

**ANÁLISIS PARA DETERMINAR LA UBICACIÓN OPTIMA DE UN
RECONECTADOR EN EL CIRCUITO RX01-00**

**JHON JAIDER GUTIERREZ VIDAL
JOSE STIVEN BUSTAMANTE SEPULVEDA**

**INSTITUCIÓN UNIVERSIARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA
TECNOLOGÍA ELÉCTRICA
MEDELLÍN**

2023

**ANÁLISIS PARA DETERMINAR LA UBICACIÓN OPTIMA DE UN
RECONECTADOR EN EL CIRCUITO RX01-00**

**JHON JAIDER GUTIERREZ VIDAL
JOSE STIVEN BUSTAMANTE SEPULVEDA**

Trabajo de grado para optar al título de Tecnología en Electrica

**Asesores
Serio Danilo Saldarriaga
PhD. en Ingeniería Electrónica y Computación
Juan David Velásquez Gómez
Msc. En Gerencia de Proyectos**

**INSTITUCIÓN UNIVERSIARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA
TECNOLOGÍA ELÉCTRICA
MEDELLÍN**

2023

Contenido

1.	Planteamiento del problema	2
1.1	Descripción.....	2
1.2	Formulación.....	3
2.	Justificación	4
3.	Objetivos.....	5
3.1	Objetivo general	5
3.2	Objetivos específicos	5
4.	Referentes teóricos	6
4.1	Sistemas de Distribución	6
4.2	Calidad de Servicio en los SDL.....	6
4.3	Calidad Medida del Sistema	7
4.4	Topologías de los Sistemas de Distribución.....	7
4.4.1	Topología tipo radial	7
4.4.2	Sistema en Malla	8
4.5	Fallas en Redes de Distribución	8
4.6	Causa de interrupciones en una red de distribución	8
4.7	Coordinación de fusibles vs Reconectador.....	9
4.8	Reconectores	9
4.8.1	Operación de Reconectores	10
4.8.2	Redes de distribución con Reconectores	10
4.9	Centro de control	10
4.10	Sistemas de telecomunicaciones para automatización y telecontrol	11
5.	Metodología.....	12
5.1	Tipo de proyecto.....	12
5.2	Método.....	12

5.3 Instrumentos de recolección de información.....	13
5.3.1. Fuentes primarias.....	13
5.3.2. Fuentes secundarias	13
6. Resultados.....	14
6.1 Caracterización del ramal A del circuito RX01-00	14
6.2 Criterios para la ubicación de un reconector metodología EPM	22
6.4 Protocolo de mantenimiento.....	27
6.4.1 Inspección visual del equipo.....	27
6.4.2 Pruebas de comunicaciones-enlace remoto con el sistema.	28
6.4.3 Revisión de Batería.....	29
6.4.4 Inspección de Termografía.	30
6.4.5 Estado de los contactos de los interruptores al vacío.	31
6.4.6 Prueba de tiempos apertura-cierre.	31
7. Conclusiones.....	33
8. Referencias	34

Listado de figuras

Figura 1. Diagrama Unifilar Red en Estudio.....	15
Figura 2. Convenciones para elementos de la red.	15
Figura 3. Convenciones para tipo de cableado.....	16
Figura 4. Corrientes de Carga Circuito RX01-00.....	17
Figura 5. Demanda Horaria Circuito Rx01-00 en MVA.....	18
Figura 6. Diagrama Unifilar Circuito RX01-00.....	25
Figura 7. Reconectador ENTEC.....	26
Figura 8. Relé del Control Reconectador.....	28
Figura 9. Prueba de Baterías.....	29
Figura 10. Termografía Reconectador.....	30
Figura 11. Termografía Punto Caliente Buje Primario.....	31
Figura 12. Datos de prueba.....	32

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Causas de fallas más habituales en una red de distribución.	8
Tabla 2. Corriente de Carga Circuito RX01-00.....	17
Tabla 3. Demanda Horaria Circuito Rx01-00.....	18
Tabla 4. Histórico de Fallas Circuito RX01-00.....	19
Tabla 5. Cálculo de Índices SAIDI.....	20
Tabla 6. Corrientes de cortocircuito (I_{cc}).....	25
Tabla 7. Especificaciones Técnicas Reconectador ENTEC.....	27

Resumen

ANÁLISIS PARA DETERMINAR LA UBICACIÓN OPTIMA DE UN RECONECTADOR EN EL CIRCUITO RX01-00

**JHON JAIDER GUTIERREZ VIDAL
JOSE STIVEN BUSTAMANTE SEPULVEDA**

En el presente trabajo se realiza un análisis para determinar la ubicación optima de un reconectador en el circuito RX01-00. Lo que permite mejorar la confiabilidad y calidad del servicio de energía eléctrica en la zona urbana de apartado Antioquia. Sé utilizaran variables recolectadas por el departamento de mantenimiento sobre las interrupciones en el servicio debido a fallas, con lo cual se pueden evaluar los resultados logrados, de acuerdo con estos resultados y tipología de la red se podrá definir la ubicación optima del reconectador.

Palabras claves: Reconectador, SAIDI, SAIFI

Abstract

ANALYSIS TO DETERMINE THE OPTIMUM LOCATION OF A RECLOSER IN CIRCUIT RX01-00

The present work is an analysis to determine the optimal location of a recloser in the circuit RX01-00. This allows to improve the reliability and quality of the electric power service in the urban area of apartado Antioquia. Variables collected by the maintenance department on service interruptions due to faults will be used to evaluate the results achieved, according to these results and typology of the network, the optimal location of the recloser can be defined.

Glosario

Sistema de Distribución Local, SDL: sistema de transporte de energía eléctrica compuesto por el conjunto de líneas y subestaciones, con sus equipos asociados, que operan en los niveles de tensión 3, 2 y 1 y son utilizados para la prestación del servicio en un mercado de comercialización (CREG, 015 - 2018)

Niveles de tensión: los STR y SDL se clasifican por niveles, en función de la tensión nominal de operación, según la siguiente definición:

Nivel 4: sistemas con tensión nominal mayor o igual a 57,5 kV y menor a 220 kV.

Nivel 3: sistemas con tensión nominal mayor o igual a 30 kV y menor de 57,5 kV.

Nivel 2: sistemas con tensión nominal mayor o igual a 1 kV y menor de 30 kV.

Nivel 1: sistemas con tensión nominal menor a 1 Kv

(CREG, 015 - 2018)

Operador de Red (OR): (CREG, 015 - 2018)

SAIDI: duración total acumulada en horas de los eventos percibidos por el usuario en un periodo de doce meses (CREG, 015 - 2018)

SAIFI: cantidad total de eventos que percibe cada usuario del SDL en un periodo anual (CREG, 015 - 2018)

Sistema de Transmisión Regional, STR: sistema de transporte de energía eléctrica compuesto por los activos de conexión del OR o el TR al STN y el conjunto de líneas, equipos y subestaciones, con sus equipos asociados, que operan en el nivel de tensión 4. Los STR pueden estar conformados por los activos de uno o más OR o TR (CREG, 015 - 2018)

Sistema de Transmisión Nacional, STN: es el sistema de transmisión de energía eléctrica compuesto por el conjunto de líneas, equipos de compensación y subestaciones que operan a tensiones iguales o superiores a 220 kV, los transformadores con este nivel de tensión en el lado de baja y los correspondientes módulos de conexión (CREG, 015 - 2018)

Usuario: persona natural o jurídica que se beneficia con la prestación de un servicio público, bien como propietario del inmueble en donde éste se presta, o como receptor directo del servicio. A este último usuario se le denomina también consumidor y, para los efectos de esta resolución, se le denominará usuario final (EPM, 2023)

Reconectador: El Reconectador es un equipo o dispositivo para protección eléctrica que se encarga de interrumpir el flujo de corriente en un circuito al censar condiciones anormales en este (ATA-ELECTRI, 2023)

Evento: Es la situación que cause indisponibilidad parcial o total de un activo de uso del STN o de un Activo de Conexión al STN y que ocurre de manera programada o no programada (Glosario xm, 2023)

Usuarios de los STR o SDL: Son los usuarios finales del servicio de energía eléctrica, Operadores de Red y generadores conectados a estos sistemas. (Glosario xm, 2023)

Demanda: Cantidad de energía consumida por un agente comercializador o generador, medida en sus fronteras comerciales. (Glosario xm, 2023)

Demanda atendida: Cantidad de energía efectivamente consumida por el sistema. (Glosario xm, 2023)

Demanda no doméstica: Sumatoria de los valores de las demandas internacionales, que no son consideradas en el despacho económico coordinado, que incluye los factores de pérdidas para referir al nivel de 220 kV y las pérdidas del STN. (Glosario xm, 2023)

Introducción

La comisión de regulación de energía y gas (CREG) regula los sectores de energía eléctrica y gas en Colombia, la cual vigila la eficiencia, calidad y sostenibilidad de los servicios públicos domiciliarios. (CREG, 015 - 2018).

También se encarga de definir los indicadores de calidad del servicio que deben cumplir los operadores de red en Colombia (OR) y establece las metas regulatorias anualmente. (CREG, 015 - 2018). En el presente proyecto se utiliza la metodología EPM para la instalación de reconectores para cumplir con las exigencias regulatorias en términos de calidad en la prestación del servicio de energía eléctrica.

Se realizó un análisis de los registros de información de la red en estudio para determinar la ubicación óptima de un reconector que mejore la continuidad y disponibilidad del fluido eléctrico, para lograr lo anterior se considera la topología de la red, la ruralidad de las redes de distribución, como también la cantidad de interrupciones en el fluido eléctrico por causa de fallas. Para este último se utilizarán los registros de interrupciones que lleva el departamento de mantenimiento.

Con los análisis realizados se logró mayor conocimiento de la red de distribución aumentamos los criterios para determinar la ubicación para la instalación de un reconector que permita la supervisión y control en tiempo real del estado operativo de la red, adicional se cumpla con la selectividad en las protecciones, como también menor tiempo para restablecer el servicio en condiciones de falla.

1. Planteamiento del problema

A continuación, se muestra el planteamiento del problema, el cual este compuesto por la descripción de este y la formulación de la pregunta de investigación.

1.1 Descripción

La regulación vigente en Colombia para evaluar la calidad en la prestación del servicio de energía eléctrica está regulada bajo los lineamientos de la Resolución CREG 015 del 2018, la cual establece los criterios y metodologías para la remuneración de la actividad de distribución de energía eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional. (CREG, 015 - 2018). Esta resolución contiene los componentes de la fórmula tarifaria, al igual que los parámetros para evaluar la calidad en la prestación del servicio de energía.

La responsabilidad de la CREG es regular los sectores de energía eléctrica y gas en Colombia, con el fin de garantizar la eficiencia, calidad y sostenibilidad de los servicios públicos relacionados. (CREG, 015 - 2018) La CREG también se encarga de proteger los derechos de los usuarios y fomentar el uso de fuentes de energía renovables.

Las metas de calidad del servicio de energía eléctrica que deben cumplir los operadores de red (OR) en Colombia son cada vez más exigentes, poniendo a prueba la eficiencia y, la gestión que debe realizar los OR para garantizar las condiciones óptimas en prestación del servicio, con alta continuidad en el fluido eléctrico; lo anterior se traduce en una calidad del servicio para los clientes residenciales, comerciales e industriales, para este último grupo de clientes debido a sus actividad productiva es cada vez imprescindible altos estándares de continuidad en la prestación del servicio de energía eléctrica.

Las redes de distribución de energía eléctrica debido a su forma constructiva con cables aéreos, en muchos tramos con redes desnuda y expuestas a la fauna silvestres y la vegetación por la ruralidad de la geografía de la región Antioquia y, adicional las condiciones climáticas de la zona montañosa es muy recurrente que ocurran interrupciones en el fluido eléctrico que afectan la calidad y la continuidad en la prestación del servicio de energía eléctrica.

Los OR en Colombia para el cumplimiento de las metas de calidad del servicio de energía tienen el desafío contrarrestar todas las posibles causas de fallas en sus redes, para lo cual es necesario implementar planes de mantenimiento sobre las redes de distribución, en algunos casos

se realiza la reposición de algunos elementos de la red que requieran ser reemplazados debido a que cumplieron su vida útil, también con la instalación de equipos de protección y maniobras para transferencias remotas cómo los son los reconectores.

En el presente proyecto se estudiará el circuito RX01-00 ubicado en zona urbana del municipio de Apartado Antioquia. Evidenciaremos las afectaciones que ocasionan las interrupciones en el fluido eléctrico.

El departamento de mantenimiento lleva registro de las interrupciones presentadas en el fluido eléctrico debido a fallas en las redes de distribución (SDL), en los registros se lleva fecha, hora de inicio y finalización de la falla, duración de la interrupción, al igual que la causa para tipificar las que son por factores externos a las redes de planta y son atribuibles al operador de red (OR).

Con la anterior información se realizará el análisis del desempeño de la red de distribución de energía eléctrica para la óptima ubicación de un reconector para mejorar la calidad en la prestación del servicio de energía en una red de distribución, adicional que permitirá aumentar la selectividad en las protecciones eléctricas cuando ocurra una interrupción por causa de una falla en las redes del SDL.

Se considera los registros llevamos por área de mantenimiento para el cálculo de los indicadores de calidad SAIDI y SAIFI. Para lograr lo anterior se considerará la topología de la red, la caracterización de los clientes conectados, al igual que la calidad del servicio de energía actual para la red en estudio permitiéndonos tener un mayor conocimiento del desempeño de la red y seleccionar con criterio y conocimiento el lugar indicado para la instalación de reconectores que mejore la calidad en la prestación del servicio.

1.2 Formulación

¿Cómo mejorar la calidad en la prestación del servicio de energía eléctrica para el circuito RX01-00 ubicado en zona urbana del municipio de Apartado Antioquia, con la instalación de un reconector, que permita reducir los tiempos de interrupción del servicio?

2. Justificación

La calidad en la prestación de los servicios domiciliarios ha cobrado mayor importancia por el pasar de los años, la regulación vigente es cada vez más estricta y los clientes actuales son cada vez más exigentes con respecto a las reclamaciones a los operadores de red (OR) por la indisponibilidad y continuidad en la prestación del servicio de energía eléctrica. Por lo tanto, los OR deben incluir en sus planes de inversión proyectos tecnológicos que les permitan tener mayor control sobre las redes de distribución y vigilar en tiempo real el estado operativo de las mismas. Esto implica supervisar todas las variables del sistema de potencia y detectar cualquier variación en las condiciones operativas de la red, en el presente proyecto, vamos a presentar los análisis de la una red del SDL para determinar la ubicación óptima de reconectador.

Con la instalación de reconectores se logrará realizar maniobras de transferencia para restablecer el servicio de manera remota desde un sistema SCADA. Con esto, el operador de red podrá enviar recursos de cuadrilla a campo a la zona de la red en falla cuando ocurra una interrupción para restablecer el fluido eléctrico en el menor tiempo posible.

3. Objetivos

Se presenta a continuación, el objetivo general y los objetivos específicos del proyecto de investigación.

3.1 Objetivo general

Determinar la ubicación óptima de un reconectador en el ramal A del circuito RX01-00 mediante el uso de la metodología de EPM, cumpliendo con los indicadores de calidad de la resolución CREG 015-2018 para mejorar la calidad del servicio de energía eléctrica

3.2 Objetivos específicos

- Caracterizar el ramal A del circuito RX01-00 a partir del análisis de la información recolectada por departamento de mantenimiento para mejorar la continuidad del servicio de energía.
- Seleccionar la ubicación del reconectador en el circuito RX01-00 del ramal del segmento A mediante el uso de la metodología EPM para mejorar la atención de la demanda en la red de distribución.
- Proponer protocolo de mantenimiento para el reconectador que se instalara en el circuito RX01-00 del Ramal A, mediante el análisis del protocolo de mantenimiento de EPM para mejorar el ciclo de vida del equipo.

4. Referentes teóricos

A continuación, se presentan los referentes teóricos del proyecto de investigación, dentro de estos se pueden encontrar información relacionada con Sistemas de Distribución, Calidad de Servicio en los SDL, Calidad Medida del Sistema, Topologías de los Sistemas de Distribución, Fallas en Redes de Distribución, Causa de interrupciones en una red de distribución, Coordinación de fusibles vs Reconectador, Reconectores, Operación de Reconectores, Redes de distribución con Reconectores, Centro de control, Sistemas de telecomunicaciones para automatización y telecontrol.

4.1 Sistemas de Distribución

El Sistema Eléctrico de Distribución es una parte esencial del sistema de energía, el cual, está formado por elementos comprendidos entre las redes de Subtransmisión y los puntos de suministro de electricidad, donde el voltaje de transmisión de potencia se reduce a niveles de distribución hacia los usuarios a voltajes manejados por el sistema de distribución primaria; centros de transformación, representada por transformadores que minimizan el medio voltaje a voltajes aptos para usuarios de bajo voltaje; unidades de edición, representadas por medidores que calculan la energía consumida por el usuario (Giovany, 2020)

4.2 Calidad de Servicio en los SDL

La calidad del servicio brindada por un OR será medida en términos de la duración y la frecuencia de las interrupciones que perciban los usuarios conectados a sus redes de energía eléctrica. Para cuantificar el efecto de las interrupciones si tiene establecidos indicadores calidad media de los clientes conectados en las redes del SDL, así como para establecer la calidad individual que perciba cada uno de sus usuarios (CREG, 015 - 2018).

El cumplimiento de las metas regulatorias se evalúa con las mejoras o desmejoras alcanzadas en la calidad media del sistema, el OR será objeto de aplicación de un esquema de incentivos el cual, le permitirá aumentar sus ingresos, o disminuirlo, según sea el caso (CREG, 015 - 2018).

El esquema de incentivos se complementa con un esquema de compensaciones a los usuarios, el cual busca garantizar un nivel mínimo de calidad individual y dar señales para disminuir la dispersión de la calidad prestada por el OR en torno a la calidad media. La aplicación del

esquema de incentivos y compensaciones descrito en la resolución no limita los derechos de los usuarios para reclamar ante el OR los perjuicios causados por la discontinuidad del servicio (CREG, 015 - 2018).

4.3 Calidad Medida del Sistema

La calidad del sistema se mide a través de los indicadores de calidad SAIDI y SAIFI (CREG, 015 - 2018). se refiere a la cantidad y duración de los eventos (Interrupciones) que en promedio afectan a todos los usuarios conectados a las redes del SDL de un OR.

El indicador SAIDI representa la duración total en horas de los eventos que en promedio percibe cada usuario del SDL de un OR, hayan sido o no afectados por un evento, en un período anual. Se establece mediante la siguiente expresión (CREG, 015 - 2018):

$$SAIDI = \sum_{m=1}^{12} \frac{\sum_{i=1}^n (Di * NU)}{UT} / 60 \quad (1)$$

El indicador SAIFI representa la cantidad total de los eventos que en promedio perciben todos los usuarios del SDL de un OR, hayan sido o no afectados por un evento, en un período anual. Se establece mediante la siguiente expresión (CREG, 015 - 2018):

$$SAIFI = \sum_{m=1}^{12} \frac{\sum_{i=1}^n NU}{UT} \quad (2)$$

4.4 Topologías de los Sistemas de Distribución

La manera de cómo se distribuye la energía, a lo largo de una configuración, toma el nombre de topología de red, la cual, implementa sistemas que mejoran la confiabilidad y donde las cargas son servidas eficientemente.

4.4.1 Topología tipo radial

Consiste en un sistema simple, de bajo costo, utilizado cuando los puntos de cargas se encuentran alejados de los centros de carga, la corriente fluye en una sola dirección, donde la calidad del producto es baja y la confiabilidad es mínima, debido a que al ocurrir una falla deja

fuera de servicio a las cargas aguas abajo, cuya continuidad de suministro de energía eléctrica se ve afectada (Giovany, 2020).

4.4.2 Sistema en Malla

Este tipo de topología de la red incorpora alimentadores interconectados, los cuales forman un con un alto grado de confiabilidad contemplada en la continuidad de servicio; paralelamente se incrementa la calidad del servicio de energía eléctrica, la dirección de la corriente es bidireccional. El sistema tipo malla es utilizado para ciudades importantes, cuya densidad de cargas son variadas (Giovany, 2020).

4.5 Fallas en Redes de Distribución

En un sistema de distribución la mayoría de las fallas que se presentan en la red son de origen transitorio de ahí que es indispensable una buena coordinación de protecciones con el fin de minimizar el impacto en los clientes conectados en la red de estudio.

Los reconectores permiten despejar fallas transitorias ocasionadas con factores climatológicos, fauna silvestre y los acercamientos con la vegetación, en la programación del equipo se utiliza un esquema que el equipo actúe por la curva de protección instantánea, evitando la actuación de fusibles.

4.6 Causa de interrupciones en una red de distribución

En la Tabla 1 se describen las causas de fallas más frecuentes que se presentan en una red distribución, teniendo en cuenta todos los factores a los que se ve expuesta la red.

Tabla 1. *Causas de fallas más habituales en una red de distribución.*

#	Causa	Descripción
1	Medio ambiente	Provocadas por descargas atmosféricas, lluvia, nieve hielo, calor solar, neblina
2	Animales	Pájaros, insectos, otros animales
3	Terceros	Daño o interferencia voluntaria, falla de equipos de los consumidores, error en la operación de los equipos, entre otras
4	Propias de la red	Problemas en trabajos con líneas vivas, erro de operación, sobrecarga, diseño o proyecto inadecuado, entre otras
5	Fabricación	Falla de montaje en fabrica, falta de materiales y diseño del fabricante
6	Otros sistemas	Falla en el sistema de alimentación externa a la empresa (baja frecuencia), otra distribuidora, transmisor, generador

7	Otras causas	No clasificadas, no determinadas (causa desconocida)
---	--------------	--

Fuente: (Giovany, 2020).

4.7 Coordinación de fusibles vs Reconector

Para una correcta coordinación de protecciones fusibles y reconectores no sólo depende de la capacidad de corriente de cada fusible, también hay que considerar los niveles de cortocircuitos de cada punto de la red, al igual que la corriente de carga de los diferentes ramales de la red en estudio.

La Corriente Permanente dependerá de la corriente máxima de carga que posea el ramal.

También es importante identificar la máxima corriente de cortocircuito en el punto donde será ubicado el fusible. Se deberá conocer distancias entre la fuente y el punto de la red donde se proyectará instalar el fusible o el Reconectar, calibres del conductor para determinar la impedancia de la línea y niveles de corto en la fuente (Subestación). Por último, se debe garantizar coordinación con equipos instalados aguas arriba y aguas abajo.

4.8 Reconectores

Los Reconectores son elementos de protección que tienen la capacidad de detectar e interrumpir momentáneamente en un sistema de distribución las corrientes de cortocircuito producidas por una falla; luego de su apertura y después de determinado tiempo el circuito es nuevamente energizado de forma automática (Oscar Montoya, 2015).

Si las condiciones de falla en el sistema han sido superadas satisfactoriamente, el sistema continuará operando de manera normal; de lo contrario, el reconector repetirá las secuencias de apertura y cierre tantas veces como sea necesario para despejar la falla o hasta un límite preestablecido de operaciones. Es de notar que las operaciones del reconector están gobernadas por diferentes intervalos de tiempo dados por curvas de operaciones rápidas y lentas (Oscar Montoya, 2015)

Adicionalmente los Reconectores de transferencias son usados como dispositivos de maniobra automática que permiten interconectar diferentes circuitos para reducir el impacto de las fallas en la calidad del servicio, a través de esquemas de reconfiguración automática. Esto permite mejorar los indicadores de confiabilidad y por lo tanto, en algunos esquemas regulatorios como en

el caso colombiano, beneficios económicos para las empresas distribuidoras (Oscar Montoya, 2015).

4.8.1 Operación de Reconectores

La operación conjunta de ambos reconectores permite seccionar un sistema de distribución en función de áreas operativas, cuya principal característica es delimitar las regiones de actuación y facilitar la maniobrabilidad y coordinación de los dispositivos de protección, para aislar las áreas afectadas por la falla y restaurar la mayor cantidad de carga posible a través de la transferencia de estas áreas hacia circuitos vecinos (Oscar Montoya, 2015).

4.8.2 Redes de distribución con Reconectores

Como estrategia para mejorar la confiabilidad de los sistemas eléctricos de media tensión y elevar su grado de protección ante fallas, se ha hecho práctica común la instalación de equipos de protección con reconexión automática en las redes de distribución, conocidos comúnmente como reconectores. Este es un dispositivo de control y protección capaz de detectar una Sobrecorriente, interrumpirla y reconectar automáticamente para energizar la línea (Carlos, 2014).

Por lo tanto, son equipos que le aportan flexibilización a la red, que permiten proteger circuitos aéreos de media tensión de forma que ante una falla (corto circuito, sobrecarga, etc.) no se vea afectada la integridad física de la red eléctrica y tampoco la afectación de la totalidad de los clientes conectados a la red de distribución (Carlos, 2014).

4.9 Centro de control

El Centro de Control es el conjunto de donde se centraliza la operación locales y remotas y gestión de un sistema eléctrico. Una de las plataformas fundamentales para el funcionamiento de un Centro de Control es un sistema SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) (Carlos, 2014).

Los sistemas SCADA permiten recolectar variables del sistema de potencias de los equipos de protección instalados en las redes de distribución, los cuales envían información en tiempo real al centro de control. Generalmente las empresas eléctricas utilizan sistema SCADA para supervisar las subestaciones eléctricas (Carlos, 2014)

4.10 Sistemas de telecomunicaciones para automatización y telecontrol

Una apropiada infraestructura de Telecomunicaciones juega un rol estratégico para el éxito de los esquemas de Automatización y Telecontrol de la Distribución. Así, la operación remota de reconectores requiere de una adecuada red de telecomunicaciones para el transporte de datos desde el SCADA hacia los equipos en campo y viceversa. Las redes de telecomunicaciones usadas deben garantizar una alta disponibilidad mayor al 98%, excelentes tiempos de respuesta, seguridad, y buen ancho de banda (Carlos, 2014).

Los reconectores debe cumplir básicamente el requisito de poseer funciones de comunicación mediante algún protocolo interpretable y asimilable por el SCADA. Generalmente el elemento con la circuitería electrónica que maneja las funciones de control y protección del reconector también maneja sus funciones de comunicación. Los protocolos que deben estar disponibles, para la mayoría de los sistemas abiertos, son el IEC60870-5-101/104 o DNP3. En ciertos equipos ya se está empezando a implementar el protocolo IEC61850 (Carlos, 2014).

5. Metodología

A continuación, se presenta la metodología del proyecto de investigación, en la cual se pueden encontrar, el tipo de proyecto, el método aplicado y los instrumentos de recolección de información aplicados para el desarrollo del proyecto.

5.1 Tipo de proyecto

El presente proyecto se trata de una investigación aplicada en el cual realizamos el análisis del comportamiento de la continuidad del servicio de energía eléctrica en una red de distribución, como material de apoyo utilizamos los registros de información relacionados con las interrupciones del servicio por fallas ocurridas en el ramal de estudio, de las cuales se lleva registro por el departamento de mantenimiento.

5.2 Método

Durante el desarrollo del presente proyecto fue necesario realizar la caracterización la red de distribución de acuerdo con su topología, cómo material de apoyo durante los análisis se utilizó los registros de interrupciones por causa de fallas, adicional se tendrá en cuenta los históricos de demanda del ramal en estudio.

Los análisis darán mayor conocimiento de la red de distribución aumentando los criterios para la ubicación óptima de un reconectador que permita selectividad en las protecciones, menor tiempo para restablecer el servicio en condiciones de falla. para mejorar la calidad en la prestación del servicio de energía

De acuerdo con los análisis de históricos de fallas del circuito y del ramal objeto de estudio para la instalación del reconectador, se evaluará el desempeño de la red en términos de continuidad. Cuál ha sido el impacto de las interrupciones ocurridas debido a fallas y anomalías de la red, teniendo en cuenta el aporte en la duración de las interrupciones, aplicando la metodología EPM para la ubicación y selección del punto de ubicación para la instalación de un reconectador.

Otro factor importante que se tuvo en cuenta fue las condiciones favorables de cobertura para las comunicaciones que pueden ser GPRS o Radio, con lo anterior se va a garantizar la integración del reconectador con un sistema SCADA para la operación, supervisión y control de los estados operativos de la red y operación remota desde el centro de control.

5.3 Instrumentos de recolección de información

A continuación, se presenta los instrumentos de recolección de información, asociados con el proyecto de investigación.

5.3.1. Fuentes primarias

Cómo fuentes primarias de recolección se utilizarán los registros históricos de la red en estudio lo cuáles serán las tensiones en barra de la subestación, corrientes de carga y curva de demanda máxima de la carga conectada. También se evaluará la duración de las interrupciones.

5.3.2. Fuentes secundarias

Se refiere al material de consulta como enciclopedias, revistas, artículos, diccionarios, antologías, revistas, entre otras.

6. Resultados

Durante el proyecto se desarrolló la metodología para la ubicación de un reconfigurador en el circuito RX01-00 de ramal A, para mejorar la continuidad en la prestación del servicio de energía eléctrica, el caso de estudio fue de una red de distribución del municipio de Apartadó del departamento de Antioquia.

Durante el desarrollo del proyecto para determinar la ubicación óptima del reconfigurador, fue necesario hacer una caracterización de la red de distribución en estudio, para lo cual fue necesario conocer los históricos de carga, la curva de demanda del circuito, conocer la tipificación de los clientes que son alimentados por la red en estudio, adicional fue necesario identificar las causas de fallas que se presentan con mayor frecuencia.

Otro factor importante para la caracterización del circuito fue obtener información de los ramales que hacen parte de la red de distribución, cómo también tipificar la topología de la red en estudio. Finalmente, para garantizar el óptimo desempeño del equipo se definió un protocolo de mantenimiento

6.1 Caracterización del ramal A del circuito RX01-00

En la Figura 1 se muestra el diagrama unifilar de la red en estudio del circuito RX01-00 de la región de Urabá municipio de Apartadó. El cual se muestra los diferentes ramales que componen el circuito, los elementos de protección cómo lo son reconfiguradores, aisladores y, adicional se muestra los puntos donde se cuenta con sistema de puesta a tierra para el apantallamiento de la red cómo protección antes la exposición a las descargas atmosféricas.

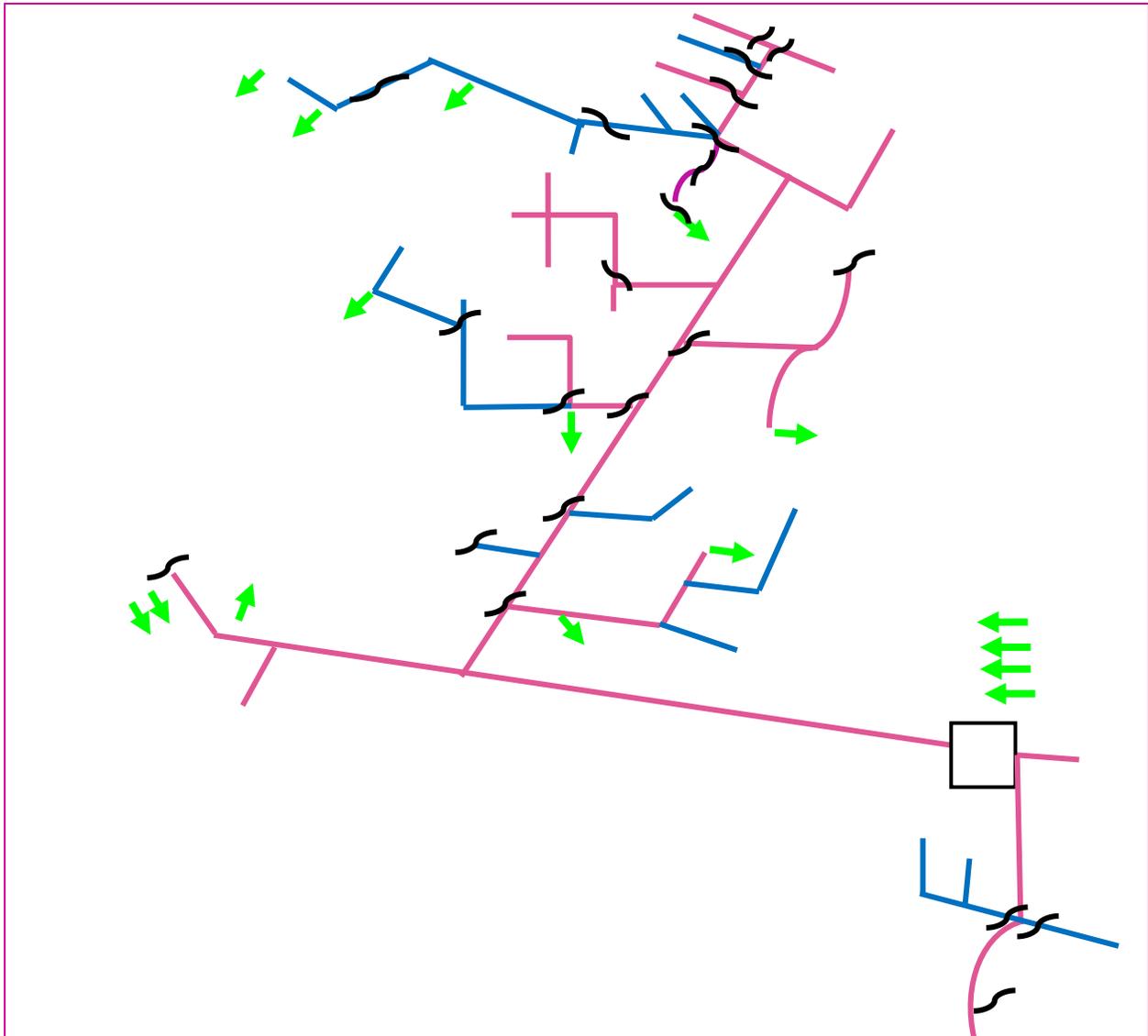


Figura 1. Diagrama Unifilar Red en Estudio

Fuente: Red Gráfica viewer (EPM)

En la Figura 2 se muestra las convenciones de los elementos que compone la red de distribución en estudio, adicional la cantidad: aisladeros, cuchillas de seccionamiento, interruptor, puesta a tierra y reconectores.

~	Aisladero Normal (52)
■	Cuchilla De Seccionamiento (8)
⏏	Interruptor (1)
→	Puesta a Tierra (35)
⏏	Reconector (2)

Figura 2. Convenciones para elementos de la red.

Fuente: Red Gráfica viewer

En la Figura 3 se muestra el cableado que conforma los diferentes ramales de red de distribución en estudio, como la red troncal de la red en estudio con una longitud de 8.5km, también se tipifica si corresponde a sistema trifásico o monofásico, el tipo de cableado en el cual encontramos desnudo, cubierto ecológico, la red aérea o subterránea.



Figura 3. Convenciones para tipo de cableado

Fuente: Red Gráfica viewer

En la Figura 4 se muestra la curva de las corrientes de carga que atiende el circuito RX0100, en la cual se detalla el comportamiento horario durante las 24 horas del día, con valores entre 100 y 140 amperios desde las 00:00 horas hasta las 06:00am, a partir desde las 07:00am hasta las 16:00 horas con un pico máximo entre 120A y 150 A.

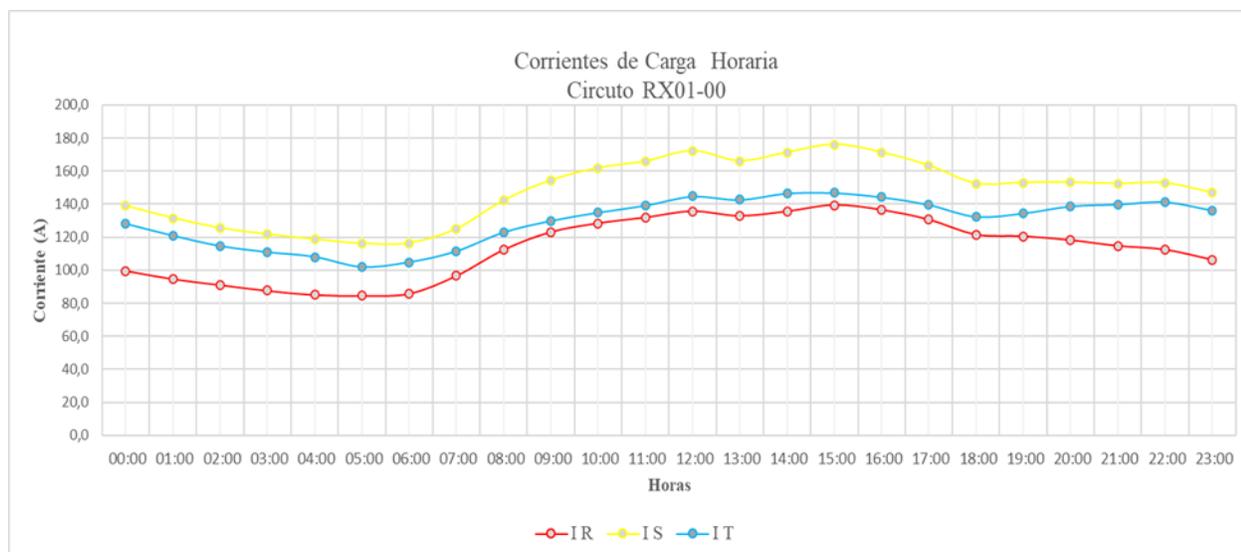


Figura 4. Corrientes de Carga Circuito RX01-00

Fuente: Registros de carga

En la Tabla 2 se muestra los valores de corrientes de carga que registra el circuito RX01-00 en las diferentes fases del sistema trifásicos, para el tiempo 00:00 hasta las 06:00am rango entre 105 A y 116A, los valores máximos de la corriente de carga se presentan entre las 14:00 y las 16:00 horas con valores de 147A y 171 A.

Tabla 2. Corriente de Carga Circuito RX01-00.

Hora	IR	IS	IT
00:00	100	139	128
01:00	95	132	121
02:00	91	126	115
03:00	88	122	111
04:00	85	119	108
05:00	85	116	102
06:00	86	116	105
07:00	97	125	111
08:00	112	142	123
09:00	123	154	130
10:00	128	162	135
11:00	132	166	139
12:00	136	172	145
13:00	133	166	143
14:00	136	171	147

Hora	I R	I S	I T
15:00	139	176	147
16:00	136	171	144
17:00	131	163	140
18:00	122	152	132
19:00	121	153	134
20:00	118	153	139
21:00	115	152	140
22:00	113	153	141
23:00	106	147	136

Fuente: Diseño propio

En la Figura 5 se muestra la curva de la demanda horaria para el circuito RX01-00 en valores de MVA, la tendencia muestra que la demanda mínima está en 2.6 MVA y una potencia aparente máxima de 3.5 MVA, al cual se presenta a las 15:00 horas. En la gráfica se muestra la tendencia que muestra la demanda durante un día.

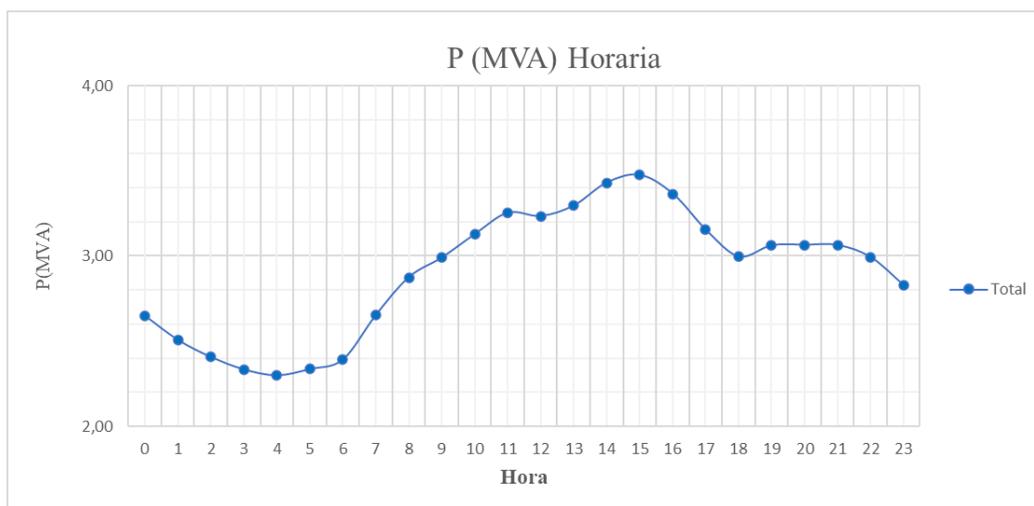


Figura 5. Demanda Horaria Circuito Rx01-00 en MVA

Fuente: Registro de demanda

En la

Tabla 3 se muestra lo valores de la demanda en la franja horaria desde las 00:00 horas hasta las 23 horas del día, la demanda por el circuito se encuentra en rango de 2.6MVA y la máxima de 3.5 MVA aproximadamente.

Tabla 3. *Demanda Horaria Circuito Rx01-00*

Hora	MVA
0	2,65
1	2,51
2	2,41
3	2,33
4	2,30
5	2,34
6	2,39
7	2,65
8	2,87
9	2,99
10	3,13
11	3,25
12	3,23
13	3,29
14	3,43
15	3,47
16	3,36
17	3,15
18	3,00
19	3,06
20	3,06
21	3,06
22	2,99
23	2,83

Fuente: Diseño propio

En la Tabla 4 se muestra los históricos de fallas para el circuito RX01-001 desde el periodo comprendido entre el 01 enero y 01 septiembre del año 2023. Donde podemos encontrar que las causas de falla mas frecuente en este circuito corresponden a causas desconocidas, las cuales no representan una interrupción muy baja ya que son transitorias. Se puede ver que la causa de interrupción mas larga en el circuito es debido a mantenimientos programados o mantenimientos derivados de fallas de otras líneas asociadas al sistema.

Tabla 4. *Histórico de Fallas Circuito RX01-00*

Fecha de Apertura	Fecha de Cierre	Duración	Descripción Apertura	Observaciones
13/01/2023 21:02:51:545	13/01/2023 21:03:47:486	00:00:56	Causa desconocida	Recierre
15/01/2023 07:16:50:542	15/01/2023 07:16:55:703	00:00:05	Causa desconocida	Recierre

03/02/2023 09:01:12:978 21/02/2023 06:53:32:000	03/02/2023 09:01:18:144 21/02/2023 14:42:22:000	00:00:05	Causa desconocida	Recierre
25/03/2023 01:47:47:851 25/03/2023 03:24:53:665 25/03/2023 03:28:55:041 16/04/2023 20:27:20:971 20/06/2023 18:18:15:177 20/06/2023 18:18:20:848 20/06/2023 18:18:36:266 20/06/2023 18:20:15:239 13/07/2023 12:31:58:064 04/06/2023 06:07:26:952	25/03/2023 01:50:18:825 25/03/2023 03:28:54:938 25/03/2023 03:44:54:767 16/04/2023 20:27:26:133 20/06/2023 18:18:20:344 20/06/2023 18:18:36:020 20/06/2023 18:20:14:930 20/06/2023 18:49:21:075 13/07/2023 12:32:03:227 04/06/2023 08:22:22:015	07:48:50 00:02:31 00:00:05 00:00:05 00:00:05 02:14:55 00:00:39 00:00:05 00:00:05 00:00:05 00:02:37	Mantenimiento apertura por falla en líneas de transmisión del STN Y STR Causa desconocida Apertura por terceros apertura por línea primaria rota Mantenimiento Causa desconocida Causa desconocida	Mantenimiento Recierre exitoso se retiró rama sobre las líneas de los línea rota Recierre Recierre Recierre Recierre Recierre Recierre Recierre Recierre Recierre Recierre Recierre Recierre Recierre Recierre Recierre Recierre Recierre Recierre Ensayo manual

Fuente: Diseño *propio*

En la Tabla 5 se muestra el cálculo de SAIDI, teniendo en cuenta que los **Ui**: Hace referencia a la cantidad de clientes afectados, y **Ti**: Hace referencia a la duración de una interrupción. Podemos notar que el índice de apertura más alto que se presentó esta relacionado a la ruptura de una línea primaria, está indisponibilidad del servicio fue percibida por los usuarios asociados al circuito, lo cual represento un promedio de 5298 usuarios desconectados por 2.9 horas cada uno durante ese evento.

Tabla 5. *Cálculo de Índices SAIDI*

Descripción Causa de Apertura	Ui*Ti	SAIDI Horas
APERTURA POR LÍNEA PRIMARIA ROTA	15366	2,90
APERTURA POR TERCEROS	6805	1,28
APERTURA POR TRANSFORMADOR QUEMADO	4863	0,92
APERTURA POR ANIMALES SOBRE LÍNEAS	3863	0,73
APERTURA POR CAUSA DESCONOCIDA	2354	0,44

APERTURA POR ARBOL O RAMA SOBRE LÍNEAS	1523	0,29
APERTURA POR CONDICIONES ATMOSFÉRICAS	1259	0,24
APERTURA POR DEFECTO EN AISLADORES	728	0,14
APERTURA POR DEFECTO EN CONECTOR	306	0,06
APERTURA POR FALLA EN RED SECUNDARIA	176	0,03
APERTURA POR DEFECTO EN CORTACIRCUITO	120	0,02
APERTURA POR DEFECTO EN POSTE	10	0,00
Total, general	37373	7,05

Fuente: Diseño propio

6.2 Criterios para la ubicación de un reconectador metodología EPM

La instalación del reconectador se realizó en el ramal de sección A del circuito RX01-00 para prevenir la salida de todo el circuito, dividiendo la red de distribución del circuito en bloques de carga. Seccionando el alimentador principal de la cual se considera la troncal del circuito y separando ramales con alta probabilidad de fallas.

Lo que se busca es mejorar la selectividad en la coordinación de protecciones, para aumentar la confiabilidad en el suministro del servicio de energía eléctrica, permitiendo que, ante la ocurrencia de una falla se aislé la zona de la red en condición de falla y se pueda restablecer el fluido eléctrico al resto de clientes.

La separación de la red por bloques de carga se hace debido a la alta probabilidad de falla que tiene las redes de distribución con disposición aéreas en cable desnudo en las zonas rural están expuestas a la vegetación, como también a la fauna silvestre, sumado a lo anterior las interrupciones por causa de las condiciones climáticas. (EPM, Guía Metodológica para la Ubicación de Equipos, 2022)

6.2.1 Metodología.

A continuación, se describe cada uno de los pasos que se deben tener en cuenta para aplicar la metodología para definir la ubicación de un reconectador.

- Se valida las especificaciones técnicas del equipo suministradas por el fabricante, en lo relacionados con las tensiones, corrientes de cortocircuitos I_{cc} , capacidad descarga. Con lo anterior se evalúa los niveles de cortocircuito del punto de ubicación del reconectador y se valida con las especificaciones técnicas del equipo.
- Los reconectores se instalan con el fin de prevenir la salida de todo el circuito, para lo cual se debe dividir el circuito en bloques de carga, seccionando alimentadores de gran longitud, o separando lo urbano de los ramales rurales en puntos de alto índice de fallas, con el fin de aislarlo del resto del circuito (EPM, Guía Metodológica para la Ubicación de Equipos, 2022).
- En sitios remotos de difícil acceso, o en ramales extensos con limitada coordinación de fusibles es recomendable instalarlos en fronteras comerciales donde se tenga cogeneración o algún tipo de generación distribuida relevante (> 1 MW). Igualmente, en clientes con gran

capacidad de potencia instalada (> 1.8 MVA urbano o > 1 MVA rural), con el objetivo de no limitar la coordinación de protecciones.

- Se pueden ubicar como elemento de transferencia entre circuitos, facilitando la rápida normalización del servicio en tramos no fallados y la implementación de esquemas de restablecimientos automáticos.
- Se pueden instalar donde se presenten dificultades por maniobrabilidad debido a arcos eléctricos, ante transferencias.
- Se pueden instalar en subestaciones reducidas como protección principal del transformador de potencia a nivel de 13.2 kV y 44 kV. De igual forma como protección en el alimentador del circuito.
- En caso de ser útil como seccionamiento y de no ser posible establecer una adecuada coordinación con los equipos de protección existentes, se puede instalar como elemento de corte y maniobra, sin ajustes de protección (swiche).
- Evitar en lo posible instalarlo aguas arriba de industrias con procesos sensibles, donde los re-cierres del equipo puedan afectar un proceso productivo.

a. Circuito urbano

- i. Seccionar en bloques de carga (El seccionamiento actual con cuchillas es de tres por circuito, dependiendo el caso puntual, se podría en 3 bloques de carga con reconectador.).
- ii. Un reconectador de transferencia (En caso de se tenga más transferencias relevantes, se analizaría cada caso puntual).
- iii. Un reconectador en ramal relevante (Puede instalarse en derivaciones con alto nivel de carga y cortocircuito, donde un fusible no puede coordinarse (EPM, Guía Metodológica para la Ubicación de Equipos, 2022)).

b. Circuito rural

- i. Seccionar troncal en dos o tres segmentos, sin superar tres equipos en serie en la troncal del circuito, incluyendo transferencias; o más de tres en derivaciones de la troncal, teniendo en cuenta el análisis puntual del circuito (en circuitos extensos se sugiere tramos > 10 km).
- ii. Seccionar ramal principal si el punto evaluado cumple: $kVA \text{ punto} / kVA \text{ cto} > 0,35$.

iii. Instalar reconectador en ramales extensos (>12 km), protegidos directamente por el equipo de protección de la subestación (S/E).

iv. En ramales de circuitos con carga rural se pueden instalar los reconectores sin comunicación, en caso de no contar con los medios disponibles en la zona definida.

c. Circuito urbano-rural

i. Un reconectador al inicio del ramal rural, permitiendo aislar la carga urbana de la rural.

ii. De acuerdo con el tipo de segmento (Urbano / Rural) se pueden aplicar los criterios establecidos en los numerales 1. a. y 1. b.

6.2.2 Selección Ubicación del Reconectador.

A continuación, desarrollaremos todos los pasos para la ubicación de un reconectador cumpliendo las condiciones para una red circuito Urbano, puesto que el circuito RX01-00 está ubicado en zona urbana del municipio de Apartado.

El ramal del circuito RX01-00 seleccionado para la ubicación del reconectador es urbano, se considera en estado operativo cerrado, y operará como seccionamiento de la red para garantizar una configuración por bloques de carga.

El punto óptimo de ubicación de la red del SDL debe ser en un segmento de la red de alto índice de fallas, con el fin de aislar ese bloque de carga del resto del circuito. Otras consideraciones que se tiene en cuenta pueden ser: en sitios remotos de difícil acceso, o en ramales extensos con limitada coordinación de fusibles.

Para el caso de estudio consideramos cuatro bloques de carga. Con lo cual seleccionaremos la ubicación del reconectador en el ramal A con características de nivel de carga y cortocircuito ver la Figura 6 .

En la Figura 6 se muestra diagrama unifilar del circuito RX01-00 el cual tiene los siguientes equipos de protección y maniobra, desde la salida de la subestación dispone de un interruptor general. Seguidamente hay dos reconectores existente con nomenclatura R1 y R2, mas adelante se muestra el ramal A y el punto donde se tiene proyectado la instalación del reconectador.

Para la reconfiguración de la red de distribución, con la instalación del nuevo equipo se tendrían 4 bloques de cargas, cada bloque se está considerando el segmento de la red que tiene aguas abajo cada equipo de protección y maniobra. Con la anterior configuración se busca

mejorar la selectividad en la protección para el momento en el que ocurra una falla, que garantice que la zona afectada sea la única que presente interrupción en el servicio de energía.

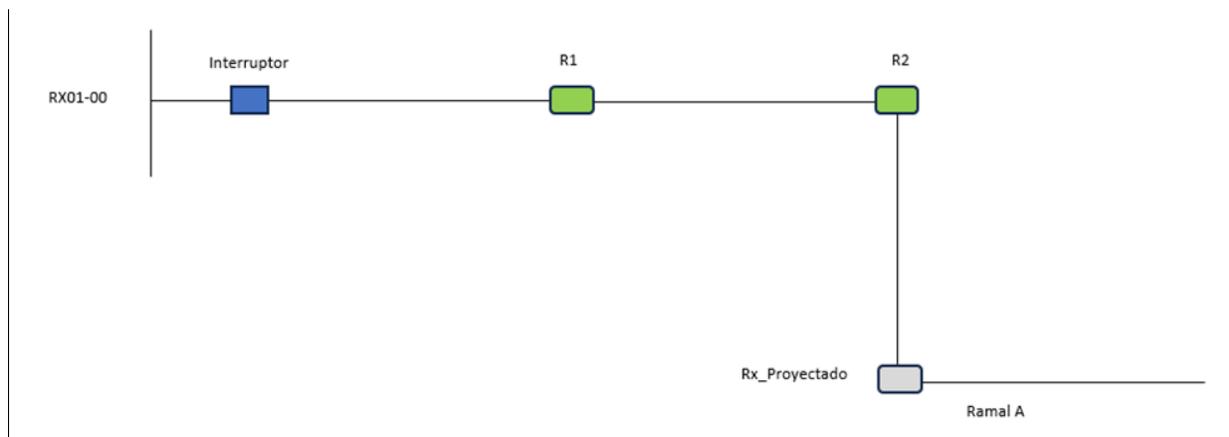


Figura 6. Diagrama Unifilar Circuito RX01-00

Fuente: Diseño propio

En la Tabla 6 se muestran los valores de las corrientes de cortocircuitos (I_{cc}) en cada uno de los equipos de protección y maniobras mostrados en la Tabla 6, también se muestran los valores de la I_{cc} de punto de la red del ramal A proyectado para la ubicación del reconectador.

Tabla 6. Corrientes de cortocircuito (I_{cc})

Equipo	LLL	LLG	LL	LG
Interruptor	8619	7200	6900	6200
R1	3558	3268	3082	2480
R2	3264	2970	2826	2241
R_Proyectado	2659	2422	2303	1786

Fuente: Diseño propio

6.3 Descripción del Reconectador

Los Reconectores Automáticos Sólidos de Circuito Trifásicos y Monofásicos de ENTEC (EPRIS/EPR-1, EPR-2, EPR-3) están diseñados para operar en niveles de tensión 15kV, 27kV, y 38kV y, son utilizados para instalar en redes aérea o subestaciones de energía. (CO, 2023)

El mecanismo de interrupción utiliza un actuador magnético, que garantiza una alta fiabilidad y un funcionamiento de 10.000 operaciones o 20 años de servicio, sin mantenimiento. (CO, 2023). También utiliza interruptores de vacío encapsulados en bujes de material epoxi para el enfriamiento de arco, eliminando la necesidad de aislantes como el petróleo y el gas. (CO, 2023)

Los bujes están hechos de HCEP (Hydrophobic Cycloaliphatic Epoxy) que proporciona un excelente rendimiento de aislamiento incluso en ambientes climáticos difíciles y áreas contaminadas. El tanque del reconectador y el cubículo de control están hechos de acero inoxidable, que tienen una fuerte resistencia contra ambientes calientes, húmedos, polvorientos o corrosivos. (CO, 2023)

El reconectador dispone de un controlador completo basado en microprocesador (ETR300-R o EVRC2A-NT) que incluye funciones de medición, monitoreo, grabación y comunicación con un centro de control para ser integrado a un sistema SCADA. (CO, 2023)

En la Figura 7 se muestra un Reconectador trifásico al igual que uno monofásico de la marca ENTEC, de fabricación coreana.



Figura 7. Reconectador ENTEC

Fuente: <https://www.directindustry.es/prod/entec-electric-electronic-co-ltd/product-56097-1087197.html>

(ENTECC, 2023)

En la Tabla 7 se muestra las especificaciones técnicas del reconectador ENTEC para el caso del 15.5kv, tiene una capacidad nominal de 630A, con frecuencia de operación entre 50/60 Hz, con una interrupción de corriente de cortocircuito (I_{cc}) de 16kA a continuación se muestra otras especificaciones técnicas del equipo.

Tabla 7. Especificaciones Técnicas Reconector ENTEC

Voltaje Máximo de Sistema	15.5kV	27kV	38kV
Frecuencia Nominal	50/60Hz	50/60Hz	50/60Hz
Corriente Nominal	630 ^a	630A	800A
Comente Interrupción de Cortocircuito	16kA	12.5kA	16kA
Corriente de Corte Nominal	41.6kA (Valor Pico)	32.5kA (Valor Pico)	41.6kA (Valor Pico)
Frecuencia de Tensión Soportada -Seco	50kV(1 min) 45kV(10 seg)	60kV(I min) 50kV(10 seg)	70kV(1 min) 60kV(10scg)
Resistencia al Impuso de Voltaje	110kV BIL	150kV BIL	170 kV BIL
Vida de Operación Mecánica	10.000 operaciones	10,000 operaciones	10.000 operaciones
Actuador de Energía	DCI20V	DCI20V	DC120V
Fuente de Alimentación Auxiliar	AC110 a 240V	ACI10 a 240V	ACI 10 a 240V
Voltaje de Circuito de Control	DC 24V	DC24V	DC 24V
Relación de Protección de Transformador de Corriente	1000:1 A	1000:1 A	1000:1 A
Peso - Tanque - Gabinete de Control	130kg (Monopolar 40kg) 84kg	160kg 84kg	185kg 85kg

Fuente: https://www.face.coop/legislacion/index.php?option=com_attachments&task=download&id=1797

(ELECTRIC & ELECTRONIC CO., LTD , 2023)

6.4 Protocolo de mantenimiento.

En este capítulo vamos a describir el protocolo de mantenimiento propuesto para realizar trabajos en campo en el reconector: paso a paso

6.4.1 Inspección visual del equipo

Durante la inspección visual que se le realiza al equipo se revisa el estado de las conexiones de los puentes primarios de las redes de distribución a cada una de la entrada y salida de la potencia del reconector. También se valida el estado de los DPS cómo la existencia del cable utilizado

cómo bajante para el sistema de puesta a tierra que tenga la continuidad eléctrica, comúnmente por temas de vandalismo se hurtan este conductor eléctrico dejando el equipo sin protección ante una descarga atmosférica.

Se revisa el estado del cable de interfaz entre la potencia del equipo y el control del reconectador, esta conexión es necesaria para el cableado de señales que se dan entre ambos componentes de un reconectador, una mala conexión o daño en el mismo, dejaría por fuera de funcionamiento el equipo. Se aplica una periodicidad trimestral.

6.4.2 Pruebas de comunicaciones-enlace remoto con el sistema.

Se realiza una verificación remota del estado del reconectador, verificando pruebas como: que el reconectador no se desconecte sin justa causa, que el reconectador no tenga mala configuración y pueda estar desprotegido, y que el reconectador tenga una buena coordinación con los equipos que lo componen al momento de algún cambio. En la Figura 8 se muestra el Relé del control de un reconectador.



Figura 8. Relé del Control Reconectador

Fuente: Propia

6.4.3 Revisión de Batería.

La prueba de baterías en el control del reconfigurador se realiza desde el relé del equipo mostrado en la Figura 9 se debe presionar el botón de prueba de carga de batería (battery load test), el voltaje de la batería se despliega en el panel LCD. (ELECTRONIC, 2016)

Voltaje Nominal Superior a 21V Si el voltaje de la batería muestra inferior a 21V, la batería debe ser reemplazada por una nueva. (ELECTRONIC, 2016). Esta prueba se realiza cada tres meses.



Figura 9. Prueba de Baterías
Fuente: Propia

6.4.4 Inspección de Termografía.

Los equipos conectados a la red de distribución y el hecho de estar sometidos a una corriente eléctrica por efecto de carga, esta energía tiende a reflejarse en temperatura, sumado a esto también se pueden reflejar punto caliente en las conexiones flojas en un punto de conexión eléctrica debida a una conexión defectuosa, para los reconectores se presenta comúnmente en los bujes de entrada o salida de la potencia cómo se muestra en la siguiente imagen.

En la Figura 10 se muestra la imagen termográfica de un reconector trifásico en la una red de distribución, de acuerdo con los resultados muestra se presenta una temperatura máxima de 69.5°C por una conexión defectuosa entre en la entrada del buje primario del reconector.

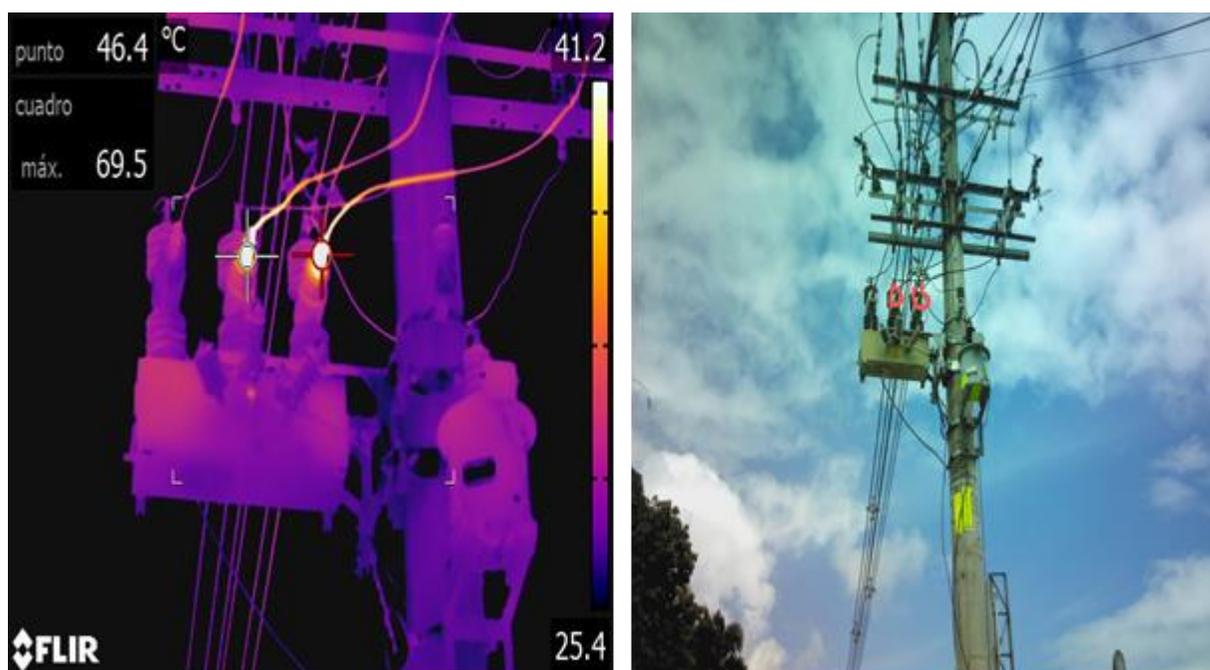


Figura 10. Termografía Reconector.

Fuente: Propia

En la Figura 11 se ilustra otra imagen de una termografía en uno de los bujes primarios de un reconector con una temperatura máxima de 69.9°C , igual que al anterior está asociada a una conexión defectuosa entre el cable que viene de la red de distribución y conecta en la entrada del buje.

Para corregir este tipo de anomalía en la red y evitar una falla en el equipo es necesario realizar una interrupción en el servicio de energía y revisar el punto de conexión, en algunos casos se

soluciona solo ajustando los tornillos en el buje del reconectador. Para otros casos se debe instalar una terminal de cobre en el conductor eléctrico de cobre que viene de la red de distribución y llega al buje del reconectador.



Figura 11. Termografía Punto Caliente Buje Primario

Fuente: Propia

6.4.5 Estado de los contactos de los interruptores al vacío.

La vida de los interruptores de vacío depende del número de fallas interrumpidas y de la magnitud de corriente de falla. Por consiguiente, es muy importante registrar las operaciones de corto circuito, esta información la reporta el gabinete de control ya sea de manera local o por software. En el caso de superar las 10,000 operaciones o si en la pantalla del panel de control se indica un valor por debajo del 20%, los interruptores de vacío tienen que ser reemplazados y Consultar con su distribuidor local para este servicio. (ELECTRONIC, 2016)

6.4.6 Prueba de tiempos apertura-cierre.

la prueba que se realiza a los reconectadores de apertura y cierre nos permite identificar las condiciones de respuesta en las que se encuentra en equipo en la actualidad. Esta prueba también nos ayuda a comprobar el estado de los transformadores de corriente y relé de protección del reconectador al igual que cumplan con los estándares. Estas pruebas son realizadas con equipos para el análisis de interruptores los cuales pueden graficar y dar resultados de la diferencia de tiempos entre apertura y cierre del interruptor.

En la Figura 12 se ilustra un ejemplo de que información puede arrojar un equipo de prueba, al ejecutar prueba de tiempos de apertura y cierre.

CONTACT (OPEN)		CONTACT (CLOSE)		CONTACT (OPEN #2)	
CHA	TIME(ms)	CHA	TIME(ms)	CHA	TIME(ms)
1	16.800	1	149.650	1	257.050
2	13.250	2	152.650	2	253.050
3	16.900	3	148.850	3	257.150

CYCLE	BOUNCE(ms)	CYCLE	BOUNCE(ms)	CYCLE	BOUNCE(ms)
1.01	0.15	8.98	3.65	15.42	0.05
0.79	0.05	9.16	0.10	15.18	0.05
1.01	0.05	8.93	1.65	15.43	0.05

Delta Time(ms)	(P/F)
3.650	F
3.800	F
4.100	F

Figura 12. Datos de prueba

Fuente: (RESEAD-Inovacion y proteccion electrica, 2023)

7. Conclusiones

Se determino la ubicación optima de un reconectador en el ramal A del circuito RX01-00 mediante el uso de la metodología de EPM, cumpliendo con los indicadores de calidad de la resolución CREG 015, a través del análisis de la tipología de la red, evaluando los puntos con mayor frecuencia interrupciones, lo que representa un paso significativo en la mejora en la calidad de servicio de energía eléctrica.

Se caracterizo el Ramal A perteneciente al circuito RX01-00 a partir del análisis de la información recolectada por departamento de mantenimiento y fuentes relacionadas en este informe, esta investigación nos da información detallada las condiciones, los ramales que lo componen y elementos que podemos encontrar en él. Los hallazgos en esta tesis ofrecen una base solida que sirve como guía en la implementación para nuevas ideas de mejora.

Se selecciono la ubicación del reconectador en el circuito RX01-00 del ramal del segmento A mediante el uso de la metodología EPM para mejorar la atención de la demanda en la red de distribución, como estrategia para mejorar la atención de la demanda en la red, se tiene en cuenta los criterios adecuados que corresponden a cada tipo de circuito para una buena selección de la ubicación del equipo, así como la selección adecuada del tipo del tipo de reconectador. La selección adecuada mejora la calidad de servicio de energía, confiabilidad y contribuye a minimizar la duración de los tiempos de interrupciones que no son planeadas.

Se propuso protocolo de mantenimiento para el reconectador que se instalara en el circuito RX01-00 del Ramal A, mediante el análisis del protocolo de mantenimiento de EPM, a través de la gestion eficiente de información de las pruebas específicas que se realizan a estos equipos teniendo en cuenta aspectos como: periodicidad en que se realizan dichas pruebas, así como la función que cumple cada una de ellas, lo que proporciona un adecuado a la hora de hacer mantenimiento al reconectador

8. Referencias

- ATA-ELECTRI. (24 de octubre de 2023). *ATA-ELECTRI*. Obtenido de ATA-ELECTRI:
<https://www.ataelectric.com/productos/reconectador>
- Cadena, M. D. (2018). UBICACIÓN DE FALLAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA. 12 - 41.
- Carlos, L. P. (Enero de 2014). *Cenace*. Obtenido de Cenace Energía:
<https://revistaenergia.cenace.gob.ec/index.php/cenace/article/view/109>
- CO, E. E. (2023). *Directindustry*. Obtenido de <https://www.directindustry.es/prod/entec-electric-electronic-co-ltd/product-56097-1087197.html>
- CREG. (015 - 2018). Resolución CREG 015 de 2018 Energía, Ministerio de Minas y. 239.
- CYME. (Febrero de 2020). *EATON Power Engineering Software*. Obtenido de EATON Power Engineering Software: <https://www.cyme.com/>
- D.K, V. R. (2012). Optimal planning of distributed generation systems .
- ELECTRIC & ELECTRONIC CO., LTD . (24 de octubre de 2023). *face.coop*. Obtenido de face.coop:
https://www.face.coop/legislacion/index.php?option=com_attachments&task=download&id=1797
- ELECTRONIC, E. E. (2016). *FACE.COOP*. Obtenido de https://www.face.coop/legislacion/index.php?option=com_attachments&task=download&id=1797
- ENTEC. (24 de Octubre de 2023). *DIRECTINDUSTRY*. Obtenido de DIRECTINDUSTRY:
<https://www.directindustry.es/prod/entec-electric-electronic-co-ltd/product-56097-1087197.html>
- EPM. (2022). *Guía Metodológica para la Instalación de Equipos en el SDL*. Medellín.
- EPM. (2022). Guía Metodológica para la Ubicación de Equipos. 5,6.
- EPM. (23 de Octubre de 2023). *Diccionario de servicios públicos*. Obtenido de Diccionario de servicios públicos: <https://cu.epm.com.co/institucional/sobre-epm/quienes-somos/diccionario-de-servicios-publicos#U-349>
- Escobar, O. N.-J.-R. (Mayo de 2017). *Semanticscholar*. Obtenido de www.semanticscholar.org
- Fitzgerald, A. K. (2003). *Electric Machinery*. Mc.Graw Hill, Internationa.

García-Peñalvo, F. J. (2019). *Inteligencia Artificial. Una perspectiva desde la ficción a la realidad.*

<https://bit.ly/2Q0jap0>. doi: 10.5281/zenodo.2818903.

Giovany, U. C. (2020). *repositorio.utc.edu.ec*. Obtenido de *repositorio.utc.edu.ec*:

<http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/7462/1/T-001661.pdf>

Glosario xm. (24 de Octubre de 2023). *XM*. Obtenido de *XM*:

<https://www.xm.com.co/proveedores/informaci%C3%B3n-de-inter%C3%A9s/glosario>

Jhonwert. (2018). Optimización de estrategias de operación de sistemas eléctricos para el control

del SAIDI-SAIFI en empresas distribuidoras de electricidad - seal. *JHONWERT*

RETAMOZO GÜERE.

Oscar Montoya, R. H. (18 de Septiembre de 2015). *Scielo*. Obtenido de *Revista Chilena de*

Ingeniería : <https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718->

[33052016000100006&script=sci_arttext&tlng=pt](https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-33052016000100006&script=sci_arttext&tlng=pt)

RESEAD-Inovacion y proteccion electrica. (26 de Octubre de 2023). *citeenergia*. Obtenido de

citeenergia: <http://www.citeenergia.com.pe/wp-content/uploads/2016/09/pruebas-equipos->

[de-proteccion-cite.compressed.pdf](http://www.citeenergia.com.pe/wp-content/uploads/2016/09/pruebas-equipos-de-proteccion-cite.compressed.pdf)