

**ANÁLISIS DE LA APLICACIÓN DE METODOLOGÍAS PARA LA UBICACIÓN
EFICIENTE DE RECONECTADORES AUTOMÁTICOS EN SISTEMAS DE
DISTRIBUCIÓN EN UN OPERADOR DE RED**

**ING. JORGE ALBERTO GUTIERREZ DIAZ
ING. LUIS GABRIEL NARVAEZ CAMPAÑA**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA
ELÉCTRICA
BUCARAMANGA
2016**

**ANÁLISIS DE LA APLICACIÓN DE METODOLOGÍAS PARA LA UBICACIÓN
EFICIENTE DE RECONECTADORES AUTOMÁTICOS EN SISTEMAS DE
DISTRIBUCIÓN EN UN OPERADOR DE RED**

**ING. JORGE ALBERTO GUTIERREZ DIAZ
ING. LUIS GABRIEL NARVAEZ CAMPAÑA**

**Monografía presentada como requisito para optar al título de:
Especialista en Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica**

**Director
JOHANN FARITH PETIT SUAREZ
Doctor en Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Automática**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA
ELÉCTRICA
BUCARAMANGA
2016**

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	12
1. CAPÍTULO I. ALGORITMOS PARA LA UBICACIÓN DE RECONECTADORES EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN	14
1.1 GENERALIDADES.	14
1.2 ALGORITMO PARA LA UBICACIÓN DE RECONECTADORES.	16
1.2.1 Modelo de Programación No Lineal Entera.	18
1.2.2 Modelo con Algoritmo Genético.	20
1.2.3 Optimización Multi-Objetivo.	22
2. CAPÍTULO II. SISTEMAS DE INFORMACIÓN PARA EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DEL OPERADOR DE RED EN ESTUDIO	26
2.1 DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN.....	26
2.1.1 Sistema SPARD.....	26
2.1.2 Sistema de Gestión de la Operación (SGO) del Operador de Red en estudio.	27
2.1.3 Aplicativo de Calidad del Operador de Red en estudio.....	28
2.1.4 Gestor de Información de Mantenimiento del Operador de Red en estudio.	29
2.1.5 Sistema Quantum GIS.	29
2.1.6 Sistema ERP (JD EDWARDS).....	29
2.2 IDENTIFICACIÓN DE LA INFORMACIÓN DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN PARA EL ALGORITMO DE UBICACIÓN DE RECONECTADORES.	30
3. CAPÍTULO III. INTEGRACIÓN DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN PARA LA UBICACIÓN EFICIENTE DE RECONECTADORES	32
3.1 DIAGNÓSTICO DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN.	32
3.2 IDENTIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS PARA IMPLEMENTAR METODOLOGÍAS DE UBICACIÓN EFICIENTE DE RECONECTADORES.	34
3.2.2 Información del Sistema SPARD.	35
3.2.3 Información del Sistema de Gestión de la Operación (SGO).....	35

3.2.4 Información del sistema JD EDWARDS.....	36
3.2.5 Información del Aplicativo de Calidad.	36
3.3 METODOLOGÍA DE UBICACIÓN SELECCIONADA DE ACUERDO A LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN EN ESTUDIO.....	36
3.3.1 Análisis de Aplicabilidad y Recomendaciones sobre la Metodología Seleccionada.	38
4 CAPÍTULO IV. EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL CASO DE ESTUDIO.....	39
4.1 CRTERIO DE SELECCIÓN DE EQUIPOS.	39
4.1.2 Caso de estudio.	41
5 CONCLUSIONES	43
BIBLIOGRAFÍA	45

LISTA DE FIGURAS

Figura No. 1. Diagrama Unifilar con la identificación de ramales laterales.....	18
Figura No. 2. Esquema general del Modelo	22
Figura No. 3. Secuencia de Operación NSGA II	24
Figura No. 4. Gestión de Diferentes Tipo de Componentes	34
Figura No. 5. Utilización de la red neuronal artificial	37
Figura No. 6. Circuito Rural V1	41

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. SAIFI [14]	19
Ecuación 2. Ubicación de Equipos.....	19
Ecuación 3. Función Objetivo SAIFI.....	21

LISTA DE ABREVIATURAS

AG	<i>Algoritmo Genético</i>
SAIFI	<i>Indicador de confiabilidad que se define como el índice de frecuencia Promedio de interrupciones permanentes del sistema relacionada con los usuarios.</i>
SAIDI	<i>Índice de duración promedio de interrupciones del sistema</i>
MAIFI	<i>Indicador de confiabilidad que se define como el índice de frecuencia promedio de interrupciones momentáneas del sistema relacionado con los usuario.</i>
NC	<i>Normalmente Cerrados</i>
NA	<i>Normalmente Abiertos</i>
NSGA II	<i>Algoritmo genético de ordenamiento no dominado</i>
SDL	<i>Sistemas de Distribución Local</i>
SGO	<i>Sistema de Gestión de la Operación</i>
GIM	<i>Gestor de Información de Mantenimiento</i>
DNA	<i>Demanda no atendida</i>

RESUMEN

TÍTULO

Análisis de La Aplicación De Metodologías Para La Ubicación Eficiente De Reconectores Automáticos En Sistemas De Distribución En Un Operador De Red

AUTORES

ING. JORGE ALBERTO GUTIERREZ DIAZ

ING. LUIS GABRIEL NARVAEZ CAMPAÑA

PALABRAS CLAVES:

Calidad del servicio, Reconector, Sistema de Información.

CONTENIDO

Con la presente monografía se busca que el lector tenga las herramientas metodológicas necesarias para la correcta ubicación de los reconectores en sistemas de distribución de energía eléctrica que le permita mejorar en la calidad del servicio considerando las diferentes exigencias regulatorias y la mayor disminución de costos operativos y costos de mantenimientos innecesarios.

De esta forma se van a mostrar algunas metodologías que van a ayudar a establecer cuál es el mejor mecanismo de desarrollo o cuál es el mejor modelo aplicado y que este se adapte a las necesidades de cada uno de los operadores de red de energía eléctrica y de los sistemas de información propios, a las tantas variables críticas de evaluación de tal forma que se tenga operatividad, eficiencia y dinámica en los sistemas de energía asociados a las empresas del sector energético en el país, considerando la aplicación de un caso de estudio donde las variables se complejizan por las distancias entre apoyos, comunicación remota, topografía y tipos de usuarios que se alimentan de allí.

Finalmente se muestra un inicio de aplicabilidad de un modelo y se recomienda la incursión de otro modelo que apalanque los óptimos resultados esperados de quien requiera dicho análisis.

Análisis de la aplicación de metodologías para la ubicación eficiente de reconectores automáticos en sistemas de distribución en un operador de red.

Facultad de ingenierías físico-mecánicas. Escuela de ingenierías eléctrica, electrónica y de telecomunicaciones. Director Johann Farith Petit Suarez Doctor en Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Automática.

SUMMARY

TITLE

Analysis of the application of methodologies for the efficient location of Automatic reclosers for a distribution system operator.

AUTHORS

ING. JORGE ALBERTO GUTIERREZ DIAZ
ING. LUIS GABRIEL NARVAEZ CAMPAÑA

KEYWORDS:

Quality of service, Recloser, Information System.

DESCRIPTION

With this work we try to give the reader necessary information for the proper location of reclosers in distribution systems of electricity that could improve the quality of service considering the different regulatory requirements and minimum operating costs and maintenance costs.

In order to do this we present some methodologies that help establish what is the best mechanism of development or which is the best model applied and that suits the needs of each network operator of electricity and own information systems, to the many variables critical assessment so that operation, efficiency and dynamics is taken into energy systems associated with energy companies in the country, considering the implementation of a case study where variables complicate the distances between supports, remote communications, topography and types of users that are fed there.

Finally the applicability of a model is shown and the incursion of another model that leverages the best results expected from those who require such analysis is recommended.

Analysis of the application of methodologies for the efficient location of Automatic reclosers for a distribution system operator.

Faculty of physical and mechanical engineering. School of electrical, electronics and telecommunications engineering. Director Johann Farith Petit Suarez.

INTRODUCCIÓN

Los operadores de red del sector eléctrico en sus sistemas de distribución se ven fuertemente ligados a ocurrencias de fallas, por sus características constructivas; estas fallas empeoran los indicadores de calidad y confiabilidad del sistema, lo que se traduce en reducción del beneficio económico para las empresas [11]. Por esto, en Colombia la calidad del servicio está cobrando cada vez más importancia, ya que la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) ha comenzado a controlar por intermedio de resoluciones los indicadores de calidad que están basados en la demanda final.

Lo anterior, ha generado que las empresas del sector eléctrico inicien planes de inversión que permitan reducir el nivel de afectación de los usuarios, con la implementación de equipos inteligentes que permitan disminuir la zona de afectación de la red y por ende el nivel de energía no servida. Ahora bien, desde el año 2012 para el caso de estudio, las empresas del sector entran en el ámbito de establecer estrategias eficientes para la ubicación de reconectores en las redes de distribución y coordinación de protecciones más selectivas, que permitan la reducción de energía no suministrada considerando que el 90% de las fallas del sistema son transitorias y son despejadas por si solas. [2]

Surgen varios cuestionamientos para las empresas del sector eléctrico, que se encuentran ligadas con el número de equipos mínimos, ubicación, comunicación y otros aspectos operativos que permitan minimizar el nivel de energía no servida, que a su vez se convierte en compensaciones al usuario afectando los ingresos a los operadores de red. Para dar solución a este problema, es necesario estudiar metodologías de ubicación eficiente de reconectores que se adapten a los repositorios de información del caso de estudio, logrando definir criterios de ubicación de equipos (reconectores) para mejorar la energía no servida, ya que en algunos casos operadores de red se han visto en la obligación de reubicar

equipos incurriendo en sobrecostos, debido a la inadecuada ubicación de reconectores que no han permitido la mejora de los índices de calidad.

Este trabajo está dividido en cuatro capítulos que a continuación se describen brevemente.

Capítulo I: ALGORITMOS PARA LA UBICACIÓN DE RECONECTADORES EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN.

Se explica en qué consisten los algoritmos y/o métodos utilizados por las empresas del sector eléctrico que determinan la ubicación de dispositivos en los sistemas de distribución permitiendo mejorar los indicadores calidad del servicio.

Capítulo II: SISTEMAS DE INFORMACIÓN PARA EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DEL OPERADOR DE RED EN ESTUDIO.

Se analizan los diferentes aplicativos y variables de los repositorios de información para los sistemas de distribución del operador de red en estudio, permitiendo alimentar los algoritmos para la ubicación de reconectores mejorando la calidad del servicio.

Capítulo III: INTEGRACIÓN DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN PARA LA UBICACIÓN EFICIENTE DE RECONECTADORES.

En este capítulo se realiza un breve diagnóstico del estado actual de las fuentes de información existentes de los sistemas de información de las empresas del sector eléctrico en Colombia desde la perspectiva de la calidad del servicio.

Capítulo IV: EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL CASO DE ESTUDIO.

Se describen los criterios de selección de ubicación de reconectores utilizados por el operador de red en estudio para la mejora de los indicadores de calidad del servicio.

1. CAPÍTULO I. ALGORITMOS PARA LA UBICACIÓN DE RECONECTADORES EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

1.1. GENERALIDADES.

La ubicación de reconectadores, seccionalizadores y otros dispositivos para los sistemas de distribución con el fin de mejorar los indicadores de calidad ha sido un tema de estudio por parte de las empresas del sector eléctrico, lo cual demuestra la importancia que le han dado a este tema considerando que las exigencias regulatorias cada vez son más estrictas alrededor de los índices de calidad del servicio vigentes en Colombia [1]. Lo anterior ha generado que los operadores de red inicien la automatización del sistema de distribución de energía eléctrica mediante elementos de protección, que permiten reducir los tiempos de interrupción y de atención de fallas del sistema.

En general, hay una necesidad para desarrollar métodos que determinen la ubicación y el número de equipos que permitan obtener un máximo beneficio en los índices de frecuencia y duración de interrupciones, impactando positivamente en el suministro de energía eléctrica del usuario. Por lo tanto se presentan algunos trabajos representativos relacionados con este tema:

En [2] se propone una metodología para la ubicación óptima de elementos de protección en la red, considerando el costo asociado a la indisponibilidad del sistema, inversión y costo de operación, formulado con un modelo matemático no lineal entero mixto y solucionado con la técnica metaheurística “simulated Amealing”.

En [3] se presenta una metodología para la minimización de la energía no servida (NENS), basada en la inserción y sustitución de elementos de protección en la red de distribución, buscando la relación beneficio/costo asociado a lo anterior.

En [4] plantea un problema de ubicación de elementos de protección en sistemas de distribución como un problema de programación binaria, empleando técnicas heurísticas para la reducción del costo asociado al tiempo, específicamente en la reducción del indicador de confiabilidad conocido como SAIFI. [1]

En [5] plantea un modelo de programación no lineal binario (NLBP) que considera la minimización de una función de costos de inversión y operación durante toda la vida útil. Lo anterior es resuelto usando métodos de optimización.

En [6] se expone un modelo matemático no lineal binario (NLBP) para la ubicación óptima de equipo de corte en un sistema de distribución, minimizando los indicadores SAIFI, implementado un algoritmo genético. [1]

En [7] se plantea una metodología para la reducción de costos fijos de operación, reducción del costo de la energía no servida debido a fallas temporales y permanentes. Este planteamiento es formulado como una programación no lineal entero mixto y es resuelto a través de una técnica metaheurística de búsqueda tabú. [1]

En [8] se propone una metodología para localizar equipos empleando una programación binaria que permite minimizar los costos de los dispositivos, costos asociados a la energía no servida y el deterioro de la vida útil de los elementos del sistema. [1]

En [9] se emplea un algoritmo heurístico combinatorial para evaluar el problema incluyendo varias funciones objetivos tales como minimización del SAIFI y la relación costo beneficio, teniendo en cuenta restricciones operativas y de inversión.

En [10] se desarrolla un modelo matemático explícito para la minimización de los indicadores SAIFI y SAIFI, considerando un modelo de optimización mono-objetivo con implementación de modelos genéticos. [1]

Este capítulo presenta un enfoque de los métodos utilizados por las empresas del sector eléctrico para determinar la asignación de dispositivos automáticos en los sistemas de distribución que permita mejorar los índices de frecuencia y duración de interrupciones enfocados a obtener mejores beneficios económicos desde el punto de vista regulatorio.

1.2. ALGORITMO PARA LA UBICACIÓN DE RECONECTADORES.

La operación del sistema de distribución de energía eléctrica puede ver restringido por las características constructivas y ubicación geografía que crean una ocurrencia de fallas que empeoran los indicadores de calidad exigidos por los entes regulatorios, que reducen el beneficio económico de la empresa [11].

Es posible reducir el nivel de afectación de los usuarios aplicando estrategias de localización y aislamiento de fallas que permitan disminuir los tiempos de indisponibilidad de los equipos. Si se considera que para minimizar la afectación del usuario y por ende el nivel de energía no servida es necesario ubicar reconectadores automáticos en el sistema de distribución, surge una pregunta ¿Cuántos y en qué puntos deben ser instalados? Para dar solución a lo anterior, las empresas del sector han desarrollado consultorías y convenios interadministrativos de investigación de literaturas donde se viabilice una metodología que permitiera la instalación de equipos para mejorar la confiabilidad del sistema frente a falla permanente y/o transitoria y a la vez que minimice la afectación a los usuarios.

Nombraremos algunas metodologías matemáticas, probabilísticas, estocásticas que vienen siendo aplicadas para ubicar reconectadores normalmente abierto y normalmente cerrados, que minimicen el nivel de energía no servida o la maximización de las demandas atendidas [11]. Es de resaltar que no existe literatura especializada aplicada al sector eléctrico Colombiano, si no que existe literatura que

presenta propuestas de metodologías aplicables a los sistemas de distribución de energía, las cuales se listan a continuación.

- a. Modelo de Programación No Lineal Entera, el cual considera una función objetivo no lineal y un conjunto de restricciones lineales, en la que se incluyen criterios técnicos y económicos.
- b. Optimización Multi-objetivo.
- c. Programación Lineal entera-mixta.
- d. Algoritmo Genético, es considerado como una técnica de optimización combinatorial, que tiene una alta probabilidad de encontrar las soluciones globales de problemas muy complejos, de gran tamaño y con muchos óptimos locales. Para profundizar en la teoría básica de los AG se pueden consultar en las referencias [12], [13].
- e. Algoritmo Genético Chu-Beasley y Simulación de Montecarlo, esta combinación de métodos permite una ubicación óptima de los equipos considerando el factor de confiabilidad.
- f. Modelo de Programación Lineal y Método de Programación de Enteros, esta metodología permite linealizar condiciones de variables con restricción
- g. Técnica de optimización basada en funciones no diferenciables.

A continuación se realizará una breve descripción de las metodologías que han sido aplicadas de alguna u otra forma en empresas del sector eléctrico Colombiano, permitiendo identificar las variables mínimas que requiere la metodología para entregar una posible ubicación de los equipos. Lo anterior permitirá identificar qué metodologías pueden ajustarse mejor a los sistemas de información que manejan las empresas del sector eléctrico Colombiano.

1.2.1 Modelo de Programación No Lineal Entera. La aplicación de este modelo está enfocado en encontrar el lugar óptimo del equipo, con el fin de mejorar el indicador de confiabilidad SAIFI [14]. La metodología planteada para la ubicación de equipos de corte en el sistema de distribución se presenta a continuación:

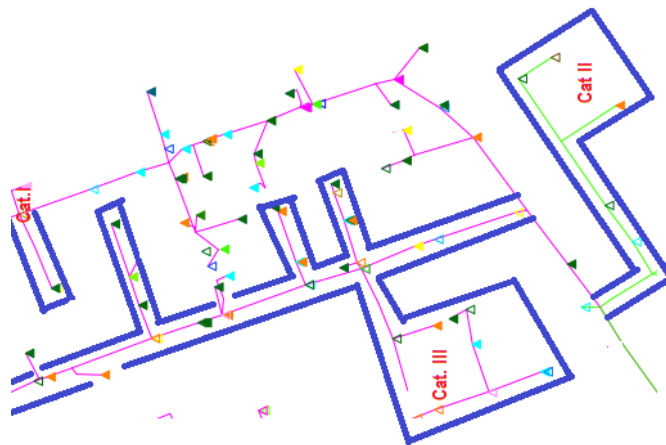
Paso 1. Definir cartografía, diagramas unifilares, usuarios conectados, demanda y longitud del circuito seleccionado. [14]

Paso 2. Establecer puntos de ubicación de equipos de acuerdo a los tramos de red o zonas en las que está dividido el circuito. [14]

La técnica propuesta para la ubicación de equipos consiste en dividir el circuito en una sección principal y secciones de ramales laterales. Los ramales laterales son definidos en tres grupos o categorías: Categoría 1: Tramos de red pequeña que no permiten la instalación de equipos, categoría 2: Tramos que se pueden proteger con fusibles y categoría 3: Tramos de red que se pueden proteger con reconectadores considerando la carga del mismo. [14]

Con la siguiente figura se permitirá identificar o dar mayor claridad a lo expuesto anteriormente.

Figura No. 1. Diagrama Unifilar con la identificación de ramales laterales



Paso 3. Consultar las tasas de fallas temporales y permanentes para cada uno de los tramos en los que fue dividido el circuito. [14]

Paso 4. Determinar la función objetivo

El índice SAIFI puede ser expresado en función de la sección principal y de cada uno de los ramales [14], como se indica a continuación

Ecuación 1. SAIFI

$$SAIFI = \frac{\sum \lambda_i \times N_i}{N_t} = \frac{\sum_{q=1}^{\alpha+\beta+1} A_q}{N_t}$$

Fuente: [14]

Donde:

λ_i : tasa de falla del tramo i.

N_i : número de clientes del tramo i.

N_t : número total de clientes.

q, α, β : Representan el número de la sección, número de ramales perteneciente a la categoría III y categoría II.

A_q : Representa el número de clientes

Considerando que el alimentador principal posee un interruptor trifásico en la subestación y que no se admite la utilización de fusibles en el alimentador principal, pero si la utilización de fusibles en cada derivación, la ecuación 1 se reduce a la siguiente formula:

Ecuación 2. Ubicación de Equipos

$$A_q = \sum_{i=2}^{q_n} (\lambda_i + \gamma_i) \sum_{j=1}^{q_n} N_{qj}$$

Fuente: [14]

Donde:

N_{qj} : número de clientes conectados a la sección de un ramal.

q_n : número posible de puntos de ubicación de equipos.

La ecuación (2) es constante para el alimentador principal pero para los demás términos determinan la ubicación de los equipos de protección, concluyendo que esta nos permite minimizar el índice SAIFI.

Paso 5. Definir el conjunto de restricciones para el sistema [14]

Las restricciones que se plantean en esta metodología son de carácter técnico y económico

Las restricciones consideradas en este trabajo son de naturaleza técnica y económica. Las restricciones de técnicas están relacionadas con los equipos y la topología del sistema y las restricciones económicas están relacionadas con el costo de instalación y operación de los equipos.

Paso 6. Solucionar el modelo matemático para obtener el valor de la función objetivo y la ubicación óptima de los equipos de protección [14].

1.2.1 Modelo con Algoritmo Genético. La aplicación de este modelo está enfocado en mejorar el índice SAIFI o el índice MAIFI, con la ubicación óptima de reconectadores y fusibles para los sistemas de distribución. La metodología se presenta a continuación:

Paso 1. Definir las características del circuito a analizar. Considerando aspectos como diagrama unifilar, número de usuarios, nodos del sistema, tramos de red, entre otros [1].

Paso 2. Definir en cada tramo de la red del circuito seleccionado los siguientes parámetros: Nombrar tramos de red, nodo de envío, nodo de recibo, tasas de falla permanentes de cada tramos de red, tasas de falla temporales de cada tramos de red, número de usuarios por tramos de red [1].

Paso 3. Construir el modelo matemático en función de la tasa de falla, número de clientes afectados en una falla y dispositivos de protección.

Para establecer el modelo matemático considero una función objetivo SAIFI que representa el promedio de las interrupciones por cliente, una función objetivo MAIFI que representa el promedio de las interrupciones temporales del sistema por cliente.

Lo anterior puede ser representado en la siguiente formulación matemática [1]:

Ecuación 3. Función Objetivo SAIFI

$$\text{Min SAIFI} = \left(\frac{\sum_{i \in L} \lambda_i * N'_i + \sum_{i \in L} \gamma_i (1 - x_{i2}) * N'_i + \sum_{i \in L} \lambda_i \sum_{j \in F(i)} (N'_j - N'_{h(j,i)}) \prod_{k \in G(j,i)} x_{k1} x_{k2} x_{k4} + \sum_{i \in L} \gamma_i \sum_{j \in F(i)} (1 - x_{j2}) * N'_j \prod_{k \in G(j,i)} x_{k1} x_{k2}}{\sum_{i \in L} \lambda_i \sum_{j \in F(i)} (N'_j - N'_{h(j,i)}) \prod_{k \in G(j,i)} x_{k1} x_{k2} x_{k4} + \sum_{i \in L} \gamma_i \sum_{j \in F(i)} (1 - x_{j2}) * N'_j \prod_{k \in G(j,i)} x_{k1} x_{k2}} \right) / N_t$$

Fuente: [1]

Pasó 4. Aplicar al modelo las siguientes restricciones [1]

- ✓ Los dispositivos están en perfecto estado.
- ✓ Los dispositivos de protección están ubicados en las tres fases.
- ✓ Las fallas son mutuamente excluyentes e independientes
- ✓ La topología del sistema es siempre radial e invariante

Paso 5. Definir la técnica de la solución del modelo matemático, considerando los siguientes modelos [1]

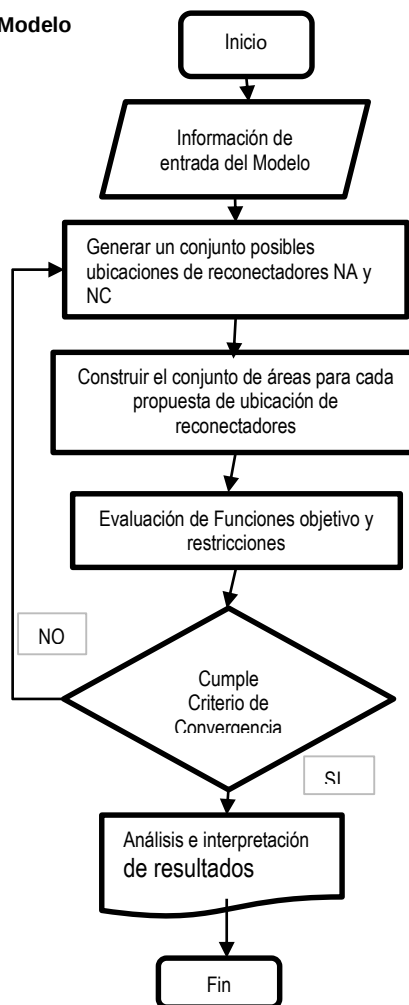
- ✓ Paquete de optimización comercial.

- ✓ Técnica metaheurística -algoritmo genético de Chu & Beasley (AGCB).

Paso 6. Se desarrolla el modelo con la técnica seleccionada en el paso 5, lo que permite obtener la ubicación óptima de los equipos. El resultado de la técnica seleccionada es de tipo binario, “es decir donde hay un “0” indica que un elemento debe ser instalado en dicho tramo de red y un “1” indica lo contrario”. [1]

1.2.2 Optimización Multi-Objetivo. La utilización de un modelo de optimización Multi-Objetivo permitirá localizar reconectador NA y NC, encontrando un conjunto de soluciones óptimas posibles. La aplicación del modelo puede verse identificada en la Figura 2.

Figura No. 2. Esquema general del Modelo



Fuente: [15]

La información de entrada que requiere el modelo para generar unas posibles ubicaciones de reconfiguradores NA y NC en el circuito seleccionado, son las siguientes:

a. **Costos**

- ❖ Energía (\$/KW-h)
- ❖ Instalación de reconfiguradores NA (Valor reconfigurador, mano de obra, materiales adicionales para la instalación)

b. **Tramos de red**

- ❖ Topología de los circuitos a analizar
- ❖ Longitud
- ❖ Tipos de conductores
- ❖ Capacidad nominal de corriente de los conductores
- ❖ Tasa de fallas permanentes y temporales
- ❖ Tiempos de restauración del servicio
- ❖ Topografía de la zona

c. **Demanda**

- ❖ Potencia activa
- ❖ Potencia reactiva

d. Número máximo de reconfiguradores NA por Alimentador

e. Número máximo de reconfiguradores disponibles en todo el sistema

f. Posibles puntos de interconexión

g. Ubicación de reconfiguradores NA y NC existentes

Ahora bien, los pasos de aplicación del modelo para la ubicación óptima de reconfiguradores NA y NC se describen a continuación:

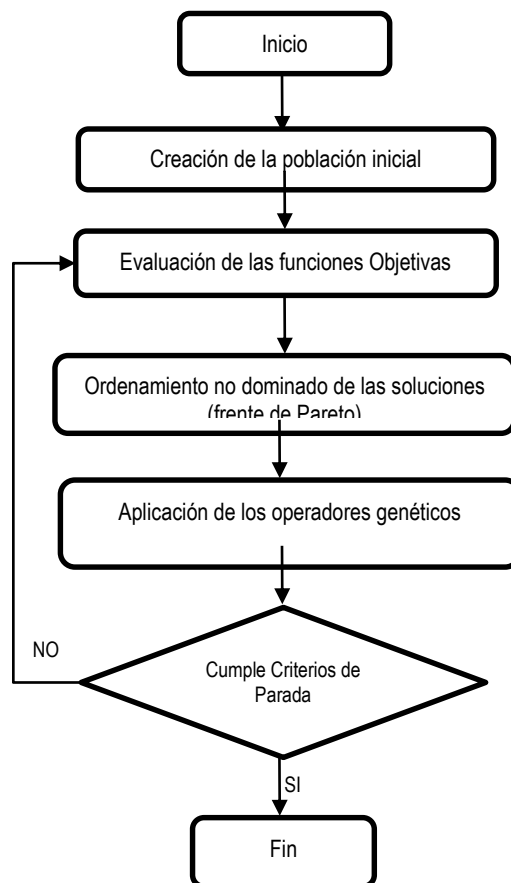
Paso 1. Definición de parámetros y lectura de datos de entrada [15]

Paso 2. Se define una configuración inicial del sistema para determinar el caso base y definir las condiciones operáticas actuales del sistema de distribución a evaluar [15].

Paso 3. Definidos los parámetros se aplica la técnica de solución de un algoritmo genético de ordenamiento no dominado (NSGA II), evaluando posibles ubicaciones de nuevos elementos [15].

La aplicación de la técnica NSGA II se muestra en el diagrama de decisión se describe en el diagrama de la Figura 3.

Figura No. 3. Secuencia de Operación NSGA II



Fuente: [15]

Paso 4. Analizar las respuestas obtenidas y definir según la conveniencia de la empresa cuál de las soluciones presentadas en el modelo es más viable.

2. CAPÍTULO II. SISTEMAS DE INFORMACIÓN PARA EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DEL OPERADOR DE RED EN ESTUDIO

Los sistemas requeridos para el desarrollo del caso de estudio deben ser capaces de gestionar información, el cual toma, prepara y distribuye para equipos móviles y demás sistemas de información. Toma y envía datos al sistema comercial, distribución y operación. También un sistema de Gestión de la Operación el cual permite gestionar las ordenes de servicio y de operación que se requieren sobre el sistema, a través de la interface con sistemas GIS gráfico y con atributos

2.1. DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN.

Los sistemas de información que se tienen actualmente en el caso de estudio aportarían insumos en cuanto a variables para la ubicación eficiente de reconectores, se tienen un Planeador de Mantenimiento, un sistema de Gestión Operativa y el archivo de criticidad de circuitos de nivel de tensión 2 donde se ve el comportamiento del sistema de calidad.

2.1.1 Sistema SPARD. Es un sistema para administrar las redes de distribución, pues posee funciones de edición de componentes de las redes; contiene información georeferenciada de las líneas y redes de los niveles de tensión 1, 2, 3 y 4 correspondientes en nuestro caso a 0,12/0,24 kV, 13.2 kV, 33 kV y 115 kV respectivamente. También permite correr aplicaciones de ingeniería como son flujos de carga, análisis de corrientes de corto circuito, reconfiguración de redes y realizar consultas gráficas tanto de componentes de las redes como de resultados obtenidos de sus aplicaciones.

La información que se posee en este sistema se resume a continuación:

- Subestaciones
- Barrajes

- Alimentadores
- Nodos físicos
- Nodos eléctricos
- Transformadores
- Suiches o equipos de seccionamiento
- Tramos de redes
- Macromedidores
- Clientes.

De acuerdo con lo informado por el proceso que tiene a cargo el mantenimiento de este sistema dentro del caso de estudio, la calidad de la información es del 94%, para lo cual se desarrollan actividades para mejorar la información de los transformadores y el amarre o vinculación de clientes a la red. Además se tiene un sistema que se alimenta del SPARD, que permite la consulta gráfica de las redes de distribución a través de la WEB, por lo que es una herramienta de apoyo para la ubicación de componentes y realizar consultas espaciales.

También posee funciones para apoyar la operación del sistema, como son el coloreado dinámico de la red, con el cual se indica si un circuito está fuera de operación.

2.1.2 Sistema de Gestión de la Operación (SGO) del Operador de Red en estudio. Es el sistema para la gestión de la información operativa, al cual se le incorporan las órdenes de servicio a partir de las llamadas de clientes al Call Center, también es el sistema para el manejo de órdenes de operación, que son aquellas que se generan cuando es requerida una operación sobre un circuito o un componente de la Red.

Este sistema importa información de componentes de la red y clientes desde el sistema SPARD, con la cual genera el vínculo entre un evento y un componente del sistema o un cliente.

Este sistema también recibe eventos del SCADA, a partir de los cuales, se crean órdenes de servicio cuando es requerida una acción en un componente en falla.

Permite el registro de un evento a un circuito o a partir de un seccionador, un tramo de red, un transformador o un cliente con su respectiva causa de falla (según requerimiento regulatorio). No necesariamente la causa queda asignada al componente fallado.

Este sistema alimenta el aplicativo para calidad del servicio, que se menciona posteriormente.

También permite el registro de información de novedades del sistema de información geográfico para su actualización.

2.1.3 Aplicativo de Calidad del Operador de Red en estudio. Es una aplicación para el proceso de información de calidad del servicio que se debe reportar al ente regulador (CREG) y a los comercializadores de la energía.

Como se comenta antes, recibe los eventos de Sistema de Gestión de la Operación (aperturas y cierres) que se presentan a partir de un punto de la red (tramo, suiche, seccionador), importa la topología de las redes del sistema Spard y ejecuta los algoritmos que identifican los circuitos, transformadores y clientes afectados ante una secuencia de eventos.

La calidad de la información que se genera con esta herramienta, depende de la calidad de la información que se tenga en los sistemas anteriores descritos.

2.1.4 Gestor de Información de Mantenimiento del Operador de Red en estudio. Es un sistema para apoyar el trámite de información de órdenes de trabajo con el personal de campo, pues permite interactuar con terminales portátiles remotas tales como PDA o TPL, permitiendo enviar y recibir información de órdenes de trabajo como son nodos de ubicación, detalles de trabajos o actividades, materiales empleados. Este sistema permite el registro de modos o causas de falla.

2.1.5 Sistema Quantum GIS. Es una herramienta la cual se está usando para manejar la información del sistema para la gestión forestal que está en construcción. Es muy limitada para la gestión de la información que se posee por lo que se limita su uso a la visualización de la información que se está recolectando.

2.1.6 Sistema ERP (JD EDWARDS). Es el planeador de recursos empresariales (ERP), el cual posee un módulo de mantenimiento que permite gestionar las órdenes de trabajo a través de diferentes estados desde su creación como son: solicitud, aprobación, planeación, programación y posterior ejecución.

Este sistema relaciona la orden de trabajo con los equipos o componentes del sistema, aunque para redes de distribución solo se tiene hasta nivel de circuito primario o secundario, por lo que no es posible registrar la información a nivel de componente o subcomponente.

Cuando la orden está aprobada, permite llevarla a un estado de planeación, el cual consiste en asignarles recursos como son materiales desde sus respectivas bodegas, servicios, grupos de trabajo tipo; permitiendo obtener el costo planeado de la orden de trabajo.

Una vez la orden de trabajo está planeada es posible pasarla a un estado de programación en la cual permite que sean retirados de bodega los respectivos materiales y causar servicios; posteriormente permite la ejecución, que consiste en el registro de los tiempos empleados en la orden de trabajo por cada integrante del

respectivo grupo de trabajo. También se podrán hacer las devoluciones materiales no empleados.

A este sistema se la han determinado las siguientes dificultades por parte de sus usuarios.

No es apto para el registro de información masiva como es el caso de la de daños y emergencias que se maneja en la Empresa, ya que se requiere registrar gran cantidad de información por orden de trabajo, por lo que lo ideal es que se le pueda importar la información que se registra en campo a través de un elemento digital.

No presenta una configuración de componentes y subcomponentes de las redes de distribución, por lo que las órdenes de trabajo se deben asignar a todo el circuito primario o todo el circuito secundario.

Existen restricciones en la Empresa con respecto al desarrollo o mejora de las interfaces que pueden facilitar la gestión del sistema.

2.1 IDENTIFICACIÓN DE LA INFORMACIÓN DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN PARA EL ALGORITMO DE UBICACIÓN DE RECONECTADORES.

De los sistemas de información anteriormente descritos, se recogen las siguientes variables:

- ❖ Información georreferenciada de elementos de red, topología de circuitos tal como longitud, usuarios, tipo de conductores, flujos de carga y corrientes de corto circuito.
- ❖ Maniobras en activos eléctricos, reportes de falla y componente fallado, tiempos de reparaciones, desplazamientos y actividades.
- ❖ Información completa de calidad del servicio de todos los niveles de tensión de los activos del sistema de energía, indisponibilidades a nivel de usuario, componente, sistema y subsistema.

- ❖ Costos de mantenimiento, información detallada de ejecución de mantenimiento, mano de obra y materiales reales gastados, reporte de causas de falla por componente, descripción de topografía de la zona de influencia del caso de estudio.
- ❖ Información caracterizada de vegetación en cercanía a las redes de energía.
- ❖ Histórico de ejecución de mantenimiento con mano de obra y materiales causados.

3 CAPÍTULO III. INTEGRACIÓN DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN PARA LA UBICACIÓN EFICIENTE DE RECONECTADORES

Este capítulo presenta el diagnóstico del estado actual de las fuentes de información existentes de los sistemas de información de las empresas del sector eléctrico en Colombia desde la perspectiva de la calidad del servicio, para lo cual se desarrolla un diagnóstico de las fuentes de información y se validan estrategias orientadas a mejorar la calidad de la información que permitan la aplicación de metodologías para la ubicación eficiente de equipos en los sistemas de distribución local (SDL).

3.1 DIAGNÓSTICO DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN.

Asociado a la calidad del servicio, las empresas del sector eléctrico manejan fuentes de información como se indican en el Capítulo II. Los datos de los equipos están asociados con su clasificación técnica y operativa y determinan los datos que se deben recolectar en el Sistema de Gestión de la Operación en la ocurrencia de una interrupción.

En algunas empresas del sector eléctrico el sistema encargado de almacenar los atributos y datos de los equipos es el sistema AREDES. Este sistema almacena información de los activos de la red y de sus relaciones topológicas y es administrado a través del software SPARD. En el sistema AREDES los equipos y sus características son clasificados como tablas de inventarios entre las cuales se clasifican los siguientes aspectos: TRANSFOR, SWITCHES, LVLINSESEC, MVLINSESEC. Las cuales muestran básicamente almacenan información asociada a los datos de operación del equipo (p.ej. capacidad, nivel de tensión, pérdidas de energía, etc). Por otro lado, muy poca información es almacenada sobre los atributos del equipo como son la fecha de fabricación, fecha de instalación, características de diseño, fabricante, periodo de vida útil, entre otros, que permitirán

a las empresas del sector tener atributos para el diseño de planes de reposición de activos y mantenimiento preventivo. [16]

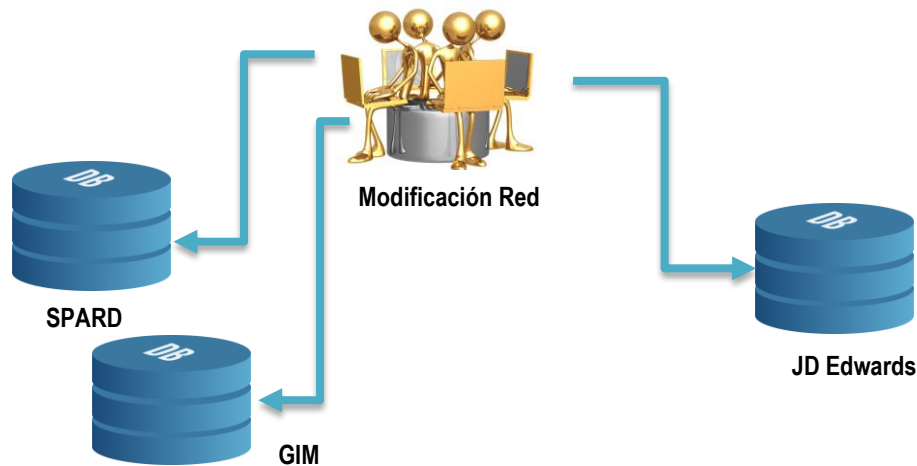
Por lo anterior las Empresas del Sector Eléctrico incorporan sistemas de gestión de mantenimiento (JD EDWARDS), el cual permite gestionar órdenes de trabajo de mantenimiento correctivo, preventivo de equipos y componentes. Desde el punto de vista de las aplicaciones de las metodologías para la ubicación optima de reconectores en el sistema de distribución, este debería administrar información relacionada con descriptores de causas de fallas y asociadas con el sistema SPARD que permita establecer la ubicación geográfica del componente o equipo que presento alguna anomalía.

Ahora bien un sistema de información que permita obtener datos para la aplicación de metodologías de ubicación eficiente de reconectores debe cumplir el objeto para lo cual ha sido diseñado si cuenta con datos completos, organizados y consistentes. A hoy las empresas del sector eléctrico son dinámicas debido a las exigencias regulatorias que vienen cambiando constantemente, por lo que los sistemas de información se encuentran dispersos ya que se desarrollan considerando necesidades particulares. Como consecuencia de lo anterior se presentan datos duplicados entre los sistemas, esto puede verse reflejado en las órdenes de trabajo que se encuentran en el SGO como en JD Edwards, aunque puede presentar diferente nivel de detalle por la plataforma seleccionada.

Ahora bien dado que el sistema SPARD no contiene toda la información de la relación componentes/subcomponentes, es necesario crear un proceso de sincronización en el cual la instalación, creación o modificación de un componente eléctrico en SPARD sea reflejada en el sistema JD Edwards y adicionalmente se garantice la creación de sus relaciones con los subcomponentes o partes detalladas. Como un componente eléctrico debe existir tanto en AREDES como en

JD Edwards, se debe tener en cuenta la importancia de unificar la codificación utilizada en todos los sistemas. Lo anterior puede ser reflejado en la 4.

Figura No. 4. Gestión de Diferentes Tipo de Componentes



Fuente: [16]

Lo anterior, nos permite identificar que las empresas del sector eléctrico pueden contar con diferentes bases de datos que no posee codificación estandarizada, lo que dificulta la aplicación de metodologías o modelos que ayuden a las empresas gestionar de una manera oportuna la mejora de la calidad del servicio.

3.2 IDENTIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS PARA IMPLEMENTAR METODOLOGÍAS DE UBICACIÓN EFICIENTE DE RECONECTADORES.

Para una evaluación objetiva del estado actual de las fuentes de información disponibles en las empresas de energía eléctrica que permiten aplicar las metodologías planteadas en este documento es necesario realizar una revisión en la literatura especializada que soporta los sistemas de distribución. Por lo anterior, a continuación se realizara una discriminación de las variables que se consideran necesarias que tengan los sistemas de información que permitan la aplicación de las metodologías de ubicación de reconectadores que fueron descritas en el capítulo I.

3.2.1 Información del Sistema SPARD. Este sistema almacena información de los activos de la red y de sus relaciones topológicas e identifica variables de entrada de las metodologías planteadas como: Subestación de distribución, alimentadores de distribución, interruptores, seccionadores, equipos existentes en la red, longitud de las líneas, tipo de conductores, capacidad nominal de corriente de los conductores, entre otros. Pero se ve limitado en datos relacionados con subcomponentes y componentes debido a la estructura que solo permite información de componentes eléctricos de la red basado en la ubicación.

Aunque debemos considerar que los procesos de consulta, filtros e instrucciones de programación aplicados a minería de datos no son los más aconsejados cuanto se intenta organizar los datos de ingresos que requieren los modelos planteados.

3.2.2 Información del Sistema de Gestión de la Operación (SGO). Uno de los objetivos principales del SGO es el de reunir información de eventos de interrupciones asociado a órdenes programadas y no programadas del sistema de distribución. Los parámetros que pueden obtenerse son: promedio de salida de ramales y líneas, número total de salidas de un circuito, número de salidas planeadas y no planeadas, tipo de falla, descripción de falla, entre otras. Aunque este sistema no permite realizar un análisis de causa raíz lo que limita al modelo en tener información confiable de causas y modos de falla, lo cual afecta negativamente la calidad de los datos recolectados para fines de análisis dentro de las metodologías planteadas.

Es claro que los SGO son desarrollados por las empresas de energía eléctrica considerando las modificaciones o exigencias regulatorios, lo que genera que los procesos de consulta sean por medio de filtros que pueden provocar errores al ingreso de los parámetros de los modelos.

3.2.3 Información del sistema JD EDWARDS. El sistema JD EDWARDS incorpora un sistema de gestión de mantenimiento que permite gestionar órdenes de trabajo, mantenimiento correctivo y preventivo y equipos y componentes. Desde el punto de vista de la información que requiere el modelo para la ubicación de reconectadores debe incluir información relacionada con atributos de los equipos, componentes, subcomponentes, mantenimiento en general y descriptores, causas de fallas las cuales deben estar asociadas a la ubicación geográfica de todos los componentes y subcomponentes de la red eléctrica.

Es de importancia para el modelo que se gestione las hojas de vida, población, vida útil y característica técnicas de los equipos componentes del sistema los cuales no son tenidos en cuenta en el sistema de información actual.

3.2.4 Información del Aplicativo de Calidad. Las empresas del sector eléctrico evalúan por medio de aplicativos los cuales son alimentados de todos los sistemas de información el marco del esquema regulatorio nacional (resolución CREG 097 de 2008), enfocada en compontes de calidad, confiabilidad y desarrollo sostenible.

3.3 METODOLOGÍA DE UBICACIÓN SELECCIONADA DE ACUERDO A LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN EN ESTUDIO.

Después de analizar la literatura especializada que soporta los sistemas de distribución, se estima que la herramienta que más se adapte para definir acciones remediales como ubicación de equipos en el sistema de distribución es la implementación de una Red Neuronal Artificial que asista el proceso de identificación de la causa del evento no programada asociado al componente y permita identifica medidas remediales. El objetivo es que la red neuronal artificial encuentre la tendencia de falla en el componente correlacionando variables de entrada como: nodos del sistema, tramos de red, capacidad del conductor,

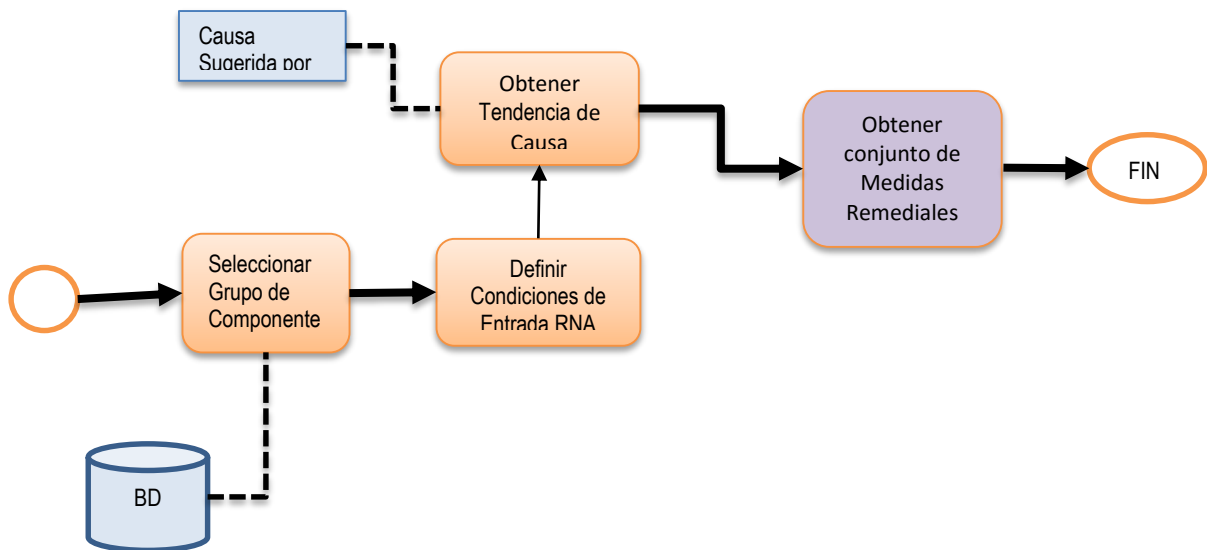
condición climática, Demanda No Atendida (DNA), número de usuarios afectados, entre otros y que sugiera: aspectos técnicos relacionados con los medios de comunicación a utilizar en los punto remediales.

Algunas de estas informaciones se encuentran adecuadamente clasificadas en los sistema de información descritos anteriormente, Sin embargo, para efectos de minimizar la complejidad matemática involucrada en el proceso de clasificación de información, entrenamiento y desempeño de la red, algunas de estas variables (energía no servida y número de usuarios afectados) deben ser tipificadas. [16].

Es claro que esta red neuronal artificial debe ser entrenada periódicamente para mantener actualizado el desempeño de la red o se puede considera una red adaptiva que sólo requiere un primer entrenamiento inicial con datos históricos.

A continuación, en la figura 5. Se muestra la utilización de la red neuronal artificial y entrenada para sugerir un conjunto de medidas remediales:

Figura No. 5. Utilización de la red neuronal artificial



Fuente: [16]

3.3.1 Análisis de Aplicabilidad y Recomendaciones sobre la Metodología Seleccionada. Frente al análisis realizado de la aplicabilidad de metodologías y métodos para la ubicación eficiente u óptima de equipos (reconectores) en los sistemas de distribución, observamos que los datos que se requieren por parte del modelo presentan una uniformidad en todos los casos, solo cambia la aplicación del desarrollo de los cálculos para llegar o estimar un resultado.

Con el análisis que se realizó de cada uno de los métodos identificados en la literatura especializada, observamos que la metodología basada en una red neuronal artificial es la que más puede ajustarse a los sistemas de información del sistema de distribución del operador de red en estudio. Lo anterior, está basado en que el modelo puede entrenarse con históricos que le permiten adecuarse a los cambios en los reportes de información considerando aspectos de mantenimiento y/o reposición de los componentes del sistema eléctrico de potencia que permite mejorar los indicadores de calidad del servicio.

Es de anotar que los resultados que se pueden obtener con la aplicación de cada uno de los métodos, dependerán de la confiabilidad de los datos entregados al modelo, es por esto que la literatura recomienda que las bases de datos estén integradas y automatizadas para entregas de reportes que permitan dar mayor confiabilidad a los modelos.

4 CAPÍTULO IV. EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL CASO DE ESTUDIO.

La regulación por incentivos ha tomado fuerza en los últimos años. El regulador Colombiano ha acogido este tipo de regulación en la parte correspondiente a calidad del servicio y en consecuencia ha dictado la resolución 097 de 2008 y sus complementos 043 y 067 de 2010.

En estas resoluciones la CREG ha establecido un método de incentivos tarifarios, en la parte de cargos por uso al operador de red, que incrementan las ganancias del operador si este mejora la calidad de servicio con respecto a los años de referencia (2006 y 2007), pero disminuye los cargos por uso cuando esta calidad haya disminuido con respecto a los años de referencia mencionados.

En primera instancia no se tenía definida una metodología estandarizada o conocida para realizar la ubicación actual de los equipos de corte en el operador de red, por lo anterior se llegó a deficiencias en la operación de los equipos por la falta de comunicación, falta de accesibilidad para maniobra local debido a la topografía del caso de estudio, siendo así se desarrolló bajo los criterios que se tienen a continuación.

4.1 CRTERIO DE SELECCIÓN DE EQUIPOS.

Ubicación de los puntos a lo largo del circuito para tener una idea clara de cuantos se requieren y la cercanía entre ellos, se tiene en cuenta las siguientes consideraciones:

- ✓ Saber la cantidad de usuarios afectados al momento de presentarse una falla por medio del procedimiento según resolución CREG 097 por cada circuito.

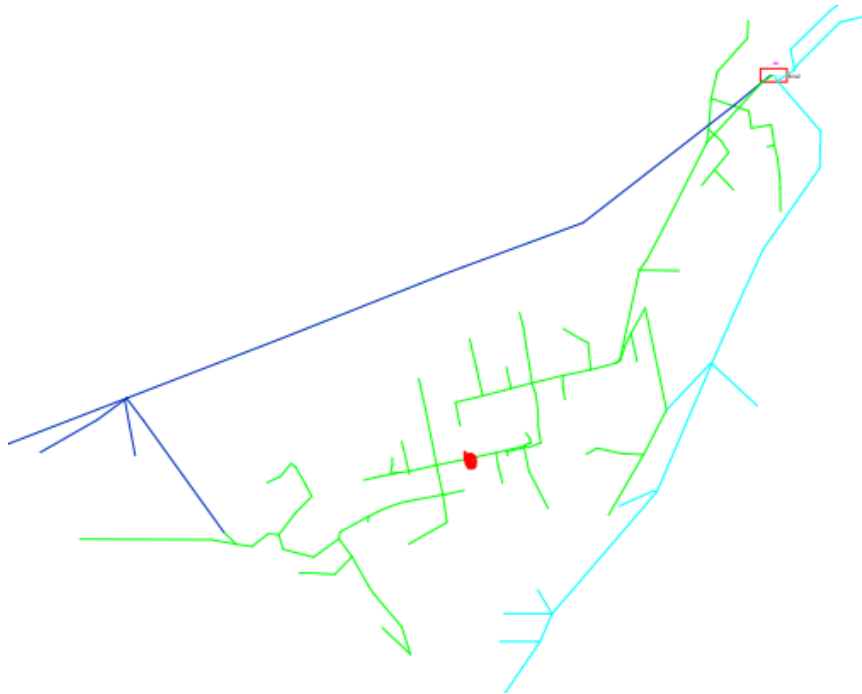
- ✓ Se tiene en cuenta el criterio de las personas que trabajan el día a día (campo) ya que pueden dar señales de los posibles puntos que presentan salidas recurrentes.
- ✓ En general se asigna reconectador en los circuitos que no presentan transferencias de carga o que no tienen posibilidades de suplencia ante fallas.
- ✓ Revisión de las secciones con elementos de conmutación (“aisladeros”) existentes en el circuito, con el fin de verificar si se requiere o no instalar un equipo nuevo.
- ✓ A los puntos que se encuentran sobre la troncal principal en un circuito que no tiene interconexiones o ramales se le debe asignar un reconectador, ya que no se cuenta con un segundo punto de medida exigido por la Resolución 043.
- ✓ Si el nodo se encuentra muy cerca a S.E se decide no asignar equipo ya que el que está en S.E cumple con los requisitos de corte y protección.
- ✓ Revisión por parte del proceso encargado de validar características de los materiales existentes en los circuitos, fases y existencia de neutro en la red, además de las capacidades de las magnitudes de las corrientes.

Finalmente se realizan los montajes siguiendo las recomendaciones anteriores, a lo largo del tiempo se han observado fallas en la comunicación entre el centro de control y el equipo reconectador básicamente porque no se hicieron pruebas de telecomunicaciones para verificar la intensidad de la señal en el punto, de igual forma el equipo ejecutor y mantenedor de los circuitos encontró que se debe tener en cuenta las características topográficas del sitio y el acceso al mismo.

4.1.1 Caso de estudio. En esta sección se hace el análisis a un circuito llamado V1 de la subestación MR ubicado en una zona altamente montañosa y catalogada como rural.

En la siguiente figura se muestra el circuito del caso de estudio el cual cuenta con alta densidad de fallas en el punto rojo, es allí donde se decide instalar un reconector automático, encontrando después de un tiempo que dicho equipo no tenía comunicación para realizar maniobras remotas. La mejor solución al problema que se presentó fue la reubicación del equipo en apoyos antes o después donde se hizo pruebas de telecomunicaciones siendo satisfactorias, de igual forma se presentó un sobre costo de ejecución dado que se reubicó el equipo de corte en otro apoyo.

Figura No. 6. Circuito Rural V1



Finalmente la solución metodológica multiobjetivo que se ha venido utilizando en el caso de estudio aporta sitios de instalación de equipos pero al implementarlo se encontró que habían restricciones tales como comunicación, parámetros de distancias de tramos de red y accesibilidad a los sitios, aunque se vio una disminución en los índices de calidad, se obtuvo sobrecostos en personal que opera y mantiene el equipo instalado, por lo anterior se asocian las red neuronales artificiales que permitirán alimentar con restricciones e ir actualizándolas para que los resultados en el caso de estudio sean adecuados.

Hay ventajas con la correcta ubicación de reconectores ya que se disminuyen los tiempos de búsqueda de fallas en circuitos de longitudes muy grandes debido a que éste es fácilmente seccionable y no es necesario realizar ensayos empíricos con fusibles, de igual forma se vio que los clientes del caso de estudio mejoraron la imagen de su operador de red toda vez que el servicio se restablece de forma más oportuna.

5 CONCLUSIONES

- ✓ Se encontró que es necesario que todos los operadores de red tengan bien documentada la información del comportamiento de su sistema ya que al tener mayor cantidad de variables para la toma de decisiones, hace que el resultado sea más eficiente y apunte al mejoramiento de los índices de calidad y a un mayor desempeño de los activos.
- ✓ Se considera que todos los métodos estudiados pueden ser utilizados por las empresas del sector eléctrico para la ubicación de equipos en la red que permita mejorar la calidad de servicio.
- ✓ Se vio que la implementación de reconectores automáticos en las redes de energía son muy importantes dado que al hacerlo metodológicamente puede disminuir las indisponibilidades y la demanda no atendida, disminuciones de los tiempos de búsquedas de fallas debido a que al seccionar inteligentemente las redes de energía se atienden las emergencias de manera más óptima y da satisfacción a los clientes del operador de red.
- ✓ Aunque los modelos y/o metodologías de ubicación óptima o eficiente de equipos en la red presentan unos resultados basados en datos estadísticos de las bases de datos de las empresas del sector, se considera incluir otras restricciones a los modelos como son los sistemas de comunicación que permitan disminuir los costos de traslados de los equipos por fallas constantes de comunicación.
- ✓ Es de gran importancia conocer e integrar a los modelos los aspectos técnicos o de restricciones operativas que no se identifican en los sistemas de operación.

- ✓ Se concluye con la realización de esta monografía, que quien requiera herramientas y metodologías para la ubicación eficiente de reconectores puede seleccionar sus variables propias de su sistema y aplicarlas adecuadamente para obtener resultados esperados en la mejora de la calidad del servicio.

BIBLIOGRAFÍA

A.B.G. Ferreira. "A nonlinear binary programming model for electric distribution System". Electrical Power and Energy Systems. Vol 5 No. 1. December 2012. [10]

A.T.S, E.B.S. D, Farsihid Daraba. "Reliability Cost Allocation of protective devices Using Binary Programming" IEEE Symposium of Business, Engineering and Industrial Applications. Malaysia 2011. [8]

D.E.Goldberg. "Genetic Algorithms in search optimization and machine learning". Addison Wesley Reading, Mass. 1989. [12]

Desarrollo de un Plan de Acción en Ingeniería para la Calidad del Servicio en el Aspecto de Continuidad, Convenio Interadministrativo No. 033.010. del 2010. [16]

Estudio de reconfiguración del Sistema de distribución local a 13,2 kV de CHEC, Convenio Interadministrativo No. 015.013. del 2013. [11]

Estudio de reconfiguración del Sistema de distribución local a 13,2 kV de CHEC, Convenio Interadministrativo No. 015.013. del 2013. [15]

KAGAN N., Prieto H., Barioni C, Robba J., "Otimização da Qualidade de Fornecimento pela Localização de Dispositivos de Proteção e Seccionamento em Redes de Distribuição", Anais do II Seminário Brasileiro Sobre Qualidade de Energia Elétrica (Digital -CD), 16 a 19 de Novembro de 1997, São Lourenço – MG [2]

Kagan, N.; Oliveira, C.C.B., "Goal planning and risk analysis for distribution reliability indices," in Electricity Distribution, 2001. Part 1: Contributions. CIRED. 16th International Conference and Exhibition on (IEE Conf. Publ No. 482) , vol.2, no., pp.6 pp. vol.2-, 2001. [5]

L.R.G.M.D.N. Dragran S. Popovic. "The optimal Automation level of médium voltaje distribution networks". Electric Power and Energy Systems. Vol 33 No. 1. March 2011. [9]

MONTOYA GIRALDO, Danilo. Ubicación óptima de reconectadores y fusibles En sistemas de distribución de energía para el mejoramiento de índices de confiabilidad. Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Ingenierías, Programa de Ingeniería Eléctrica, 2014. [1]

N.W.J.H.D.W.C Rosawan Bupasiri., "Optimal Electric Power Distribution System Reliability Indices Usisng" Reliabilituy and Maintainability Symposium, 2003 [3]

R.A.P.J.R.M Luis G. da Silva. "Allocation of protective devices in distribution circuits using nonlinear programming models and genetic algorithms". Electric Power System Research, Vol 1 No. 69. April 2004. [6]

R.P.J.M.L.G. Wez da Silva. "Optimased Allocation of Sectionalising Switches and Protection Devices in Distribution Networks by Using a Reactive Tau Search Algorithm". 18th International Conference on Electricity Distributtion. Turin – Italy 2005. [7]

Soudi F., Tomsovic K., "Optimal Trade-Offs in Distribution Protection Design", IEEE Transactions on Power Delivery, April 2001, pp 292-296. [4]

TORO GIRALDO, Carolina. HINCAPIE, Ricardo. GALLEGO, Ramón. "Ubicación Óptima de Elementos de Protección en Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica". Scientia et Technica Año XVI, No 48, Agosto de 2011. [14]

Z.Michalewicz. "Genetics Algoritms + data structure evolution programs". Artificial intelligence, Springer, Berlin 1996. [13]