en el suministro eléctrico ante fallas transitorias en un alimentador. Generalmente, se instala poco después de la salida del alimentador desde la subestación, protegiendo así al interruptor conectado al transformador.

Figura 6. Reconectador trifásico.

Tanto los reconectadores monofásicos como los trifásicos ofrecen la ventaja de contar con configuraciones de protección ajustables, permitiendo establecer los valores óptimos según las necesidades de la red. Además, su sistema de monitoreo y comunicación es eficiente, ya que permite conocer su estado en tiempo real desde un centro de control, lo que facilita la gestión y supervisión de la red eléctrica.

10.2.10. Habilitación de esquema salvador de fusibles (fuse saving)

Esta opción también es muy efectiva si el alimentador analizado está equipado con un reconectador, con importantes ventajas y bajos costos de implementación, en caso contrario se debe considerar la implementación mediante disyuntores o seccionadores fusible. Además, existen las siguientes posibles ventajas: el sistema se puede implementar localmente en secciones definidas del suministro. Obviamente, este esquema debe tener en cuenta la coordinación de la protección, por lo que se recomienda verificar la viabilidad de su implementación al elegir este esquema como solución desde el punto de vista de incrementar la confiabilidad [6].

10.2.11. Implementación de esquemas FLISR

El uso de un reconectador automático dentro del esquema FLISR es muy efectivo para mejorar los cuatro indicadores SAIDI, TTIK, SAIFI y FMIK, pero también es la opción más costosa y compleja de implementar, por lo que se recomienda evaluar primero las opciones comentadas anteriormente y luego, si se requieren beneficios adicionales o mayor eficiencia y flexibilidad en la operación y mantenimiento, considere implementar un programa FLISR [6].

El esquema anterior consiste en instalar reconectadores normalmente abiertos en lugares estratégicos divididos por dos alimentadores y reconectadores adyacentes, dividiendo así el alimentador en bloques de carga y clientes como se muestra en la **Figura 7**, los cuales pueden ser transferibles o autocurativos. Interrupción del servicio. En estas situaciones, los modos de recuperación y conmutación ascendentes y descendentes se activan por separado en función de la experiencia del personal que realiza operaciones y mantenimiento en cada área y utilizan modelos de confiabilidad predictiva para evaluar las capacidades de automatización [6].

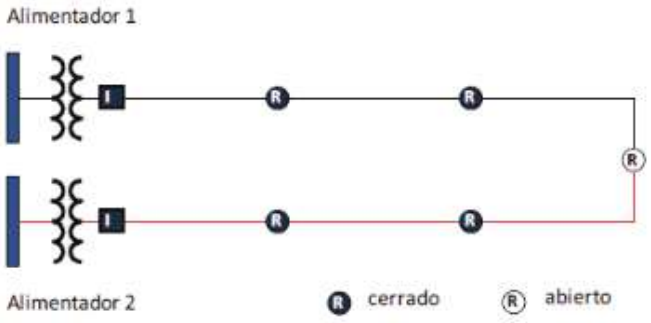


Figura 7. Esquema de automatización FLISR.

10.3. Fundamentación Metodológica

En este trabajo se utiliza un enfoque cuantitativo para analizar diversos indicadores de la calidad de los servicios técnicos definidos en las leyes y regulaciones vigentes del país, tomando como ejemplo la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A. en el área de concesión Zona Oriental Napo, en donde se realizó un análisis de los documentos de registro diario enviados por el departamento técnico del mencionado departamento.

10.4. Conclusiones Capítulo I

- El sistema de distribución de energía eléctrica debe cumplir con índices de calidad de servicio técnico para garantizar la continuidad del suministro eléctrico en el área de concesión de cada empresa distribuidora, según la regulación vigente en el país.
- Existen varias configuraciones del sistema de distribución eléctrica que se dividen según su grado de complejidad y confiabilidad que depende directamente de su costo, para garantizar la continuidad del servicio de energía eléctrica.

- Actualmente se están implementando alternativas de automatización con equipos de maniobras para minimizar los tiempos de restablecimiento del suministro eléctrico, en casos de suspensiones de servicio no programadas.

CAPÍTULO II. PROPUESTA CAPÍTULO

11.1. Título del proyecto

Una vez obtenida y analizada la información correspondiente a antecedentes, estado del arte, marco referencial y metodológico relacionado con los fundamentos de la presente investigación, se busca en el capítulo actual, desarrollar una solución al problema planteado como "Método de predicción de zonas de confiabilidad para análisis y mejoramiento de índices de calidad de servicio técnico en el área de concesión EEASA-NAPO".

11.2. Objetivo del Proyecto

Basándose en los datos referenciales obtenidos de la investigación bibliográfica se ha logrado determinar el procedimiento metodológico, así como las técnicas y herramientas indispensables para conseguir el desarrollo de un método de predicción de zonas de confiabilidad para análisis y mejoramiento de los índices de calidad de servicio técnico dentro de los alimentadores que corresponden a la concesión EEASA-NAPO, lo que genera una mejora en los indicadores, así como en la confiabilidad del sistema total.

11.3. Descripción de la propuesta

El actual proyecto de investigación pretende implementar un método de predicción de fallas basado en la información histórica de desconexiones inesperadas dentro del sistema de distribución de energía en el área de concesión EEASA-NAPO en el año 2023-2024, para de esta forma optimizar los índices de calidad de servicio técnico, mediante dos tipos de metodología; de esta manera, se obtendrá la ubicación óptima de equipos de protección automáticos como reconectadores, sin embargo, se debe considerar que el costo de estos equipos es elevado, por lo que parte de la optimización consiste en definir la cantidad y ubicación óptima, de tal modo que se obtenga un aprovechamiento de la inversión de estos dispositivos, garantizando un servicio de calidad hasta el usuario final.

Para determinar y analizar la confiabilidad del sistema de distribución, se utilizan los indicadores conocidos como SAIFI, SAIDI, FMIK, TTIK, ya que son las principales bases que tiene la IEEE, así como el agente de regulación y control eléctrico, como parámetros relacionados con la Confiabilidad en la Distribución y así realizar una comparación de resultados, además se considera que se ha buscado la información de toda la literatura especializada, antecedentes y proyectos similares que buscan la mejora de estos parámetros

mediante diversos algoritmos inteligentes, y finalmente, se debe considerar que estos índices relacionan la confiabilidad promedio de los usuarios, considerando generalmente la confiabilidad promedio por kVA instalado, siendo los indicadores TTIK y FMIK los principales objetivos a minimizar.

Por medio de sistemas informáticos como Júpiter LAB y CYMDIST, se ejecutará el desarrollo del algoritmo predictivo para satisfacer la premisa del problema de investigación, así como el establecimiento de los parámetros que permitirán evaluar y validar las soluciones, en donde se podrá determinar los resultados de la optimización implementada.

Por otro lado, la utilización de CYMDIST, permitirá el análisis del sistema de distribución eléctrica optimizado, mediante el modelamiento y simulación de donde el algoritmo diseñado indique que se deberá instalar los equipos automáticos de conexión, para lo cual se diseñará un modelo exacto del sistema eléctrico.

Se considera realizar la evaluación de la información actual de la red, mediante un análisis de flujo de potencia, y así evaluar la capacidad de los reconectadores ante fallas y optimizar la distribución de carga. Se realizarán simulaciones de restitución automática para mejorar los tiempos e indicadores de calidad de servicio técnico con la implementación de estos equipos. Se debe considerar posibles ajustes en la ubicación de los reconectadores basándose en los resultados para maximizar su efectividad y minimizar la afectación a usuarios.

Finalmente, se requiere realizar un análisis económico para evaluar la factibilidad de la implementación de los equipos determinados en las ubicaciones determinadas por el algoritmo, el cual contendrá tanto los costos asociados con la adquisición e instalación de los equipos, así como los beneficios derivados en la mejora en la confiabilidad del sistema de EEASA - NAPO. Además, es indispensable determinar los beneficios económicos resultantes de la reducción de pérdidas de energía, los tiempos de interrupción del servicio disminuidos y la mejora general de la calidad de servicio técnico. El realizar una comparación de costos y beneficios permitirá determinar la factibilidad de la implementación futura del proyecto, respaldando la caracterización del sistema mediante el uso de la tecnología predictiva para determinar la ubicación de los reconectadores automáticos.

11.4. Metodología o procedimientos para el cumplimiento de los objetivos

La metodología propuesta para lograr la implementación de un método predictivo para determinar las zonas de confiabilidad para analizar y mejorar los índices de calidad de servicio técnico dentro de los alimentadores que corresponden a la concesión EEASA-NAPO, se considera como un problema de optimización, en el cual se involucran actores como los alimentadores del sistema de distribución y el consumidor final, para lo cual se busca optimizar la función objetivo que representa al conjunto de alimentadores, logrando así mejorar los índices de confiabilidad SAIDI, SAIFI, FMIK, TMIK. El procedimiento metodológico que seguir se presenta en la **Figura 8**.

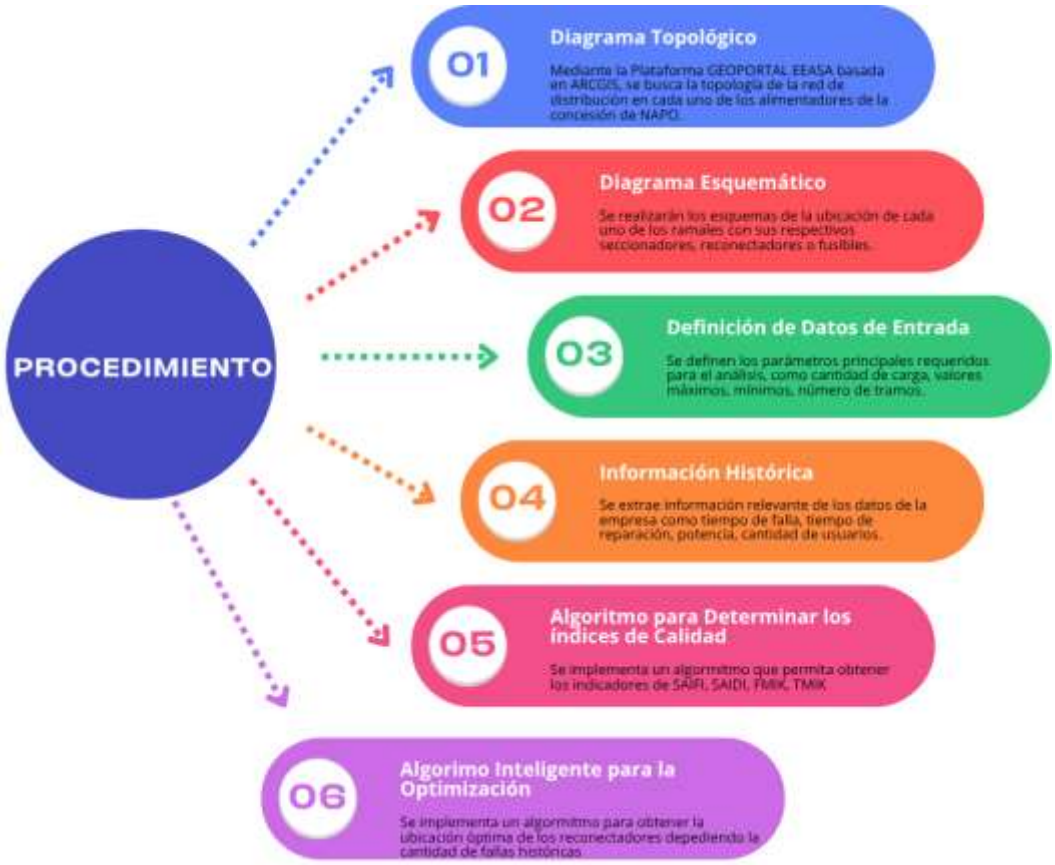


Figura 8. *Procedimiento para la implementación del Proyecto de Investigación*

- **Paso 1: Diagrama Topológico. -** Se procede por medio de la página del GEOPORTAL EEASA a identificar cada una de las topologías de los alimentadores correspondientes a la concesión de NAPO – TENA.

- **Paso 2: Diagrama Esquemático. -** Obtenido el diagrama topológico se procede a mapear cada uno de los seccionadores fusibles y reconectadores en las ubicaciones correspondientes para determinar el número de puntos de análisis.
- **Paso 3: Definición de Datos de Entrada. -** Consiste en determinar los valores iniciales que corresponden a cada una de las variables preestablecidas, mismas que permitirán efectuar los procedimientos matemáticos y de toma de decisiones en el desarrollo del algoritmo inteligente.
- **Paso 4: Información Histórica. –** Se procede a solicitar información relevante del año 2023-2024 sobre las fallas e interrupciones del servicio, en donde se disponga la tasa de fallas, potencia, cantidad de clientes, tiempo de falla y tiempo de restablecimiento.
- **Paso 5: Algoritmo para Determinar los Índices de Calidad. –** Con los datos históricos se procede al cálculo de los parámetros de la metodología IEC: SAIDI, SAIFI, e IEEE: FMIK, TMIK en cada uno de los alimentadores.
- **Paso 6 Algoritmo Inteligente para la Optimización. –** Se procede al diseño del algoritmo inteligente que permita determinar la ubicación óptima de los reconectadores para mejorar los índices de calidad técnica del servicio eléctrico por parte de EEASA – NAPO.

11.4.1. Diagramas Topológicos

El Departamento Zona Oriental Napo de la EEASA, dispone de dos subestaciones de distribución la denominada Tena y Tena Norte, las cuales alimentan a 9 Alimentadores Primarios; la primera posee 5 primarios los cuales corresponden a los denominados: PAUSHIYACU, AROSEMENA TOLA, AMAZONAS, PERIMETRAL y MISAHUALLI; mientras que la segunda se encuentran los alimentadores: MUYUNA, SUMACO, ARCHIDONA y JUMANDI. En la **Figura 9**, se puede observar el diagrama topológico del sistema de distribución en donde se distinguen los diferentes ramales identificados por un código de color. Esto permitirá identificar cada uno de los componentes de las troncales principales y derivaciones que conforman cada tramo de red y así plantear el modelo matemático correspondiente.

Figura 9. *Diagrama Topológico del Sistema de Análisis*

11.4.2. Diagramas Esquemáticos

Los diagramas esquemáticos muestran cada uno de los componentes que conforman el sistema de alimentadores de las subestaciones en análisis, que para este caso corresponden a las de la Subestación Tena. En la **Figura 10** se representan los dispositivos que componen el alimentador AROSEMENA TOLA el cual está conformado por 23 nodos entre monofásicos y trifásicos, el mismo que se resume en la siguiente **Tabla 3**, en donde se observa la potencia instalada que corresponde a 9380 KVA con una longitud de 107.1 km.

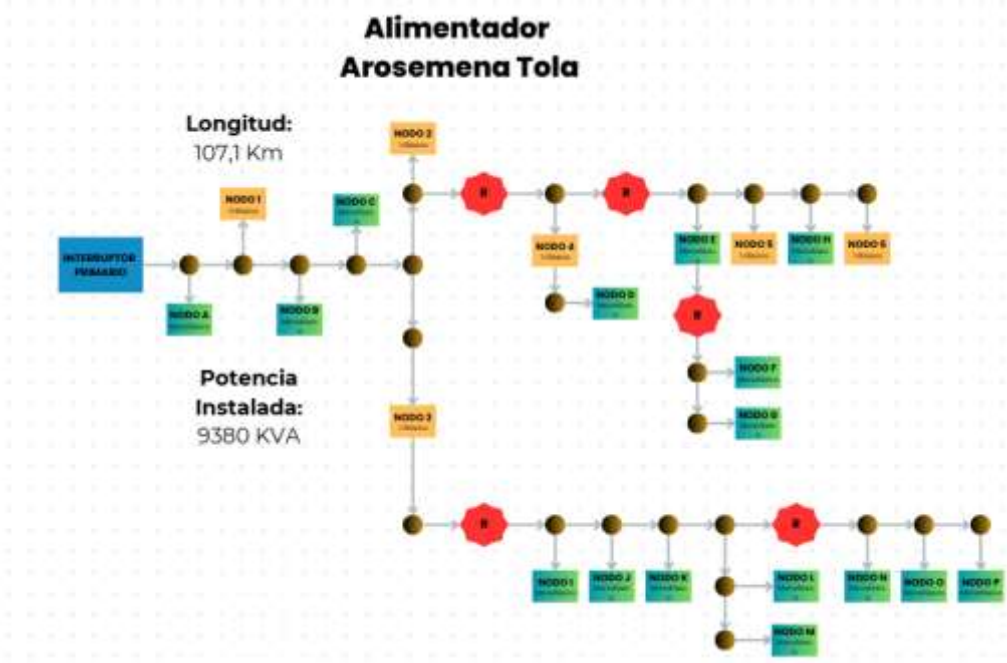


Figura 10. *Esquema de Red de Alimentador Arosemena Tola*

Tabla 3.

Componentes y Características del Alimentador Arosemena Tola

PRIMARIO **AROSEMENA TOLA**		**KVA INSTALADOS:** **9380**		**LONGITUD RED MV AÉREA EN KM:** **107,1**		**LONGITUD RED MV SUBTERRÁNEA EN KM:** **12,9**
ÍTEM	**RED MONOFÁSICA / RED TRIFÁSICA**	**POSTE N°**	**SECTOR**	**LONGITUD DE RED EN KM**	**KVA AGUAS ABAJO**	**EQUIPO DE CORTE**
INT. PRIMARIO	TRIFÁSICA	PRIMARIO	PRIMARIO AROSEMENA TOLA	120	9380	INTERRUPTOR PRIMARIO
A	MONOFÁSICA	448205	LOTIZACIÓN 3 DE MAYO	4,07	170	SECCIONADOR FUSIBLE
A1	MONOFÁSICA	399424	URDESA EL TOGLO	1,42	87,5	SECCIONADOR FUSIBLE
1	TRIFÁSICA	284911	SUBESTACIÓN PUERTO NAPO	1,03	200	SECCIONADOR FUSIBLE
B	MONOFÁSICA	434290	COMUNIDAD YUTZUPINO	9	190	SECCIONADOR FUSIBLE
C	TRIFÁSICA	273546	COMUNIDAD EL ANZU	3,2	345	SECCIONADOR FUSIBLE
2-R099	TRIFÁSICA	387910	PUERTO NAPO VIA AHUANO	92,8	3971	RECONECTADOR
4	TRIFÁSICA	273564	COMUNIDAD BALSAYACU	11	697	SECCIONADOR FUSIBLE
D	MONOFÁSICA	286584	COMUNIDAD SAN LUIS ATAHUALPA	2,95	80	SECCIONADOR FUSIBLE
R091	TRIFÁSICA	390971	VENECIA DERECHA	95,4	2531,5	RECONECTADOR

E-R072	MONOFÁSICA	265132	COMUNIDADES SHALCANA, CAPIRONA	37,55	349	RECONECTADOR
F	MONOFÁSICA	273588	COMUNIDAD SAN JOSE DE SHALCANA	7,5	80	SECCIONADOR FUSIBLE
G	MONOFÁSICA	392180	COMUNIDAD QUISACOCHA	16,243	153	SECCIONADOR FUSIBLE
5	TRIFÁSICA	276385	COMUNIDAD PUNI BOCANA	11,6	79	SECCIONADOR FUSIBLE
H-R061	MONOFÁSICA	276399	COMUNIDADES CRISTAL, CAMPOCOCHA	20,47	408,5	RECONECTADOR
6	TRIFÁSICA	387980	AEROPUERTO JUMANDY	14,14	800	SECCIONADOR FUSIBLE
3-R068	TRIFÁSICA	281125	VÍA AROSEMENA TOLA	112,92	3058,5	RECONECTADOR
I	MONOFÁSICA	282123	COMUNIDAD COSTA AZUL	9,07	163	SECCIONADOR FUSIBLE
J	MONOFÁSICA	273550	COMUNIDAD APUYA	9,34	120	SECCIONADOR FUSIBLE
K	MONOFÁSICA	273560	COMUNIDAD LUZ DE AMÉRICA	19,84	200	SECCIONADOR FUSIBLE
L	MONOFÁSICA	275254	COMUNIDAD ESTRELLA DEL ORIENTE	16,1	190	SECCIONADOR FUSIBLE
M	MONOFÁSICA	420221	COMUNIDAD SHIWACOCHA	11,7	320	SECCIONADOR FUSIBLE
N	MONOFÁSICA	273553	COMUNIDAD COLAHURCO	3,5	30	SECCIONADOR FUSIBLE

O	MONOFÁSICA	273555	COMUNIDAD ISHCAYACU	10,85	86	SECCIONADOR FUSIBLE
P	MONOFÁSICA	273558	COMUNIDAD TZAHUATA	12,6	205	SECCIONADOR FUSIBLE

Posteriormente se procede a identificar los componentes del alimentador Amazonas el cual se observa en la **Figura 11**, el cual posee una longitud de 84.91 Km y una potencia de 4613 KVA. En la **Tabla 4** se observan los detalles de cada nodo que corresponden a este alimentador, en donde se especifican los dispositivos de maniobra y características principales del alimentador mencionado.

Figura 11. *Esquema de Red de Alimentador Amazonas*

Tabla 4.

Componentes y Características del Alimentador Amazonas

PRIMARIO AMAZONAS		**KVA INSTALADOS: 4613**		**LONGITUD RED ÁEREA KM: 84.91**		**LONGITUD RED SUBTERRANEA KM: 2.42**
ÍTEM	**TIPO DE RED**	**POSTE N°**	**SECTOR**	**LONGITUD DE RED**	**KVA AGUAS ABAJO**	**EQUIPO DE CORTE**
INTERRUPTOR PRIMARIO	TRIFÁSICA	INTERRUPTOR PRIMARIO	PRIMARIO AMAZONAS	97,23	4613	INTERRUPTOR PRIMARIO

1	TRIFÁSICA	281723	BARRIO PALANDACOCHA	1,59	702,5	SECCIONADOR BARRA
A	MONOFÁSICA	271863	BARRIO AMAZONAS	3,9	140	SECCIONADOR FUSIBLE
B	MONOFÁSICA	285901	LOTIZACIÓN HUERTOS FAMILIARES	1,69	78	SECCIONADOR FUSIBLE
R056	TRIFÁSICA	286197	GUINEA CHIMBANA	68,84	1603,5	RECONECTADOR AUTOMÁTICO
C	MONOFÁSICA	282676	COMUNIDAD PUMAYACU, ALTO PANO	8,64	155	SECCIONADOR FUSIBLE
2	TRIFÁSICA	420275	COMUNIDAD SANTA ROSA	25,6	555	SECCIONADOR FUSIBLE
D	MONOFÁSICA	424209	COMUNIDAD 6 DE MARZO, JATUNYACU	4,05	73	SECCIONADOR FUSIBLE
E	MONOFÁSICA	420306	COMUNIDAD SERENA	4,23	140	SECCIONADOR FUSIBLE
F	MONOFÁSICA	273437	COMUNIDAD CANDO	7,07	70	SECCIONADOR FUSIBLE
G	MONOFÁSICA	420316	COMUNIDAD SAN CARLOS	9,27	130	SECCIONADOR FUSIBLE
H	MONOFÁSICA	285011	COMUNIDAD LIMONCHIKTA, SHIWAYAKU	11,27	225	SECCIONADOR FUSIBLE

De igual manera se realiza el diagrama esquemático del alimentador Misahuallí el cual se representa en la **Figura 12** y tiene una potencia instalada de 8700 KVA y una longitud de 399.14 Km siendo el más extenso de la subestación. Posee 4 reconectadores los cuales se pueden conectar al alimentador Arosemena Tola para así formar mallas de respaldo.

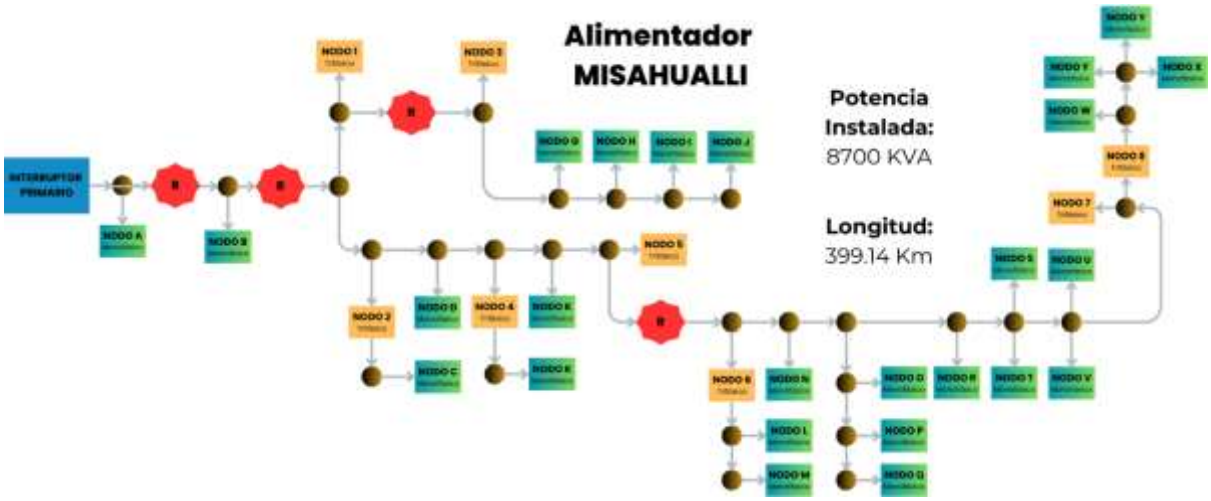


Figura 12. Esquema del alimentador Misahuallí.

De igual manera, en la **Tabla 5** se presentan cada uno de los componentes que conforman los nodos del alimentador Misahualli con sus respectivos KVA e identificadores.

Tabla 5.

Componentes y Características del Alimentador Misahualli

PRIMARIO MISAHUALLÍ		**KVA INSTALADOS: 8700**		**LONGITUD RED AÉREA: 399,14 KM**		**LONGITUD RED SUBTERRÁNEA: 3.03 KM**
ÍTEM	**TIPO DE RED**	**POSTE N°**	**SECTOR**	**LONGITUD DE RED DE MV EN KM**	**KVA INSTALADOS AGUAS ABAJO**	**EQUIPO DE CORTE**
INTER. PRIMARIO	TRIFÁSICA	INTER. PRIMARIO	PRIMARIO MISAHUALLÍ	402,17	8700	INTER. PRIMARIO
R094	TRIFÁSICA	392647	SECAY	335,8	7272	RECONECTADOR
R093	TRIFÁSICA	459794	PUERTO MISAHUALLÍ	270,8	6459	RECONECTADOR
1-R074	TRIFÁSICA	271369	COMUNIDADES PUNUNO, RIO BLANCO	78,7	1261	RECONECTADOR
2	TRIFÁSICA	459755	PUERTO MISAHUALLÍ	2,7	359,9	SECCIONADOR FUSIBLE

3	TRIFÁSICA	391073	COMUNIDADES PALMERAS, PUSUNO	23,6	374,9	SECCIONADOR FUSIBLE
4	TRIFÁSICA	391921	AHUANO	13,3	527,5	SECCIONADOR FUSIBLE
5	TRIFÁSICA	273030	COMUNIDAD RÍO BLANCO	16,1	253,5	SECCIONADOR FUSIBLE
R059	TRIFÁSICA	276838	AHUANO CHONTA PUNTA	205,8	3383,9	RECONECTADOR
6	TRIFÁSICA	273926	COMUNIDAD CAMPANACOCHA	23,7	308	SECCIONADOR FUSIBLE
7	TRIFÁSICA	273045	PARROQUIA CHONTA PUNTA	3,98	624,9	SECCIONADOR FUSIBLE
8	TRIFÁSICA	285001	VÍA A LOS ZORROS	77,3	950,5	SECCIONADOR FUSIBLE
A	MONOFÁSICA	273541	COMUNIDAD SHIWAURCO	3,1	50	SECCIONADOR FUSIBLE
B	MONOFÁSICA	273577	COMUNIDAD PONCELOMA	6,5	132,5	SECCIONADOR FUSIBLE
C	MONOFÁSICA	395298	VÍA A PUNUNO	1,6	50	SECCIONADOR FUSIBLE
D	MONOFÁSICA	392760	COMUNIDAD SHIRIPUNO	2	50	SECCIONADOR FUSIBLE
E	MONOFÁSICA	277577	COMUNIDAD MIRAFLORES DE PALMERAS	3,4	52,5	SECCIONADOR FUSIBLE
F	MONOFÁSICA	457495	COMUNIDAD ALTO PUSUNO	5,1	52,5	SECCIONADOR FUSIBLE
G	MONOFÁSICA	422117	COMUNIDAD SAN MIGUEL DE PALMERAS	5	98	SECCIONADOR FUSIBLE
H	MONOFÁSICA	389263	COMUNIDAD PUCAURCO	3,2	60	SECCIONADOR FUSIBLE

I	MONOFÁSICA	270869	COMUNIDAD PUCACHIKTA	7,5	115	SECCIONADOR FUSIBLE
J	MONOFÁSICA	378878	COMUNIDAD TAMIAURCO	13	111	SECCIONADOR FUSIBLE
K	MONOFÁSICA	273028	ISLA ANACONDA	9,8	95	SECCIONADOR FUSIBLE
L	MONOFÁSICA	396618	COMUNIDAD KASHAYACU	5,8	50	SECCIONADOR FUSIBLE
M	MONOFÁSICA	434706	COMUNIDAD WAYSACOCHA	11,7	98	SECCIONADOR FUSIBLE
N	MONOFÁSICA	273037	COMUNIDAD NUEVO PARAÍSO	6,9	177,5	SECCIONADOR FUSIBLE
O	MONOFÁSICA	273039	COMUNIDAD SANTA ROSA	15	265	SECCIONADOR FUSIBLE
P	MONOFÁSICA	282488	COMUNIDAD ALEJANDRO LICUY	5,1	75	SECCIONADOR FUSIBLE
Q	MONOFÁSICA	273041	COMUNIDAD SANTA ROSA BAJA	6,2	115	SECCIONADOR FUSIBLE
R	MONOFÁSICA	273230	COMUNIDAD YURALPA	20,3	227,5	SECCIONADOR FUSIBLE
S	MONOFÁSICA	273043	COMUNIDAD SAN PEDRO DE SUMINO	2,1	50	SECCIONADOR FUSIBLE
T	MONOFÁSICA	282345	COMUNIDAD LOMA ALTA	5,8	70	SECCIONADOR FUSIBLE
U	MONOFÁSICA	282346	COMUNIDAD REINA DEL CISNE	4,5	55	SECCIONADOR FUSIBLE
V	MONOFÁSICA	273044	COMUNIDAD HATUN URKU	10,5	83	SECCIONADOR FUSIBLE
W	MONOFÁSICA	394956	COMUNIDAD SELVA AMAZÓNICA	7,1	53	SECCIONADOR FUSIBLE

X	MONOFÁSICA	274781	COMUNIDADES LOS RÍOS, BELLAVISTA	18,2	230	SECCIONADOR FUSIBLE
Y	MONOFÁSICA	285004	COMUNIDAD YURALPA DERECHA, GUACAMAYOS	13,3	287,5	SECCIONADOR FUSIBLE
Z	MONOFÁSICA	415266	COMUNIDAD AGUA SANTA	12,3	80	SECCIONADOR FUSIBLE

En cuanto al alimentador Paushiyacu es el que posee menor longitud de todos los alimentadores que conforman la subestación con 5.7 Km y entregando una potencia instalada de 4030 KVA como se observa en la **Figura 13** con únicamente 6 Nodos.

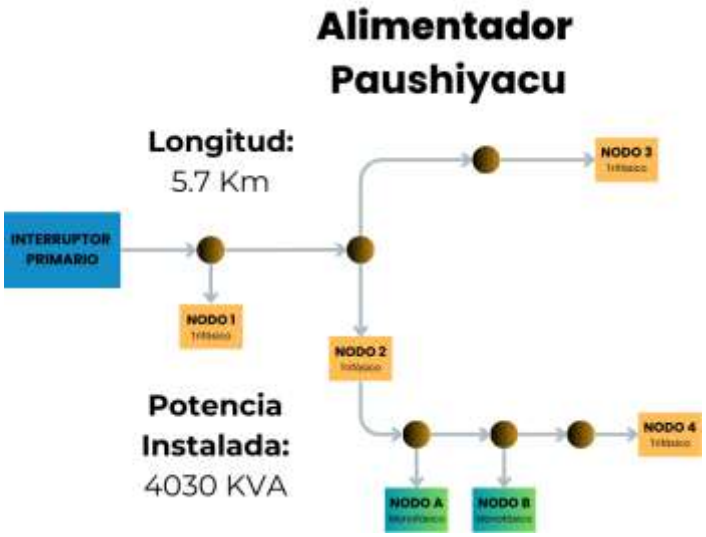


Figura 13. Esquema del alimentador Paushiyacu

Las características del alimentador Paushiyacu se las observa en la **Tabla 6** en donde se indican los tipos de equipos de corte para cada uno de los nodos. Se puede identificar que al ser el más pequeño de los alimentadores no se encuentra instalado un reconectador para este sistema.

Tabla 6.

Componentes y Características del Alimentador Paushiyacu

PRIMARIO PAUSHIYACU		KVA INSTALADOS: 4030		LONGITUD RED AÉREA: 5,7 KM		LONGITUD RED SUBTERRÁNEA: 0 KM
ÍTEM	**TIPO DE RED**	**POSTE N°**	**SECTOR**	**LONGITUD DE RED KM**	**KVA INSTALADOS AGUAS ABAJO**	**EQUIPO DE CORTE**
INTERRUPTOR PRIMARIO	TRIFÁSICA	INTERRUPTOR PRIMARIO	PRIMARIO PAUSHIYACU	6,63	4030	INTERRUPTOR PRIMARIO
1	TRIFÁSICA	263292	HOSPITAL VELASCO IBARRA	0,05	1300	SECCIONADOR FUSIBLE
2	TRIFÁSICA	273656	CALLE EDWIN ENRIQUEZ	3,62	1040	SECCIONADOR CUCHILLA
3	TRIFÁSICA	271887	CALLE FEDERICO MONTEROS	0,108	150	SECCIONADOR CUCHILLA
4	TRIFÁSICA	285057	CALLE TENA	0,2	175	SECCIONADOR FUSIBLE
A	MONOFÁSICA	268745	CALLE MANUEL MARÍA ROSALES	0,2	87,5	SECCIONADOR FUSIBLE
B	MONOFÁSICA	268755	BARRIO VISTA HERMOSA	1,173	147,5	SECCIONADOR FUSIBLE
R097	TRIFÁSICA	285076	SOCOPRON	0	0	RECONECTADOR AUTOMÁTICO

Finalmente se realiza el esquema del alimentador perimetral tal y como se muestra en la **Figura 14**, en donde se muestra una longitud de 38.68 Km y una potencia instalada de 2690 KVA. En este alimentador tampoco se encuentran reconectadores dentro de su estructura.

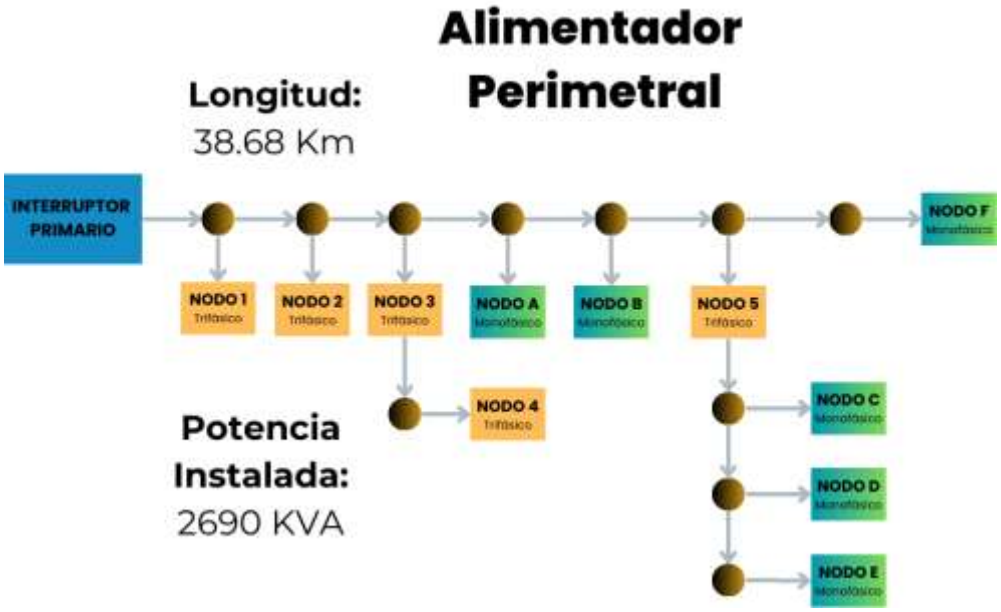


Figura 14. Esquema del Alimentador Perimetral

En la **Tabla 7** se muestran todos los detalles de lo componentes de corte que posee el alimentador Perimetral en donde constan los elementos y nodos mencionados anteriormente.

Tabla 7.

Componentes y Características del Alimentador Perimetral

PRIMARIO PERIMETRAL		**KVA INSTALADOS: 2690**		**LONGITUD RED AÉREA: 38,68 KM**		**LONGITUD RED SUBTERRÁNEA: 0.3 KM**
ÍTEM	**TIPO DE RED**	**POSTE N°**	**SECTOR**	**LONGITUD DE RED**	**KVA INSTALADOS AGUAS ABAJO**	**EQUIPO DE CORTE**
1	TRIFÁSICA	399757	CALLE ZAMORA, CALLE UMBUNI	0,569	200	SECCIONADOR FUSIBLE
2	TRIFÁSICA	393164	CALLE CUENCA	1,198	325	SECCIONADOR FUSIBLE
3	TRIFÁSICA	391619	AV. PERIMETRAL	2,6	187,6	SECCIONADOR CUCHILLA

4	TRIFÁSICA	280155	BARRIO 13 DE ABRIL	0,4	112,5	SECCIONADOR FUSIBLE
5	TRIFÁSICA	398927	COS2-ONGOTA	20,2	877,6	SECCIONADOR FUSIBLE
A	MONOFÁSICA	440932	LA UNIÓN-ANTENAS	10,257	285	SECCIONADOR FUSIBLE
B	MONOFÁSICA	390447	BARRIO LAS HIERBITAS	2,84	90	SECCIONADOR FUSIBLE
C	MONOFÁSICA	273533	COMUNIDAD AWAPUNGO	4,824	172,5	SECCIONADOR FUSIBLE
D	MONOFÁSICA	285958	COMUNIDAD BAJO SAN MARTÍN	7,376	115	SECCIONADOR FUSIBLE
E	MONOFÁSICA	285958	COMUNIDAD NUEVO ONGOTA	4,836	230	SECCIONADOR FUSIBLE
F	MONOFÁSICA	268576	BARRIO SAN LUIS	0,4	87,5	SECCIONADOR FUSIBLE

En la **Figura 15** se muestra el Diagrama Unifilar correspondiente al estado actual de los reconectadores e interruptores del alimentador analizado. Con esta información se procede a la definición de las características, restricciones y modelo matemático del sistema para su posterior implementación y optimización para la mejora de los indicadores.

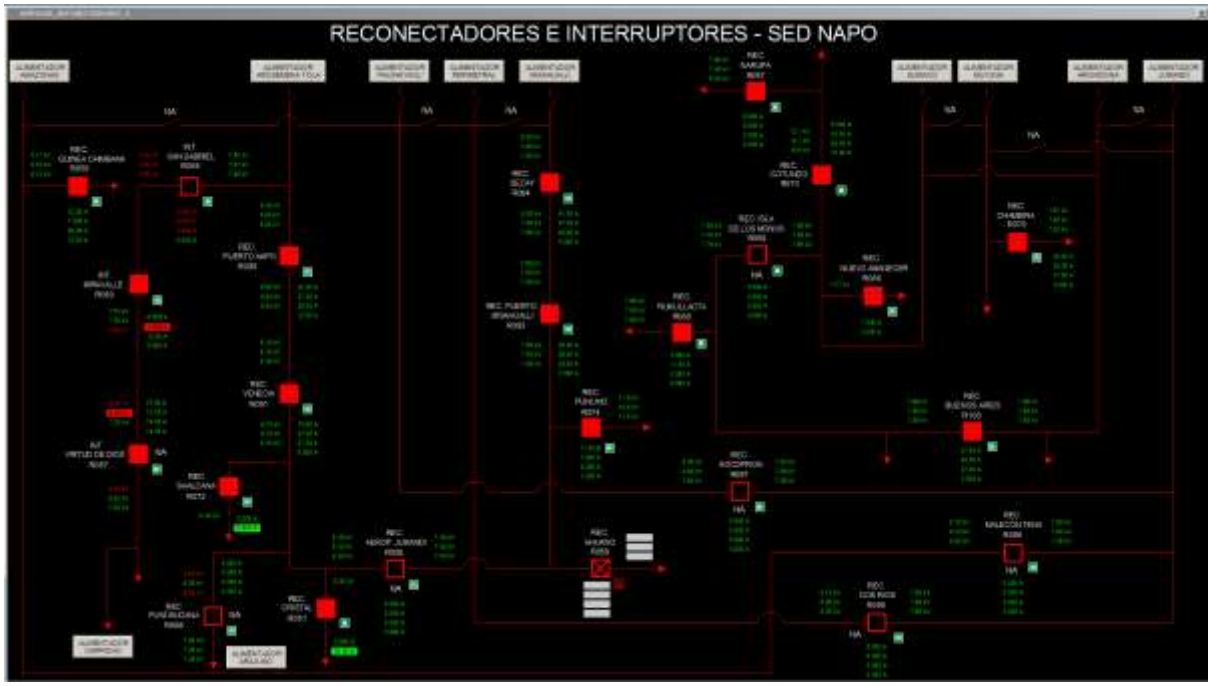


Figura 15. Diagrama Unifilar de los Reconectadores e Interruptores

11.4.3. Definición de Datos de Entrada

Para definir los datos de entrada del sistema, se debe considerar el tipo de algoritmo de optimización que se utilizará, como en varios ejemplos de la literatura revisada se tienen varias técnicas que permiten cumplir el objetivo propuesto, entre las que se incluyen: Recocido Simulado, Chu & Beasley, Evolución Diferencial, Enjambre de Partículas y Algoritmos Genéticos. De estas, las dos primeras requieren un alto número de iteraciones y presentan una implementación compleja, mientras que la quinta y cuarta presentan una tendencia a decaimiento en la solución final debido a que se basan en una retroalimentación de información. Por esta razón, en base al propósito del presente trabajo y en el respaldo científico de la literatura revisada, se plantea que la mejor opción para determinar los puntos de confiabilidad del sistema analizado es mediante Enjambre de Partículas.

De esta forma, como en la mayoría de problemas de optimización se requiere la identificación de los componentes o variables de la función objetivo, mismas que se observan a continuación:

$$\lambda_{FMIK} \rightarrow Peso\ de\ Prioridad\ del\ índice\ FMIK$$

$$\lambda_{TTIK} \rightarrow Peso\ de\ Prioridad\ del\ índice\ TTIK$$

$$\lambda_{SAIDI} \rightarrow Peso\ de\ Prioridad\ del\ índice\ SAIDI$$

$$\lambda_{SAIFI} \rightarrow Peso\ de\ Prioridad\ del\ índice\ SAIFI$$

Para comenzar con el procedimiento de solución del problema de optimización, se requiere definir los valores iniciales que toman algunas variables para la generación del enjambre, estos valores se presentan en la **Tabla 8**.

Tabla 8.

Variables Involucradas en el Sistema de Optimización

Variable	Valores Iniciales
Cantidad de Partículas	0 – 30
Número de Iteraciones	10 – 50
Cantidad de Variables	1 – 4
Inercia	0.8
Límites Superior e Inferior	Depende de Cada índice de Calidad

Para lograr identificar dentro del sistema la ubicación de un Reconectador dentro del sistema de distribución, se clasifica la existencia o necesidad de este dispositivo mediante una codificación binaria, en donde "1" representa la ratificación de la posición donde se requiere ubicarlo, mientras que el valor de "0" indica que la ubicación actual de análisis no es viable, por lo que se requiere analizar el siguiente punto, de esta forma se mapea todo el sistema de alimentación de EEASA – NAPO hasta obtener la ubicaciones óptimas. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se puede observar la representación del esquema de clasificación óptima que se emplea en la presente investigación.

Figura 16. *Codificación de la Ubicación Óptima de los Reconectadores*

Finalmente se requiere delimitar parámetros de las variables principales del sistema tal y como se observa en la **Tabla 9**.

Tabla 9.

Parámetros Iniciales de las variables a ser Optimizadas

Variable	Valor Recomendado
Cantidad de Reconectadores	2
Objetivo Anual FMIK	7.0
Objetivo Anual TTIK	10.0
Objetivo Anual SAIFI	7.0
Objetivo Anual SAIDI	10.0
Peso de Prioridad FMIK	0.25
Peso de Prioridad TTIK	0.25
Peso de Prioridad SAIFI	0.25
Peso de Prioridad SAIDI	0.25

Se consideran la cantidad de Reconectadores Automáticos que se poseen actualmente, sin embargo, el problema de optimización debe considerar criterios técnicos y operativos, ya que, el incremento de la cantidad de reconectadores dentro de la red, puede ocasionar problemas cuando se realice un estudio de coordinación de protecciones, aparte del incremento en el costo de todo el sistema. Los objetivos anuales de los indicadores de calidad de servicio técnico son regulados y deben ser cumplidas por normativa del estado ecuatoriano, en este caso, las regulaciones vigentes, para el país se encuentran señalados dentro de la ARCONEL 009/24 [1].

Para el valor de los pesos de cada una de las variables se debe tomar en cuenta que la sumatoria de cada uno de ellos debe completar la unidad, considerando el diseñador el grado de relevancia que posee cada una de las variables consideradas en el sistema, para el caso actual, al ser criterios de confiabilidad y calidad del sistema, todas las ponderaciones de los indicadores son relevantes por lo que se les asigna un valor igual. Finalmente, para delimitar las restricciones de la función objetivo que representa la ubicación de los reconectadores, se toma en cuenta las variables que componen a la función objetivo, en este caso los indicadores de calidad, lo que son representadas por inecuaciones tal y como se presenta a continuación:

$$R_{FMIK_t}, R_{FMIK_{min}}, R_{FMIK_{ref}} \rightarrow Relaciones\ del\ Indicador\ FMIK$$

$$R_{TTIK_t}, R_{TTIK_{min}}, R_{TTIK_{ref}} \rightarrow Relaciones\ del\ Indicador\ TTIK$$

$$R_{SAIDI_t}, R_{SAIDI_{min}}, R_{SAIDI_{ref}} \rightarrow Relaciones\ del\ Indicador\ SAIDI$$

$$R_{SAIFI_t}, R_{SAIFI_{min}}, R_{SAIFI_{ref}} \rightarrow Relaciones\ del\ Indicador\ SAIFI$$

11.4.4. Descripción del Modelo

El planteamiento general del problema de ubicación de fusibles y reconectadores en los alimentadores pertenecientes al sistema EEASA NAPO, por medio de un modelo MINLP (Programación No Lineal con Variables Binarias) indicando las restricciones correspondientes. Este modelo muestra la posibilidad de adicionar o reubicar fusibles y reconectadores, con el objetivo de reducir los indicadores de calidad de servicio, para lo cual se toma en cuenta las siguientes consideraciones:

- Los componentes se encuentran en buen estado y se los ubica al principio de cada nodo.
- El sistema tiene topología radial.

- Se tiene un límite de reconectadores que pueden ser instalados. Para el caso de fusibles no existe un valor límite.
- Se tiene registro de la cantidad de usuarios en cada nodo.
- No se toma en cuenta múltiples fallas y cada una de ellas se repara previo a que ocurra la siguiente.
- Los reconectadores pueden ser instalador en el alimentador principal y en las derivaciones monofásicas o trifásicas.
- No se permite instalar fusibles en el alimentador principal.

11.4.4.1. Modelo Matemático

Para explicar con detalle la formulación del problema y considerar aspectos importantes se plantea un esquema de prueba básico para el análisis tal y como se observa en la **Figura 17**. Con esto en mente se procede al planteo del modelo matemático que posee una serie de ecuaciones que describen el comportamiento del sistema.

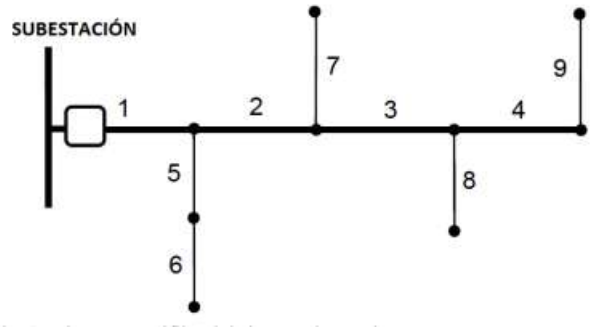


Figura 17. *Esquema Básico para el Análisis de Ubicación de Reconectadores*

Las ecuaciones que representan el sistema están compuestas por:

- **F:** Es el conjunto que compone los tramos de red *i* del sistema de distribución, incluyendo los dispositivos de protección de cada punto. En el caso del esquema de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** es el siguiente:

$$F = \{1,2, \dots, i\}$$

- $\boldsymbol{U_i}$: Conjunto formado por los tramos de red de la sección *i* correspondiente al alimentador de análisis, sumado a todos los tramos de red que se ubican aguas arriba de *i* hasta el nodo 1, que corresponde al alimentador. Con esto se puede definir a U_i de la siguiente manera:

$$U_i = \{i, n(i), n(n(i)), \dots, 1\} \forall i \in F$$

Para el caso planteado, se tienen los siguientes conjuntos: $U_2 = \{2,1\}$, $U_6 = \{6,5,1\}$, $U_9 = \{9,4,3,2,1\}$

- **P:** Corresponde al conjunto que muestran las secciones que forman al alimentador principal y se lo define de la siguiente manera:

$$P = U_{i \in T}\, U_i$$

Donde *T* es el conjunto que determinan las secciones del circuito las cuales culminan en un punto de transferencia. En el caso de ejemplo corresponde a $T = \{4\}$. Por lo que *P* esta representado por:

$$P = \{1,2,3,4\}$$

- **L:** Corresponde al conjunto de derivaciones laterales del alimentador principal. Se componen del conjunto *F*, excluyendo los tramos del conjunto *P* y se representa por la ecuación:

$$L = F - P$$

Que para el sistema actual corresponde:

$$L = \{5,6,7,8,9\}$$

Otro de los aspectos a tomar en cuenta para la implementación del modelo matemático del sistema, son las variables binarias de decisión, las cuales representan lo siguiente:

$$x_j = \begin{cases} 0, si\ reconectador\ es\ instalado\ en\ sección\ j \\ 1, reconectador\ no\ es\ instalado\ en\ sección\ j \end{cases}$$

$$y_j = \begin{cases} 0, si\ fusible\ es\ instalado\ en\ sección\ j \\ 1, fusible\ no\ es\ instalado\ en\ sección\ j \end{cases}$$

Donde *j* representan al tramo de red actual, donde se requiere o no la instalación de un dispositivo de protección.

11.4.4.2. Método del Cálculo de Indicadores de Calidad

El uso de las ecuaciones básicas para el cálculo de los indicadores de calidad permite mediante un histórico de información de EEASA de las interrupciones sucedidas durante el periodo anual. En este caso, se utilizarán estos datos para determinar el estado actual del alimentador y

ajustar a las diferentes ubicaciones del circuito. Para esto se definen los indicadores de la siguiente manera:

$$SAIDI = \frac{\sum_{i \in F} D_i N_i}{N_T}$$

$$SAIFI = \frac{\sum_{i \in F} H_i N_i}{N_T}$$

Donde:

D_i: Cantidad de horas al año que el nodo *i* se encuentra fuera de servicio.

H_i: Cantidad de interrupciones al año que genera el nodo *i.*

Para calcular D_i y H_i, se requiere medir la tasa temporal de falla representada por γ y la tasa permanente λ, de los elementos de maniobra y protección relacionados a cada uno de los tramos de distribución que conforman el circuito, así como el tiempo de reparación de la falla en el nodo afectado r. Según la normativa nacional, todo operador de distribución eléctrica debe registrar un histórico de eventos e interrupciones suscitadas en los alimentadores.

11.4.4.3. Función Objetivo del Sistema

Para reducir el cálculo matemático que corresponde a la función objetivo y la comprensión de esta, se utilizan tres variables auxiliares, distintas a las de decisión, representadas por *X, Y, Z.* Una vez desarrollado los términos matemáticos correspondientes serán reemplazados por las correspondencias a las variables de decisión. Estas variables auxiliares se representan de la siguiente manera:

$$X_j = \begin{cases} 1, Reconectador\ Conectado\ en\ j \\ 0, Reconectador\ No\ Conectado\ en\ j \end{cases}$$

$$Y_j = \begin{cases} 1, Fusible\ Instalado\ en\ \ j \\ 0, Fusible\ No\ instalado\ en\ j \end{cases}$$

$$Z_j = X_j + Y_j$$

Estas variables tienen su representación opuesta o complemento representado por las variables $\overline{X_j}$, $\overline{Y_j}$, $\overline{Z_j}$, los cuales tienen un valor contrario al original, las ecuaciones que los representa son:

$$\overline{X_J} = \begin{cases} 1, Reconectador\ No\ Conectado\ en\ j \\ 0, Reconectador\ Conectado\ en\ j \end{cases}$$

$$\overline{Y_J} = \begin{cases} 1, Fusible\ No\ Instalado\ en\ \ j \\ 0, Fusible\ \ instalado\ en\ j \end{cases}$$

$$\overline{Z_J} = \overline{X_J Y_J}$$

Tomando en cuenta estas consideraciones y cambios de variable, la función objetivo del modelo analizado para la estimación de los indicadores SAIFI y SAIDI se pueden describir de la siguiente manera:

$$SAIDI = \frac{1}{N_T}\left\{\sum_{i\in F}\lambda_i r_i\left[\sum_{j\in(U_i-L)} N_j X_j\left(\prod_{k\in C_{ij}}\overline{Z_k}\right)\right] + \sum_{i\in L}\lambda_i r_i\left[\sum_{j\in(U_i-P)} N_j Z_j\left(\prod_{k\in C_{ij}}\overline{Z_k}\right)\right] + \sum_{i\in L}\gamma_i r_i\left[\sum_{j\in(U_i-P)} N_j Y_j\left(\prod_{k\in C_{ij}}\overline{Z_k}\right)\right]\right\}$$

Donde:

λ_i: Tasa permanente de Falla en el nodo *i.*

γ_i: Tasa Temporal de Falla en el nodo *i.*

r_i: Promedio Temporal de reparación en el nodo *i.*

C_{ij}: Conjunto compuesto por los nodos que pertenecen al recorrido entre *i* y *j*, tomando en cuenta *i* y descartando *j*.

N_i: Totalidad de usuarios aguas debajo de la sección *j*, tomando en cuenta la sección *j*.

Es importante considerar que cuando los índices $i = j$, el conjunto que corresponde a C_{ij} se conforma como un conjunto vacío o $C_{ij} = \emptyset$. Como el número 1 se puede definir como un índice neutral de la multiplicación, se asignan a los operadores de la multiplicación en conjuntos vacíos iguales a 1. Con estas consideraciones la expresión $\prod_{k\in C_{ij}}\overline{Z_k}$ equivale a 1. Por la misma razón, se considera que el 0 es un componente neutral de la adición, las operaciones aditivas en conjuntos vacíos son equivalentes a 0.

En la Ecuación para la estimación de SAIDI, el primer término indica el impacto que genera las fallas constantes en el nodo *i*, cuando se inserta un reconectador en el nodo *j* del alimentador

principal (*i* aguas abajo de *j*) y que no exista un fusible o reconectador instalado en el nodo *k* que se encuentre entre las secciones *i* y *j*. Para interpretar de mejor forma la expresión, se puede decir que es una interrupción permanente para los clientes que se encuentren aguas abajo del tramo *j* (N_j), calculada mediante la tasa de falla permanente del tramo *i* donde se presentó la falla (λ_i), si se realiza la instalación de un reconectador en el tramo *j* del alimentador principal (X_j) y no exista otro elemento de protección entre los tramos *i* y *j* $\left(\prod_{k\in C_{ij}} \overline{Z_k}\right)$. El segundo término de la ecuación muestra la afectación de las fallas permanentes en un tramo *i*, cuando se coloca un reconectador o fusible en un tramo *j* de los ramales laterales, mientras que no exista un reconectador o fusible instalado en el tramo *k*. Finalmente el tercer término indica la afectación de las fallas temporales, lo cual ocurre cuando se instala un fusible en los tramos laterales y no existen elementos de protección ubicados en *k*.

Agrupando los dos términos finales de la ecuación se obtiene:

$$SAIDI = \frac{1}{N_T}\left[\sum_{i\epsilon F}\sum_{j\in(U_i-L)} \lambda_i r_i N_j X_j \left(\prod_{k\in C_{ij}} \overline{Z_K}\right) + \sum_{i\in L}\sum_{j\in(U_i-P)} N_j r_i(\lambda_i Z_i + \gamma_i Y_j)\left(\prod_{k\in C_{ij}} \overline{Z_k}\right)\right]$$

Se procede a describir las variables auxiliares $X_j, Y_j\ y\ Z_j$ y sus complementos $\overline{X_j}$, $\overline{Y_j}$, $\overline{Z_j}$ en función de las variables de decisión binarias como se presenta a continuación:

$$X_j = 1 - x_j$$

$$Y_j = 1 - y_j$$

$$Z_j = 2 - x_i - y_i$$

$$\overline{X_j} = x_j$$

$$\overline{Y_j} = y_j$$

$$\overline{Z_j} = x_j y_i$$

Finalmente, se reemplazan estos valores para obtener la ecuación que permite minimización de la función objetivo del SAIDI, obteniendo la siguiente representación:

$$SAIDI = \frac{1}{N_T}\left\{\sum_{i\in F}\sum_{j\in(U_i-L)} \lambda_i r_i N_j (1 - x_j)\prod_{k\epsilon C_{ij}} x_k y_k + \sum_{i\in L}\sum_{j\in(U_i-P)} r_i N_j\left[\lambda_i\left(2-x_j-y_j\right)+\gamma_i(1+y_i)\right]\prod_{k\in C_{ij}} x_k y_k\right\}$$

Para generar la función objetivo de SAIFI, se puede utilizar la misma ecuación de SAIDI eliminando el tiempo medio de reparación r_i. De esta manera se expresa la ecuación:

$$SAIFI = \frac{1}{N_T}\left\{\sum_{i\in F}\sum_{j\in(U_i-L)} \lambda_i N_j (1 - x_j)\prod_{k\epsilon C_{ij}} x_k y_k + \sum_{i\in L}\sum_{j\in(U_i-P)} N_j\left[\lambda_i\left(2-x_j-y_j\right)+\gamma_i(1+y_i)\right]\prod_{k\in C_{ij}} x_k y_k\right\}$$

11.4.4.4. Restricciones del Planteamiento

Para formular las restricciones del modelo planteado se debe considerar aspectos técnicos y económicos. En los aspectos técnicos se encuentran las relaciones con la coordinación de los equipos de protección y la topología de la red, mientras que los aspectos económicos tienen que ver con el número de equipos disponibles para la instalación. Como se mencionó con anterioridad, cuando se requiera la instalación de un dispositivo, la variable de decisión respectiva adquiere un valor de cero. Cuando se requiera la instalación de un reconectador en el punto *i*, en alguna de las restricciones $x_i = 0$.

Para determinar el número limitado de reconectadores se utiliza la siguiente expresión:

$$\sum_{i\in F} x_i = |F| - R$$

Donde *R* corresponde a la cantidad de reconectadores disponibles para colocar dentro del circuito, sin tomar en cuenta el equipo principal del alimentador, y F es el número total de tramos de red que componen el circuito. Los fusibles no tiene una cantidad limitante. Las barras verticales en *F* indican la cardinalidad de los conjuntos, es decir, el número de elementos que lo componen.

Otra restricción indica que no es posible instalar fusibles en el alimentador principal.

$$y_i = 1 \qquad \forall i \in P$$

Se requiere instalar un reconectador o fusible en cada uno de los ramales principales que surgen de la línea primaria.

$$x_i + y_i = 1 \qquad \forall i \in L$$

Para cualquier otro tramo de red *i* correspondiente a los ramales laterales, únicamente se puede colocar un dispositivo de protección en cada tramo de red, teniendo la posibilidad que no se instale ninguno.

$$x_i + y_i \geq 1 \qquad \forall i \in L$$

Se debe colocar un reconectador en el ramal principal del alimentador.

$$x_A = 0$$

Para descartar los problemas de coordinación, la cantidad máxima de reconectadores en serie tendrá un limitante de 3, incluyendo el equipo de protección del alimentador principal.

$$\sum_{j \in U_i} x_j \geq |U_i| - 3 \qquad \forall i \in F$$

11.4.5. Definición de Casos de Estudio

Para determinar los casos de estudio planteados, se ha elaborado un cuadro donde se encuentra la información del estado de cada alimentador durante los periodos de análisis. Para el caso del Alimentador Amazonas se obtuvieron los datos que se observa en la **Tabla 10**, donde se indican los tramos de línea así como los valores que permitirán el cálculo de los indicadores de calidad de servicio.

Tabla 10.

Datos Históricos de Alimentador Amazonas

POSTE	EQUIPO DE CORTE	KVA INSTALADOS AGUAS ABAJO	APORTE FMIK	APORTE TTIK	CAUSAS
286197	RECONECTADOR AUTOMÁTICO	1603.5	0.347604596	0.24032996	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

420275	SECCIONADOR FUSIBLE	555	0.120312161	0.33192788	MANTENIMIENTO PROGRAMADO
420306	SECCIONADOR FUSIBLE	140	0.030349014	0.15123925	VEGETACIÓN
282676	SECCIONADOR FUSIBLE	155	0.033600694	0.02128044	VEGETACIÓN
INTERRUPTOR PRIMARIO	INTERRUPTOR PRIMARIO	4613	1	0.47388889	MANTENIMIENTO PROGRAMADO
282676	SECCIONADOR FUSIBLE	155	0.033600694	0.09464195	DESCONOCIDA
INTERRUPTOR PRIMARIO	INTERRUPTOR PRIMARIO	4613	0	0	TRANSMISOR
INTERRUPTOR PRIMARIO	INTERRUPTOR PRIMARIO	4613	1	0.73305556	MANTENIMIENTO PROGRAMADO
INTERRUPTOR PRIMARIO	INTERRUPTOR PRIMARIO	4613	0	0	TRANSMISOR
INTERRUPTOR PRIMARIO	INTERRUPTOR PRIMARIO	4613	0	0	TRANSMISOR
424209	SECCIONADOR FUSIBLE	73	0.015824843	0.0150336	DESCONOCIDA
273437	SECCIONADOR FUSIBLE	70	0.015174507	0.01163379	VEGETACIÓN
286197	RECONECTADOR AUTOMÁTICO	1603.5	0	0	DESCONOCIDA
271863	SECCIONADOR FUSIBLE	140	0.030349014	0.01972686	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
282676	SECCIONADOR FUSIBLE	155	0.033600694	0.10752222	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
0	NA	0	0	0	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
271863	SECCIONADOR FUSIBLE	140	0.030349014	0.11529253	MANTENIMIENTO PROGRAMADO

INTERRUPTOR PRIMARIO	INTERRUPTOR PRIMARIO	4613	0	0	DESCONOCIDA
0	NA	0	0	0	VEGETACIÓN
420316	SECCIONADOR FUSIBLE	130	0.028181227	0.23108606	DESCONOCIDA
271863	SECCIONADOR FUSIBLE	140	0.030349014	0.09270781	MANTENIMIENTO PROGRAMADO
273437	SECCIONADOR FUSIBLE	70	0.015174507	0.00161861	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
273437	SECCIONADOR FUSIBLE	70	0.015174507	0.23869078	DESCONOCIDA
282676	SECCIONADOR FUSIBLE	155	0.033600694	0.08008165	VEGETACIÓN
0	NA	0	0	0	EQUIPO O MATERIALES EN MAL ESTADO
286197	RECONECTADOR AUTOMÁTICO	1603.5	0	0	DESCONOCIDA
INTERRUPTOR PRIMARIO	INTERRUPTOR PRIMARIO	4613	0	0	TRANSMISOR
286197	RECONECTADOR AUTOMÁTICO	1603.5	0.347604596	0.19581726	VEGETACIÓN
286197	RECONECTADOR AUTOMÁTICO	1603.5	0	0	CHOQUE DE VEHÍCULO
420275	SECCIONADOR FUSIBLE	555	0.120312161	0.99220771	DESCONOCIDA
INTERRUPTOR PRIMARIO	INTERRUPTOR PRIMARIO	4613	1	1.5	DESCONOCIDA
286197	RECONECTADOR AUTOMÁTICO	1603.5	0.347604596	0.51879986	DESCONOCIDA
0	NA	0	0	0	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

286197	RECONECTADOR AUTOMÁTICO	1603.5	0.347604596	0.10795054	MANTENIMIENTO PROGRAMADO
0	NA	0	0	0	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
0	NA	0	0	0	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
INTERRUPTOR PRIMARIO	INTERRUPTOR PRIMARIO	4613	0	0	CHOQUE DE VEHÍCULO
285011	SECCIONADOR FUSIBLE	225	0.048775201	0.03089096	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
INTERRUPTOR PRIMARIO	INTERRUPTOR PRIMARIO	4613	0	0	TRANSMISOR
286197	RECONECTADOR AUTOMÁTICO	1603.5	0	0	DESCONOCIDA
285011	SECCIONADOR FUSIBLE	225	0.048775201	0.36093648	VEGETACIÓN
281723	SECCIONADOR BARRA	702.5	0.152287015	0.04154051	MANTENIMIENTO PROGRAMADO
INTERRUPTOR PRIMARIO	INTERRUPTOR PRIMARIO	4613	0	0	DESCONOCIDA
INTERRUPTOR PRIMARIO	INTERRUPTOR PRIMARIO	4613	1	1.05	DESCONOCIDA
0	NA	0	0	0	VEGETACIÓN
285901	SECCIONADOR FUSIBLE	78	0.016908736	0.04476118	VEGETACIÓN
420316	SECCIONADOR FUSIBLE	130	0.028181227	0.21140617	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
420316	SECCIONADOR FUSIBLE	130	0.028181227	0.11554303	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
INTERRUPTOR PRIMARIO	INTERRUPTOR PRIMARIO	4613	0	0	TRANSMISOR

273437	SECCIONADOR FUSIBLE	70	0.015174507	0.01517451	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
INTERRUPTOR PRIMARIO	INTERRUPTOR PRIMARIO	4613	0	0	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
0	NA	0	0	0	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
285901	SECCIONADOR FUSIBLE	78	0.016908736	0.02541947	VEGETACIÓN
285011	SECCIONADOR FUSIBLE	225	0.048775201	0.30809668	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
0	NA	0	0	0	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
273437	SECCIONADOR FUSIBLE	70	0	0	MANTENIMIENTO PROGRAMADO
0	NA	0	0	0	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
420306	SECCIONADOR FUSIBLE	140	0.030349014	0.08703423	VEGETACIÓN
INTERRUPTOR PRIMARIO	INTERRUPTOR PRIMARIO	4613	0	0	TRANSMISOR
INTERRUPTOR PRIMARIO	INTERRUPTOR PRIMARIO	4613	0	0	TRANSMISOR
285011	SECCIONADOR FUSIBLE	225	0.048775201	0.17405972	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
INTERRUPTOR PRIMARIO	INTERRUPTOR PRIMARIO	4613	0	0	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
0	NA	0	0	0	DESCONOCIDA
INTERRUPTOR PRIMARIO	INTERRUPTOR PRIMARIO	4613	0	0	CHOQUE DE VEHÍCULO
INTERRUPTOR PRIMARIO	INTERRUPTOR PRIMARIO	4613	0	0	DESCONOCIDA

INTERRUPTOR PRIMARIO	INTERRUPTOR PRIMARIO	4613	0	0	TRANSMISOR
INTERRUPTOR PRIMARIO	INTERRUPTOR PRIMARIO	4613	0	0	DESCONOCIDA
420306	SECCIONADOR FUSIBLE	140	0.030349014	0.03490137	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
286197	RECONECTADOR AUTOMÁTICO	1603.5	0.347604596	0.76241275	MANTENIMIENTO PROGRAMADO
286197	RECONECTADOR AUTOMÁTICO	1603.5	0	0	DESCONOCIDA
INTERRUPTOR PRIMARIO	INTERRUPTOR PRIMARIO	4613	0	0	TRANSMISOR
INTERRUPTOR PRIMARIO	INTERRUPTOR PRIMARIO	4613	0	0	TRANSMISOR
420306	SECCIONADOR FUSIBLE	140	0.030349014	0.12544259	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
285011	SECCIONADOR FUSIBLE	225	0.048775201	0.20648168	VEGETACIÓN
286197	RECONECTADOR AUTOMÁTICO	1603.5	0	0	DESCONOCIDA
286197	RECONECTADOR AUTOMÁTICO	1603.5	0.347604596	1.2373758	DESCONOCIDA
420316	SECCIONADOR FUSIBLE	130	0.028181227	0.05723138	MANTENIMIENTO PROGRAMADO
INTERRUPTOR PRIMARIO	INTERRUPTOR PRIMARIO	4613	0	0	TRANSMISOR
INTERRUPTOR PRIMARIO	INTERRUPTOR PRIMARIO	4613	0	0	TRANSMISOR
285011	SECCIONADOR FUSIBLE	225	0.048775201	0.11218296	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
INTERRUPTOR PRIMARIO	INTERRUPTOR PRIMARIO	4613	0	0	TRANSMISOR

286197	RECONECTADOR AUTOMÁTICO	1603.5	0	0	DESCONOCIDA
273437	SECCIONADOR FUSIBLE	70	0.015174507	0.01719777	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
286197	RECONECTADOR AUTOMÁTICO	1603.5	0.347604596	1.31471783	MANTENIMIENTO PROGRAMADO
286197	RECONECTADOR AUTOMÁTICO	1603.5	0.347604596	1.12981149	MANTENIMIENTO PROGRAMADO
282676	SECCIONADOR FUSIBLE	155	0.033600694	0.01176024	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
285011	SECCIONADOR FUSIBLE	225	0.048775201	0.1997209	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
286197	RECONECTADOR AUTOMÁTICO	1603.5	0.347604596	1.17934515	MANTENIMIENTO PROGRAMADO

Mediante la formulación mencionada con anterioridad se procede a establecer cada uno de los indicadores de calidad tal y como se observa en la **Tabla 11**, donde se muestran que se requiere una mejora con FMIK que posee un valor de 8.4815, TTIK igual a 15.1280, SAIDI con 9.79 y un SAIFI de 18.8147.

Tabla 11.

Indicadores de Calidad en Alimentador Amazonas

INDICADOR	**FMIK**	**TTIK**	**SAIDI**	**SAIFI**
Valor Obtenido	8,4815	15,1280	9,7902	18,8147

Por otro lado, para el caso del alimentador Arosemena Tola se observan en la **Tabla 12** los datos históricos obtenidos.

Tabla 12.

Datos Históricos de Servicio del Alimentador de Arosemena Tola

POSTE	**EQUIPO DE CORTE**	**KVA INSTALADOS AGUAS ABAJO**	**APORTE FMIK**	**APORTE TTIK**	**CAUSA**

273555	SECCIONADOR FUSIBLE	86	0.009168443	0.024449	VEGETACIÓN
281125	RECONECTADOR	3058.5	0	0	DESCONOCIDAS
281125	RECONECTADOR	3058.5	0	0	DESCONOCIDAS
275254	SECCIONADOR FUSIBLE	190	0.020255864	0.235176	DESCONOCIDAS
275254	SECCIONADOR FUSIBLE	190	0.020255864	0.048997	MANTENIMIENTO PROGRAMADO
390971	RECONECTADOR	2531.5	0.269882729	0.421092	VEGETACIÓN
390971	RECONECTADOR	2531.5	0	0	DESCONOCIDAS
INTERRUPTOR PRIMARIO	INTERRUPTOR PRIMARIO	9380	1	0.127222	MANTENIMIENTO PROGRAMADO
281125	RECONECTADOR	3058.5	0	0	DESCONOCIDAS
273555	SECCIONADOR FUSIBLE	86	0.009168443	0.088628	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
390971	RECONECTADOR	2531.5	0.269882729	1.848697	DESCONOCIDAS
434290	SECCIONADOR FUSIBLE	190	0.020255864	0.044456	VEGETACIÓN
276399	RECONECTADOR	408.5	0.043550107	0.095351	MANTENIMIENTO PROGRAMADO
275254	SECCIONADOR FUSIBLE	190	0.020255864	0.14259	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
390971	RECONECTADOR	2531.5	0.269882729	0.221454	DESCONOCIDAS
281125	RECONECTADOR	3058.5	0	0	DESCONOCIDAS

281125	RECONECTADOR	3058.5	0	0	DESCONOCIDAS
275254	SECCIONADOR FUSIBLE	190	0.020255864	0.052328	EQUIPO O MATERIALES EN MAL ESTADO
281125	RECONECTADOR	3058.5	0	0	DESCONOCIDAS
420221	SECCIONADOR FUSIBLE	320	0.034115139	0.395167	DESCONOCIDAS
387910	RECONECTADOR	3971	0	0	DESCONOCIDAS
273558	SECCIONADOR FUSIBLE	205	0.021855011	0.051359	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
273550	SECCIONADOR FUSIBLE	120	0.012793177	0.026866	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
387909	RECONECTADOR	0	0	0	MANTENIMIENTO PROGRAMADO
387909	RECONECTADOR	0	0	0	DESCONOCIDAS
276385	SECCIONADOR FUSIBLE	79	0.008422175	0.043655	VEGETACIÓN
281125	RECONECTADOR	3058.5	0	0	DESCONOCIDAS
420221	SECCIONADOR FUSIBLE	320	0.034115139	0.010434	MANTENIMIENTO PROGRAMADO
273558	SECCIONADOR FUSIBLE	205	0.021855011	0.00601	MANTENIMIENTO PROGRAMADO
273558	SECCIONADOR FUSIBLE	205	0.021855011	0.00601	REPETIDA
434290	SECCIONADOR FUSIBLE	190	0.020255864	0.074941	MANTENIMIENTO PROGRAMADO
273560	SECCIONADOR FUSIBLE	200	0.021321962	0.040299	MANTENIMIENTO PROGRAMADO

273558	SECCIONADOR FUSIBLE	205	0.021855011	0.145457	FAUNA
281125	RECONECTADOR	3058.5	0	0	DESCONOCIDAS
273560	SECCIONADOR FUSIBLE	200	0.021321962	0.112651	DESCONOCIDAS
273560	SECCIONADOR FUSIBLE	200	0.021321962	0.16733	DESCONOCIDAS
275254	SECCIONADOR FUSIBLE	190	0.020255864	0.017217	DESCONOCIDAS
276385	SECCIONADOR FUSIBLE	79	0.008422175	0.027009	VEGETACIÓN
420221	SECCIONADOR FUSIBLE	320	0.034115139	0.146127	EQUIPO O MATERIALES EN MAL ESTADO
273588	SECCIONADOR FUSIBLE	80	0.008528785	0.027292	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
434290	SECCIONADOR FUSIBLE	190	0.020255864	0.101617	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
434290	SECCIONADOR FUSIBLE	190	0.020255864	0.039972	MANTENIMIENTO PROGRAMADO
INTERRUPTOR PRIMARIO	INTERRUPTOR PRIMARIO	9380	0	0	DESCONOCIDAS
0	NA	0	0	0	DESCONOCIDAS
273560	SECCIONADOR FUSIBLE	200	0.021321962	0.06823	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
420221	SECCIONADOR FUSIBLE	320	0.034115139	0.354181	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
434290	SECCIONADOR FUSIBLE	190	0.020255864	0.068437	MANTENIMIENTO PROGRAMADO
273560	SECCIONADOR FUSIBLE	200	0.021321962	0.070007	FAUNA

434290	SECCIONADOR FUSIBLE	190	0.020255864	0.079527	MANTENIMIENTO PROGRAMADO
434290	SECCIONADOR FUSIBLE	190	0.020255864	0.084416	DESCONOCIDAS
434290	SECCIONADOR FUSIBLE	190	0.020255864	0.084416	DESCONOCIDAS
434290	SECCIONADOR FUSIBLE	190	0.020255864	0.084416	DESCONOCIDAS
434290	SECCIONADOR FUSIBLE	190	0.020255864	0.08427	MANTENIMIENTO PROGRAMADO
390971	RECONECTADOR	2531.5	0	0	DESCONOCIDAS
273560	SECCIONADOR FUSIBLE	200	0.021321962	0.292496	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
273550	SECCIONADOR FUSIBLE	120	0.012793177	0.018276	MANTENIMIENTO PROGRAMADO
INTERRUPTOR PRIMARIO	INTERRUPTOR PRIMARIO	9380	1	3.366667	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
448205	SECCIONADOR FUSIBLE	170	0.018123667	0.376675	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
387980	SECCIONADOR FUSIBLE	800	0.085287846	0.995712	VEGETACIÓN
INTERRUPTOR PRIMARIO	INTERRUPTOR PRIMARIO	9380	1	1.368056	MANTENIMIENTO PROGRAMADO
281125	RECONECTADOR	3058.5	0.326066098	0.826396	MANTENIMIENTO PROGRAMADO
273200	RECONECTADOR	0	0	0	MANTENIMIENTO PROGRAMADO
434290	SECCIONADOR FUSIBLE	190	0.020255864	0.106641	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
434290	SECCIONADOR FUSIBLE	190	0.020255864	0.053988	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

390971	RECONECTADOR	2531.5	0.269882729	0.674707	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
273555	SECCIONADOR FUSIBLE	86	0.009168443	0.029492	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
INTERRUPTOR PRIMARIO	INTERRUPTOR PRIMARIO	9380	1	4.181389	MANTENIMIENTO PROGRAMADO
390971	RECONECTADOR	2531.5	0	0	DESCONOCIDAS
276385	SECCIONADOR FUSIBLE	79	0.008422175	0.03411	VEGETACIÓN
390971	RECONECTADOR	2531.5	0.269882729	2.141969	MANTENIMIENTO PROGRAMADO
276385	SECCIONADOR FUSIBLE	79	0.008422175	0.004492	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
387910	RECONECTADOR	3971	0	0	DESCONOCIDAS
281125	RECONECTADOR	3058.5	0	0	DESCONOCIDAS
276385	SECCIONADOR FUSIBLE	79	0.008422175	0.018147	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
INTERRUPTOR PRIMARIO	INTERRUPTOR PRIMARIO	9380	1	6.53	MANTENIMIENTO PROGRAMADO
273558	SECCIONADOR FUSIBLE	205	0.021855011	0.057552	DESCONOCIDAS
420221	SECCIONADOR FUSIBLE	320	0.034115139	0.205828	VEGETACIÓN
390971	RECONECTADOR	2531.5	0.269882729	0.257663	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
273564	SECCIONADOR FUSIBLE	697	0.074307036	0.265462	EQUIPO O MATERIALES EN MAL ESTADO
387909	RECONECTADOR	0	0	0	DESCONOCIDAS

387980	SECCIONADOR FUSIBLE	800	0	0	VEGETACIÓN
420221	SECCIONADOR FUSIBLE	320	0.034115139	0.051173	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
390971	RECONECTADOR	2531.5	0.269882729	2.631881	MANTENIMIENTO PROGRAMADO
281125	RECONECTADOR	3058.5	0	0	DESCONOCIDAS
INTERRUPTOR PRIMARIO	INTERRUPTOR PRIMARIO	9380	1	0.746389	MANTENIMIENTO PROGRAMADO
273558	SECCIONADOR FUSIBLE	205	0.021855011	0.045896	MANTENIMIENTO PROGRAMADO
420221	SECCIONADOR FUSIBLE	320	0.034115139	0.365601	VEGETACIÓN
390971	RECONECTADOR	2531.5	0	0	DESCONOCIDAS
390971	RECONECTADOR	2531.5	0.269882729	1.984163	MANTENIMIENTO PROGRAMADO
273558	SECCIONADOR FUSIBLE	205	0.021855011	0.092155	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
420221	SECCIONADOR FUSIBLE	320	0.034115139	0.266098	EQUIPO O MATERIALES EN MAL ESTADO
390971	RECONECTADOR	2531.5	0.269882729	2.643351	MANTENIMIENTO PROGRAMADO
387910	RECONECTADOR	3971	0.423347548	0.247776	DESCONOCIDAS
390971	RECONECTADOR	2531.5	0	0	DESCONOCIDAS
390971	RECONECTADOR	2531.5	0.269882729	0.707543	MANTENIMIENTO PROGRAMADO
420221	SECCIONADOR FUSIBLE	320	0.034115139	0.358209	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

286584	SECCIONADOR FUSIBLE	80	0.008528785	0.118408	EQUIPO O MATERIALES EN MAL ESTADO
273560	SECCIONADOR FUSIBLE	200	0.021321962	0.077825	EQUIPO O MATERIALES EN MAL ESTADO
392180	SECCIONADOR FUSIBLE	153	0.016311301	0.076853	EQUIPO O MATERIALES EN MAL ESTADO
390971	RECONECTADOR	2531.5	0.269882729	0.894961	MANTENIMIENTO PROGRAMADO
281125	RECONECTADOR	3058.5	0	0	DESCONOCIDAS
281125	RECONECTADOR	3058.5	0	0	DESCONOCIDAS
273550	SECCIONADOR FUSIBLE	120	0.012793177	0.022814	EQUIPO O MATERIALES EN MAL ESTADO
273555	SECCIONADOR FUSIBLE	86	0.009168443	0.117552	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
387980	SECCIONADOR FUSIBLE	800	0.085287846	0.292822	DESCONOCIDAS
390971	RECONECTADOR	2531.5	0	0	DESCONOCIDAS
INTERRUPTOR PRIMARIO	INTERRUPTOR PRIMARIO	9380	1	2.850556	DESCONOCIDAS
INTERRUPTOR PRIMARIO	INTERRUPTOR PRIMARIO	9380	0	0	DESCONOCIDAS
387910	RECONECTADOR	3971	0.423347548	0.497669	VEGETACIÓN
273555	SECCIONADOR FUSIBLE	86	0.009168443	0.140583	VEGETACIÓN
390971	RECONECTADOR	2531.5	0	0	DESCONOCIDAS
390971	RECONECTADOR	2531.5	0	0	DESCONOCIDAS

276399	RECONECTADOR	408.5	0.043550107	0.18654	VEGETACIÓN
273560	SECCIONADOR FUSIBLE	200	0.021321962	0.049621	EQUIPO O MATERIALES EN MAL ESTADO
420221	SECCIONADOR FUSIBLE	320	0.034115139	0.218688	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
273546	SECCIONADOR FUSIBLE	345	0.036780384	0.17958	MANTENIMIENTO PROGRAMADO
273546	SECCIONADOR FUSIBLE	345	0.036780384	0.215186	MANTENIMIENTO PROGRAMADO
282123	SECCIONADOR FUSIBLE	163	0.017377399	0.190461	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
276399	RECONECTADOR	408.5	0.043550107	0.479051	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
273560	SECCIONADOR FUSIBLE	200	0.021321962	0.416631	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
273560	SECCIONADOR FUSIBLE	200	0.021321962	0.098792	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
273553	SECCIONADOR FUSIBLE	30	0	0	DESCONOCIDAS
273560	SECCIONADOR FUSIBLE	200	0.021321962	0.088486	DESCONOCIDAS
282123	SECCIONADOR FUSIBLE	163	0.017377399	0.031279	DESCONOCIDAS
273560	SECCIONADOR FUSIBLE	200	0.021321962	0.067164	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
273560	SECCIONADOR FUSIBLE	200	0.021321962	0.04371	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
273560	SECCIONADOR FUSIBLE	200	0.021321962	0.056503	VEGETACIÓN
273564	SECCIONADOR FUSIBLE	697	0.074307036	0.151463	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

390971	RECONECTADOR	2531.5	0	0	DESCONOCIDAS
273555	SECCIONADOR FUSIBLE	86	0.009168443	0.008557	EQUIPO O MATERIALES EN MAL ESTADO
281125	RECONECTADOR	3058.5	0.326066098	2.756164	Fauna
273564	SECCIONADOR FUSIBLE	697	0.074307036	0.292274	DESCONOCIDAS
390971	RECONECTADOR	2531.5	0.269882729	0.134941	VEGETACIÓN
390971	RECONECTADOR	2531.5	0.269882729	0.294772	VEGETACIÓN
387910	RECONECTADOR	3971	0	0	DESCONOCIDAS
273553	SECCIONADOR FUSIBLE	30	0.003198294	0.001812	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
273553	SECCIONADOR FUSIBLE	30	0.003198294	0.017644	VEGETACIÓN
434290	SECCIONADOR FUSIBLE	190	0.020255864	0.047601	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
273560	SECCIONADOR FUSIBLE	200	0.021321962	0.052239	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
282123	SECCIONADOR FUSIBLE	163	0.017377399	0.014771	DESCONOCIDAS
276399	RECONECTADOR	408.5	0.043550107	0.141453	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
282123	SECCIONADOR FUSIBLE	163	0.017377399	0.036782	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
0	NA	0	0	0	DESCONOCIDAS
282123	SECCIONADOR FUSIBLE	163	0.017377399	0.161344	DESCONOCIDAS

275254	SECCIONADOR FUSIBLE	190	0.020255864	0.004726	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
0	NA	0	0	0	DESCONOCIDAS
273564	SECCIONADOR FUSIBLE	697	0.074307036	0.048898	MANTENIMIENTO PROGRAMADO
273550	SECCIONADOR FUSIBLE	120	0.012793177	0.112367	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
INTERRUPTOR PRIMARIO	INTERRUPTOR PRIMARIO	9380	0	0	DESCONOCIDAS
INTERRUPTOR PRIMARIO	INTERRUPTOR PRIMARIO	9380	0	0	DESCONOCIDAS
273560	SECCIONADOR FUSIBLE	200	0.021321962	0.248756	EQUIPO O MATERIALES EN MAL ESTADO
273588	SECCIONADOR FUSIBLE	80	0.008528785	0.09737	VEGETACIÓN
INTERRUPTOR PRIMARIO	INTERRUPTOR PRIMARIO	9380	0	0	DESCONOCIDAS
INTERRUPTOR PRIMARIO	INTERRUPTOR PRIMARIO	9380	0	0	DESCONOCIDAS
INTERRUPTOR PRIMARIO	INTERRUPTOR PRIMARIO	9380	1	2.849444	MANTENIMIENTO PROGRAMADO
273560	SECCIONADOR FUSIBLE	200	0.021321962	0.140381	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
273550	SECCIONADOR FUSIBLE	120	0.012793177	0.071429	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
387910	RECONECTADOR	3971	0.423347548	0.838934	VEGETACIÓN
0	NA	0	0	0	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
276385	SECCIONADOR FUSIBLE	79	0.008422175	0.043655	VEGETACIÓN

276385	SECCIONADOR FUSIBLE	79	0.008422175	0.013195	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
387909	RECONECTADOR	0	0	0	DESCONOCIDAS
273564	SECCIONADOR FUSIBLE	697	0.074307036	0.099076	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
INTERRUPTOR PRIMARIO	INTERRUPTOR PRIMARIO	9380	0	0	TRANSMISOR
276385	SECCIONADOR FUSIBLE	79	0.008422175	0.024003	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
273560	SECCIONADOR FUSIBLE	200	0.021321962	0.063611	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
390971	RECONECTADOR	2531.5	0	0	DESCONOCIDAS
390971	RECONECTADOR	2531.5	0.269882729	0.948638	FAUNA
390971	RECONECTADOR	2531.5	0	0	DESCONOCIDAS
420221	SECCIONADOR FUSIBLE	320	0.034115139	0.070505	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
273560	SECCIONADOR FUSIBLE	200	0.021321962	0.060768	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
448205	SECCIONADOR FUSIBLE	170	0.018123667	0.01752	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
387910	RECONECTADOR	3971	0	0	DESCONOCIDAS
399424	SECCIONADOR FUSIBLE	87.5	0.009328358	0.032805	DESCONOCIDAS
273550	SECCIONADOR FUSIBLE	120	0.012793177	0.01791	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
273560	SECCIONADOR FUSIBLE	200	0.021321962	0.115849	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

0	NA	0	0	0	DESCONOCIDAS
273546	SECCIONADOR FUSIBLE	345	0.036780384	0.036167	VEGETACIÓN
273555	SECCIONADOR FUSIBLE	86	0.009168443	0.015128	EQUIPO O MATERIALES EN MAL ESTADO
273558	SECCIONADOR FUSIBLE	205	0.021855011	0.083413	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
273560	SECCIONADOR FUSIBLE	200	0.021321962	0.039801	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
390971	RECONECTADOR	2531.5	0.269882729	0.919251	VEGETACIÓN
273558	SECCIONADOR FUSIBLE	205	0.021855011	0.010928	EQUIPO O MATERIALES EN MAL ESTADO
INTERRUPTOR PRIMARIO	INTERRUPTOR PRIMARIO	9380	1	3.004722	MANTENIMIENTO PROGRAMADO
273560	SECCIONADOR FUSIBLE	200	0.021321962	0.266169	EQUIPO O MATERIALES EN MAL ESTADO
273560	SECCIONADOR FUSIBLE	200	0.021321962	0.174271	EQUIPO O MATERIALES EN MAL ESTADO
273558	SECCIONADOR FUSIBLE	205	0.021855011	0.046624	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
273558	SECCIONADOR FUSIBLE	205	0.021855011	0.103295	EQUIPO O MATERIALES EN MAL ESTADO
282123	SECCIONADOR FUSIBLE	163	0.017377399	0.232307	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
282123	SECCIONADOR FUSIBLE	163	0.017377399	0.15238	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Así como se lo realiza en el caso anterior se realiza el cálculo de cada uno de los indicadores, obteniendo la respuesta que se observa en la **Tabla 13**, en donde el FMIK tiene un valor de 17.71, TTIK de 60.24, SAIDI de 15.3426 y SAIFI de 48.4361; mismos sirven como valores para la inicialización de los datos ha reducir mediante la implementación de reconectadores

con el algoritmo propuesto. También se presentan los resultados obtenidos para los alimentadores, Paushiyacu, Misahualli y Perimetral.

Tabla 13.

Indicadores de Calidad de cada Alimentador

INDICADOR	FMIK	TTIK	SAIDI	SAIFI
Arosemena Tola	17,710	60,240	15,343	48,436
Misahualli	12,235	15,375	18,515	21,655
Paushiyacu	15,714	22,942	11,471	16,748
Perimetral	10,239	14,949	21,825	31,865
Amazonas	8,4815	15,1280	9,7902	18,8147

11.4.6. Aplicación del Algoritmo de Enjambre de Partículas.

Para la búsqueda de puntos donde se requiere la ubicación e implementación de reconectadores en cada uno de los alimentadores de análisis se utiliza un algoritmo de optimización, en este caso mediante Enjambre de Partículas. Para esto se utilizarán los datos de los indicadores de obtenidos como condiciones iniciales y se asignará una variable binaria a la ubicación o no del reconectador dentro del circuito. Así también se consideran los datos históricos de cada alimentador de donde se estimaron cada uno de los indicadores de calidad como condiciones iniciales del sistema. En la **Tabla 14** se puede observar la matriz de datos de entrada del algoritmo de Enjambre de Partículas para el caso del Alimentador Amazonas. En donde se identifican las filas de los indicadores, la ubicación del reconectador y el nodo al que este asignado.

Tabla 14.

Matriz de Entrada para el Algoritmo de Enjambre de Partículas

NODO	ITEM	RED	EQUIPOCORTE	FMIK	TTIK	SAIDI	SAIFI	RECONECTADOR

Primario	0	1	0	1,0000	1,8000	1,4500	1,3470	0
1	1	1	1	0,1523	0,2741	0,2208	0,2051	0
A	3	0	2	0,0303	0,0546	0,0440	0,0409	0
B	4	0	2	0,0169	0,0304	0,0245	0,0228	0
R056	5	1	3	0,3476	0,6257	0,5040	0,4682	1
C	6	0	2	0,0336	0,0605	0,0487	0,0453	0
2	2	1	2	0,1203	0,2166	0,1745	0,1621	0
D	7	0	2	0,0158	0,0285	0,0229	0,0213	0
E	8	0	2	0,0303	0,0546	0,0440	0,0409	0
F	9	0	2	0,0152	0,0273	0,0220	0,0204	0
G	10	0	2	0,0282	0,0507	0,0409	0,0380	0
H	11	0	2	0,0488	0,0878	0,0707	0,0657	0

Con el uso de esta información se procede a mostrar el procedimiento en el diagrama de flujo que se observa en la **Figura 18** que utilizará el algoritmo implementado para determinar la ubicación de los reconectadores, misma que se presenta a continuación:

a. Ingreso de la matriz de condiciones iniciales.
b. Generación de enjambre de partículas aleatorias.
c. Evaluación de Función Objetivo Seleccionada.
d. Colocación de Reconectador en tramo seleccionado.
e. Cálculo de Indicadores de Calidad.
f. Si terminan las iteraciones planteadas parámetros detiene el cálculo, si no busca el siguiente punto de análisis.
g. Encuentra el punto de ubicación correcto con el menor valor entre cada Función Objetivo.
h. Grafica los datos de cada iteración y los muestra cuando ejecuta el programa termina del procesamiento.

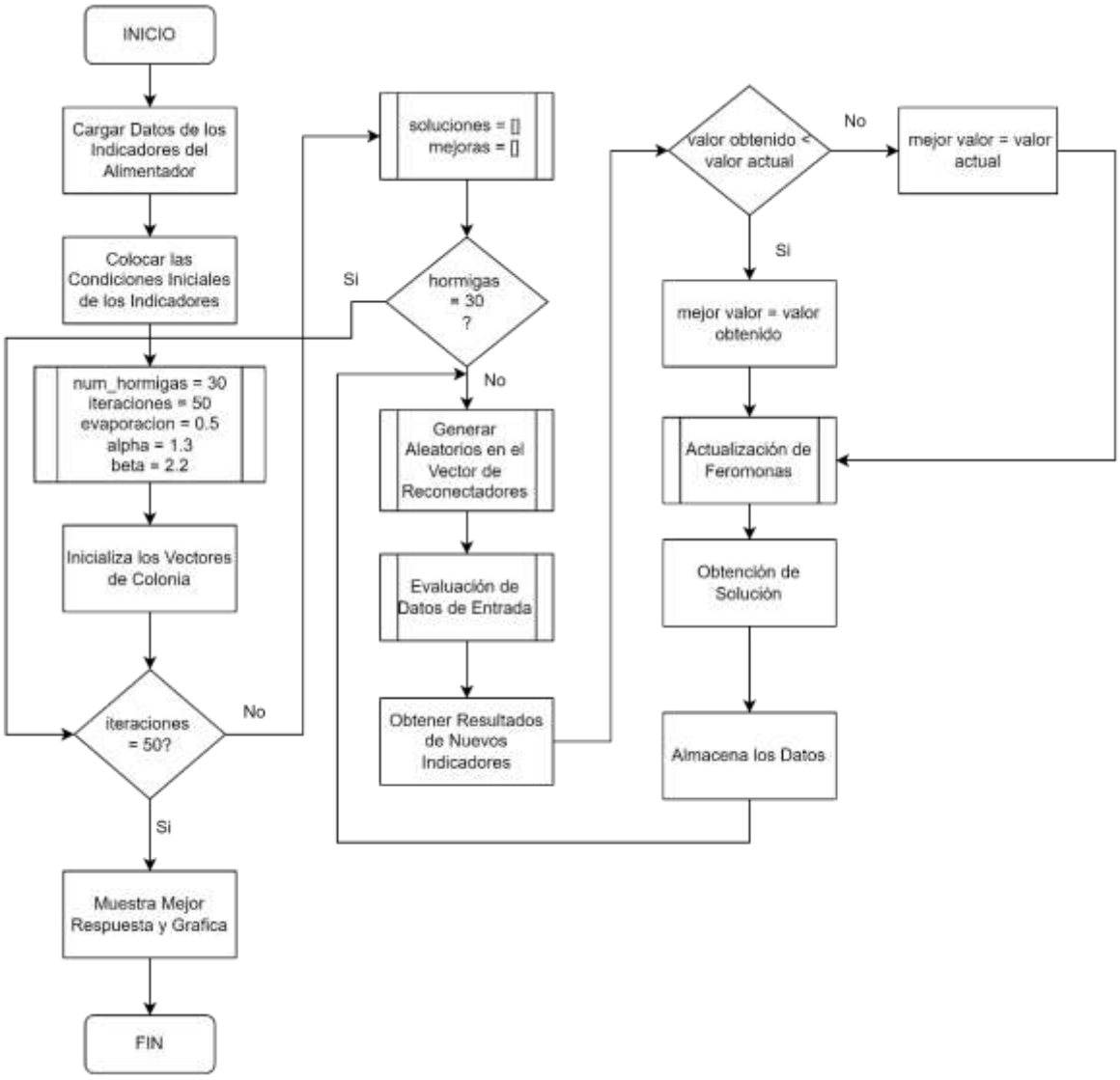


Figura 18. Diagrama de Flujo del Algoritmo de Colonia de Hormigas en Python

11.5. Conclusiones Capítulo II

- En el presente capítulo se aplicó el diseño experimental de un algoritmo que permite la ubicación óptima de los reconectadores en los primarios de la subestación Tena. Para esto se consideraron los 5 primarios y de esta forma se evalúa el estado actual en el que se encuentran cada uno de estos con su topología y su identificación de cada uno de los puntos o tramos de red.
- Se realizó un análisis matemático para determinar las funciones objetivo de cada uno de los indicadores de calidad hoja de servicio analizados para esto se determinó

variables tanto binarias como numéricas que van a permitir ser implementados en el algoritmo.

- Posteriormente se identificaron cada uno de los datos históricos que obtuvo el sistema en dónde se consideraron la estimación de los indicadores de calidad TTIK FMIK SAIDI y SAIFI, observando que para los 5 alimentadores analizados se requiere la optimización y reducción de al menos 1 de estos parámetros, siendo el alimentador Misahualli el que más interrupciones de servicio ha sufrido.
- Finalmente se realiza la implementación del algoritmo inteligente mediante la optimización por enjambre de partículas, en donde se evaluó cada uno de los alimentadores mencionados y se estimó la función objetivo variando la ubicación de los reconectadores para cada caso y así se logró obtener una disminución en cada uno de estos parámetros para todos los alimentadores.

CAPÍTULO III. APLICACIÓN Y/O VALIDACION DE LA PROPUESTA

12.1. Validación del Algoritmo

Para validar la propuesta se realizan las pruebas respectivas dentro del algoritmo de colonia de hormigas planteado. Como se observa en la **Figura 19**, el algoritmo genera una colonia de partículas aleatorias las cuales van iterando hasta obtener la respuesta requerida. Se coloca los datos del Alimentador Amazonas que se observaron en la sección anterior para ejecutar el algoritmo.

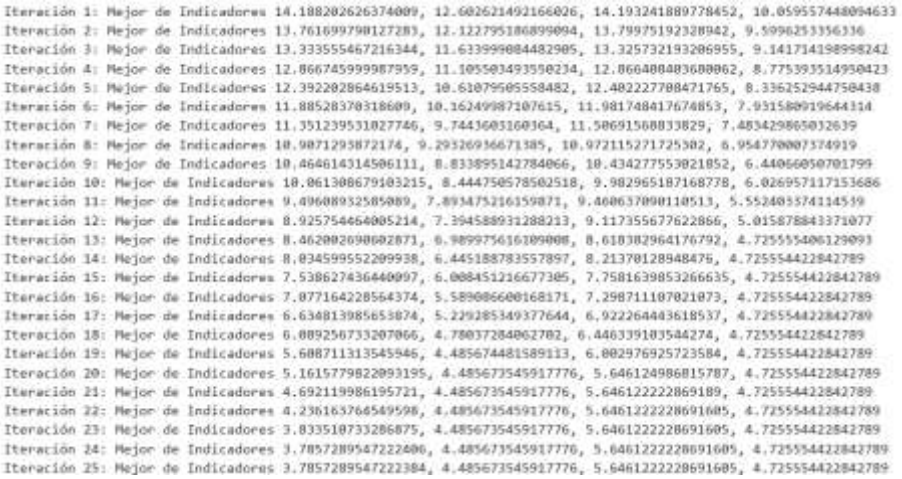


Figura 19. Iteraciones del Algoritmo en Funcionamiento para la Mejora de Indicadores

Una vez culminado la ejecución de las iteraciones planteadas el algoritmo entrega en su salida la ubicación de los Reconectadores en un Vector de Dimensión igual a los nodos del alimentador. En la **Figura 20** se muestra la respuesta obtenida por el algoritmo en donde se identifica que se ubica un Reconectador Monofásico en los Nodos D y H como se muestra en la **Figura 21** obteniendo una reducción de los indicadores con un FMIK de 3.78, TTIK de 4.48, SAIDI de 5.64 y SAIFI de 4.72.

```
Ubicacion de Reconectadores:
[0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1]
Mejora en Fmik: 3.7857289547222384
Mejora en Ttik: 4.485673545917776
Mejora en Saidi: 5.6461222228691605
Mejora en Saifi: 4.725554422842789
```

Figura 20. Respuesta del Algoritmo Planteado para el Alimentador Amazonas

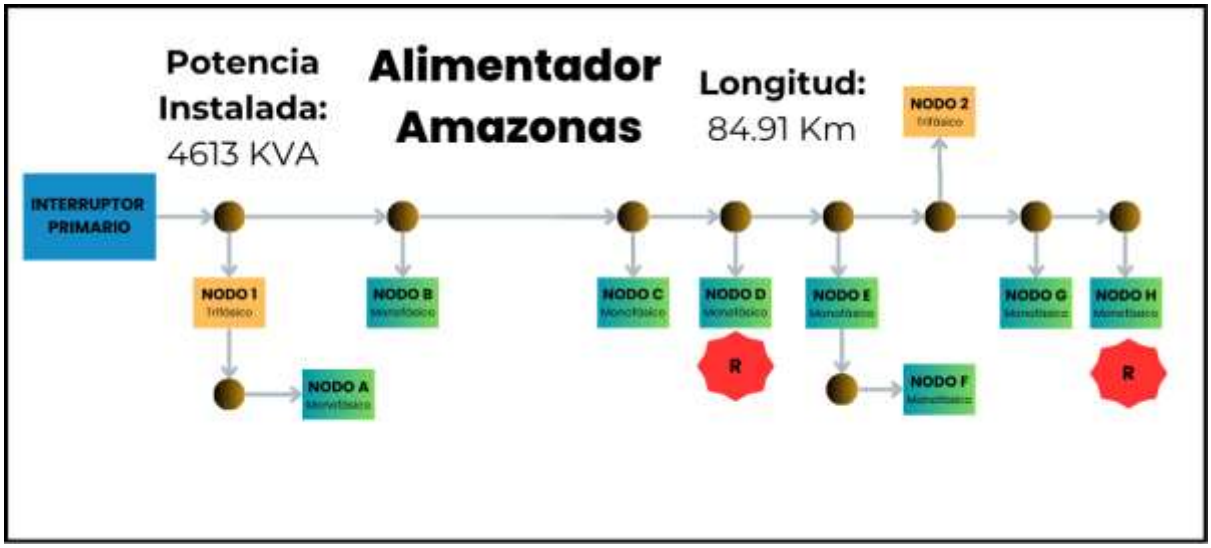


Figura 21. Nueva Ubicación del Alimentador Amazonas

De igual forma en la **Figura 22** se puede observar la respuesta obtenida por parte del algoritmo en donde minimiza la función objetivo para lograr la reducción de cada uno de los indicadores.

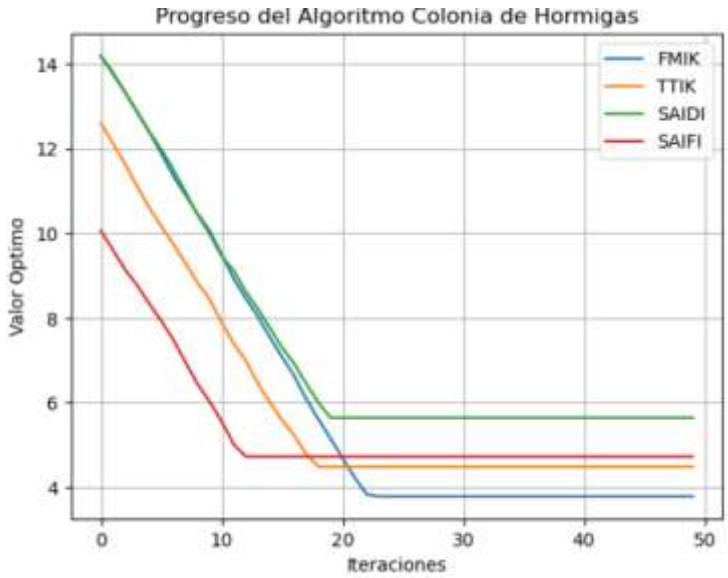


Figura 22. Repuesta de Cada Iteración en Algoritmo Planteado

Posteriormente se realiza las Pruebas para todos los Alimentadores Restantes, en la **Tabla 15** se puede observar las respuestas obtenidas de las estimaciones de indicadores, así como de la ubicación de los Reconectadores en cada tramo además, se puede observar que se consigue una reducción de cada uno de los indicadores de calidad de servicio, generando la ubicación de 14 reconectadores, 2 en Amazonas, 5 en Arosemena Tola (reubicación), 4 en Misahualli

(reubicación), 2 en Perimetral y 1 en Paushiyacu, manteniendo los indicadores en los rangos que solicita la norma.

Tabla 15.

Ubicación de Reconectadores de cada Alimentador

ALIMENTADOR	UBICACIÓN ÓPTIMA DE RECONECTADORES	TTIK	FMIK	SAIDI	SAIFI
AMAZONAS	D, H	3.78	4.48	5.64	4.72
AROSEMENA TOLA	B, R091, K, 3-R068	8.35	9.28	10.25	7.35
MISAHUALLI	5, A, Y, AA, AC	6.28	5.96	6.75	3.34
PERIMETRAL	D, E	8.55	6.18	9.96	3.75
PAUSHIYACU	4	4.28	2.71	8.45	6.28

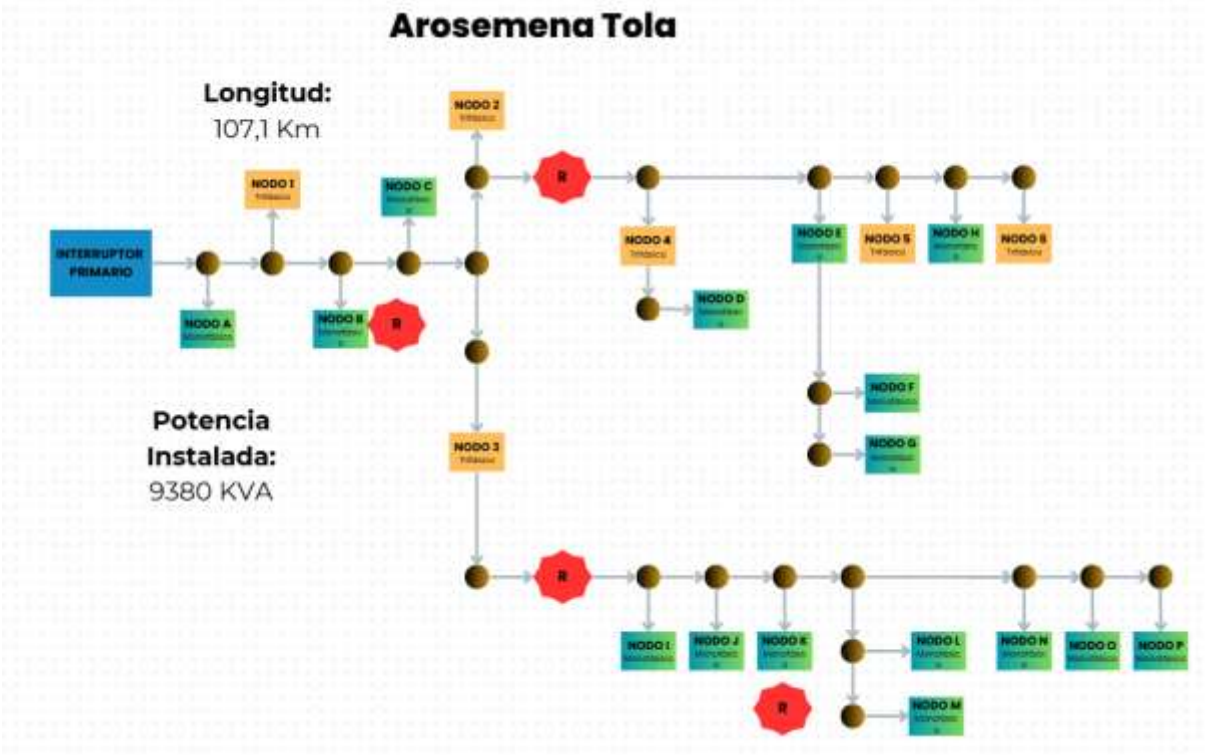


Figura 23. Nueva Ubicación del Alimentador Arosemena Tola

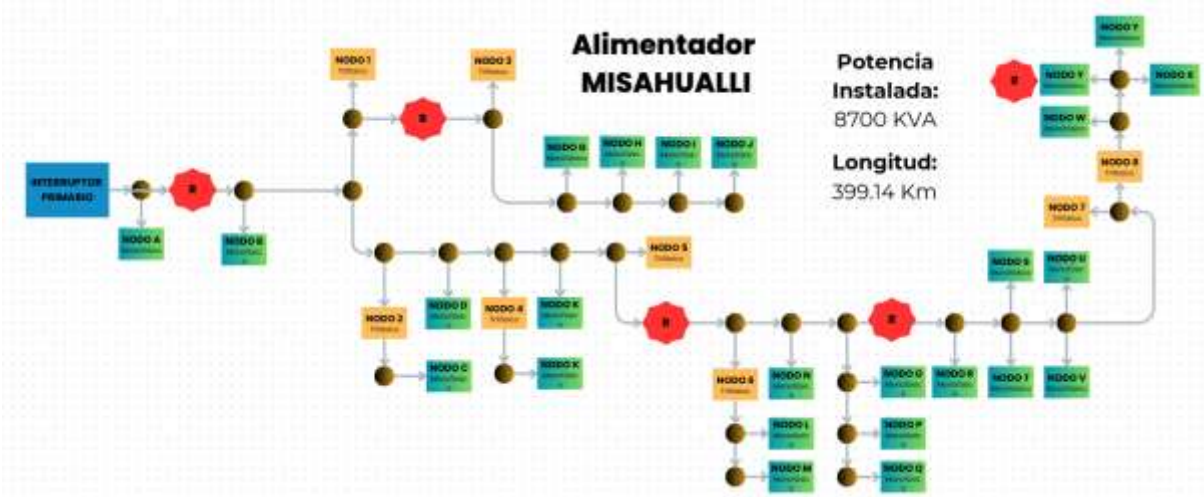


Figura 24. Nueva Ubicación del Alimentador Misahualli

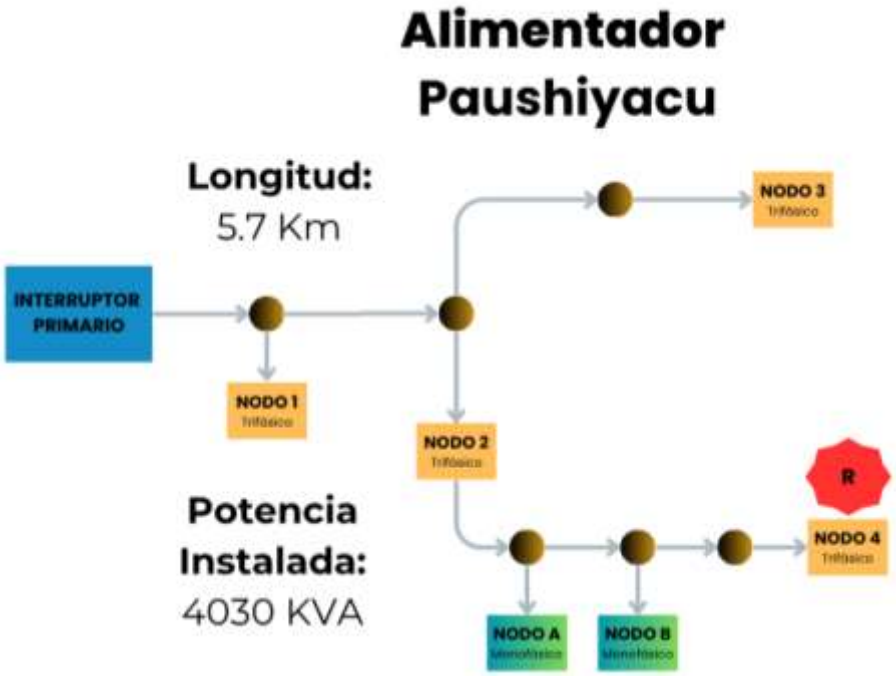


Figura 25. Nueva Ubicación del Alimentador Paushiyacu

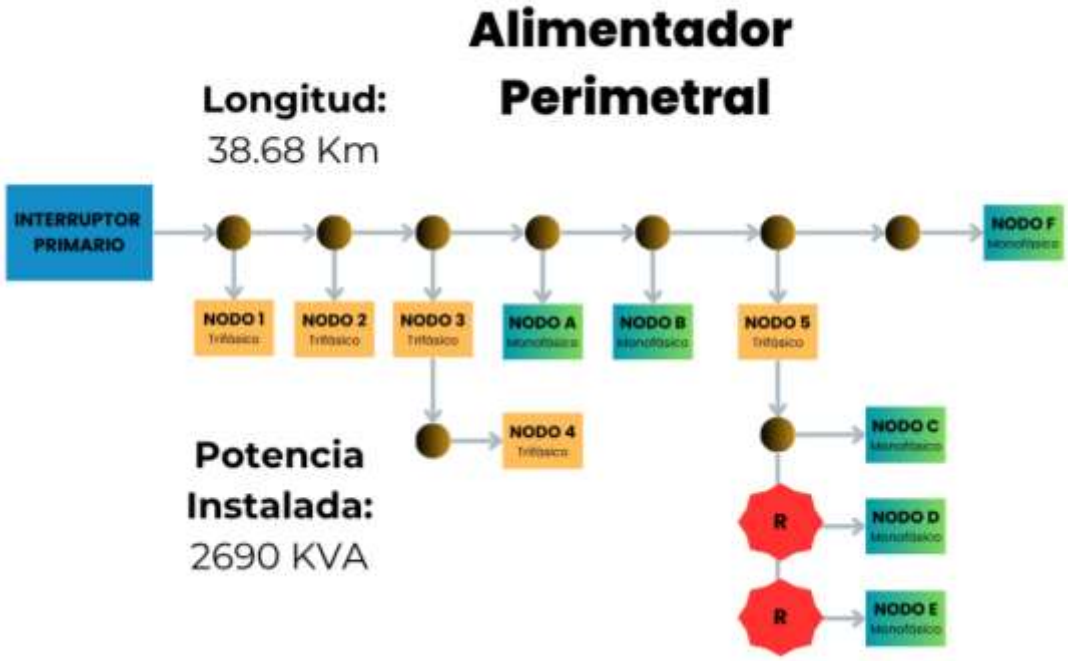


Figura 26. Nueva Ubicación del Alimentador Perimetral

12.2. Simulación en Software CYME

Posteriormente se procede al análisis y comparación de resultados mediante el Software CYME para determinar la calidad de la red con la ubicación determinada por el algoritmo implementado. Como primer caso se realiza la configuración del primario Amazonas en la base datos del software CYME para verificar condiciones iniciales y características de los componentes tal y como se observa en la **Figura 27**.

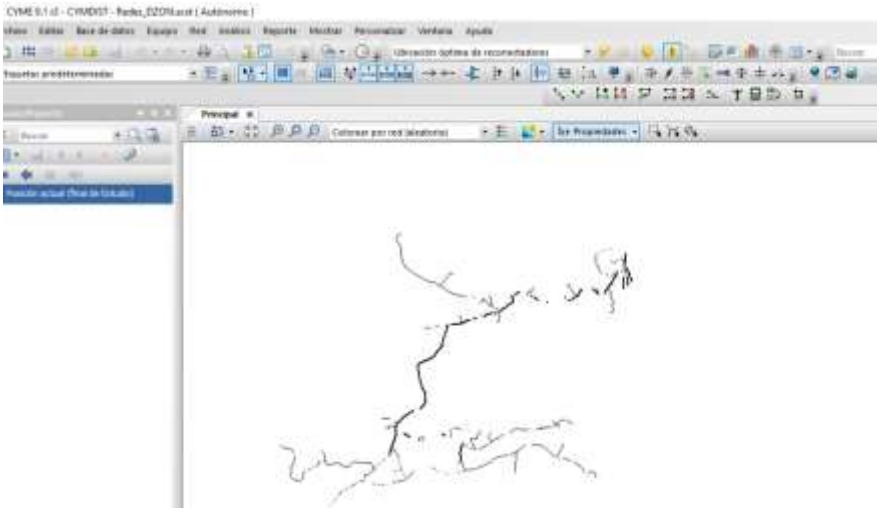


Figura 27. Configuración Inicial del Software Cyme para Alimentador Amazonas

Con los datos obtenidos dentro del algoritmo, se recomienda la instalación de 1 reconectador adicional, al existente por lo cual se configura y se simula la red con la instalación de 2 reconectadores en el primario tal y como se observa en la **Figura 28**.

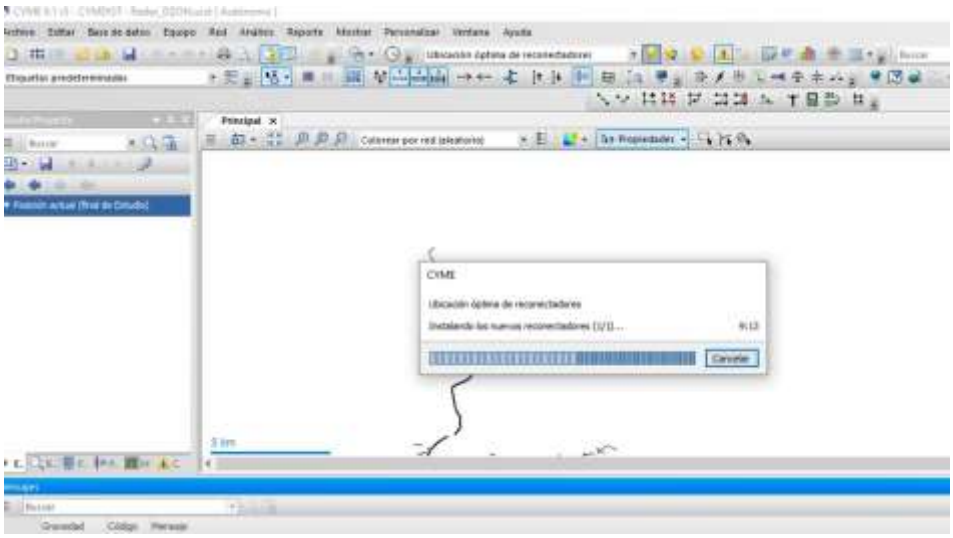


Figura 28. Simulación de Reconectadores de acuerdo con Ubicación Sugerida

CYME es una utilizada para el análisis y la planificación de redes eléctricas. Dentro de sus capacidades, incluye el cálculo de los índices de confiabilidad SAIFI y SAIDI, los cuales miden la frecuencia y duración promedio de las interrupciones del suministro eléctrico en un sistema de distribución, como se mencionó anteriormente. Para el SAIFI, el programa calcula λ_i considerando la tasa de fallas de cada componente de la red, como transformadores, líneas y equipos. Además, estima el Número de usuarios afectados N_i en función de la configuración de la red y el alcance de las interrupciones en cada evento. En cuanto al SAIDI, el programa la duración de la interrupción T_i considerando los tiempos de reparación o reposición asociados a las fallas detectadas en los componentes. Este valor se ajusta según las características específicas de la red y las estrategias de mantenimiento empleadas .

Una vez indicado como se realiza el análisis mediante el software, se obtienen los indicadores que se muestran en la **Figura 29**, en donde se tiene un SAIDI de 7.67 y un SAIFI de 1.09.

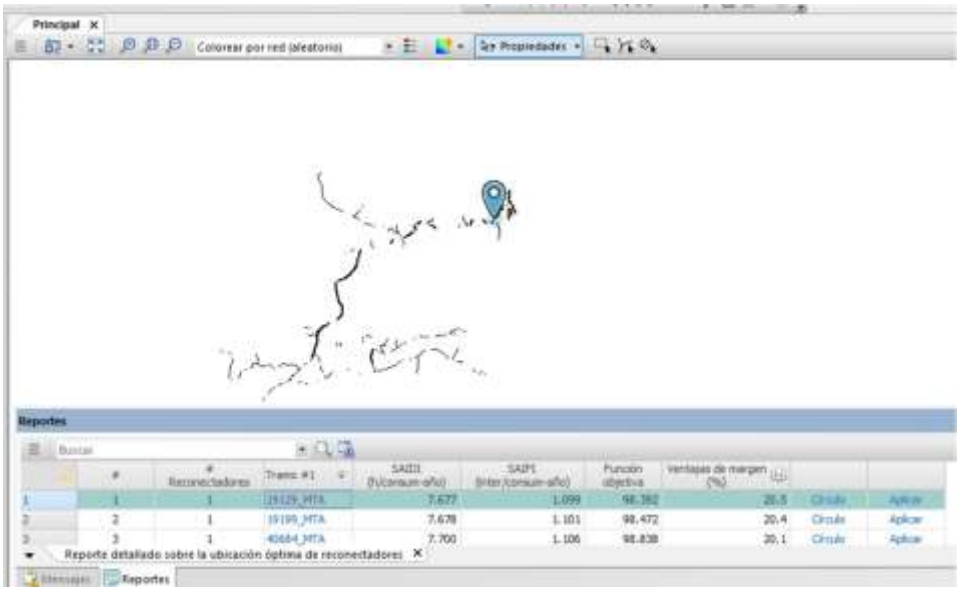


Figura 29. Resultados de la Simulación con Ubicación óptima de Reconectadores

Para el alimentador Arosemena Tola se tiene la siguiente ubicación del nodo B que se muestra en la **Figura 30**:

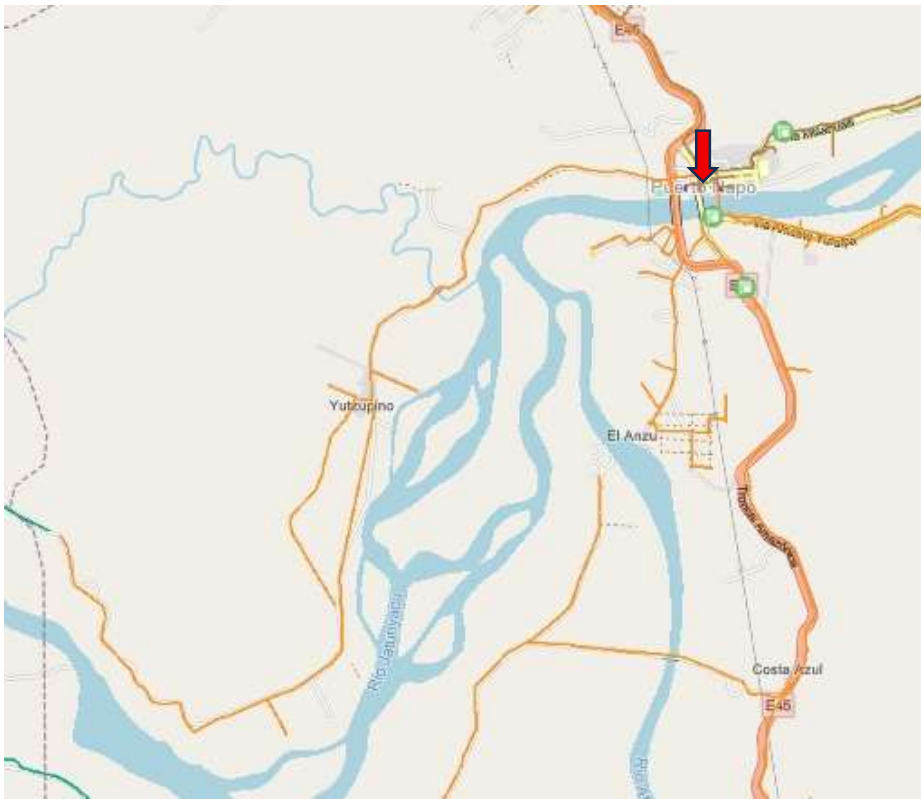


Figura 30. Ubicación del Reconectador en el Nodo B del Alimentador Arosemena Tola

Como se muestra en la **Figura 31**, el programa indica un margen de ventaja de 0.4%.

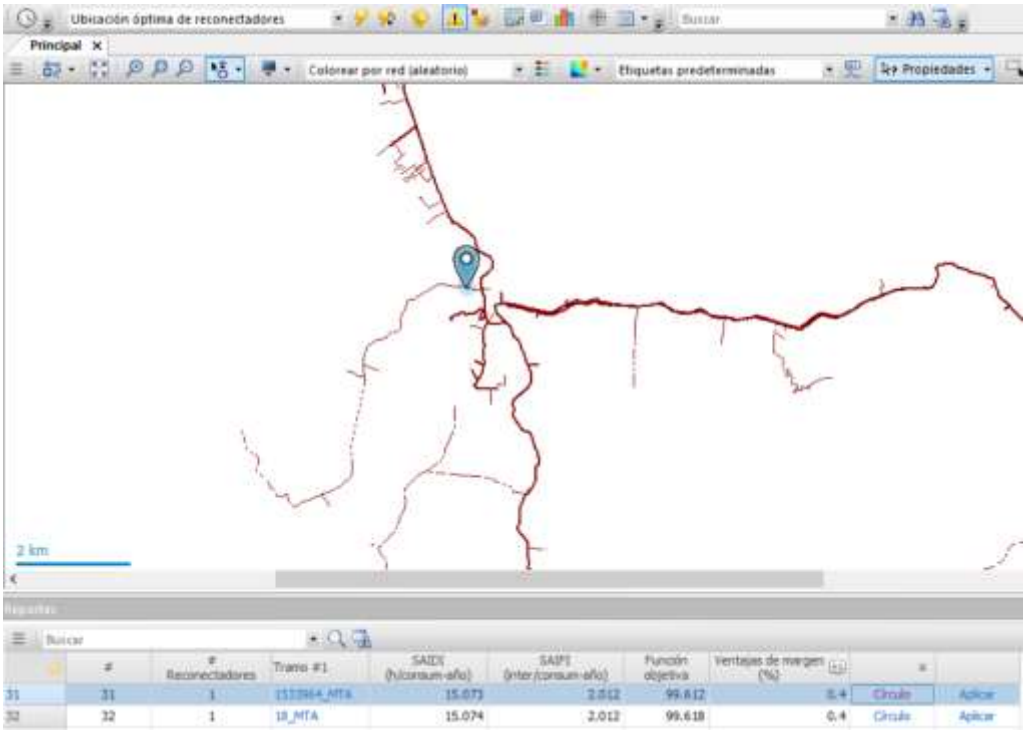


Figura 31. Resultados de Simulación Cyme Indicadores Nodo B

Con respecto al NODO R091 VENECIA, la ubicación es la que se muestra en la **Figura 32**.

Figura 32. Ubicación del Reconectador en el Nodo R091 del Alimentador Arosemena Tola

El programa indica un margen de ventaja de 2.7% en el punto indicado por el cálculo, lo cual corresponde a un punto significativo, sin embargo se verifica que el mejor margen de ventaja en la simulación es de 7.3% como se muestra en la **Figura 33**, y corresponde exactamente a la ubicación de un reconectador existente, el cual debido a la baja cantidad de operaciones no es considerado en el cálculo.

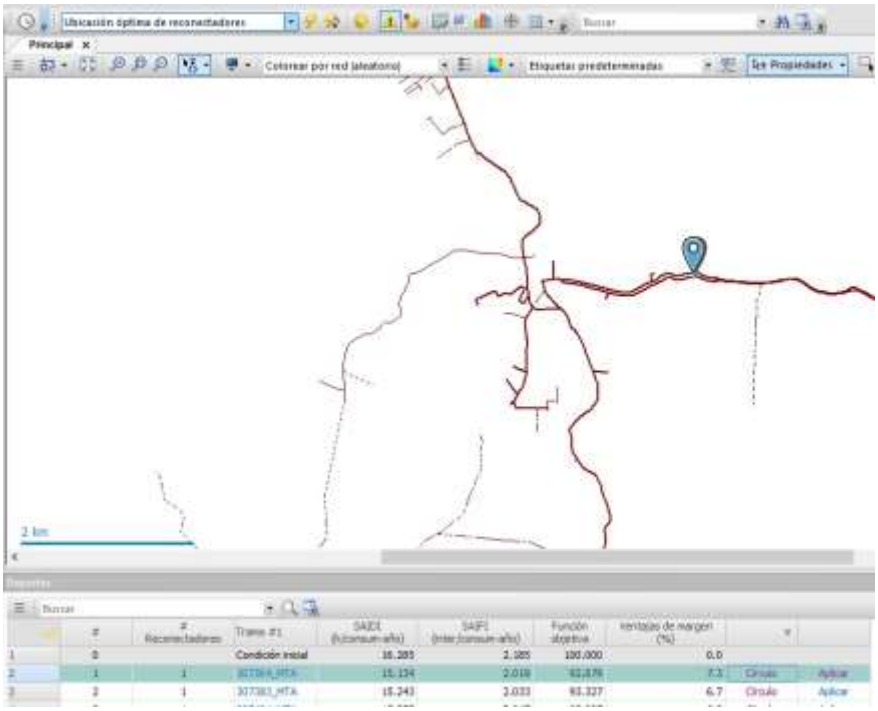


Figura 33. Resultados de Simulación Cyme Indicadores Nodo R091

Por su parte el nodo K esta ubicado en la posición que se muestra en al **Figura 34**.

Figura 34. Ubicación del Reconectador en el Nodo K del Alimentador Arosemena Tola

Como se muestra en la **Figura 35**, el software refleja un margen de ventaja de 0.5%

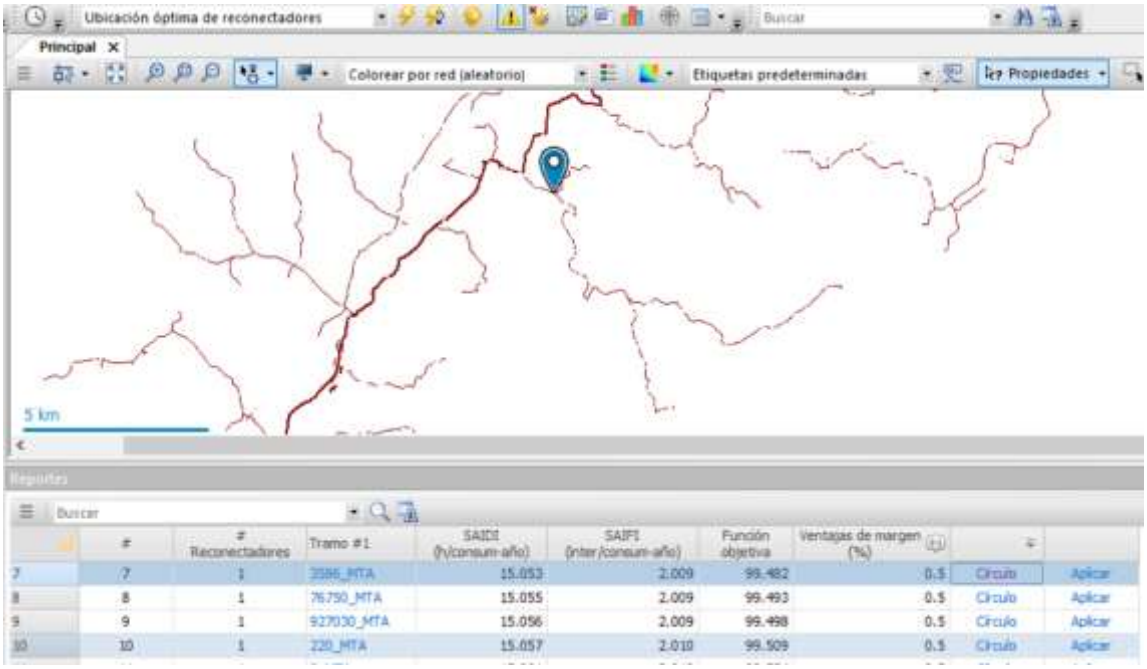


Figura 35. Resultados de Simulación Cyme Indicadores Nodo K

Finalmente, en la **Figura 36** se muestra la ubicación del Nodo 3 – R068 San Gabriel.

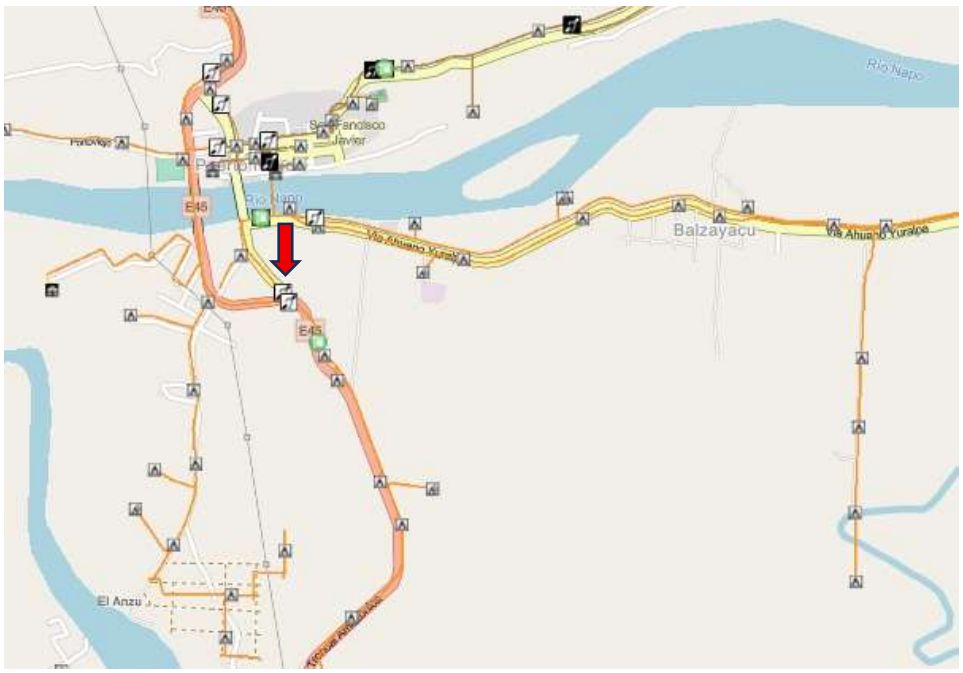


Figura 36. Ubicación del Reconectador en el Nodo 3 R068 del Alimentador Arosemena Tola

La ubicación que genera el mejor margen de ventaja en la troncal trifásica corresponde al nodo 3-R068, que corresponde a un reconectador existente, sin embargo se verifica que es necesario reubicarlo en la misma zona, para mantener con servicio el nodo I que corresponde a la comunidad Costa Azul como se muestra en la **Figura 37**.

Además, cabe mencionar que en el análisis del software, el mejor punto de margen de ventaja referenciado en derivaciones monofásicas corresponde al nodo L, que suministra energía a la comunidad Estrella del Oriente, sin embargo en el período analizado, ha tenido un total de 6 desconexiones en el año, de las cuales 4 corresponden a descargas atmosféricas, por lo cual en el cálculo, no refleja el mismo, sin embargo se considerará para instalación de Trip Saber, debido a la magnitud de la carga instalada en el sector y a los resultados obtenidos en el software.

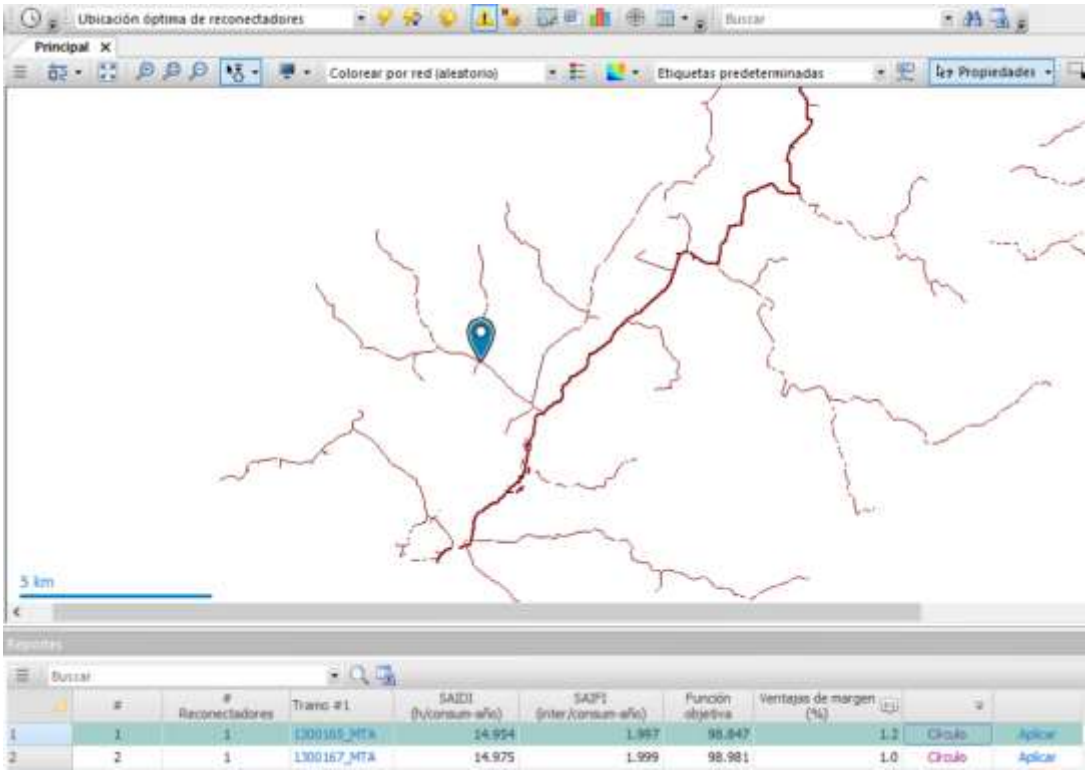


Figura 37. Resultados de Simulación Cyme Indicadores Nodo R068

12.3. Comparación de Resultados

Una vez ejecutada la simulación en cada uno de los alimentadores planteados, se procede a la comparación de las respuestas obtenidas en CYME como mediante el uso del algoritmo planteado. En la **Tabla 16** se puede observar la comparación de los resultados obtenidos y el error generado en cuanto a la estimación entre el Software y el algoritmo planteado, en donde se obtuvieron entre el 10 y 20% en su mayoría, sin embargo, en alimentadores como el Amazonas se obtuvo un error en SAIFI del 77%. En cuanto al SAIDI el mayor error obtenido dentro de la estimación planteada surge en el alimentador Perimetral con un 51%, pero en SAIFI posee únicamente un 18%.

Tabla 16.

Comparación de Resultados entre CYME y el Algoritmo Planteado

		SAIDI	**SAIFI**
AMAZONAS	**ALGORITMO**	5,64	4,72

	CYME	7,67	1,09
	ERROR	26%	77%
AROSEMENA TOLA	**ALGORITMO**	10,25	7,35
	CYME	8,48	5,38
	ERROR	43%	34%
MISAHUALLI	**ALGORITMO**	6,75	3,34
	CYME	4,89	7,27
	ERROR	16%	51%
PERIMETRAL	**ALGORITMO**	9,96	3,75
	CYME	6,42	3,74
	ERROR	61%	18%
PAUSHIYACU	**ALGORITMO**	8,45	6,28
	CYME	5,93	6,89
	ERROR	24%	23%

12.4. Análisis de Incidencias y Costos

Realizando el análisis referente a las fallas suscitadas en los alimentadores Arosemena que se observa en la **Figura 38**, Amazonas y Misahualli pertenecientes a la subestación Tena, obtenemos los siguientes resultados donde se han determinado las causas principales para las aperturas de los primarios.

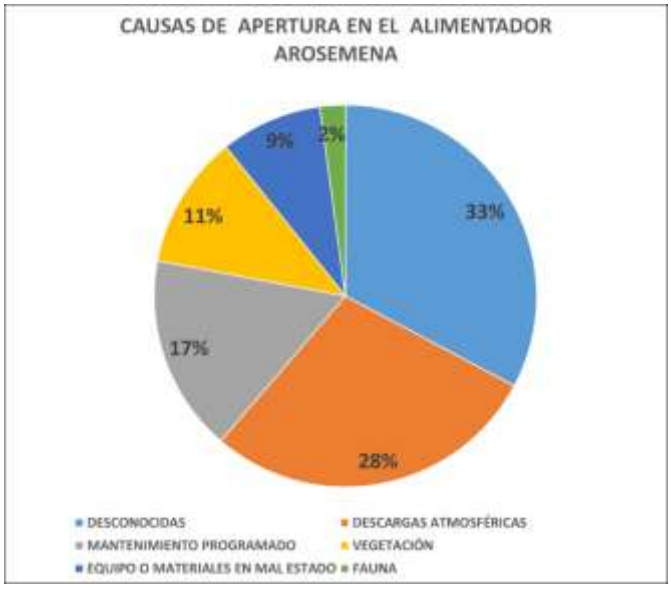


Figura 38. Causas Principales de Apertura de Alimentador Arosemena Tola

Determinando los procesos de incidencias son las causas por los cuales un tramo de media tensión puede sufrir la desconexión, se debe tener en cuenta en mayor parte los eventos que se relacionan de manera directa en causar incidencias como se observa en la **Figura 39**, las cuales podrían ser controladas mediante la instalación de un reconectador dentro de las derivaciones donde ocurran desconexiones de manera recurrente sin importar que sean tramos principales de alimentador o sus respectivas derivaciones.

Figura 39. Causas Principales de Apertura de Alimentador Amazonas

En todos los alimentadores se evidencia que las causas principales de las desconexiones suscitadas son mayormente ocasionadas por causas relacionadas a temas de descargas atmosféricas cerca de las líneas y de igual forma, las vinculadas a temas ambientales como vegetación tal y como se observa en la **Figura 40**, fauna que cuentan con un gran impacto y presencia en la zona. Las denominadas como desconocidas, se las puede tomar en cuenta como incidencias del tipo descargas atmosféricas en su mayoría, puesto que al momento en que se realiza la inspección, no se haya evidencia de materiales, vegetación o animales que hayan causado la desconexión de las líneas.

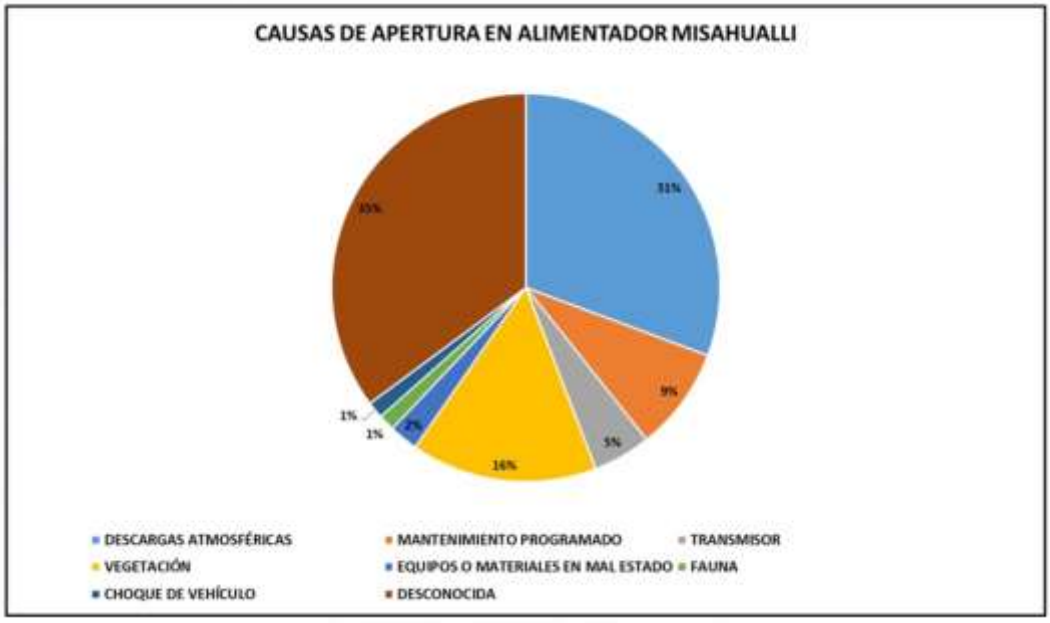


Figura 40. Incidencias del Alimentador Misahualli

En el alimentador Amazonas se tuvieron 23 actuaciones durante el transcurso del año, para lo cual se realiza el cálculo del total del gasto que sufre la empresa EEASA en temas de movilizaciones al no contar con un reconectador en la zona de análisis. La estimación se basa en temas de contrato propios de la empresa y valores referenciales para la colocación de los precios unitarios, considerando que: el costo por hora de una movilización para un grupo pequeño conformado por tres personas y una camioneta cuesta $49.07, dando como resultado, los costos por todas las incidencias con un total de $ 6.470,54 tal y como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**.

Conclusiones del III capitulo.-

El algoritmo inteligente desarrollado (colonia de hormigas / optimización por enjambre) demostró capacidad para reducir los principales indicadores de confiabilidad (TTIK, FMIK, SAIDI y SAIFI) en los cinco alimentadores analizados: Amazonas, Arosemena Tola, Misahualli, Perimetral y Paushiyacu. Esto confirma la validez funcional de la metodología propuesta.

Por su parte, la ubicación óptima de reconectadores obtenida mediante el algoritmo generó disminuciones consistentes en los indicadores, permitiendo definir 14 puntos estratégicos de instalación y reubicación, manteniendo los valores dentro de los rangos exigidos por la regulación vigente.

De igual manera, dentro de la comparación con CYME muestra diferencias entre el algoritmo y el software industrial, con errores entre el 10 % y 20 % en la mayoría de los casos, aunque existen discrepancias significativas como el 77 % en SAIFI del alimentador Amazonas. Esto se debe a diferencias en modelamiento, supuestos y parámetros no considerados por el algoritmo.

Finalmente, se realizó la validación en CYME en donde se pudo confirmar la factibilidad técnica de varias ubicaciones propuestas por el algoritmo, coincidiendo en varios nodos donde ya existían reconectadores instalados o donde el software mostró un mayor margen de ventaja operativa.

Conclusiones generales.-

- El análisis integral de la información histórica de fallas permitió identificar patrones de comportamiento, zonas críticas de desconexión y elementos con mayor contribución a los índices de indisponibilidad. Se evidenció que la mayor parte de interrupciones está asociada a fenómenos externos como descargas atmosféricas, vegetación y fauna, lo cual afecta directamente los indicadores SAIDI, SAIFI, FMIK y TTIK. Esta caracterización fue fundamental para construir un modelo predictivo que respondiera a condiciones reales de operación del sistema eléctrico de la subestación Tena.
- La implementación del algoritmo inteligente basado en optimización por enjambre (PSO/ACO) demostró ser una herramienta eficaz para resolver el problema de ubicación óptima de reconectadores en redes radiales de distribución. El algoritmo permitió evaluar grandes espacios de búsqueda a través de iteraciones sucesivas,

considerando restricciones técnicas como número de clientes, estructura topológica, tasas de falla, tiempos de restablecimiento y prioridad de tramos. El método logró converger hacia soluciones que minimizan simultáneamente varios indicadores de confiabilidad, algo que no es posible mediante métodos manuales o deterministas.

- El modelo diseñado logró mejorar de forma significativa los niveles de confiabilidad de los cinco alimentadores analizados. En todos los casos se obtuvo una reducción directa de los indicadores de continuidad, destacando alimentadores con alta criticidad como Misahualli y Arosemena Tola. Además, se determinaron ubicaciones óptimas que permiten segmentar mejor los tramos afectados ante una falla, reduciendo el número de clientes interrumpidos y el tiempo fuera de servicio.
- La validación mediante el software profesional CYME confirmó la factibilidad operativa de las ubicaciones propuestas. Aunque existieron discrepancias entre el algoritmo y CYME especialmente por diferencias en parámetros internos del software, modelamiento real de cargas y curvas de falla, la mayoría de las ubicaciones guardan coherencia técnica y producen mejoras medibles en los indicadores de confiabilidad, lo que valida la metodología desarrollada.
- Finalmente, la comparación de resultados mostró que el algoritmo logra márgenes de error aceptables respecto al software industrial, con variaciones promedio entre el 10 % y 20 %. Los errores elevados en algunos casos (como el SAIFI del alimentador Amazonas) evidencian la necesidad de afinar parámetros de modelamiento, especialmente en lo referente a tasas de falla y perfiles de carga. Aun así, la tendencia general de mejora se mantiene.

Recomendaciones. -

- Implementar de forma progresiva los reconectadores en las ubicaciones óptimas definidas por el algoritmo, priorizando los alimentadores con mayor criticidad y mayor contribución al SAIDI y SAIFI global de la subestación Tena. La priorización permitirá maximizar el retorno de inversión y obtener mejoras visibles desde las primeras etapas de implementación.
- Realizar una calibración periódica del algoritmo integrando información actualizada de tasas de falla, crecimiento de carga, nuevas derivaciones y eventos climáticos extremos.

Esto permitirá reducir discrepancias con CYME y mejorar la precisión de los modelos predictivos, especialmente en alimentadores donde se observaron errores elevados.

- Incorporar sensores IoT, registradores de fallas y telemetría en los tramos con mayor recurrencia de interrupciones, con el fin de alimentar el algoritmo con datos más precisos y mejorar el proceso de predicción y actuación automática.
- Realizar un estudio detallado de coordinación de protecciones posterior a la instalación de los reconectadores para garantizar curvas adecuadas de operación, tiempos de despeje y selectividad entre dispositivos automáticos y fusibles.
- Desarrollar un plan de mantenimiento preventivo en zonas donde se identificó alta incidencia de descargas atmosféricas, vegetación densa y presencia de fauna. Complementar la automatización con acciones preventivas reducirá significativamente los índices FMIK y TTIK.
- Ampliar el uso del algoritmo hacia otros alimentadores de la empresa, incluso aquellos fuera de la subestación Tena, debido a que la herramienta es adaptable a cualquier red radial y puede convertirse en un módulo operativo permanente dentro del área técnica de EEASA.

Bibliografía:

[1] M. Coronel Garcés, “Evaluación de Confiabilidad y Ubicación Óptima de Reconectadores en Sistemas Eléctricos de Distribución Radial”. (2015)

[2] ARCERNNR, “Calidad del Servicio de Distribución y Comercialización de Energía Eléctrica”. REGULACION No. ARCERNNR-002/20 (codificada)

[3] J. Ruiz Proaño, “Estudio de un Sistema de Transferencia Automática de Carga a Través de Reconectadores en el Sistema de Distribución de EMELNORTE”. (2017)

[4] M. León Tenesaca, “Escenarios de Contingencias para la Automatización de la Operación del Sistema de Distribución para los Alimentadores Primarios 0321, 0322 y 0722 de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A. (2017)

[5] I. Guanoluisa Pilatasig. “Utilización de Algoritmos Genéticos para la Ubicación Óptima de Reconectadores en Redes Radiales de Distribución – Aplicación a la Empresa Eléctrica Quito”. (2018)

[6] S. Zambrano, P. Novillo, M. Molina, “Diseño de Esquemas de Autorestauración mediante la Ubicación Estratégica de Reconectadores utilizando un Modelo Predictivo de Confiabilidad”. (2016)

[7] C.J. Zapata Grisales, Localización óptima de reconectadores basado en criterios de confiabilidad (2011).

[8] M.A. Ríos, Localización óptima de reconectadores normalmente abiertos para transferencia de carga. (2013).

[9] J. Reyes, M. Morales, Ubicación óptima de reconectadores en sistemas de distribución para minimizar la frecuencia media de interrupción. (2009).

[10] E. Castaño Ramírez, Mejoramiento Operativo de Sistemas de Distribución usando Elementos de Transferencia Automática. (2015).

[11] G.A. Mosquera Ávila, Optimización de proyectos de mantenimiento de redes de distribución eléctrica basado en el riesgo de la ocurrencia de fallas de sus equipos. (2015).

[12] G.R. Albuja Jaramillo, Cálculo de índices de confiabilidad utilizando simulación Montecarlo y ubicación de equipos de protección en sistemas eléctricos de distribución mediante algoritmos genéticos. (2019).

[13] D.A. Ortíz Parra, Modelo de gestión del mantenimiento para empresas distribuidoras de energía eléctrica, utilizando estrategias basadas en la confiabilidad y en los riesgos de los componentes asociados a las redes de distribución. (2020).

[14] M. D. Vinueza Carrillo, Análisis multicriterial para la óptima ubicación de switch en redes eléctricas de distribución radial. (2017).

[15] Grupo EPM, Diseño y Análisis de la Automatización de la Distribución en el SDL de EDEQ SA ESP. (2019)

[16] M. J. Quispe Chávez, Reducción de las interrupciones eléctricas por ubicación adecuada de reconectadores automáticos en el sistema eléctrico rural en 22.9 kV – Satipo. (2019)

[17] C.E. Landázuri, Operación Remota de la Distribución basada en la supervisión y Control remotos de Reconectadores. (2020)

[18] B.M. Martínez Morales, Estudio del sistema de distribución local EMSA y revisión de la base de datos en el sistema para administración de las redes de distribución (Spard) para la coordinación de protecciones en nivel II. (2017)

III. ANEXOS

Anexo 1

Algoritmo de entradas

NODO	ITEM	RED	EQUIPOCORTE	FMIK	TTIK	SAIDI	SAIFI	RECONECTADOR
Primario	0	1	0	1,0000	1,8000	1,4500	1,3470	0
1	1	1	1	0,1523	0,2741	0,2208	0,2051	0
A	3	0	2	0,0303	0,0546	0,0440	0,0409	0
B	4	0	2	0,0169	0,0304	0,0245	0,0228	0
R056	5	1	3	0,3476	0,6257	0,5040	0,4682	1
C	6	0	2	0,0336	0,0605	0,0487	0,0453	0
2	2	1	2	0,1203	0,2166	0,1745	0,1621	0
D	7	0	2	0,0158	0,0285	0,0229	0,0213	0
E	8	0	2	0,0303	0,0546	0,0440	0,0409	0
F	9	0	2	0,0152	0,0273	0,0220	0,0204	0
G	10	0	2	0,0282	0,0507	0,0409	0,0380	0
H	11	0	2	0,0488	0,0878	0,0707	0,0657	0

Anexo 2

Causas aperturas primario Amazonas

POSTE N°	SECTOR	EQUIPO DE CORTE	NÚMERO DE EQUIPO	CANTIDAD DE OPERACIONES	DESCONOCIDA	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS	MANTENIMIENTO PROGRAMADO	TRANSMISOR	VEGETACIÓN	CHOQUE DE VEHÍCULO	FAUNA	EQUIPO O MATERIALES EN MAL ESTADO
INTERRUPTOR PRIMARIO	PRIMARIO AMAZONAS	INTERRUPTOR PRIMARIO	PRIMARIO	**25**	6	2	2	14		2		
271863	BARRIO AMAZONAS	SECCIONADOR FUSIBLE	811	**3**		1	2					
286197	GUINEA CHIMBANA	RECONECTADOR	R056	**16**	8	1	5		1	1		
282676	COMUNIDAD PUMAYACU, ALTO	SECCIONADOR FUSIBLE	7083	**5**	1	2			2			
420306	COMUNIDAD SERENA	SECCIONADOR FUSIBLE	5297	**4**		2			2			
273437	COMUNIDAD CANDO	SECCIONADOR FUSIBLE	5412	**6**	1	2	1		1			
420316	COMUNIDAD SAN CARLOS	SECCIONADOR FUSIBLE	5370	**4**	1	2	1					
285011	COMUNIDAD LIMONCHIKTA,	SECCIONADOR FUSIBLE	5408	**7**		5			2			
TOTAL					**17**	**17**	**11**	**14**	**8**	**3**	**0**	**0**

Anexo 3

Causas aperturas primario Arosemena Tola

POSTE N°	SECTOR	EQUIPO DE CORTE	CANTIDAD DE OPERACIONES	DESCONOCIDA	DESCARGAS ATMOSFERICAS	MANTENIMIENTO PROGRAMADO	TRANSMISOR	VEGETACIÓN	EQUIPO O MATERIALES EN MAL ESTADO	FAUNA	CHOQUE DE VEHÍCULO
INTERRUPTOR PRIMARIO	PRIMARIO AROSEMENA TOLA	INTERRUPTOR PRIMARIO	16	7	1	7	1				
434290	COMUNIDAD YUTZUPINO	SECCIONADOR FUSIBLE	13	3	4	5	1				
273546	COMUNIDAD EL ANZU	SECCIONADOR FUSIBLE	3			2		1			
387910	PUERTO NAPO VIA AHUANO	RECONECTADOR	7	5				2			
273564	COMUNIDAD BALSAYACU	SECCIONADOR FUSIBLE	5	1	2	1			1		
390971	VENECIA DERECHA	RECONECTADOR	26	13	2	6		4		1	
276385	COMUNIDAD PUNI BOCANA	SECCIONADOR FUSIBLE	8					4			
276399	COMUNIDADES CRISTAL, CAMPOCOCHA	RECONECTADOR	4		2	1		1			
387980	AEROPUERTO JUMANDY	SECCIONADOR FUSIBLE	3	1				3			
281125	SAN GABRIEL	RECONECTADOR	14	12		1				1	
282123	COMUNIDAD COSTA AZUL	SECCIONADOR FUSIBLE	7	3	4						
273550	COMUNIDAD APUYA	SECCIONADOR FUSIBLE	6		4	1			1		
273560	COMUNIDAD LUZ DE AMÉRICA	SECCIONADOR FUSIBLE	23	3	12	1		1	5	1	
275254	COMUNIDAD ESTRELLA DEL ORIENTE	SECCIONADOR FUSIBLE	6	2	2	1			1		
420221	COMUNIDAD SHIWACOCHA	SECCIONADOR FUSIBLE	11	1	5	1		2	2		
273555	COMUNIDAD ISHCAYACU	SECCIONADOR FUSIBLE	7		3			2	2		
273558	COMUNIDAD TZAHUATA	SECCIONADOR FUSIBLE	11	2	5	2			2	1	
387909	MIRAVALLE	RECONECTADOR	4	3		1					
TOTAL			**184**	**56**	**46**	**30**	**2**	**20**	**14**	**4**	**0**

Anexo 4

Causas aperturas primario Paushiyacu

POSTE N°	SECTOR	EQUIPO DE CORTE		CANTIDAD DE OPERACIONES	DESCONOCIDA	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS	MANTENIMIENTO PROGRAMADO	TRANSMISOR	VEGETACIÓN	EQUIPO O MATERIALES EN MAL ESTADO	CHOQUE DE VEHÍCULO	FAUNA
INTERRUPTOR PRIMARIO	PRIMARIO PAUSHIYACU	INTERRUPTOR PRIMARIO	INTERRUPTOR PRIMARIO	24	0	2	2	20	0	0	0	0
TOTAL				**24**	**0**	**2**	**2**	**20**	**0**	**0**	**0**	**0**

Anexo 5

Causas aperturas primario Perimetral

POSTE N°	SECTOR	EQUIPO DE CORTE	N° EQUIPO	CANTIDAD DE OPERACIONES	DESCONOCIDA	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS	MANTENIMIENTO PROGRAMADO	TRANSMISOR	VEGETACIÓN	EQUIPO O MATERIALES EN MAL	CHOQUE DE VEHÍCULO	FAUNA
398927	COS2-ONGOTA	SECCIONADOR FUSIBLE	7238	**9**		2	3			4		
390447	BARRIO LAS HIERBITAS	SECCIONADOR FUSIBLE	7240	**3**			2		1			
273533	COMUNIDAD AWAPUNGO	SECCIONADOR FUSIBLE	12695	**3**	2				1			
285958	COMUNIDAD BAJO SAN MARTÍN	SECCIONADOR FUSIBLE	12984	**12**		4	1		7			
285958	COMUNIDAD NUEVO ONGOTA	SECCIONADOR FUSIBLE	SN	**12**		4	1		7			
273016	SHIQUIPINO	Seccionador Fusible	5312	**5**	1	1		1	1	1		
TOTAL				**44**	**3**	**11**	**7**	**1**	**17**	**5**	**0**	**0**

Anexo 6

Causas aperturas primario Misahuallí

POSTE N°	SECTOR	EQUIPO DE CORTE	N° EQUIPO	CANTIDAD DE OPERACIONES	DESCONOCIDA	DESCARGAS ATMOSFÉRICAS	MANTENIMIENTO PROGRAMADO	TRANSMISOR	VEGETACIÓN	EQUIPO O MATERIALES EN MAL ESTADO	FAUNA	CHOQUE DE VEHÍCULO
INTERRUPTOR	PRIMARIO MISAHUALLÍ	INTERRUPTOR PRIMARIO	INTERRUPTOR	**19**	7	8	2		2			
392647	SECAY	RECONECTADOR	R094	**22**	14	1	1		5	1		
459794	PUERTO MISAHUALLÍ	RECONECTADOR	R093	**33**	25	3		2	2			1
271369	COMUNIDADES PUNUNO, RIO BLANCO	RECONECTADOR	R074	**11**	6	2	2			1		
273030	COMUNIDAD RÍO BLANCO	SECCIONADOR FUSIBLE	12927	**19**	1	11	2			4	1	
273926	COMUNIDAD CAMPANACOCHA	SECCIONADOR FUSIBLE	5466	**3**		3						
273045	PARROQUIA CHONTA PUNTA	SECCIONADOR FUSIBLE	5345	**6**		3	2				1	
285001	VÍA A LOS ZORROS	SECCIONADOR FUSIBLE	5292	**3**	1	2						
273541	COMUNIDAD SHIWAURCO	SECCIONADOR FUSIBLE	7257	**11**	1	6	3			1		
273577	COMUNIDAD PONCELOMA	SECCIONADOR FUSIBLE	7303	**9**		3	1		5			
392760	COMUNIDAD SHIRIPUNO	SECCIONADOR FUSIBLE	7309	**4**		2	1			1		
422117	COMUNIDAD SAN MIGUEL DE PALMERAS	SECCIONADOR FUSIBLE	5303	**8**		3	2		2	1		
270869	COMUNIDAD PUCACHIKTA	SECCIONADOR FUSIBLE	12671	**6**		2			3	1		
378878	COMUNIDAD TAMIAURCO	SECCIONADOR FUSIBLE	N842	**9**	1	4	1		1	2		
273028	ISLA ANACONDA	SECCIONADOR FUSIBLE	5325	**4**			3		1			
396618	COMUNIDAD KASHAYACU	SECCIONADOR FUSIBLE	5396	**5**	1	3				1		
273041	COMUNIDAD SANTA ROSA BAJA	SECCIONADOR FUSIBLE	5340	**9**		5			4			
282346	COMUNIDAD REINA DEL CISNE	SECCIONADOR FUSIBLE	12684	**7**		3	4					
394956	COMUNIDAD SELVA AMAZÓNICA	SECCIONADOR FUSIBLE	5293	**3**		1			2			
274781	COMUNIDADES LOS RÍOS, BELLAVISTA	SECCIONADOR FUSIBLE	5296	**3**		3						
285004	COMUNIDAD YURALPA DERECHA,	SECCIONADOR FUSIBLE	5350	**15**	2	4	6		1	2		
415266	COMUNIDAD AGUA SANTA	SECCIONADOR FUSIBLE	5265	**5**		1	2		2			
282461	COMUNIDAD SAN VICENTE	SECCIONADOR FUSIBLE	12863	**14**	4	6			4			
284962	UNION BOLIVARENSE	SECCIONADOR FUSIBLE	5500	**8**	1	4	1		1		1	
286536	GARENO	SECCIONADOR FUSIBLE	12620	**20**	1	2	2		3	1		
TOTAL				**256**	**65**	**85**	**35**	**2**	**38**	**16**	**3**	**1**