



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

UNIDAD ACADÉMICA PROFESIONAL TIANGUISTENCO

Minimización de cableado de servicios
residenciales aplicando algoritmos genéticos

Tesis

Para obtener el título de
Ingeniero de Software

Que Presenta

Martín Martínez Álvarez

Asesor:

Dr. René Arnulfo García Hernández

Coasesora:

Dra. Yulia Nikolaevna Ledeneva

TIANGUISTENCO, MÉX.

13/Septiembre/2023

Resumen

Para este trabajo se utilizaron dos ramas de investigación. Por un lado: se encuentra las ciencias computacionales y por otro la rama de electricidad domestica e industrial. Utilice estos aspectos para poder afrontar el problema de cableado de servicios residenciales. Donde se describen conceptos técnicos sobre redes de cableado, distribución de cableado y factores técnicos de electricidad. Mientras tanto en el ámbito computacional se aplican los algoritmos genéticos y algunos aspectos de matemáticas discretas.

En un inicio se enlistaron todos los posibles algoritmos de optimización de redes de cableado, obteniendo como resultado que los algoritmos utilizados se enfocan en aspectos de optimización a nivel industrial y de alta tensión en redes eléctricas. Por el momento no se cuenta con algún algoritmo de optimización a niveles bajos de tensión (uso doméstico). Por esa razón decidí aplicar los algoritmos genéticos mediante un modelado de red de poliducto previamente instalado en una residencia, aplicando el uso de grafos. Según la optimización que se requiere, el tipo de modelo y las investigaciones previas sobre minimización de recursos es una opción adecuada.

Posteriormente obtuve una recopilación de los trabajos realizados donde se creó un diseño de la función de aptitud y según la complejidad del problema se utilizó una función con dos objetivos. El primer objetivo: busca obtener el número mínimo de nodos demanda desconectados y el segundo minimiza la cantidad de cableado utilizado para las conexiones. Este múltiple objetivo asegura que la red de cableado propuesta por el algoritmo sea eficiente y pueda ayudar a la toma de decisiones del experto humano. Una vez creada la función de aptitud se hicieron experimentaciones para revisar la funcionalidad del método y de esta manera generar los ajustes de los parámetros en los operadores. Al mismo tiempo en las experimentaciones se crearon comparaciones con un experto humano en el cableado de servicios residenciales, durante las experimentaciones se pudo validar que el modelado del problema aplicado al cableado de servicios es el correcto y mediante el uso de estas herramientas computacionales se puede obtener mejores resultados. Esta propuesta de tesis permite adicionar subprocesos de mejora al proceso actual de cableado de servicios. En base en los resultados obtenidos se pretende ayudar a la toma de decisiones de los expertos humanos y de esa manera ofrecer un respaldo documentado sobre la forma actual de cableado. Además de los aspectos técnicos que se adicionan, también se genera una oportunidad de negocio, la cual permite ahorrar material utilizado, tiempo de instalación y mejorar la satisfacción al cliente final.

DEDICATORIA	2
RESUMEN	3
LISTA DE FIGURAS.....	I
LISTA DE TABLAS	III
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	4
1.1 Planteamiento del problema	6
1.2 Objetivos	6
1.2.1 Objetivo general	6
1.2.2 Objetivos específicos.....	7
1.3 Hipótesis.....	7
1.4 Justificación.....	7
1.5 Delimitación	8
1.6 Estructura de la tesis	8
CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO.....	10
2.1 Servicios residenciales y sus elementos.	10
2.2 Electricidad, redes de cableado, factores de error y nodos consumidores	12
2.3 Matemáticas discretas.....	15
2.4 Algoritmos Genéticos y sus elementos.....	15
. CAPÍTULO 3. ESTADO DEL ARTE	18
3.1 Aplicación de algoritmos genéticos al problema de planificación de sistemas eléctricos de distribución. ..	18
3.2 Optimización de redes eléctricas mediante aplicación de algoritmos genéticos.....	22
3.3 Optimización de redes de comunicación por cable, un enfoque multiobjetivo	24
CAPÍTULO 4. MÉTODO PROPUESTO	30
4.1 Descripción de la metodología para instalar el cableado eléctrico por parte de un experto humano.....	30
4.2 Etapas del método propuesto.....	32
4.3 Modelo de codificación de la red de poliducto.....	33
4.4 Función de aptitud.....	35
4.5 Parámetros y Operadores del Algoritmo Genético	37
4.6 Diagramas de flujo Algoritmo Genético.....	38
CAPÍTULO 5. EXPERIMENTACIÓN.....	43
5.1 Primer caso de evaluación de plano eléctrico residencial.....	43
5.1.1 Evaluación línea negativa para el plano eléctrico de la figura 5.3.....	45
5.1.2 Evaluación línea positiva para el plano eléctrico de la figura 5.7.....	49

5.1.3 Evaluación línea negativa para el plano eléctrico de la figura 5.10.....	52
5.2 Segundo caso de evaluación de plano eléctrico residencial.....	56
5.2.1 Evaluación línea positiva para el plano eléctrico de la figura 5.15.....	58
5.2.2 Evaluación línea positiva para el plano eléctrico de la figura 5.17.....	61
5.2.3 Evaluación línea positiva para el plano eléctrico de la figura 5.21.....	63
5.2.4 Evaluación línea positiva para el plano eléctrico de la figura 5.24.....	67
5.3 Tercer caso de evaluación de plano eléctrico artificial.....	71
. CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES.....	75
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	78
ANEXOS	80

Lista de figuras

Figura 3 1 Codificación para la representación de un árbol en un arreglo de valores enteros.	20
Figura 3 2 Grafo 2: representación de la solución.....	21
Figura 3 3 Grafo 1: representación del problema.....	21
Figura 3 4 Gráfica de convergencia	21
Figura 3 5 Grafo binario que representa el modelado del problema de optimización de redes de cableado.	26
Figura 3 6 Gráfica de resultados algoritmo genético de optimización de redes de cableado.....	27
Figura 4 1 Proceso actual para el cableado de una red eléctrica aplicado por un experto humano.....	31
Figura 4 2 Método propuesto para el mejoramiento del proceso de cableado de una red eléctrica.	32
Figura 4 3 Grafo de una red de poliducto de una residencia con identificador numérico y distancias de cada arista.....	34
Figura 4 4 Diagrama de flujo general algoritmo genético MCS.	38
Figura 4 5 Diagrama de flujo de operador de cruza.	39
Figura 4 6 Diagrama de flujo de operador de selección.....	40
Figura 4 7 Diagrama de flujo operador de mutación por inversión.	41
Figura 5 1 Plano eléctrico residencial casa número 1.	44
Figura 5 2 Representación de la red de poliducto ya instalada en una residencia. Modelada mediante un grafo.	44
Figura 5 3 Nodos demanda a conectar con cable negativo por el algoritmo MCS. Los recuadros de color rojo son los nodos a conectar.....	45
Figura 5 4 Grafica de resultados algoritmo genético MCS.....	47
Figura 5 5 Resultado de red de cableado del Algoritmo Genético MCS. Las líneas rojas representan la solución obtenida en la ejecución. Los recuadros de color rojo son los nodos a conectar.	47
Figura 5 6 Representación gráfica solución experto humano. Las líneas de color azul representan la solución de experto humano. Los recuadros de color rojo son los nodos a conectar.....	48
Figura 5 7 Solución experto humano para 22 nodos demanda. Las líneas de color azul representan la solución por experto humano. Los recuadros de color rojo son los nodos a conectar.	49
Figura 5 8 Resultado del algoritmo genético MCS para 22 nodos demanda de línea positiva. Las líneas de color rojo representan la solución del algoritmo. Los recuadros de color rojo son los nodos a conectar.	50
Figura 5 9 Gráfica del algoritmo genético para evaluación de 22 nodos demanda de línea positiva.....	51
Figura 5 10 Solución experto humano para 38 nodos demanda. Las líneas de color azul representan la solución del experto humano. Los recuadros de color rojo son los nodos a conectar.	52

Figura 5 11 Resultado del algoritmo genético MCS para 38 nodos demanda de línea negativa. Las líneas de color rojo representan la solución del algoritmo MCS. Los recuadros de color rojo son los nodos a conectar.....	53
Figura 5 12 Gráfica del algoritmo genético para evaluación de 38 nodos demanda de línea negativa.....	54
Figura 5 13 Plano eléctrico residencial casa número 2.	56
Figura 5 14 Grafo de distribución de red de poliducto de residencia número 2.....	57
Figura 5 15 Solución experto humano para 14 nodos demanda. Las líneas de color azul representan la solución propuesta. Los recuadros de color rojo son los nodos a conectar.....	58
Figura 5 16 Resultado del algoritmo MCS para 14 nodos demanda de línea positiva. Las líneas de color rojo representan la solución obtenida por el algoritmo. Lo recuadros de color rojo representan los nodos demanda a conectar.....	59
Figura 5 17 Gráfica del algoritmo genético para evaluación de 14 nodos demanda de línea positiva.....	60
Figura 5 18 Solución experto humano para 29 nodos demanda. Las líneas de color azul representan la solución del experto humano. Los recuadros de color rojo representan los nodos a conectar.....	61
Figura 5 19 Resultado del algoritmo genético MCS para 29 nodos demanda de línea positiva. Las líneas de color rojo representan la solución del algoritmo. Los recuadros de color rojo representan los nodos demanda a conectar.	62
Figura 5 20 Gráfica del algoritmo genético para evaluación de 29 nodos demanda de línea positiva.....	63
Figura 5 21 Solución experto humano para 14 nodos demanda. Las líneas de color azul representan la solución del experto humano. Los recuadros de color rojo representan los nodos a conectar.....	64
Figura 5 22 Resultado del algoritmo genético MCS para 14 nodos demanda de línea positiva. Las líneas de color rojo representan la solución del experto humano. Los recuadros de color rojo representas los nodos a conectar.	65
Figura 5 23 Gráfica del algoritmo genético para evaluación de 14 nodos demanda de línea positiva.....	66
Figura 5 24 Solución experto humano para 34 nodos demanda. Las líneas de color azul representan la solución del experto humano. Los recuadros de color rojo representan los nodos demanda a conectar.	67
Figura 5 25 Resultado del algoritmo genético MCS para 34 nodos demanda de línea negativa. Las líneas de color rojo representan la solución del algoritmo. Los recuadros de color rojo representan los nodos demanda a conectar.....	68
Figura 5 26 Gráfica del algoritmo genético para evaluación de 34 nodos demanda de línea negativa.....	69
Figura 5 27 Plano de Red artificial.....	71
Figura 5 28 Gráfica de resultado de algoritmo MCS.	72
Figura 5 29 Resultado del algoritmo MCS. Las líneas de color rojo representan la solución obtenida por el algoritmo.	73

Lista de tablas

Tabla 3 1 Parámetros del algoritmo genético.....	27
Tabla 3 2 Resultados de algoritmo genético de optimización de cableado.....	28
Tabla 4 1 Codificación del individuo del algoritmo genético.....	34
Tabla 4 2 Adyacencia del grafo de red de poliducto con valores de distancia.....	35
Tabla 4 3 Descripción de formulación de porcentaje de decremento.....	36
Tabla 4 4 Aplicación del formula de porcentaje de decremento.....	37
Tabla 4 5 Resultado de fórmula de porcentaje de decremento.....	37
Tabla 5 1 Resultado algoritmo MCS.....	46
Tabla 5 2 Matriz de adyacencia resultante de la ejecución del algoritmo MCS.....	46
Tabla 5 3 valores de ajuste del algoritmo MCS.....	46
Tabla 5 4 Valores de ajuste del algoritmo MCS.....	50
Tabla 5 5 Resultado algoritmo MCS.....	51
Tabla 5 6 Valores de ajuste del algoritmo MCS.....	53
Tabla 5 7 Resultado algoritmo MCS.....	54
Tabla 5 8 Valores de ajuste del algoritmo MCS.....	59
Tabla 5 9 Resultado algoritmo MCS.....	60
Tabla 5 10 Valores de ajuste del algoritmo MCS.....	62
Tabla 5 11 Resultado algoritmo MCS.....	63
Tabla 5 12 Valores de ajuste del algoritmo MCS.....	65
Tabla 5 13 Resultado algoritmo MCS.....	66
Tabla 5 14 Valores de ajuste del algoritmo MCS.....	68
Tabla 5 15 Resultado algoritmo MCS.....	69
Tabla 5 16 valores de ajuste del algoritmo MCS.....	72



CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

Los servicios residenciales son mecanismos que permiten el funcionamiento de una casa-habitación (residencia). Por ejemplo, los servicios residenciales involucran electricidad, comunicación de internet, televisión, seguridad por circuito cerrado de TV y teléfono, los cuales necesitan ser cableados. Los sistemas de cableado generan múltiples consumos de energía (cargas) que permiten el funcionamiento de aparatos eléctricos y electrónicos (Thomas, 2007).

Para entender la instalación y colocación de un servicio residencial, (Pinto, 2012) los siguientes pasos para efectuar una instalación eléctrica residencial:

1. Diseñar el plano de la instalación eléctrica domiciliaria, que identifique la distribución de los nodos demanda
2. Identifique el recorrido de los conductores y los diversos puntos de instalación, comparando con el plano de identificación
3. Señalice el recorrido del circuito según las especificaciones del plano eléctrico
4. Tienda los cables por los tubos, desde la caja principal hasta el último punto de instalación de la residencia, haciendo derivaciones para cada nodo de energía en conexión
5. Realizar pruebas del cableado mediante el funcionamiento de los nodos demanda

En el proceso anteriormente descrito se, define la forma de instalación de cableado de servicios. En el paso uno, se define la existencia de un diseño de ubicación de los nodos

demanda, pero no la forma de distribución de cableado. Para poder crear un diseño de un plano correcto es necesario contar con conocimiento técnico o especializado. Sin la existencia del conocimiento adecuado, surgen algunos problemas como el exceso de cableado en los ductos y conexiones innecesarias. El cual puede generar un sobrecalentamiento por el flujo de energía en espacios reducidos. Las conexiones innecesarias o la mala colocación del conductor eléctrico generan un desperdicio de los recursos como el tiempo y material eléctrico. Dicho desperdicio genera un aumento en el presupuesto e incremento del tiempo de instalación, afectando al tiempo de entrega hacia el cliente.

La definición de cableado estructurado determina los lineamientos para la ejecución del proceso de colocación de cables eléctricos, evitando factores que puedan afectar un servicio de cableado, tales como: cortos eléctricos, interferencias por campo magnético, tensión en los conductores eléctricos, torsión de conductores e identificación de cableado. La finalidad de cuidar de estos factores consiste en ofrecer un servicio sin fallas (Durán, 2008).

Para esta investigación, se ocupa la definición de cableado estructurado por su nivel de definición y además se puede aplicar al cableado servicios de tipo residencial. Como resultado se obtendría un beneficio importante para poder incluir mejoras en el proceso de cableado de servicios y poder generar una optimización en su diseño mediante herramientas basadas en Inteligencia Artificial, tales como el algoritmo Genético (AG). La creación de un diseño optimizado evita la necesidad de contar con un experto humano ayudaría a sustentar la viabilidad y la funcionalidad del servicio.

En general, contar con un diseño de cableado estructurado permite al experto humano obtener una documentación adecuada de la red de cableado que se va a instalar. Además, proporciona una ayuda en la toma de nuevas y mejores decisiones, dando oportunidades de competencia laboral y generando una oportunidad de negocio. Sin embargo, la optimización de los recursos en dichos diseños permite ahorrar material de tipo eléctrico, tiempo de instalación de cableado y acelerar los procesos de entrega.

1.1 Planteamiento del problema

En la instalación de cableado de servicios residenciales, existe la necesidad de agregar nuevos procesos para poder mejorar la instalación de cableado. La falta de un diseño de cableado sobre una red de poliducto, aumenta el desperdicio de material eléctrico, el tiempo de instalación y entrega. Por lo tanto, el presupuesto para gastos de instalación y material no se puede estimar de manera precisa. Para un futuro mantenimiento y crecimiento del número de los servicios, no se cuenta con un plano o documentación de la red de cableado instalado en la residencia. Un movimiento adicional a la red de cableado puede ocasionar fallas en los servicios.

Tomando en cuenta las consideraciones previas, se define el problema de la siguiente manera:

¿De qué manera se puede mejorar el diseño de una red de cableado que permita contar con un ahorro de cable y tiempo de instalación, permitiendo el mejoramiento del proceso de instalación de cable?

1.2 Objetivos

A partir del planteamiento de problema anterior y observando en el estado del arte se definen los siguientes objetivos:

1.2.1 Objetivo general

Desarrollar un AG dedicado a minimizar la cantidad de cableado utilizado en una red de poliducto, disminuir el tiempo de instalación, evitar exceso de cables, minimizar los errores por falta de experiencia del instalador, reducir desperdicio del material de tipo eléctrico al instalar y poder mejorar los servicios que involucran cableado.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Diseñar función de aptitud, elegir y calibrar los valores de los operadores del AG
2. Obtener medidas de la red de poliducto, identificadores de nodos demanda y adyacencia de residencias preparadas para el cableado.
3. Identificar el tipo de servicio a analizar (TV, Circuito cerrado de televisión, Internet, Eléctrico).
4. Realizar experimentaciones en el AG y comparar los resultados con expertos humanos.
5. Revisar la diferencia del AG con respecto al experto humano para poder visualizar si existe una disminución del cableado.
6. Verificar que la distribución de cables sea correcta y evaluar diferencias de costos.
7. Documentar los resultados del AG y continuar con la instalación real de la red para validar los resultados.

1.3 Hipótesis

Si se desarrolla un AG como método de optimización que minimice y modele una red de poliducto a través de un grafo, utilizando medidas de distancia, identificando nodos demanda y adyacencia, entonces:

Se podrá reducir la cantidad de conductor eléctrico instalado en un servicio, obteniendo un mejor diseño de red de cableado, permitiendo mejoras a los diseños proporcionados por un experto humano, reduciendo tiempos de instalación y costos finales. Además, se podrá contar con un documento que permita visualizar el diseño de la red, generando beneficios al usuario final y al técnico instalador.

1.4 Justificación

En el estado del arte se observa el uso de AG, los autores buscan la optimización de redes eléctricas de media y alta tensión. También se observa que los autores buscan optimizar los recursos, minimizando gastos de operación y material eléctrico.

Los algoritmos genéticos son una herramienta computacional de tipo combinatorio, permiten encontrar nuevas soluciones a un problema aplicando las leyes de evolución de Darwin (Gestal, 2010).

Se puede decir que los AG permiten encontrar nuevas soluciones en redes de cableado de tipo eléctrico. Por lo tanto, utilizarlos para la minimización de cableado de servicios a un nivel doméstico residencial de baja tensión (110 voltios a 340 voltios) obtendría grandes beneficios.

1.5 Delimitación

En este trabajo se presenta una investigación basada en un problema real inmerso en el ramo de distribuciones de cableado de tipo eléctrico. Se utiliza un método basado en AG para minimizar la cantidad de cableado instalado en un servicio. Este método modela mediante un grafo una distribución de poliducto y permite buscar una igual o mejor solución sobre del experto humano. El método evalúa múltiples distribuciones verificando que cumpla con los objetivos de conectividad en el grafo. Posteriormente se verifica que la distancia de toda conexión sea la menor. La evaluación se realiza por línea individual de servicio. Para esta investigación, no se consideran restricciones que tienen que ver con factores técnicos relacionados con instalaciones eléctricas u otro tipo.

1.6 Estructura de la tesis

Continuando con la investigación se define a continuación el contenido que será presentado en los siguientes capítulos:

- En el capítulo 2 (denominado Marco teórico) se presenta toda la información que tiene que ver con AG, así como conceptos sobre función de aptitud y operadores genéticos necesarios para funcionar en un sistema de minimización. de igual manera se muestra que la información técnica sobre instalaciones de cableado de servicios de tipo residencial y sus aspectos técnicos necesarios para entender este problema.
- En el capítulo 3 (denominado Estado del Arte) se presenta la información de los trabajos relacionados con el problema mencionado. Estos trabajos involucran el manejo de AG y también buscan reducir en gastos de operación sobre redes de media y alta tensión. Se comparan los objetivos de los trabajos presentados con respecto a esta investigación y se remarcan las diferencias.
- Para el capítulo 4 (denominado Método Propuesto) se describe como se realiza el

modelado de una red de poliducto para poder ser interpretado por el AG y se define de igual manera los operadores utilizados, incluyendo el análisis de la función de aptitud empleada.

- En el capítulo 5 (denominado Experimentación) se presentan los valores utilizados para modelar una red de poliducto reales y artificiales que se van a analizar. Los resultados obtenidos servirán para identificar si el AG propuesto efectivamente cumple con los objetivos establecidos y de esa manera poder realizar las comparaciones con el experto humano.
- En el capítulo 6 (denominado Conclusiones) se define si los resultados son los esperados y si además se puede obtener un beneficio de esta investigación aplicable al mundo real.

Resumen

En este capítulo se explica de manera breve cómo funcionan el proceso actual del cableado de servicios, definiendo que existe un problema que puede ser abordado mediante la aplicación de herramientas computacionales de optimización. Se explica también los objetivos a seguir y los resultados que se buscan obtener para ayudar a la toma de decisiones del experto humano.



CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presenta la información de conceptos y definiciones necesarias para poder comprender la problemática que se busca resolver. En un inicio se encuentran las definiciones que tienen que ver con los servicios residenciales. Posteriormente, se definen los conceptos básicos referentes a la electricidad y sus aspectos técnicos, así como los alcances a nivel doméstico residencial. Se agregan conceptos que tienen relación directa con algún tipo de redes de cableado. Se define de igual forma conceptos de matemáticas discretas que son utilizados para poder modelar un entorno real y de esa manera ser interpretado por una computadora. Por último, se definen los conceptos de algoritmos genéticos que involucran su funcionamiento y composición.

2.1 Servicios residenciales y sus elementos.

En esta sección se describen conceptos relacionados a las redes de cableado, así como la descripción de todos los elementos necesarios que componen un servicio residencial que incluyen: servicio de red eléctrica residencial, cableado de televisión, cableado de datos para internet y circuito cerrado de televisión. Se menciona el proceso de cómo se realiza un cableado de un servicio de tipo eléctrico. Se mencionan conceptos para definir los nodos demanda como elementos consumidores de energía dentro de un servicio de tipo residencial.

Servicios residenciales: son mecanismos que permiten el funcionamiento de una casa-habitación (residencia). Por ejemplo: los servicios residenciales involucran electricidad, comunicación de internet, televisión, seguridad por circuito cerrado de TV y teléfono los cuales necesitan ser cableados.

Sistema de cableado de tipo eléctrico: Son múltiples elementos consumidores de energía eléctrica, que permiten el funcionamiento de aparatos eléctricos y electrónicos (Thomas, 2007).

Circuito cerrado de televisión (CCTV): Por sus siglas es un circuito cerrado de televisión que permite la transferencia de videos e imágenes dentro de un lugar en específico mediante dispositivos de video(cámaras). Estas imágenes solo son vistas por una persona en específico a diferencia de las señales de televisión que se ven en miles de lugares diferentes (TecnoPlaza, 2018).

Cableado estructurado: determina los lineamientos de como poder colocar cables de datos, evitando factores que puedan afectar su funcionamiento (cortos eléctricos, interferencias, tensión, torsión, identificación de cables) con la finalidad de tener un servicio sin fallas (Durán, 2008).

Ducto eléctrico (poli – flex): dentro de un servicio de tipo residencial se utiliza este tipo de tubería de plástico corrugado flexible, instalado en lozas de concreto. Es utilizado para contener cableado en su interior, lo cual facilita la instalación de cables debido a su estructura. (POLIFLEX, 2018).

Proceso de creación de una instalación eléctrica residencial (Pinto, 2012):

1. Diseñar el plano de la instalación eléctrica domiciliaria, que identifique la distribución de los nodos demanda.
2. Identificar el recorrido de los conductores y los diversos puntos de instalación, comparando con el plano de identificación.
3. Señalizar el recorrido del circuito según las especificaciones del plano eléctrico.
4. Tender los cables por los tubos, desde la caja principal hasta el último punto de instalación de la residencia. Posterior a ello se deben hacer derivaciones para cada punto de energía en conexión.
5. Realizar pruebas del cableado mediante el funcionamiento de los nodos demanda.

Funcionalidad: Son atributos que permiten solucionar las necesidades del cliente. Atributos que tienen que ver con aspectos de: durabilidad, calidad de los materiales, construcción adecuada, confiabilidad, rendimiento funcional, eficiencia y seguridad (UNID, 2018).

2.2 *Electricidad, redes de cableado, factores de error y nodos consumidores*

En esta sección se describen conceptos que son utilizados para poder comprender el estado del arte. Estos conceptos son básicos ya que se busca proporcionar una mejor solución a elementos que están relacionados con algún tipo de cableado de tipo eléctrico u otro material. El cableado de tipo eléctrico está relacionado con diferentes servicios como se observa en el apartado número uno de esta sección de marco teórico. La electricidad juega un papel relevante en toda la investigación porque es uno de los servicios a nivel de distribución, industrial y residencial que pertenecen a una necesidad diaria del ser humano.

Electricidad: es el movimiento de electrones que genera efectos de tipo luminoso, mecánico, calorífico, etc. que permite el funcionamiento de aparatos eléctricos y electrónicos. Este servicio ha permitido desde sus orígenes la evolución del hombre, siendo un aspecto importante en la vida (Guerrero, 2009).

Alta tensión: la línea de distribución eléctrica de alta tensión transporta voltajes que oscilan entre 132,000 y 30,000 voltios (KV) a lo cual se le denomina alta tensión en una red eléctrica. Este tipo de energía solamente pertenece a las empresas distribuidoras de la energía (Álvarez, 2009).

Media tensión: son aquellas que oscilan entre 1 y 25 KV y se emplea para transportar energía desde las subestaciones hasta elementos transformadores de energía de baja tensión (Álvarez, 2009).

Baja tensión: son aquellas que van de 0 a 1 KV y son las que se pueden utilizar en la industria, alumbrados públicos y en zonas habitacionales. Los voltajes más comunes son 110, 220 y 440 voltios (Álvarez, 2009).

Caída de tensión: en un conductor eléctrico donde fluye la energía existe la pérdida de voltaje debido a las propiedades del conductor y también a la distancia de la transferencia de energía (Zavala, 2001).

Carga eléctrica: la carga eléctrica se puede valorar en positivo y negativo. Si hay un incremento de electrones la carga es de tipo negativa y si existe una deficiencia de electrones

la carga es de tipo positiva, Asumiendo que un electrón siendo la partícula más pequeña con carga negativa por defecto (Thomas, 2007).

Calidad de energía: estándares y lineamientos para poder crear un servicio de distribución eléctrica de mayor rendimiento y fiabilidad, cuidando disminuir las fallas que puedan ocasionar por parte de los proveedores del servicio. De igual manera los aparatos de los consumidores de energía que de igual manera ocasionan variaciones dentro de las redes eléctricas (Leal, 2008).

Corriente eléctrica: en un hilo que representa la cantidad de energía que pasa por un mismo punto fijo con respecto al tiempo. Esta energía es representada en Amperes (Purcell, 1988). Se puede decir también que la corriente eléctrica es la velocidad y la dirección en la que se mueve la energía en un circuito (Thomas, 2007).

Voltaje: es una fuerza de diferentes magnitudes que permite el movimiento de los electrones entre dos puntos y sucede mediante un conductor. Generalmente el voltaje se puede utilizar para generar un potencial de trabajo (Thomas, 2007)

Red radial o abierta: esta red parte desde un único centro de distribución y se va ramificando para poder repartir la energía. Esta red no tiene interconexiones y tampoco puede haber una conexión que regrese al origen, Este tipo de red cuenta con mayor índice de error debido a que si falla una conexión se pierde el transporte al nodo final (Álvarez, 2009).

Conductor eléctrico: es un conjunto de hilos de metal que permiten campos magnéticos, estos conductores reaccionan de acuerdo a sus cargas moleculares en movimiento, permitiendo fluidez de energía de un lado a otro (Purcell, 1988). Los conductores también se clasifican de acuerdo al diámetro del alambre (calibre) el cual permite soportar más o menos carga de energía (Thomas, 2007).

Calibre de conductores: esta cualidad es definida mediante el diámetro de los conductores eléctricos para su identificación. La denominación numérica determina que el cable entre más grande sea el número, menor es el grosor del conductor y de manera contraria entre menor sea la numeración, el grosor es mayor (Harper, 1999).

Circuito eléctrico: es la combinación de múltiples elementos consumidores de energía (cargas) y otros que son fuentes de energía, los cuales pueden ser una batería con polaridad positiva y negativa o un servicio proporcionado por alguna empresa eléctrica (Thomas, 2007).

Circuito en paralelo: un circuito en paralelo permite el flujo de energía entre dos puntos y en diferentes direcciones. Para lograr un circuito en paralelo se coloca una carga (luminaria o electrónica) que mediante el voltaje que recibe se produce un trabajo y este se convierte en el funcionamiento de un dispositivo. (Thomas, 2007). Las instalaciones residenciales son de tipo paralelo.

Corto circuito: es la reacción del choque de dos voltajes distintos, los cuales pueden ser positivo y negativo como el corto circuito de bajo nivel, También pueden ser de dos voltajes positivos, generando una reacción más grande y peligrosa (Thomas, 2007).

Electromagnetismo: Es la propiedad de crear un campo magnético con el flujo de energía en un conductor. Este genera en forma circular alrededor de todo el conductor. No tiene una polaridad y la dirección depende del tipo de carga que se tiene en el conductor (Thomas, 2007).

Interferencia: es la superposición de dos o más ondas dentro de una misma área. La onda resultante puede ser de la misma o diferente magnitud que afecta las ondas iniciales (Fernández, 2018).

Ley de Kirchhoff: determina que en un circuito la suma de energías de entrada es igual a la suma de la energía de salida (Thomas, 2007). También se puede decir también que la suma de todas las energías de entrada y salida es igual a 0.

Interruptor eléctrico: un interruptor eléctrico es un sistema mecánico activado de manera manual o automática para poder permitir o interrumpir el paso de la energía eléctrica en un circuito y usualmente se colocan para luminarias. Es un sistema de corte de un solo polo (Thomas, 2007)

Portalámparas: dispositivo con casquillo metálico con rosca aislado con plástico que permite la conexión de luminarias (Harper, 1999).

Apagador:

Interruptor pequeño y simple que sirve para interrumpir un circuito flujo de voltaje que involucra aparatos eléctricos. Es un dispositivo de acción rápida y de operación manual (Harper, 1999).

Contacto: Dispositivos que permiten la conexión de dispositivos eléctricos o electrónicos mediante clavijas de conexión y tienen flujo constante de energía (Harper, 1999).

2.3 *Matemáticas discretas*

En esta sección se describen los conceptos sobre grafos para poder modelar una red de poliducto y de cableado mediante la utilización de los nodos demanda y aristas dentro de un grafo.

Nodo eléctrico: En un circuito eléctrico es la unión de dos o más elementos que permite la interconexión de voltaje o corriente (Thomas, 2007).

Grafos: Es una estructura de datos no lineal, utilizada para modelar múltiples aplicaciones (red de datos, red eléctrica, una red de carreteras, etc.). El grafo está determinado por un conjunto de nodos, vértices y arcos unidos unos con otros nodos. (Barrero, 2010).

Arista: Línea de intersección entre dos dimensiones diferentes, la cual permite mostrar la unión o nodos de dos puntos para poder relacionarlos (Felipe, 2017).

Vértice: Línea de intersección entre dos dimensiones diferentes, la cual permite mostrar la unión o nodos de dos puntos para poder relacionarlos (Felipe, 2017).

Matriz de adyacencia: Es una matriz que contiene números booleanos y el valor es verdadero o falso dependiendo de si existe de un nodo A a un nodo B una arista que los une. Se ocupa solamente para los grafos dirigidos y no dirigidos, en caso de ser no dirigidos la matriz es simétrica. (Barrero, 2010).

2.4 *Algoritmos Genéticos y sus elementos*

En este apartado se describen los conceptos relacionados a los algoritmos genéticos, su función y sus parámetros. Se describen elementos que permiten mejorar su funcionamiento. El uso de esta herramienta computacional se define a partir del estado del arte donde se aplica para temas relacionados con elementos de cableado de tipo eléctrico a diferentes niveles de tensión.

Algoritmos genéticos: El algoritmo genético (AG) es una herramienta combinatoria de tipo adaptativa que funciona de manera estocástica, haciendo analogía a las leyes de la evolución de Darwin. Inicia mediante la reproducción sexual para un intercambio de información genética de los individuos más aptos para crear nuevos individuos los cuales a su vez en conjunto crean poblaciones. Los problemas que abordan los algoritmos genéticos deben ser modelables en algún tipo de codificación. Se busca simular el comportamiento

humano y sirve para optimizar soluciones de un problema. El AG se guía de acuerdo a una función de aptitud y operadores genéticos (Gestal, 2010).

Codificación de individuos: si una solución a un problema puede ser modelada mediante una serie de parámetros numéricos, alfabéticos o binarios, entonces puede ser utilizada por los AG mediante una transformación de estos valores a través de un cromosoma. Los cromosomas son los que contienen la información genética necesaria de cada individuo y representa una solución real al problema. Dicha información determina que toda solución potencial puede ser expresada mediante la asignación de valores numéricos a una serie de parámetros. Ya que esto proporciona en conjunto la información necesaria para generar nuevos y posibles mejores resultados (Gestal, 2010).

Operadores genéticos: Los operadores genéticos son los que simulan el comportamiento natural mediante una selección, cruza y mutación entre individuos.

- Selección: es un método que permite elegir individuos con alta aptitud con una alta posibilidad de dejar mejor descendencia. (Gestal, 2010).
- Cruza: es una reproducción de tipo sexual generalmente del mismo número de individuos provenientes de una generación anterior con la finalidad de obtener nuevos individuos mejorados mediante la recombinación de sus cromosomas dando la posibilidad de obtener un mejor individuo (Gestal, 2010).
- Mutación: consiste en cambiar información genética de un individuo. En la selección natural es un error que permite que el individuo pueda cambiar su valor para bien o para mal. Haciendo posible la búsqueda en todas las posibles soluciones, este método se aplica después de generar una cruza. (Gestal, 2010).

Función de aptitud: La función de aptitud da un valor de adaptación de cada individuo en su medio ambiente. Es decir, permite saber cuán apto es un individuo y de esa manera, se podrá definir si determinado individuo sobrevivirá para cruza y mutación. Esta medida debe de ser numérica y ponderada (Gestal, 2010).

Evolución: Es un proceso de modificación de información directamente sobre los cromosomas del individuo, para cambiar su estructura (Gestal, 2010).

Elitismo: Es un operador de selección que permite siempre ir hacia adelante en los progresos, se busca pasar el mejor individuo de cada generación, con lo cual siempre se busca mejorar

las soluciones obtenidas hasta el momento y así mantener una mejora constante asegurando que se está logrando el objetivo (Gestal, 2010).

2.5 *Resumen*

En este capítulo se describen todos los conceptos relacionados con el tema de investigación, por un lado, se analizan los conceptos de herramientas computacionales. Por el otro lado se manejan los conceptos técnicos de electricidad que tienen que ver con el problema a resolver sobre las redes de cableado y sus características. Por último, describieron los conceptos que nos ayudan a unir un aspecto del mundo real con herramientas computacionales y las matemáticas discretas aplicando el uso de grafos y sus elementos.



CAPÍTULO 3. ESTADO DEL ARTE

En este capítulo se presenta la información de trabajos que tienen relación con la optimización de cableado de servicios residenciales. Teniendo como relación la optimización de redes de tipo eléctrico, se describen las investigaciones que los autores realizaron para obtener un beneficio aplicable a redes eléctricas de distribución. De cada trabajo se menciona el método y modelo aplicado, así como la descripción de algunas funciones de aptitud y su función. Se explican también los objetivos a cumplir y se analizan los resultados obtenidos.

3.1 Aplicación de algoritmos genéticos al problema de planificación de sistemas eléctricos de distribución.

En este trabajo se presenta un modelo combinatorio para la solución de problemas de planificación óptima de sistemas eléctricos de distribución el cual, explotando la operación comúnmente radial de la red, se define un espacio de búsqueda de soluciones conformado solo por configuraciones de este tipo. La búsqueda de la red óptima que minimiza costos de operación y de inversión se realiza mediante un Algoritmo Genético (AG).

Debido a las fuertes inversiones realizadas en la planificación de los sistemas de distribución, cada vez es mayor la importancia de emplear modelos matemáticos más rigurosos para representar de mejor forma los elementos que componen el sistema. Asimismo, también es importante el desarrollo de algoritmos de optimización eficientes y capaces de mejorar la distribución redes de gran tamaño en tiempos de procesamiento razonables.

Los métodos actuales tienen como objetivo representar los costos de expansión de la red eléctrica, minimizando mediante restricciones técnicas relacionadas con el sistema de distribución de la energía eléctrica. La formulación de la función de aptitud incluye variables

de tipo entero (0 y 1) asociadas a los costos fijos y aproximaciones lineales para poder representar así los costos variables. Los algoritmos de ramificación y acotamiento se han ocupado para resolver optimizaciones de gran complejidad combinatoria mediante la enumeración de soluciones factibles. El proceso de búsqueda de la solución óptima trae como resultado un aumento en tiempo de cálculo a medida que se consideran redes eléctricas de mayor tamaño.

El autor bajo esta observación define que es importante plantear nuevos métodos que no impliquen tanto esfuerzo computacional, proponiendo a los AGs en múltiples campos de estudio, reduciendo el tiempo necesario para la obtención de soluciones y además ha ayudado a mejorar los resultados alcanzados

Se propone un modelo de planificación de naturaleza combinatoria y un algoritmo genético de solución. Para utilizar la distribución radial de la red donde: se define un espacio de búsqueda, conformado por las configuraciones radiales del sistema sin afectar los tiempos de convergencia para redes de gran tamaño.

Plantean una serie de subestaciones y nodos demanda. Cada nodo demanda tiene asociada una cantidad de potencia requerida. Cada fuente tiene un límite de potencia de suministro. Se conocen las rutas existentes y las posibles rutas futuras para transporte de potencias desde las subestaciones hasta los nodos demanda. Cada línea posee un costo que depende de la longitud y del valor de potencia que transporta. El costo global asociado a todas las líneas eléctricas dependerá de todos los nodos demanda de las líneas eléctricas que sean utilizados.

El objetivo es buscar la topología de red óptima de las líneas eléctricas y la distribución de las subestaciones. Para minimizar el costo total asociado al diseño del sistema de distribución, se consideran las siguientes restricciones técnicas.

- Límites térmicos a las potencias máximas que pueden transportar los conductores para la construcción de las líneas.
- Límites en las potencias que pueden suministrar las subestaciones.
- Cumplir con leyes de corriente de Kirchhoff
- Balance de potencia.
- Restricciones máximas de caídas de tensión.
- Restricción de topología de red radial.

El modelo se realiza a partir de la representación de un árbol, mediante una combinación numérica formada por nodos del grafo. Donde se representa un grafo $G = (N, A)$, con N como el conjunto de nodos (uno como fuente y los demás como nodos demanda) y A como como

un conjunto de arcos. A partir de estos datos iniciales se busca obtener un subgrafo con diferente distribución que reduzca los costos de operación y construcción, superando al grafo inicial.

La función de aptitud se describe de la siguiente manera: el costo total del árbol obtenido se debe considerar que cada tramo alimentador está modelado por varios arcos o ramas del árbol, una por cada periodo de planificación. Por tanto, al momento de agregar el peso de un arco al costo total es necesario realizar un recorrido del árbol en el sentido del periodo inicial hasta el último.

El costo fijo (f_{ij}) se incluye al momento de construir el arco y por única vez en el problema. Antes de sumar el costo fijo al costo total asociado a un arco, verificar que los arcos de etapas anteriores no han sido considerados. Si al momento de iniciar el alimentador ya existe, entonces los costos de construcción de los arcos $f_{ij} = 0$.

Finalmente, los arcos que no llevan flujo no agregan un valor al costo total.

La fórmula que representa la función de aptitud es la siguiente:

$$W = \sum_{\langle i,j \rangle \in G} W_{ij} = \sum_{\langle i,j \rangle \in G} (f_{ij} + c_{ij}(x_{ij})) \quad (3)$$

Solución óptima: el árbol G de menor peso total.

La codificación es representada en cada árbol con números enteros como se ve en la figura 3.1.

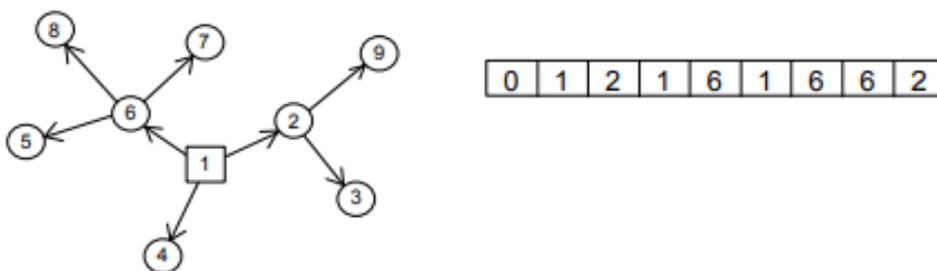


Figura 3 1 Codificación para la representación de un árbol en un arreglo de valores enteros.

En la experimentación realizada, se busca encontrar la topología de red de alimentadores, la cual es sujeta a las restricciones impuestas al flujo de potencia en los arcos y a los voltajes en los nodos.

Las siguientes imágenes muestran un ejemplo de distribución de energía eléctrica en un plano de cinco nodos.

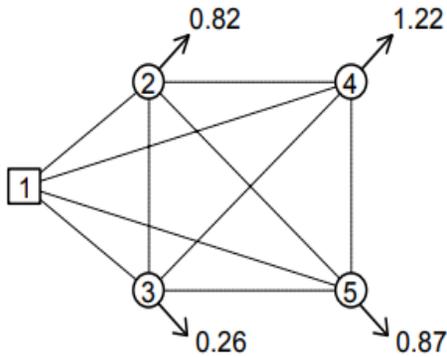


Figura 3 3 Grafo 1: representación del problema.

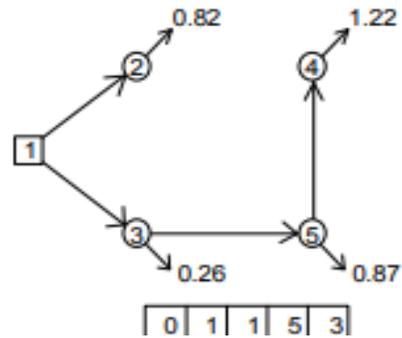


Figura 3 2 Grafo 2: representación de la solución.

En la gráfica de convergencia de la figura 3.4 donde se muestra el mejor, promedio y el peor individuo de cada generación, se observa en las primeras generaciones hay valores función de aptitud mayor a uno, lo cual significa que algunas soluciones no cumplen con las restricciones. Después de la tercera generación no hay incumplimiento de restricciones, indicando que son soluciones factibles y se puede definir una solución óptima para la red de distribución.

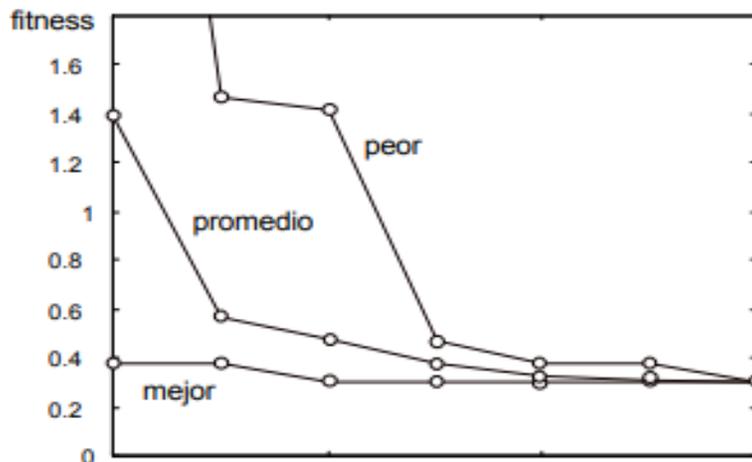


Figura 3 4 Gráfica de convergencia

Finalmente, el autor concluye que presentar una red de distribución con árboles reduce la búsqueda a estructura siempre factibles. Además, se puede corroborar que la información es correcta con una simple revisión visual del grafo resultante, para poder comprobar su factibilidad definiendo que el algoritmo es robusto y de rápida convergencia. Esto se demuestra mediante los resultados numéricos obtenidos en múltiples experimentaciones.

3.2 *Optimización de redes eléctricas mediante aplicación de algoritmos genéticos*

En este trabajo, se plantea la optimización de topología en redes eléctricas de distribución secundarias. Por lo tanto, se busca minimizar las pérdidas técnicas ocasionadas por el efecto joule. Para esto, se emplean algoritmos genéticos, los cuales son aplicados a sistemas de distribución existentes.

Para mantener una prestación de servicio adecuada, es necesario poder reducir las pérdidas producidas por efecto joule. Además, el autor define que las redes de distribución eléctrica están configuradas de manera radial para una mejor operación y administración.

Se describe que la topología de red puede ser modificada para reducir las pérdidas de energía y mejorar la tensión enviada, y de esa forma se puede aumentar su confiabilidad, cumpliendo sus condiciones de carga y además se mantenga la operación del sistema de una manera radial. De esta forma, el autor deduce que el problema puede ser abordado mediante una herramienta computacional que permita modificar una red radial de manera automática para reducir el tiempo de operación y de esa manera poder encontrar la mejor solución.

Para poder modelar una red de distribución y poder ser interpretada por AGs, se debe hacer una codificación de los datos de cada red de distribución. Tomando en cuenta esto, los datos se representan en cadenas de tipo binario que indican el estado en que deben de estar los interruptores (abiertos o cerrados), y de esa manera se evalúa el valor de pérdida de potencia. Posteriormente, cada cadena será evaluada mediante la función de aptitud.

Ejemplo:

Se cuenta con una red de distribución compuesta por cinco mallas y los interruptores a abrir están identificados por números enteros como el 8, 11, 16, 25 y 31; estos números dentro de un vector están codificados de forma binaria.

0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1
Interruptor 8					Interruptor 11					Interruptor 16					Interruptor 25					Interruptor 31				

La representación binaria anterior genera los siguientes valores decimales.

8	11	16	25	31
---	----	----	----	----

Para la evaluación de los individuos, se necesita de la función de aptitud, la cual determina que tan buena es una solución obtenida. La función de aptitud empleada en este trabajo se compone por dos partes. La primera reconstruye el sistema de distribución con base en la apertura o cierre de los interruptores. La segunda parte calcula el flujo de potencia del sistema de distribución que fue previamente reconstruido.

Restricciones técnicas del primer objetivo de la función de aptitud.

En una red, cada sección de líneas tiene asociado un interruptor. Después de la reconstrucción, se obtienen las mínimas pérdidas a partir de las siguientes restricciones técnicas:

- La configuración de la red debe ser radial para que las protecciones operen adecuadamente.
- Todos los tramos de los alimentadores deben estar energizados y con sus transformadores de distribución conectados.
- No debe haber sobrecarga en alguna parte de la instalación.

Cálculo de potencia del segundo objetivo de la función de aptitud

Para el segundo objetivo, se utilizan fórmulas establecidas para el cálculo de flujo de potencia. Este factor es muy importante porque de esa manera se define que tan viable es una solución presentada por el algoritmo genético.

Las fórmulas utilizadas son las siguientes:

$$P_{i+1} = P_i - r_i \frac{P_i^2 + Q_i^2}{V_i^2} - P_{li+1}$$

$$Q_{i+1} = Q_i - X_i \frac{P_i^2 + Q_i^2}{V_i^2} - Q_{li+1}$$

$$V_{i+1}^2 = V_i^2 - 2(r_i P_i + x_i Q_i) + (R_i^2 + x_i^2) \frac{P_i^2 + Q_i^2}{V_i^2}$$

Nomenclatura

P_i y Q_i	Potencia activa y reactiva de la rama.
P_{li} y Q_{li}	Potencia activa y reactiva de la carga.
V_i	Tensión de la rama.
r_i y x_i	Resistencia y reactancia de la rama.

El procedimiento para el cálculo de flujo de potencia es el siguiente:

1. Se fijan los valores de tensión en todos los nodos y esto es solo realizado para la primera ejecución.
2. Se calculan las potencias de todas las ramas que componen el sistema de distribución.
3. Se actualizan los valores de tensión en todos los nodos.
4. Se regresa al paso dos hasta que el criterio de tolerancia es alcanzado.

Cuando se concluye el ciclo del proceso anterior, se realiza una suma de las pérdidas de potencia a partir de la siguiente expresión:

$$\text{Pérdidas totales} = \sum_{i=0}^{n-1} R_{i,i+1} \frac{(P_{i^2} + Q_{i^2})}{|V_i|^2}$$

Al finalizar este proceso, el resultado obtenido es un valor de aptitud o pérdida identificando que tan buena es la solución propuesta.

Finalmente, este trabajo se concluye que obtiene resultados fiables y su aplicación real es posible debido a que los resultados minimizan las pérdidas y además los tiempos de respuesta son aceptables.

En las pruebas realizadas en dos sistemas de distribución eléctrica, se obtuvo una reducción del 50 % en la pérdida de potencia.

3.3 Optimización de redes de comunicación por cable mediante un enfoque multiobjetivo

El autor de este trabajo utiliza una heurística basada en algoritmos genéticos y emplea un modelo existente que se denomina NSGA-II, el cual se aplica a funciones de optimización multiobjetivo. La optimización multiobjetivo está asociada a un alto costo computacional en el caso de problemas NP-completos y la utilización de técnicas exactas se hace compleja cuando el espacio de soluciones posibles crece.

En este trabajo, se presenta un modelo matemático de minimización de costo de inversión y operación de una red de comunicación. El modelo utiliza dos funciones objetivo. Por un lado, se busca obtener información relevante para un diseñador de redes y de esa manera, se puede garantizar un mínimo de requerimientos de funcionamiento y además se debe garantizar conexión a los usuarios en un sistema real.

El diseño de redes de comunicación por cable generalmente se encuentra asociado a un problema de optimización donde se busca la optimización de una topología de red radial,

cuya optimización está asociada a múltiples objetivos a resolver. Para encontrar la topología adecuada, se requiere de analizar el mayor número de topologías posibles. La forma de poder entender el problema asociado a este trabajo es encontrar o modelar la red de comunicación mediante grafo, minimizando la inversión y el sobrante de señal. Por otro lado, se busca maximizar la confiabilidad de la red para que cumpla con restricciones de funcionamiento como: nivel de señal, capacidad de los circuitos y relaciones físicas de señales. Para poder definir que la solución propuesta sea adecuada debe cumplir con los requerimientos mínimos para funcionar, además, debe cumplir con las restricciones técnicas. Por lo tanto, se busca en esta investigación definir un conjunto de soluciones mediante el uso del enfoque multiobjetivo, garantizando que la señal se encuentra dentro del límite permitido y al mismo tiempo minimizar el nivel de señal sobrante en los nodos.

El modelo matemático empleado está relacionado con problemas de optimización, los cuales se caracterizan por ser de tipo no lineal, poseer variables enteras y continuas, generando un problema denominado *explosión combinatorio*. Cuando aumenta el tamaño del sistema para un número grande de alternativas, resulta muy compleja la solución con técnicas de optimización exactas. Este tipo de técnica presenta problemas computacionales asociados al tiempo. Por otra parte, el autor sugiere el uso de herramientas computacionales de tipo metaheurísticas para poder encontrar soluciones óptimas de buena calidad.

Se describe también que el problema relacionado con redes de comunicación por cable se ha resuelto con técnicas básicas de un solo objetivo. Busca reducir en costos de operación e inversión. Por otro lado, el autor plantea un sistema basado en múltiples objetivos con tendencias diferentes. Por un lado, se piensa en minimizar en costos de operación y por otro se busca maximizar la calidad de la señal y la confiabilidad de la red.

El método propuesto plantea dos objetivos: el primero busca reducir costos de inversión y el segundo se enfoca en el nivel de señal sobrante con respecto a un nivel mínimo permitido. Por lo tanto el algoritmo busca reducir en regiones donde se minimice el excedente.

a) Función objetivo asociada al costo de inversión

El autor define que este objetivo se encarga de minimizar la cantidad de cable coaxial y de elementos para división de señal (acopladores direccionales y divisores de señal) que permitan conectar todos los nodos de la red, y un punto donde se encuentra disponible la señal. Además, debe cumplir con el requerimiento de radicalidad con la siguiente formulación:

$$FO_1 = \left(\sum_{i,j \in \Omega} C_{ij} X_{ij} + \sum_{i=1}^n i \sum_{i=0}^n d[C_s] + \sum_{i=1}^n i \sum_{m=1}^{k2} e_i^m [C_a]_i^m \right)$$

b) Función objetivo asociada al nivel de señal

Este objetivo determina que diferencia entre el nivel de señal existente y el nivel de señal mínimo permitido. El nivel de señal se calcula considerando parámetros de banda ancha que existen en los divisores y acopladores. El flujo de señal se basa en un método de barrido que inicia en el nodo cero y sigue hasta los nodos demanda finales. La función matemática es la siguiente:

$$FO_2 = \sum_{i=1}^n r_i$$

La codificación utilizada es de tipo binaria. Los nodos representan un punto de entrada a cada amplificador o a un elemento de división de señal. Las ramas del árbol representan el trayecto entre dos nodos. Cada solución se asocia a un vector de ceros y unos donde el valor 1 en la posición i significa que la rama i está conectada. Por el contrario 0 significa que esa rama no se encuentra conectada.

Ejemplo

Sistema con vector de 8 nodos y 10 ramas asociado de manera y su representación gráfica en la figura 3.5.

1	1	1	1	0	1	1	0	1	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

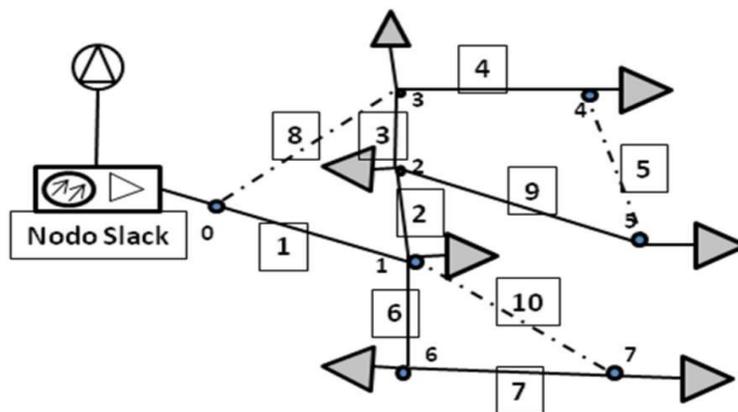


Figura 3 5 Grafo binario que representa el modelado del problema de optimización de redes de cableado.

La optimización multiobjetivo busca cumplir dos características importantes: la primera es obtener una solución óptima aproximada a la mejor solución y la segunda se enfoca en mantener la diversidad de la población en el espacio objetivo durante el proceso de ejecución.

Para verificar el desempeño del algoritmo, se utilizó un sistema real correspondiente a la ciudad de Pereira (Colombia).

Tabla 3 1 Parámetros del algoritmo genético.

NSGA II	
Población	200 individuos
Generaciones alcanzadas	1160 generaciones
Tasa de cruzamiento	100%
Tasa de mutación	3%

La Figura 3.6 muestra dos graficas del desempeño de AG multiobjetivo con 50 individuos del lado izquierdo y 200 individuos del lado derecho. Los niveles de señal sobrante en decibelios son menores conforme se ejecuta el proceso. Por lo tanto, se obtienen soluciones óptimas con niveles permisibles de señal en cada nodo.

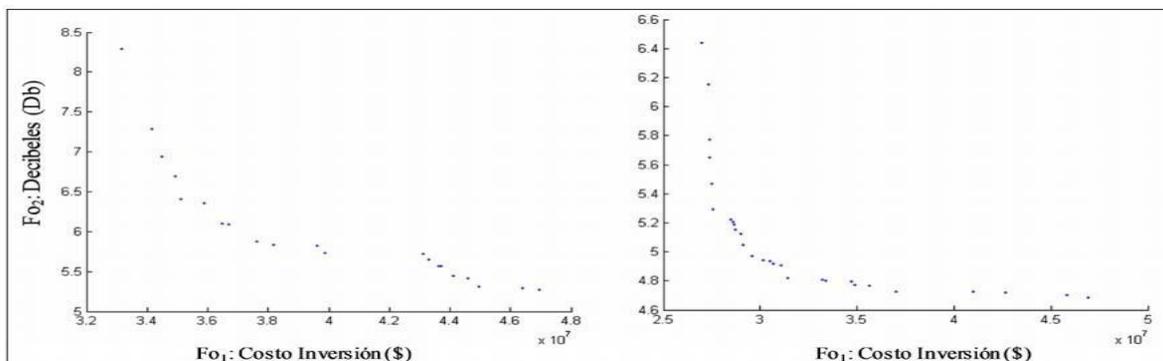


Figura 3 6 Gráfica de resultados algoritmo genético de optimización de redes de cableado.

El autor identifica que usando el algoritmo NSGA II se pueden obtener buenos resultados y que entre mayor sea el número de generaciones e individuos, los resultados mejoran obteniendo un mayor número de espacio cubierto dentro del árbol de nodos consumidores de señal. Se muestra una tabla donde se hace referencia a la explicación anterior.

Tabla 3.2 Resultados de algoritmo genético de optimización de cableado.

Generación	50	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
Individuos del frente	21	37	31	41	61	66	83	97	128	145
Espacio cubierto	4,99	6,13	4,7	6,18	8,92	9,56	11,94	13,91	18,29	20,65

Finalmente, se puede concluir de este trabajo que mediante el algoritmo NSGA II ofrece resultados que cumplen múltiples objetivos, minimizando la inversión y además cumple con los niveles adecuados de señal. La propuesta presenta un comportamiento que puede ser considerado satisfactorio para el problema de minimización de costos de operación de redes de comunicación por cable, ya que se obtiene un catálogo con muchas soluciones diversificadas y con calidad adecuada.

3.4 *Resumen*

Tabla 3.3 Resumen descriptivo de trabajos realizados.

Tema	Aplicaciones	Restricciones	Nivel de tensión
Optimización de redes eléctricas mediante la aplicación de Algoritmos Genéticos (Anaut, 2009)	Clasificación de un nuevo sistema eléctrico. Expansión de un sistema eléctrico. Planificación de operación de un sistema eléctrico. Minimización de pérdidas técnicas.	Capacidad de la línea. Límites de tensión. Redes radiales.	Este sistema se aplica a la optimización de redes eléctricas de media y alta tensión.
Aplicación de Algoritmos Genéticos para la localización óptima de redes primarias de distribución. (Hernández, 2008)	Localización óptima de capacitores en alimentadores de distribución. Minimización de pérdidas de potencia. Mejorar el perfil de tensiones y liberar la capacidad del transporte de energía del sistema.	Restricciones de flujo de potencia. Restricciones de voltajes en cada nodo. Restricciones de cantidad de condensadores disponibles.	Este sistema funciona para el nivel de subestaciones de igual forma en media y alta tensión.
Aplicación de Algoritmos Genéticos al problema de planificación de sistemas de distribución (Sanhueza, 1996)	Minimizar costos de operación e inversión. Mejoramiento de rutas futuras y existentes. Calcula el costo de la línea según su longitud y distribución.	Límites técnicos en potencia máxima que pueden transportar los conductores. Límites de potencia que suministran las subestaciones. Leyes de Kirchhoff (balance de potencia y caída de tensión).	Este sistema trabaja en la distribución de redes de media y alta tensión.

En este capítulo se muestran tres trabajos de diferentes autores. Dos de ellos están aplicados a la minimización de cableado eléctrico a niveles de alta tensión y ambos obtienen resultados adecuados aplicando algoritmos genéticos, reduciendo costos de operación y mantenimiento al encontrar nuevas y mejores soluciones. Por último, se presenta un trabajo aplicado a redes de datos donde se utiliza el concepto de función multiobjetivo donde por un lado se reduce la pérdida de potencia y por el otro delimita que la red cumpla con las restricciones de funcionalidad. De igual manera el, autor utiliza algoritmos genéticos con la variante multiobjetivo, obteniendo resultados favorables con este ajuste al algoritmo.



CAPÍTULO 4. MÉTODO PROPUESTO

Recordando el problema:

¿De qué manera se puede mejorar el diseño de una red de cableado que permita contar con un ahorro de cable y tiempo de instalación, permitiendo el mejoramiento del proceso de instalación de cable?

Se busca proponer un método que busque optimizar el diseño de una red de cableado. Por lo tanto, en este capítulo se describe el método propuesto para poder dar una solución al cuestionamiento anterior, mencionando los diferentes tipos de cableado que existen. Así como el proceso actual de cableado generado por un experto humano. Posteriormente, se muestra una solución a partir de la modificación al proceso del cableado, agregando técnicas de ciencias computacionales y un modelado de las redes de poliducto en las residencias.

4.1 Descripción de la metodología para instalar el cableado eléctrico por parte de un experto humano

Se aplica la herramienta de algoritmos genéticos aplicados al problema de exceso de conductor de tipo eléctrico en redes de poliducto flexible, el cual ha sido previamente instalado en casa habitación. Para ellos se busca la minimización de cableado mediante la aplicación de un algoritmo de minimización a la red de poliducto flexible existente.

Los servicios de tipo residencial son sistemas independientes que tienen que ver con algún tipo de cableado eléctrico para la distribución de energía: datos, audio y video. Para esta investigación se clasifican de la siguiente manera:

- Servicio de cableado eléctrico para iluminación.
- Servicio de cableado UTP para circuito cerrado de TV.
- Servicio de cableado UTP para internet.
- Servicio de cableado coaxial o fibra óptica para TV.
- Servicio de cableado telefónico.

El proceso actual del cableado de servicios ha permanecido de la misma manera por generaciones con algunas variantes, pero siempre es el mismo proceso a seguir. Todos los servicios de cableado requieren de ductos instalados previamente en residencias. Estos ductos pueden tener diferentes diámetros, calidades, diferentes bifurcaciones e incluso tener obstrucciones con muchas curvas.

El primer paso es identificar la red de poliducto instalado dentro de la residencia. El segundo paso es la identificación de los nodos demanda, siendo estos elementos que requieren de una carga de energía, definiendo la ubicación donde se colocará cada nodo y el tipo de servicio que proporcionará. Posteriormente, en el tercer paso se continúa con la instalación del cableado en la red de poliducto. En este paso la experiencia del instalador es muy importante porque define la ramificación del cableado requerido. Si el cableado se instala de una manera correcta el servicio funciona de manera estable. Sin embargo, cabe la posibilidad de errores si existen instalaciones innecesarias donde se comienzan a ver defectos y deficiencias del servicio. Si el servicio cuenta con funcionalidad se continúa con el siguiente paso del proceso en donde se realizan pruebas y la entrega del servicio funcional.

En la figura 4.1 se muestra de manera gráfica la distribución del proceso actual del cableado de servicios residenciales.

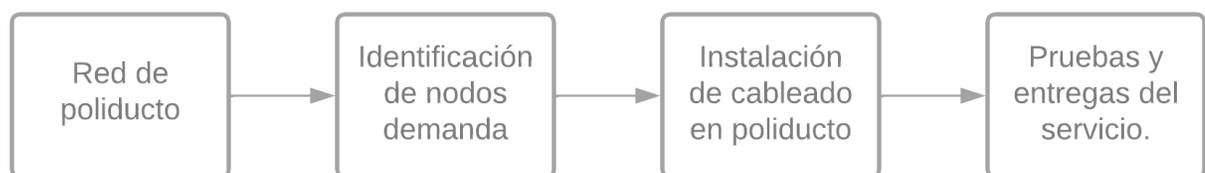


Figura 4 1 Proceso actual para el cableado de una red eléctrica aplicado por un experto humano.

4.2 *Etapas del método propuesto*

Para esta investigación, se plantea una modificación al proceso actual del cableado de servicios residenciales. Aplicando métodos de análisis previo y la utilización de un algoritmo genético para la minimización de cableado (algoritmos MCS), se podrá sustentar el conocimiento del experto humano; para poder contar con una documentación del cableado a instalar. Además, se podrá definir si la solución propuesta por el experto es la óptima.

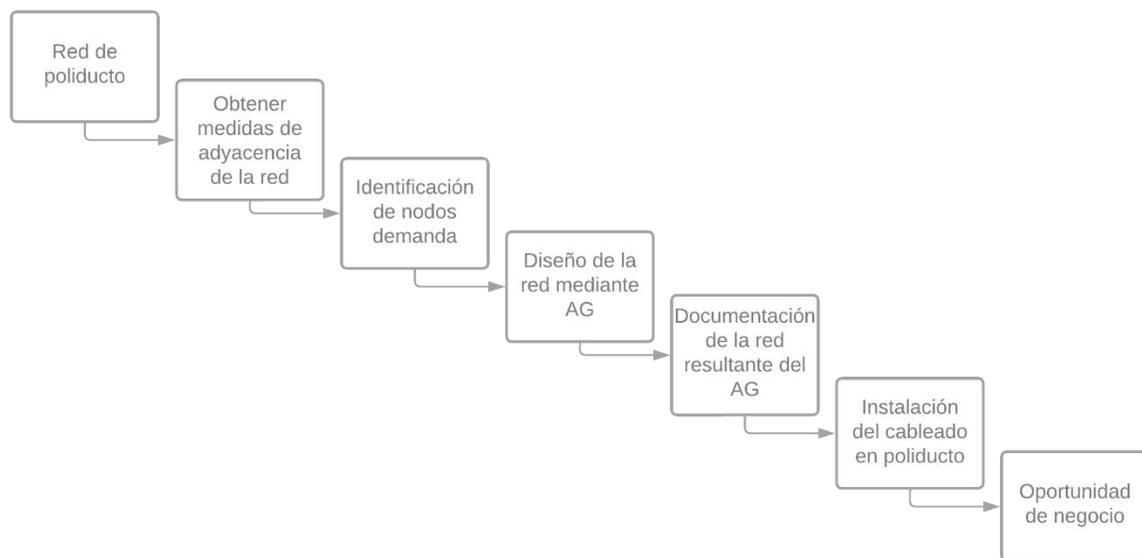


Figura 4 2 Método propuesto para el mejoramiento del proceso de cableado de una red eléctrica.

Como se observa en la Figura 4.2, el proceso propuesto cuenta con cuatro subprocesos descritos a continuación:

- 1) Red de poliducto existente: distribución y ramificación de poliducto flexible de tipo eléctrico para cableado. Dicha red ha sido instalada previamente en la residencia.
- 2) Obtener medidas y adyacencias de la red: en este proceso se realiza un análisis de la distribución de la red de poliducto. Como resultado se obtienen las distancias de cada conexión (rama) de la red y una adyacencia entre nodos demanda. El resultado se puede interpretar de manera visual en un grafo con múltiples

interconexiones y distintos nodos demanda ubicados en diferentes posiciones. De esta manera, se puede crear un modelo computacional de la red de poliducto para poder aplicar el algoritmo genético.

- 3) Identificación de los nodos demanda: se determina cada elemento a funcionar dentro de la red de cableado como: contactos, apagadores, luminarias, centros de carga, puntos de internet y telefonía; etc.
- 4) Una vez teniendo las distancias, adyacencias del grafo y la identificación de los nodos demanda, se genera la evaluación de los datos mediante el AG aplicando ajuste de parámetros para la obtención de nuevas soluciones de cableado.
- 5) Una vez cumplido el proceso de evaluación del AG propuesto, se obtiene como resultado la nueva solución posible mediante un arreglo de datos que representan la adyacencia entre nodos demanda. Contando con estos datos se continúa con la instalación del cableado.
- 6) Oportunidad de negocio: es esta parte del proceso se define mediante los resultados previos si el ahorro de cableado comparado con el experto humano es considerable y además que exista viabilidad de funcionamiento. Lo cual genera una oportunidad de poder obtener un ahorro económico al cliente y al técnico instalador. Esta posibilidad puede ayudar en la toma de nuevas decisiones sobre el conocimiento del experto y poder crear mejoras sustentables.
- 7) Pruebas y entrega del servicio: define que el servicio es funcional debido a que, mediante el AG: se evalúa que cada solución cumpla con determinados criterios y no existan conexiones inexistentes, asegurando que un cable no puede pasar dos veces por la misma rama de la red. Mediante estas observaciones, se puede definir si el cableado tiene algunas mejoras y que el servicio cuenta con una mejor distribución generando un servicio con mayor calidad

4.3 Modelo de codificación de la red de poliducto.

En la siguiente imagen (Figura 4.3), se puede observar la representación gráfica de la red de poliducto mediante la utilización de un grafo no dirigido. Cada rama tiene un valor y cada nodo tiene una identificación numérica que representa el tipo de carga que requiere.

Son los datos introducidos por el usuario. Estos datos fueron obtenidos del análisis previo de la red de poliducto y son utilizados para poder modelar de manera computacional. Se ingresan los datos mediante una matriz de datos de tipo flotante donde se ingresa la adyacencia de cada nodo demanda y sus valores de distancia.

Tabla 4 2 Adyacencia del grafo de red de poliducto con valores de distancia.

Aristas	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Nodo A	0	3	1	4	5	9	9	5	2
Nodo B	3	4	3	0	6	6	1	3	8
Distancia	2.5	3.0	4.1	2.5	3.8	4.7	3.5	3.9	1.0

4.4 *Función de aptitud*

La función de aptitud da un valor de adaptación de cada individuo en su medio ambiente. Es decir, permite saber cuán apto es un individuo y de esa manera, se podrá definir si determinado individuo sobrevivirá para cruza y mutación. Esta medida debe de ser numérica y ponderada (Gestal, 2010). Para obtener la función de aptitud de problema, primero se debe garantizar la minimización de nodos demanda desconectados hasta llegar a cero. Lo que significa que todos los nodos demanda requeridos están en conexión, mientras el numero de nodos demanda desconectados sea menor o igual a cero, el valor de la distancia es la suma de sus aristas en conexión. Mientras este objetivo no sea cumplido, el tal caso de que los nodos demanda desconectados sea mayor a cero, el valor de la distancia es la suma de todas las aristas del grafo menos el porcentaje de decremento. A la distancia de este objetivo se le suma uno para compensar el porcentaje de decremento. Este valor no afecta a la distancia del individuo. El porcentaje de decremento es un valor que mediante una regla de tres determina que individuo en base a sus aristas en conexión es mejor que otro.

La función de aptitud para el algoritmo genético de minimización de cableado se describe de la siguiente manera:

$$FA(x) = \begin{cases} D(x) & NDD \leq 0 \\ DT(g) - PD(x) + 1 & NDD > 0 \end{cases}$$

Donde:

x: individuo n del algoritmo genético que pertenece a una generación (n).

g: grafo de la red eléctrica residencial.

NDD(x): nodos demanda desconectados en el individuo x, es decir. Son los que se encuentran en estado cero y buscan cambiar a estado uno para poder aplicar al cálculo de la distancia y poder cumplir con la solución que se pide por el usuario.

$D(x)$: distancia del cableado obtenida. Dicha distancia es variable según el número de nodos conectados y el tipo de camino que sigue las aristas del grafo.

$DT(g)$: distancia máxima del cable de todos los nodos y aristas en conexión que puede alcanzar la red de poliducto. Se considera esta distancia como la peor solución posible.

PD (porcentaje de demento):

- 1) Se define para poder determinar que individuo es mejor con respecto a otro en base al número de nodos demanda en conexión. De acuerdo al diseño de la función de aptitud según el objetivo en el que se encuentre ejecutando se aplica una operación matemática denomina regla de tres. Con esta operación se define que la totalidad de los nodos en conexión es un cien por ciento de aceptación. Por consiguiente, ¿Qué porcentaje corresponde a cualquier otro número de nodos en conexión? que no sea la totalidad. De esta manera podemos obtener un valor decimal que permite diferenciar un individuo a partir de sus nodos en conexión.

Ejemplo:

Para el ejemplo se ocupan los siguientes datos.

- a. Numero de nodos totales del árbol: 50
- b. Suma de distancia total de todo conectado: 285.28 metros

- 2) Se aplica una regla de tres que permite calcular el porcentaje.

$$PD = \frac{\text{número de nodos totales en conexión (nntc)} \rightarrow 100\%}{\text{número de nodos demanda obtenidos (nndo)} \rightarrow x\%} \rightarrow x = \frac{nndo * 100}{nntc}$$

Aplicando la operación matemática de la regla de tres se obtienen los siguientes resultados a partir del ejemplo previamente mencionado.

Tabla 4 3 Descripción de formulación de porcentaje de decremento.

Individuo	Nodos demanda totales	Nodos demanda obtenidos de manera aleatoria	Aplicando formula	Valor de % de decremento
1	50	20	$((20*100) / 50) =$	40 %
2	50	10	$((10*100) / 50) =$	20 %
3	50	45	$((45*100) / 50) =$	90 %

En la Tabla 4.4 se aplica el porcentaje a cada individuo. Este factor se resta del valor fijado a cada individuo según el objetivo de la función de aptitud.

Tabla 4 4 Aplicación del formula de porcentaje de decremento.

Individuo	Resultado de Formula Porcentaje	Conversión a decimal
1	40%	$(40/100) = 0.4$
2	20%	$(20/100) = 0.2$
3	90%	$(90/100) = 0.9$

En la tabla 4.5 se aplica el porcentaje. Este porcentaje obtenido se resta del valor fijado a cada individuo según la función de aptitud.

Tabla 4 5 Resultado de fórmula de porcentaje de decremento.

Individuo	Valor de Función de Aptitud
1	$(285.28 -- 0.4) = 284.88 + 1 = 285.88$
2	$(285.28 - 0.2) = 285.08 + 1 = 286.08$
3	$(285.28 - 0.9) = 284.38 + 1 = 285.38$

En la tabla anterior se puede observar que el individuo con mayor cantidad de nodos demanda conectados tiene un valor de función de aptitud de 284. 38 con 45 nodos demanda conectados, siendo este el menor resultado. Lo cual indica que ese individuo es mejor con respecto a los demás y además se cumple el requerimiento de minimización que afecta directamente a la distancia.

4.5 *Parámetros y Operadores del Algoritmo Genético*

A continuación, se muestra los parámetros y operadores utilizados en este algoritmo genético de minimización de cableado de servicios.

Operadores:

- a. Operador de selección: Torneo.
- b. Operador de cruza: Cruza en N puntos Aleatorios.
- c. Operador de mutación: Por inversión.

4.6 Diagramas de flujo algoritmo genético.

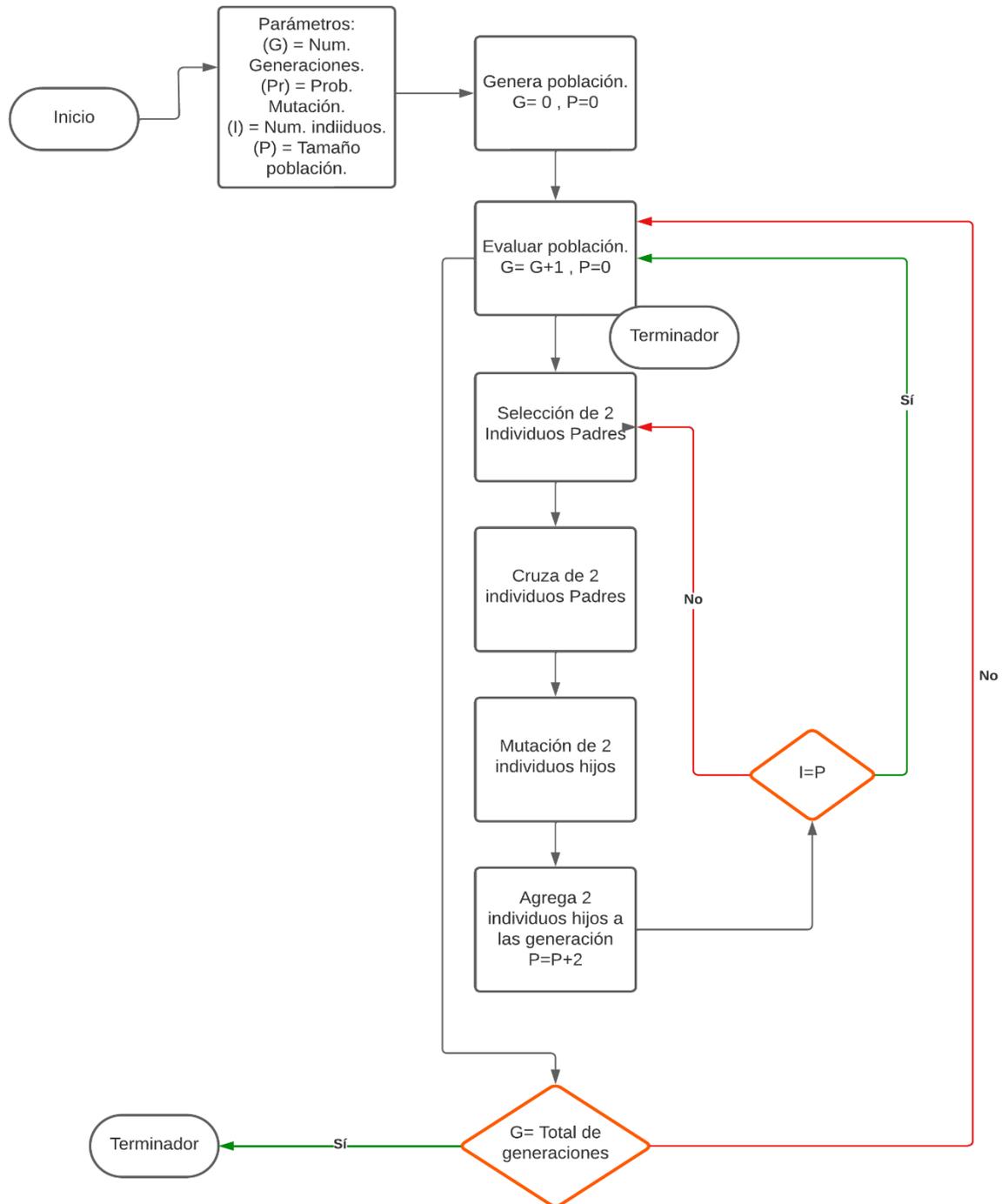


Figura 4 4 Diagrama de flujo general algoritmo genético MCS.

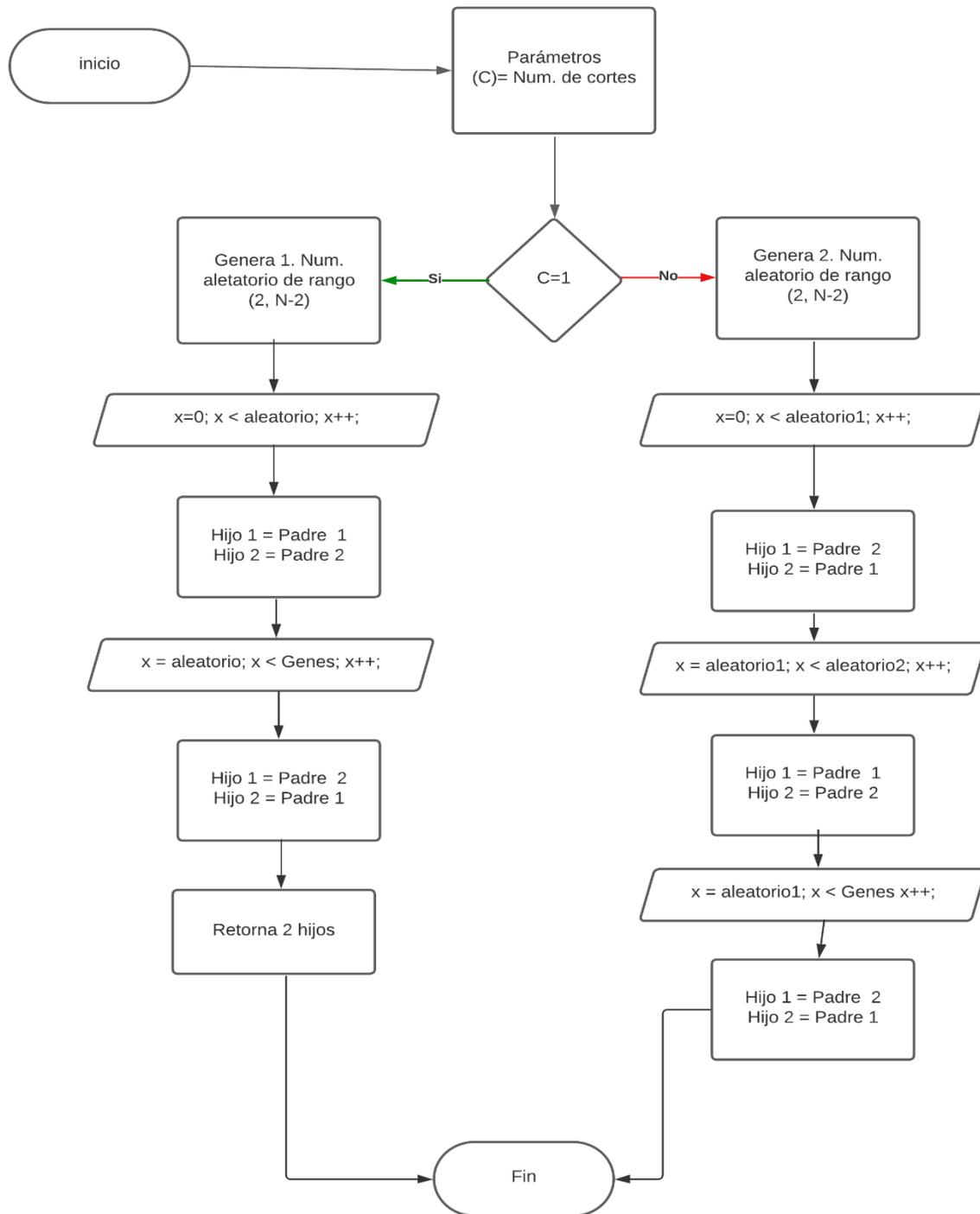


Figura 4 5 Diagrama de flujo de operador de cruza.

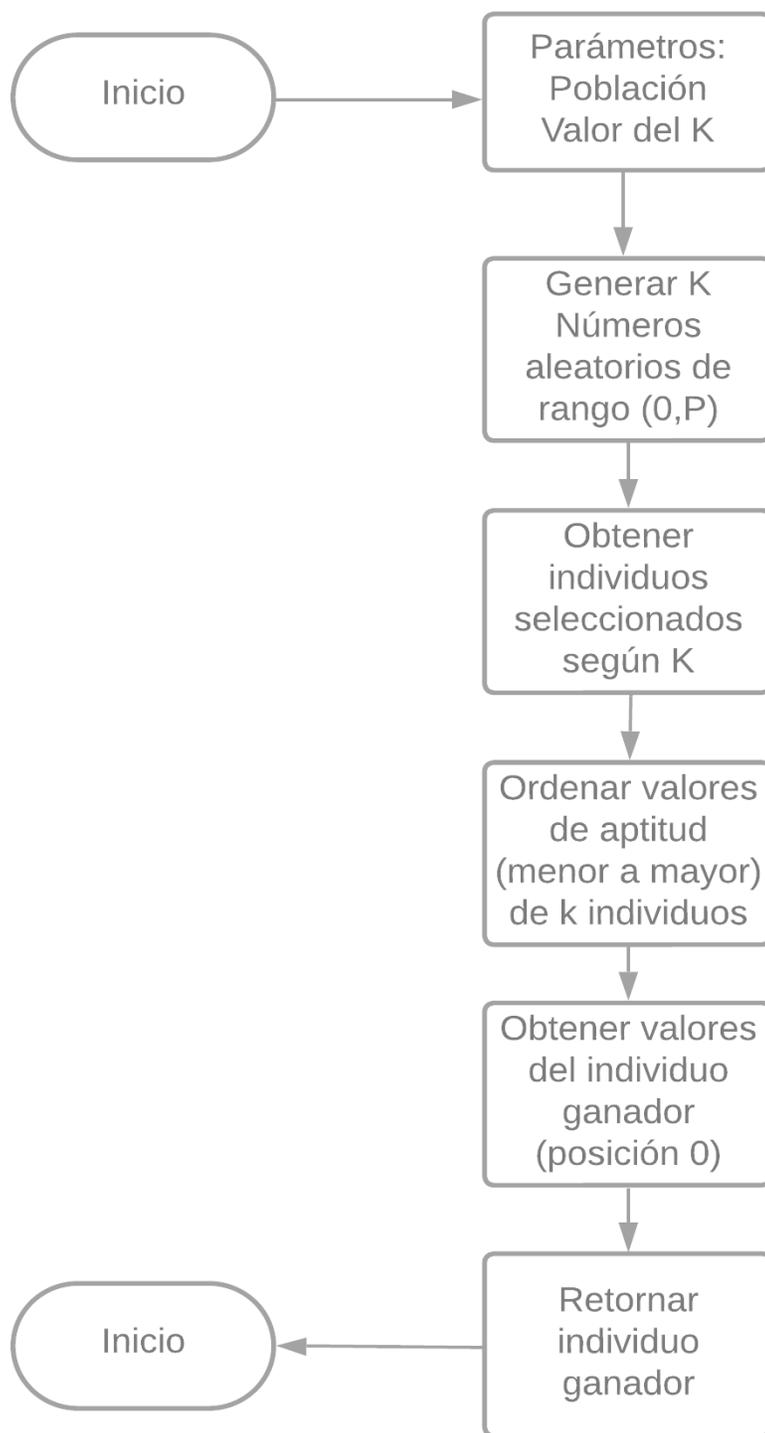


Figura 4 6 Diagrama de flujo de operador de selección.

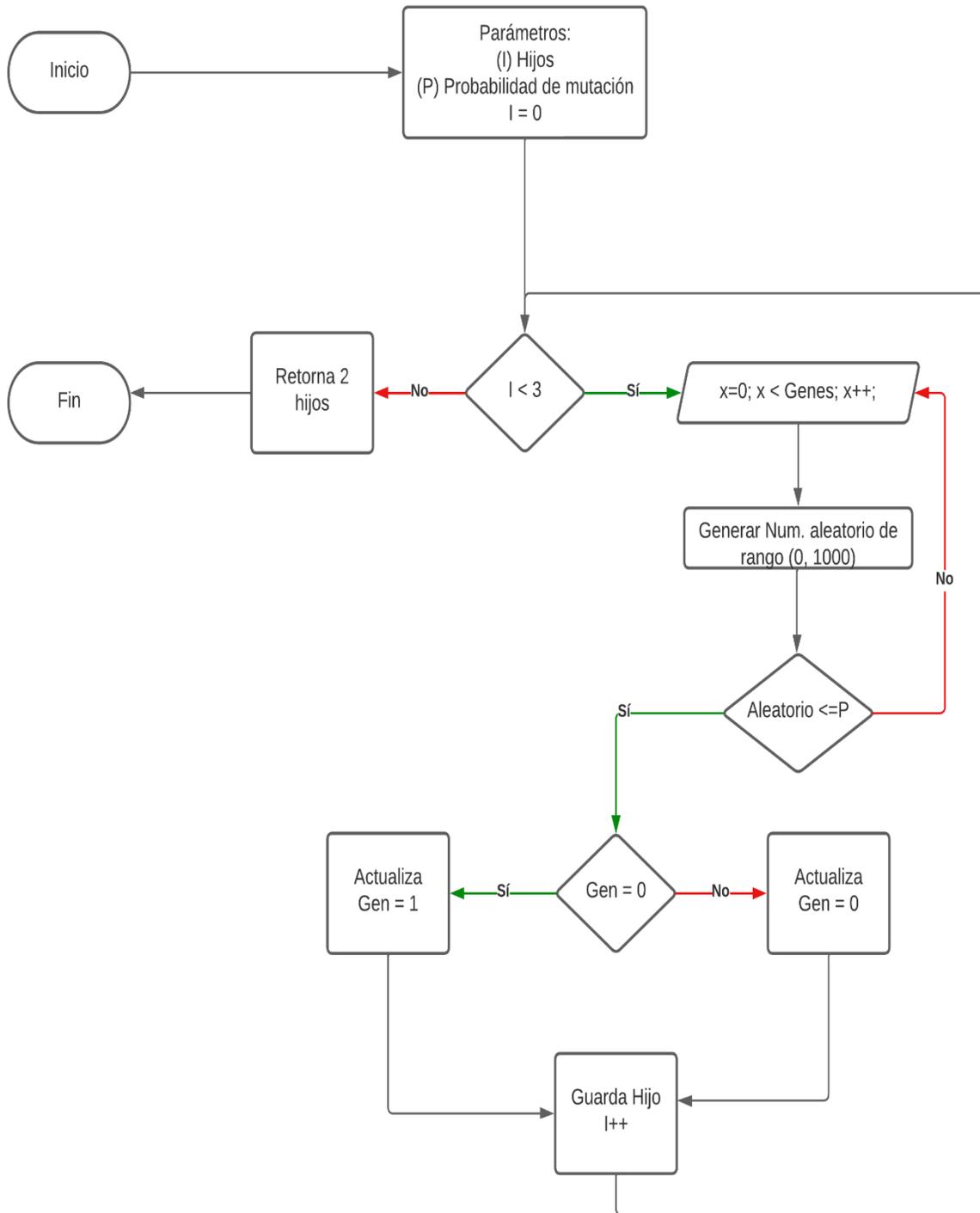


Figura 4 7 Diagrama de flujo operador de mutación por inversión.

4.7 *Resumen*

En este capítulo se describe el método propuesto. Se define el uso de la herramienta computacional de AGs que por sus características es recomendable el uso para este caso de estudio, donde se diseña una función de aptitud multiobjetivo que por un lado maximiza la cantidad de nodos requeridos y por el otro busca minimizar la distancia entre estos sin olvidar el primer objetivo. Se define también nuevos procesos que afectan al proceso actual de cableado de servicios. Por último, se plantean los operadores utilizados del algoritmo para este caso de estudio.



CAPÍTULO 5. EXPERIMENTACIÓN

En este capítulo se hace una descripción detallada de los resultados obtenidos en la ejecución del AG propuesto. Aplicando pruebas en planos de distribución de poliducto reales y un plano de poliducto artificial. El objetivo es garantizar que el AG sea confiable para la toma de decisiones. También se realiza una comparación con un experto humano en cableado de tipo eléctrico, permitiendo de esa manera poder observar una diferencia de resultados entre ambos (Humano/AG). Los resultados obtenidos son presentados en una gráfica comparativa donde se muestra la solución humana, el resultado obtenido por el AG y la solución de todo conectado identificado como la peor solución.

Al final de cada experimentación se presenta un resumen individual que permite identificar y entender de una mejor manera los resultados obtenidos y de esa manera revisar si se cumple el objetivo de obtener una minimización de cableado de tipo eléctrico.

Recordando la hipótesis

Si se crea un sistema de minimización que utilice como herramienta computacional a los AG que permita modelar una red de poliducto a través de un grafo, utilizando medidas de distancia, identificando nodos demanda y adyacencia; entonces:

Se podrá reducir la cantidad de conductor eléctrico instalado en un servicio, obteniendo un mejor diseño de red de cableado que permita ayudar a mejorar los diseños de un experto humano. Para reducir tiempos de instalación y costos finales; además de contar con un documento que permita visualizar el diseño de la red. Generando beneficios al usuario final y al técnico instalador.

5.1 Primer caso de evaluación de plano eléctrico residencial

A continuación, en la figura 5.1 se presenta un primer ejemplo de un plano eléctrico de una residencia, especificando la cantidad de luminarias requeridas por especificaciones del arquitecto o cliente. Mostrando el tipo de conexión que requiere cada nodo mediante una

nomenclatura eléctrica. Este plano es interpretado por un técnico electricista que conoce e identifica cada símbolo.

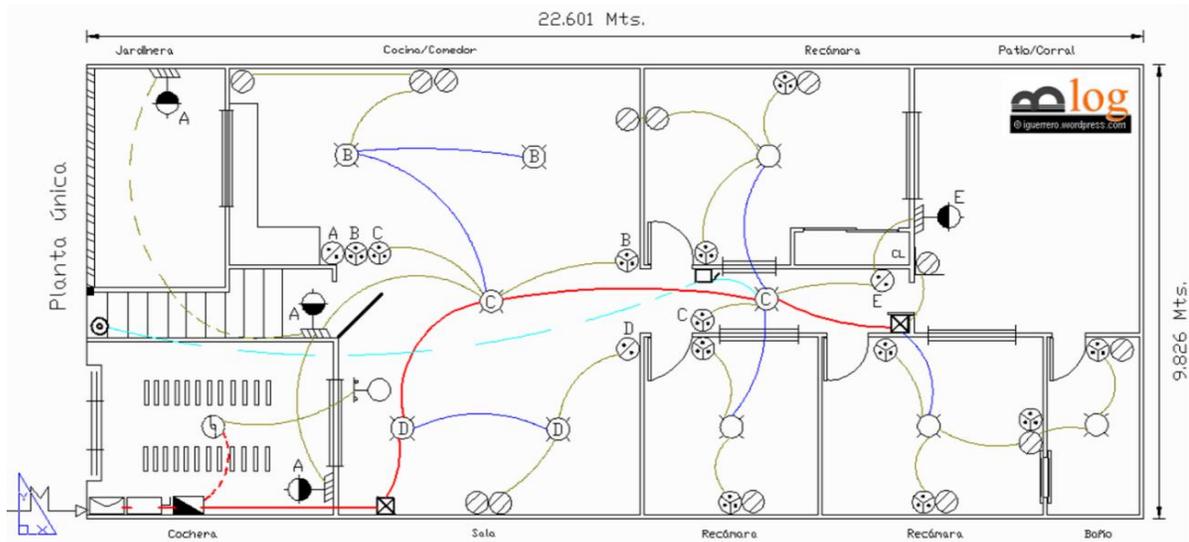


Figura 5 1 Plano eléctrico residencial casa número 1.

Posteriormente siguiendo los pasos del método propuesto figura 5.2 se realiza identificación de la red de poliducto en base al plano eléctrico de la figura 5.1 donde se obtienen las medidas de la red (distancia entre cada nodo demanda) y adyacencias de los nodos (conexiones existentes en la red de poliducto) previamente instalada en la residencia. Como se muestra a continuación en la figura 5.2.

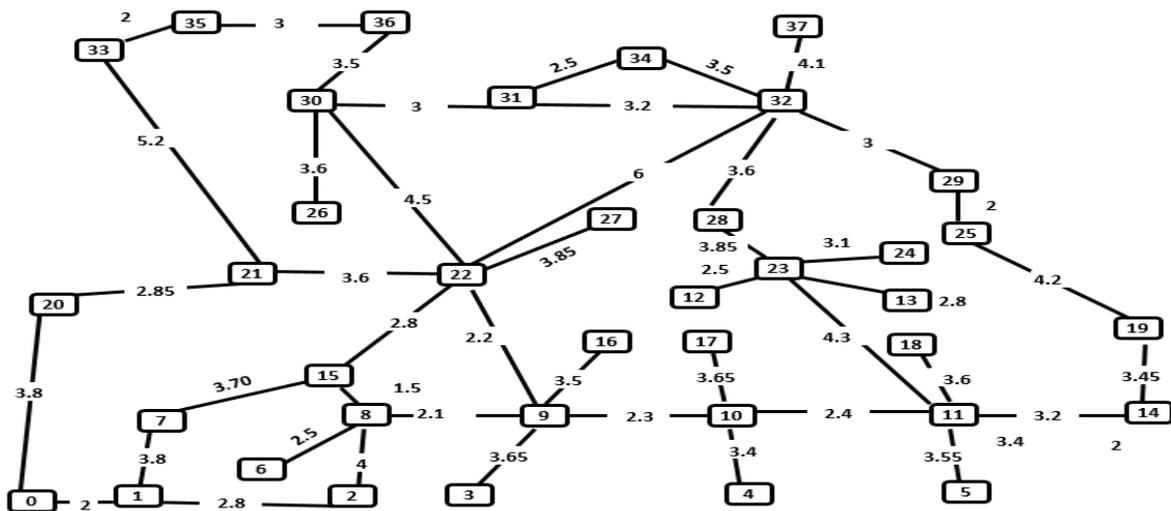


Figura 5 2 Representación de la red de poliducto ya instalada en una residencia. Modelada mediante un grafo.

Una vez que se obtiene la distribución de la red de poliducto se realiza la identificación de los nodos demanda. Esta parte del proceso es muy importante porque se define el tipo de nodo demanda según el requerimiento del cliente (luminaria, apagador sencillo, apagador de escalera, contacto, tv, coaxial, etc.). Con esta identificación de los nodos se define los nodos demanda a conectar por el Algoritmo Genético (MCS).

5.1.1 Evaluación línea negativa para el plano eléctrico de la figura 5.3

A continuación, se muestra una prueba de 7 nodos demanda a conectar por el algoritmo MSC para la línea del cable negativo.

Nodos a Conectar: 0, 1, 7, 15, 22, 23, 24.

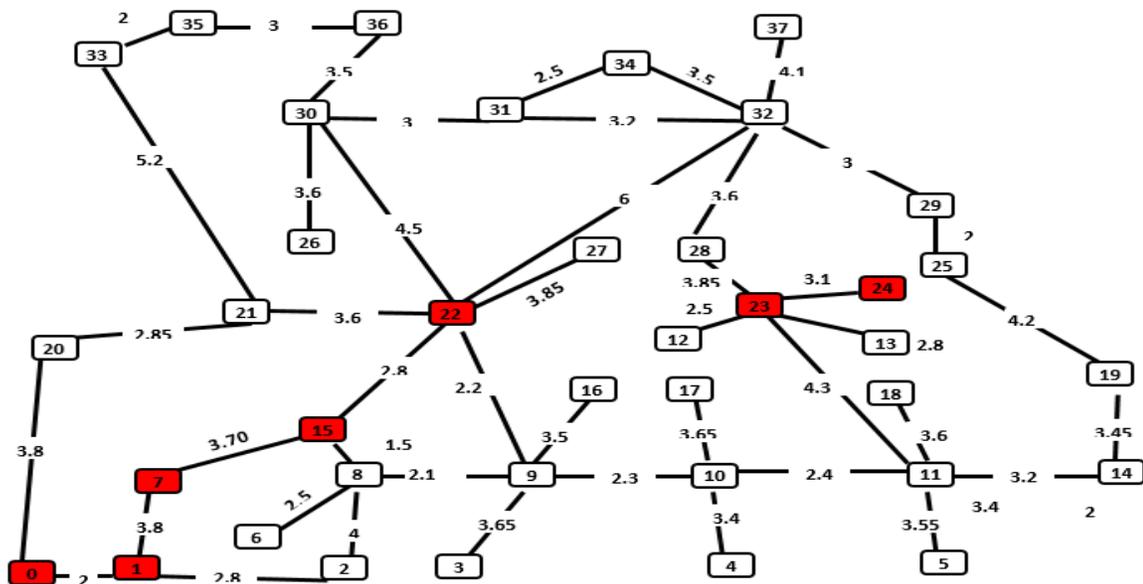


Figura 5 3 Nodos demanda a conectar con cable negativo por el algoritmo MCS. Los recuadros de color rojo son los nodos a conectar.

Continuando con el siguiente paso del proceso que demuestra el diseño de red que obtiene el algoritmo MCS donde las líneas de color rojo es la ruta que obtuvo como resultado para la solución de un circuito independiente con la conexión de nodos demanda 0, 1, 17, 15, 22, 23, 24. Obteniendo como resultado una distancia de cable negativo de 28.85 metros lineales. El algoritmo MCS envía como resultado una cadena de secuencia que indica sobre que líneas de adyacencia colocar el cableado.

Resultado del Algoritmo Genético MCS:

En la **tabla 5.1** se observa el resultado de la ejecución del algoritmo. Donde muestra la distancia obtenida, la cantidad de elementos conectados y la matriz de adyacencia para poder realizar el dibujo grafico en el plano de la red de poliducto.

Tabla 5 1 Resultado algoritmo MCS.

Resultado del algoritmo MCS				
No. de nodos a buscar.	No. de nodos conectados	Distancia obtenida por humano	Distancia encontrada por algoritmo	Distancia de todo conectado (peor solución)
7	7	30.4	28.85	136.85

A continuación, en la tabla 5.2 se muestra la matriz de adyacencia resultante para poder graficar los resultados dentro del grafo de la red de poliducto.

Tabla 5 2 Matriz de adyacencia resultante de la ejecución del algoritmo MCS.

Matriz de adyacencia resultante								
A	0	1	7	15	22	23	23	28
B	1	7	15	22	32	34	28	32
Distancia	2.0 mts.	3.8 mts	3.7 mts	2.8 mts	6.0 mts	3.1 mts	3.85 mts	3.6 mts

En la tabla 5.3 se muestran los parámetros de ajuste utilizados para la ejecución del algoritmo MSC.

Tabla 5 3 valores de ajuste del algoritmo MCS.

Parámetros de ajuste del algoritmo MCS	
Número de individuos por generación	100
Número de generaciones	300
Probabilidad de mutación por inversión	10 %
Número de cortes en operador de cruza n- puntos aleatorio	3
Operador de selección por torneo (valor del K)	3

En la figura 5.4 se muestra la gráfica de la ejecución del algoritmo donde se observa de color amarillo el promedio de resultados de cada generación, el color verde la distancia de todo conectado dentro de esta red esto como la peor solución obtenida. De color azul la solución obtenida por el experto humano y de color rojo la línea que nos determina el resultado obtenido por el algoritmo MCS el cual termina de comprobar que el algoritmo supera la solución humana y además cumple con el objetivo de minimizar distancias de cableado.

Con los resultados obtenidos por escrito del algoritmo y el modelado en el plano de red de poliducto. Se puede cumplir el paso de documentación de los resultados, entregando un documento formal al cliente que solicito el servicio de cableado.

A continuación, se muestra una representación gráfica de la solución propuesta por el experto humano (técnico electricista). Cabe mencionar que por el tipo de red existen múltiples diseños de red donde el experto humano y el algoritmo pueden llegar a coincidir o diferenciar según la experiencia o perspectiva visual del humano.

Nodos a Conectar: 0, 1, 7, 15, 22, 23, 24.

Resultado obtenido por experto humano con una distancia de 30.4 metros lineales para línea negativa.

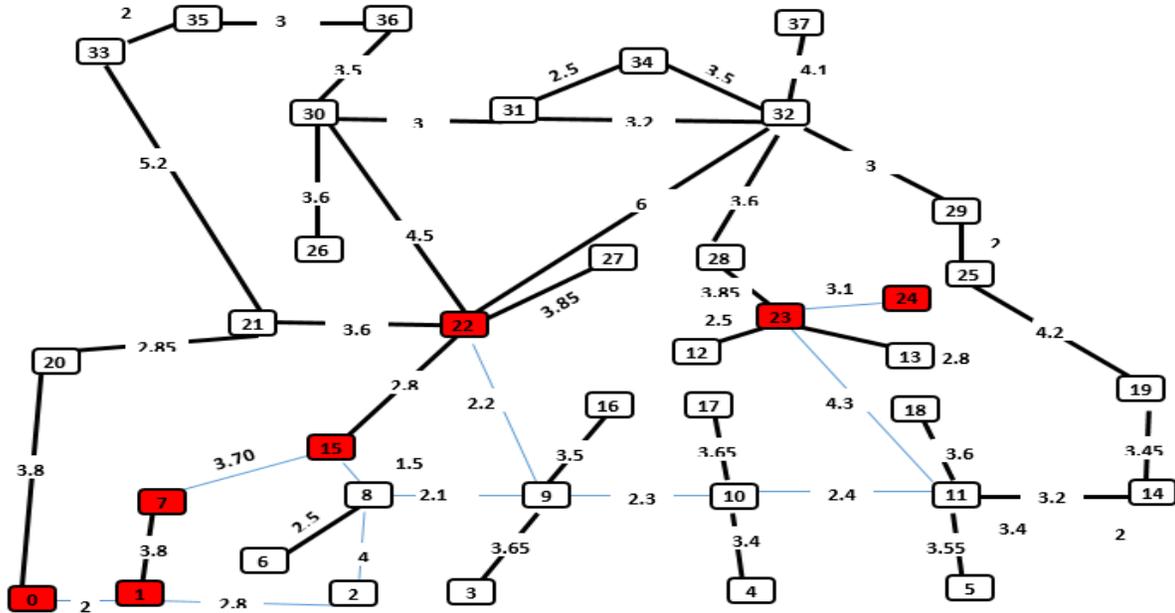


Figura 5 6 Representación gráfica solución experto humano. Las líneas de color azul representan la solución de experto humano. Los recuadros de color rojo son los nodos a conectar.

Observando los resultados gráficos y escritos de las figuras 5.5 y 5.6 podemos observar que para este caso de experimentación el algoritmo genético MCS obtuvo mejores resultados que el experto humano.

Continuando con los pasos del método propuesto se entregan los resultados al experto humano para que realice la ejecución de cableado en la red de poliducto. Posteriormente poder generar una evaluación sobre el ahorro de cableado, obteniendo como resultado un ahorro económico que beneficia al experto humano o al cliente y al mismo tiempo generando una oportunidad de negocio.

A su vez se realizan las pruebas de funcionamiento de los resultados obtenidos y se procede a hacer la entrega del servicio funcionando. De esta manera se está cumpliendo con los pasos del método propuesto.

5.1.2 Evaluación línea positiva para el plano eléctrico de la figura 5.7

A continuación, se muestra una prueba de 22 nodos demanda a conectar por el algoritmo genético para la línea del cable positivo. Considerando estos nodos por el técnico electricista como un circuito independiente dentro de la red de poliducto.

Nodos a Conectar: 0, 1, 2, 3, 6, 4, 5, 16, 17, 18, 19, 12, 13, 24, 29, 27, 26, 37, 36, 35, 33

Resultado obtenido por experto humano con una distancia de 120.57 metros lineales para línea positiva.

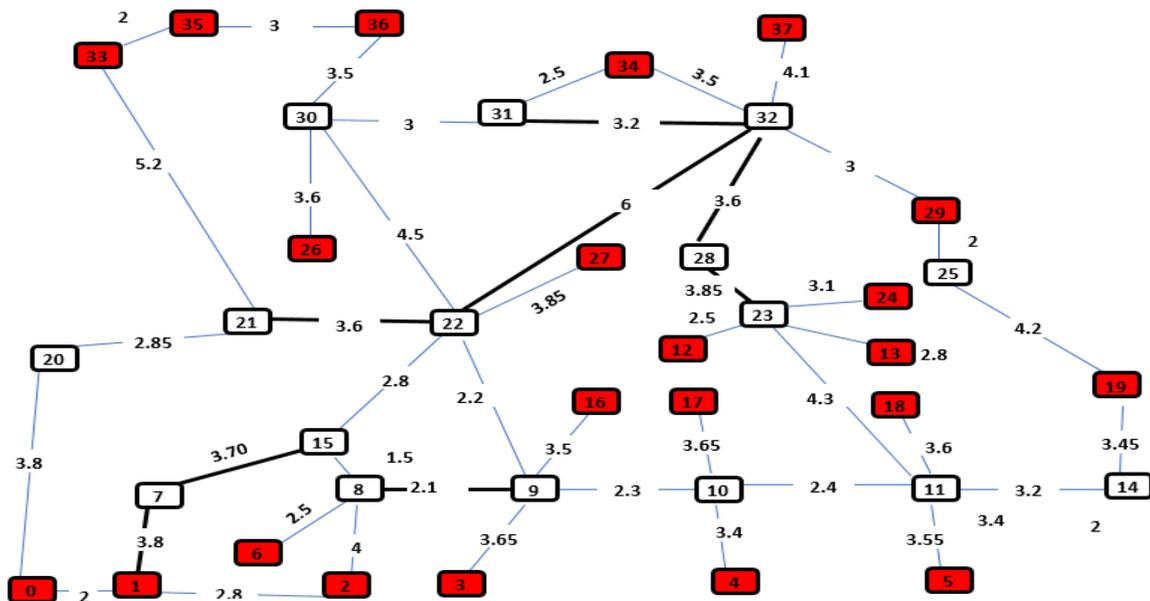


Figura 5.7 Solución experto humano para 22 nodos demanda. Las líneas de color azul representan la solución por experto humano. Los recuadros de color rojo son los nodos a conectar.

El resultado de la ejecución del algoritmo MCS es de **109.9** metros lineales para línea positiva, obteniendo una ventaja de **10.62** metros respecto a una solución del experto humano. La reducción no solo es en distancia de cableado sino también en tiempo. El algoritmo hizo el análisis en 2 minutos y el experto humano lo hizo en 5 minutos en base al plano, considerando que existe el plano de la red. Si el plano no existe el tiempo de análisis de un experto humano puede ser de uno o dos días. En la figura 5.8 se observa el camino que el algoritmo siguió, reduciendo la cantidad de cableado y cumpliendo con el objetivo de conectar todos los nodos demanda requeridos.

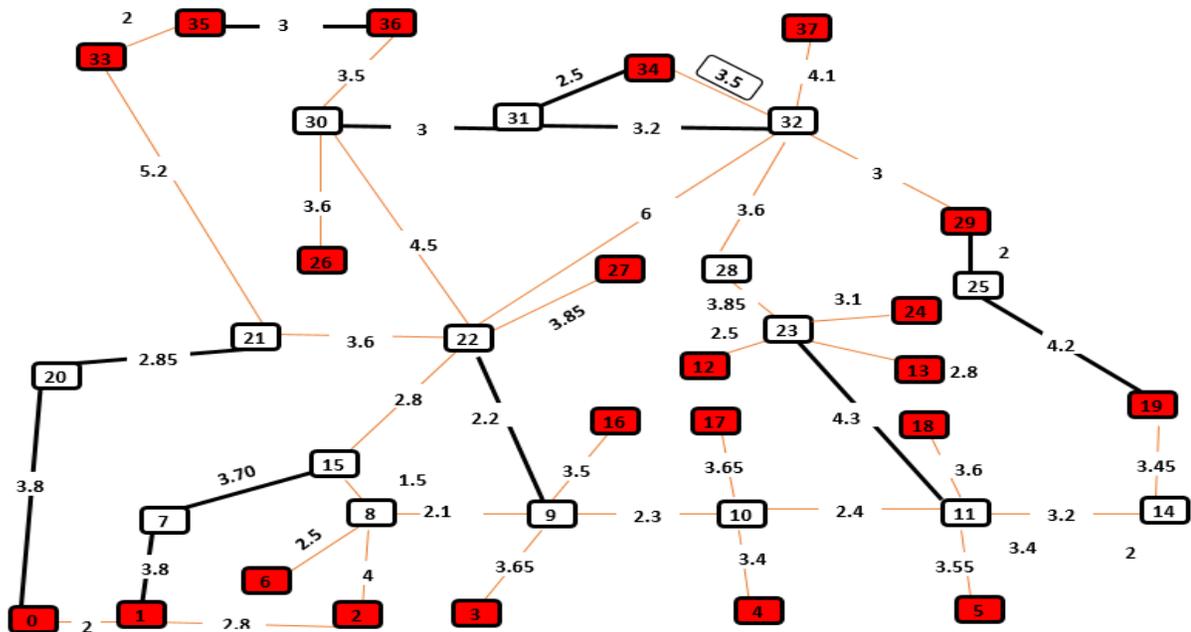


Figura 5 8 Resultado del algoritmo genético MCS para 22 nodos demanda de línea positiva. Las líneas de color rojo representan la solución del algoritmo. Los recuadros de color rojo son los nodos a conectar.

Los parámetros para la ejecución del algoritmo son los siguientes:

Tabla 5 4 Valores de ajuste del algoritmo MCS.

Parámetros de ajuste del algoritmo MCS	
Número de individuos por generación	100
Número de generaciones	300
Probabilidad de mutación por inversión	10 %
Número de cortes en operador de cruce n- puntos aleatorio	3
Operador de selección por torneo (valor del K)	3

En la figura 5.9 se puede observar la diferencia de distancia con respecto al experto humano y a la peor solución.

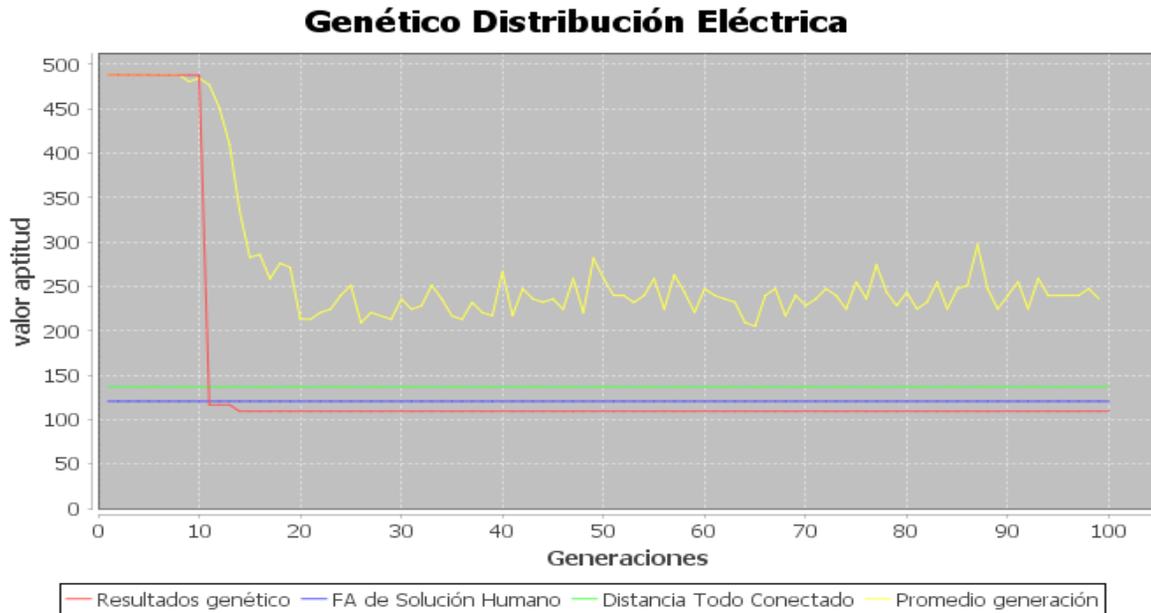


Figura 5 9 Gráfica del algoritmo genético para evaluación de 22 nodos demanda de línea positiva.

A continuación, se muestra en la tabla la comparación de los resultados obtenidos entre el algoritmo y la solución propuesta por el experto humano.

Tabla 5 5 Resultado algoritmo MCS.

Resultado del algoritmo MCS				
No. de nodos a buscar.	No. de nodos conectados	Distancia obtenida por humano	Distancia encontrada por algoritmo	Distancia de todo conectado (peor solución)
24	24	120.57	109.9	136.85

Para esta ejecución de 24 nodos demanda a conectar tanto el algoritmo como el experto humano lograron conectar todos los nodos. El algoritmo obtuvo el mejor resultado entre la generación número 10 y 20; tal y como se muestra la figura 5.9. El algoritmo obtuvo una ventaja de 10.62 metros cumpliendo con el objetivo de minimizar la cantidad de cableado. Podemos concluir que el algoritmo MCS en esta ejecución funciona de manera correcta.

Considerando el que consto del cable por metro es de \$ 15 pesos, dando como resultado un ahorro de \$ 159.3 pesos.

5.1.3 Evaluación línea negativa para el plano eléctrico de la figura 5.10

A continuación, se muestra una prueba de 38 nodos demanda a conectar por el algoritmo MCS para la línea del cable negativo.

Nodos a Conectar: 0, 1, 2, 3, 6, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37.

Resultado obtenido por experto humano con una distancia de 136.85 metros lineales para línea negativa.

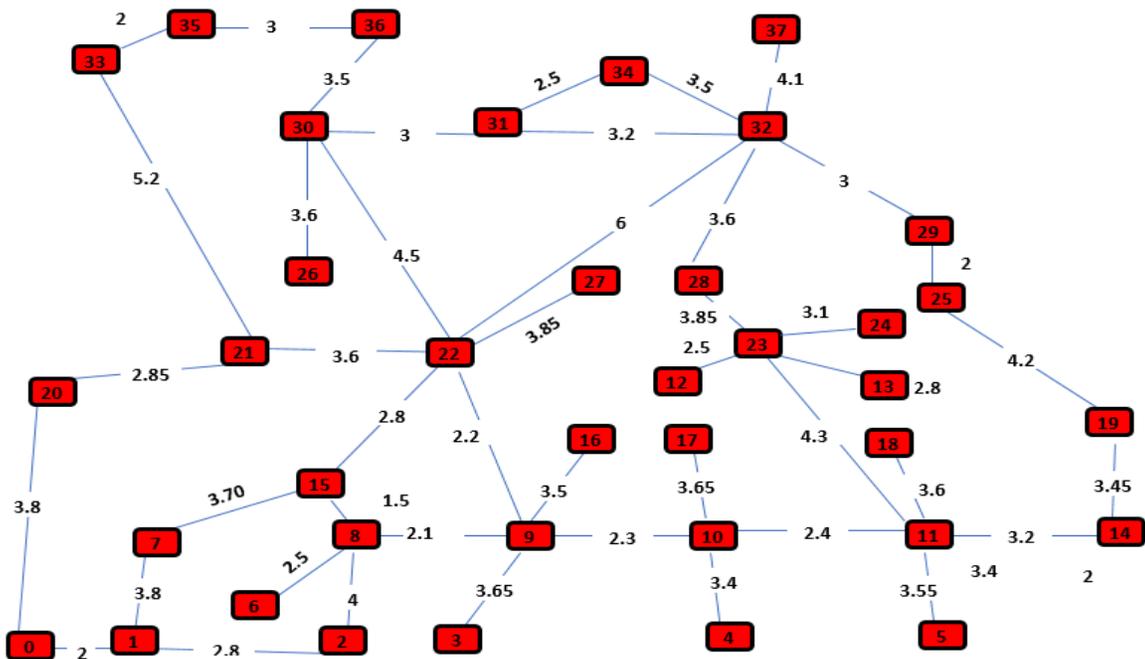


Figura 5 10 Solución experto humano para 38 nodos demanda. Las líneas de color azul representan la solución del experto humano. Los recuadros de color rojo son los nodos a conectar.

Resultado obtenido por algoritmo genético con una distancia de 115.29 metros lineales para línea negativa.

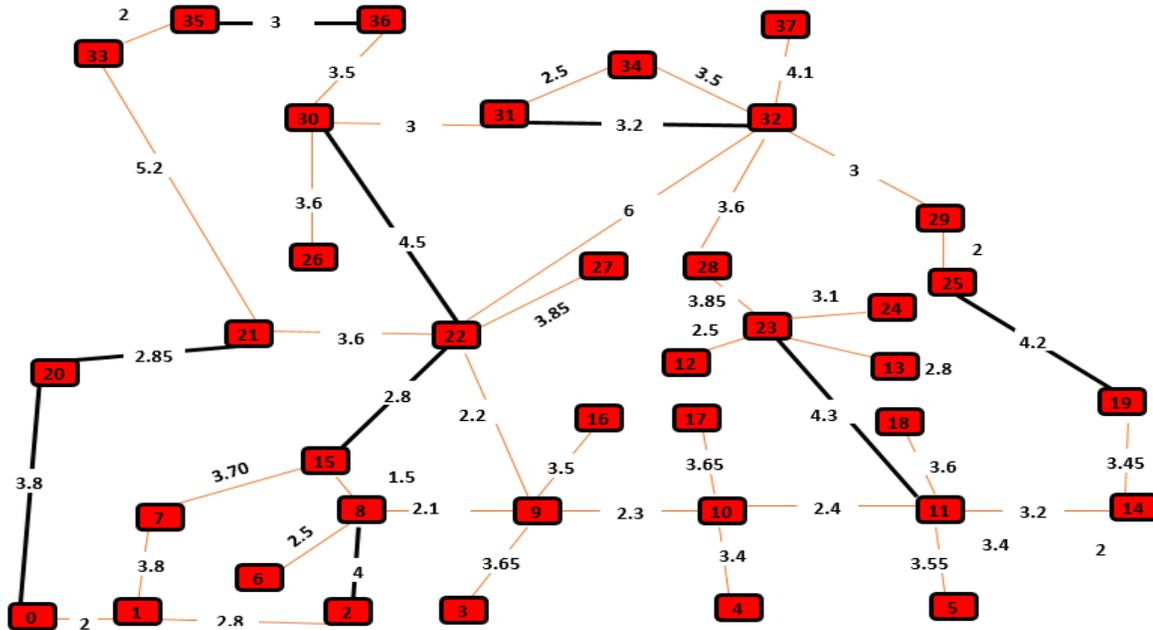


Figura 5 11 Resultado del algoritmo genético MCS para 38 nodos demanda de línea negativa. Las líneas de color rojo representan la solución del algoritmo MCS. Los recuadros de color rojo son los nodos a conectar.

Los parámetros para la ejecución del algoritmo son los siguientes:

Tabla 5 6 Valores de ajuste del algoritmo MCS.

Parámetros de ajuste del algoritmo MCS	
Número de individuos por generación	100
Número de generaciones	300
Probabilidad de mutación por inversión	10 %
Número de cortes en operador de cruce n- puntos aleatorio	3
Operador de selección por torneo (valor del K)	3

En la figura 5.12 se puede observar la diferencia de distancia con respecto al experto humano y a la peor solución.

Genético Distribución Eléctrica

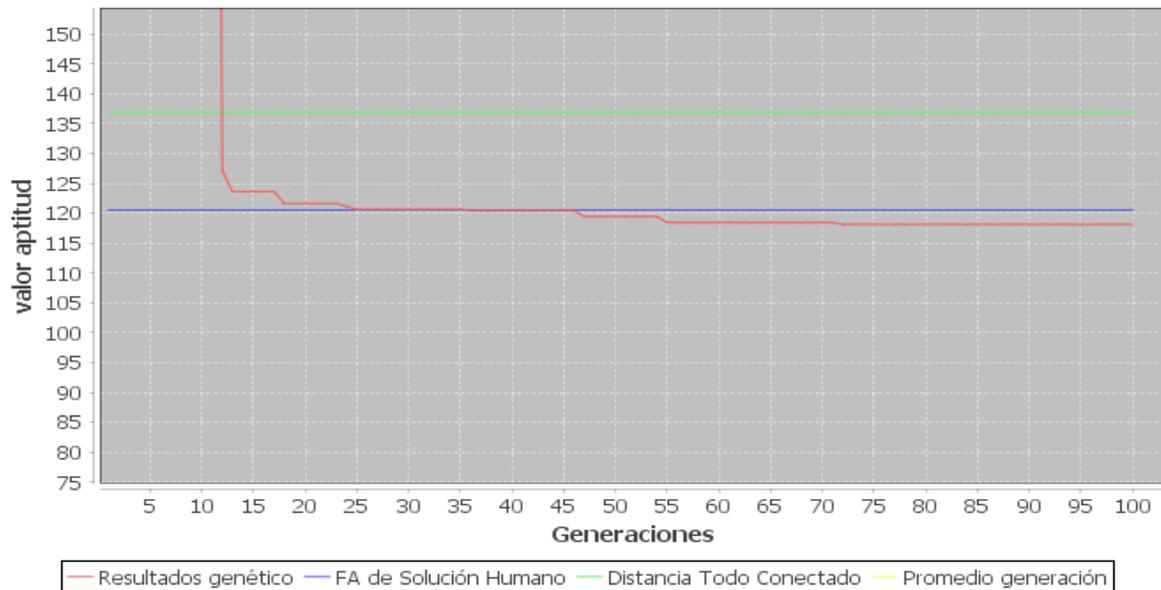


Figura 5 12 Gráfica del algoritmo genético para evaluación de 38 nodos demanda de línea negativa.

A continuación, se muestra en la tabla la comparación de los resultados obtenidos entre el algoritmo y la solución propuesta por el experto humano.

Tabla 5 7 Resultado algoritmo MCS.

Resultado del algoritmo MCS				
No. de nodos a buscar.	No. de nodos conectados	Distancia obtenida por humano	Distancia encontrada por algoritmo	Distancia de todo conectado (peor solución)
38	38	136.5	115.29	136.85

Para esta ejecución de 24 nodos demanda a conectar tanto el algoritmo como el experto humano lograron conectar todos los nodos. El algoritmo obtuvo el mejor resultado entre la generación número 10 y 60; tal y como se muestra la figura 5.12. El algoritmo obtuvo una ventaja de **21.56** metros cumpliendo con el objetivo de minimizar la cantidad de cableado. Podemos concluir que el algoritmo MCS en esta ejecución funciona de manera correcta. Considerando el que consto del cable por metro es de **\$ 15 pesos**, dando como resultado un ahorro de **\$ 323.4** pesos.

Después de las evaluaciones necesarias para hacer una distribución eléctrica de red funcional mediante el algoritmo MCS se obtuvo como resultado un ahorro total de **35.8 metros** con

respecto a las soluciones propuesta por un experto humano. Este resultado es la suma de las diferencias de distancias entre el algoritmo MCS y el experto humano en las tres evaluaciones anteriores.

Considerando el que consto del cable por metro es de \$ 15 pesos, dando como resultado un ahorro de \$ 537 pesos en total para estas tres evaluaciones.

Se puede definir que el ahorro no solo es de dinero, también es de tiempo y de esfuerzo para el diseño de una red de cableado funcional. Considerando que con los resultados obtenidos se pueden utilizar por diferentes humanos, incluso con baja experiencia en el tema eléctrico, debido a que el algoritmo entrega la ruta a seguir para poder hacer el cableado.

5.2 Segundo caso de evaluación de plano eléctrico residencial

Empezando con la segunda experimentación se presenta en la figura 5.13 un segundo plano de distribución eléctrica de una residencia. Donde se especifica la cantidad de luminarias, contactos y apagadores según requerimiento del cliente.

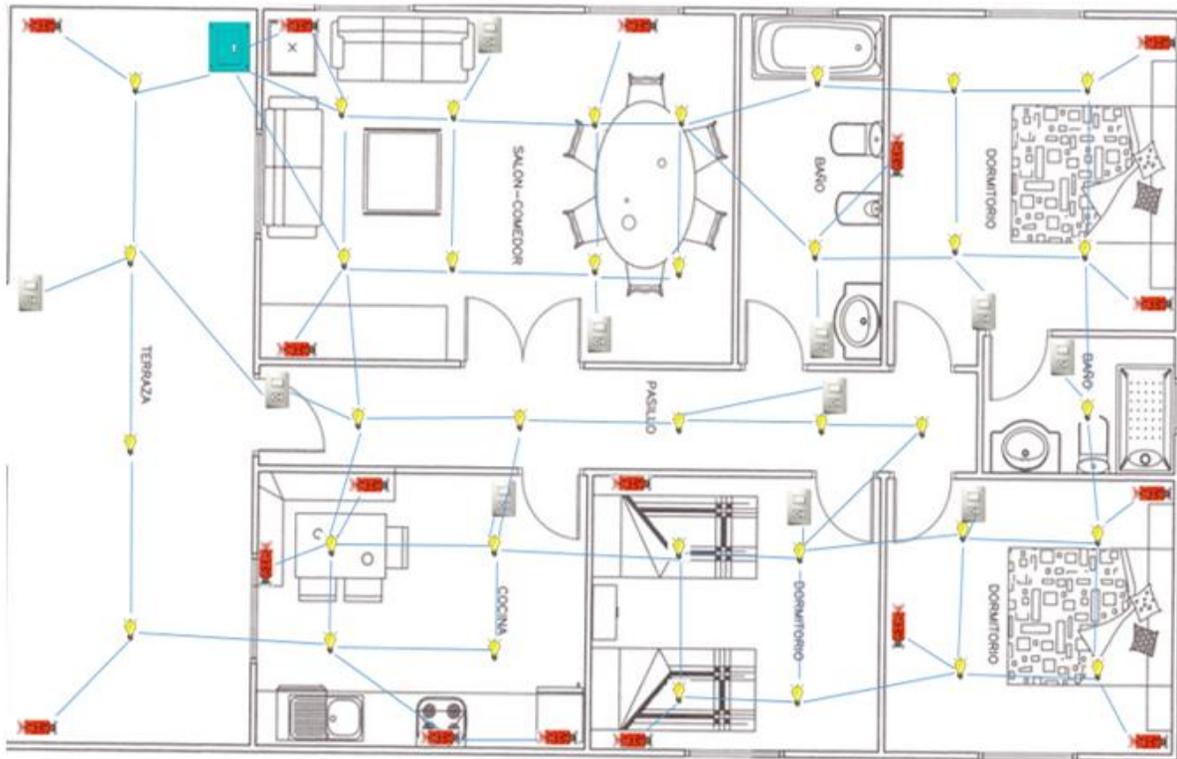


Figura 5 13 Plano eléctrico residencial casa número 2.

A continuación, se realiza la identificación de la red de polducto en base al plano eléctrico propuesto en la figura 5.14, a partir de este plano se realiza el modelado mediante un grafo para ser evaluado por un experto humano y el algoritmo genético MCS.

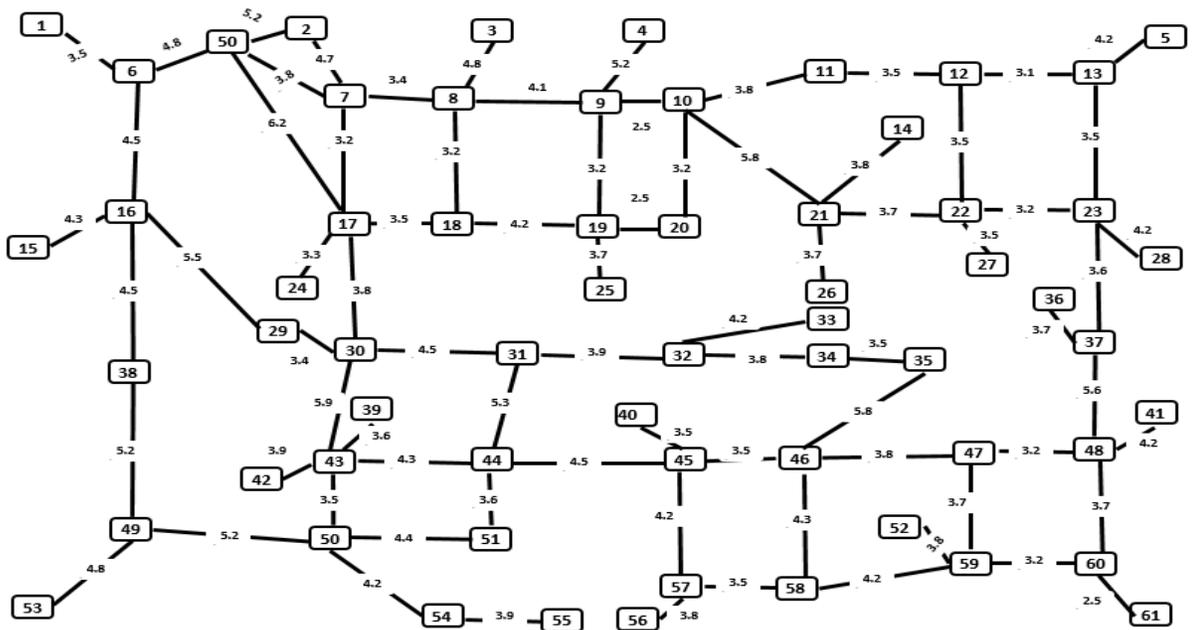


Figura 5 14 Grafo de distribución de red de poliducto de residencia número 2.

Mediante la representación del grafo se obtiene de nuevo los nodos demanda a evaluar para esta segunda experimentación evaluaremos nodos demanda que requieren cableado de tipo positivo y negativo. Con la característica de dos circuitos de manera independiente, podemos observar que este análisis es de mayor dimensión. Con este análisis se espera obtener mejores resultados por parte del algoritmo genético en comparación con el experto humano.

5.2.1 Evaluación línea positiva para el plano eléctrico de la figura 5.15

A continuación, se muestra una prueba de 14 nodos demanda a conectar por el algoritmo genético para la línea del cable positivo.

Nodos a Conectar: 0, 1, 6, 2, 15, 24, 3, 4, 25, 14, 26, 27, 28, 5

Resultado obtenido por experto humano con una distancia de 110.2 metros lineales para línea positiva. A continuación, en la figura 5.15 se observa de manera gráfica la solución propuesta por el experto humano.

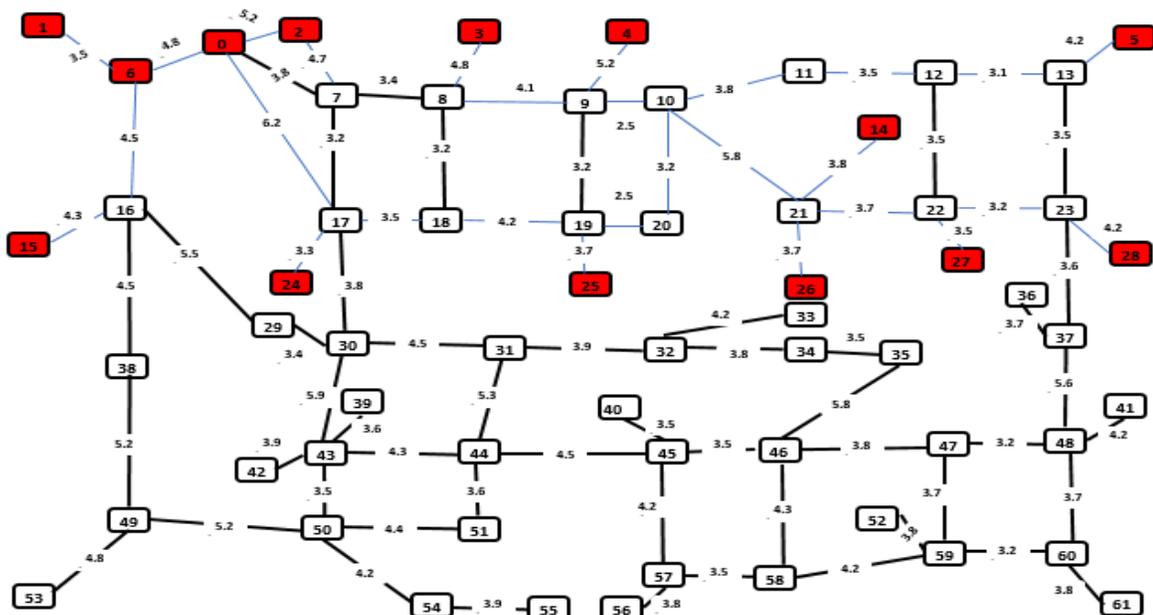


Figura 5 15 Solución experto humano para 14 nodos demanda. Las líneas de color azul representan la solución propuesta. Los recuadros de color rojo son los nodos a conectar.

El resultado obtenido de la ejecución del algoritmo es de **101.7 metros** lineales para línea positiva, obteniendo una ventaja de **8.5 metros** respecto a una solución del experto humano.

En la figura 5.16 se observa el camino que el algoritmo siguió, reduciendo la cantidad de cableado y cumpliendo con el objetivo de conectar todos los nodos demanda requeridos.

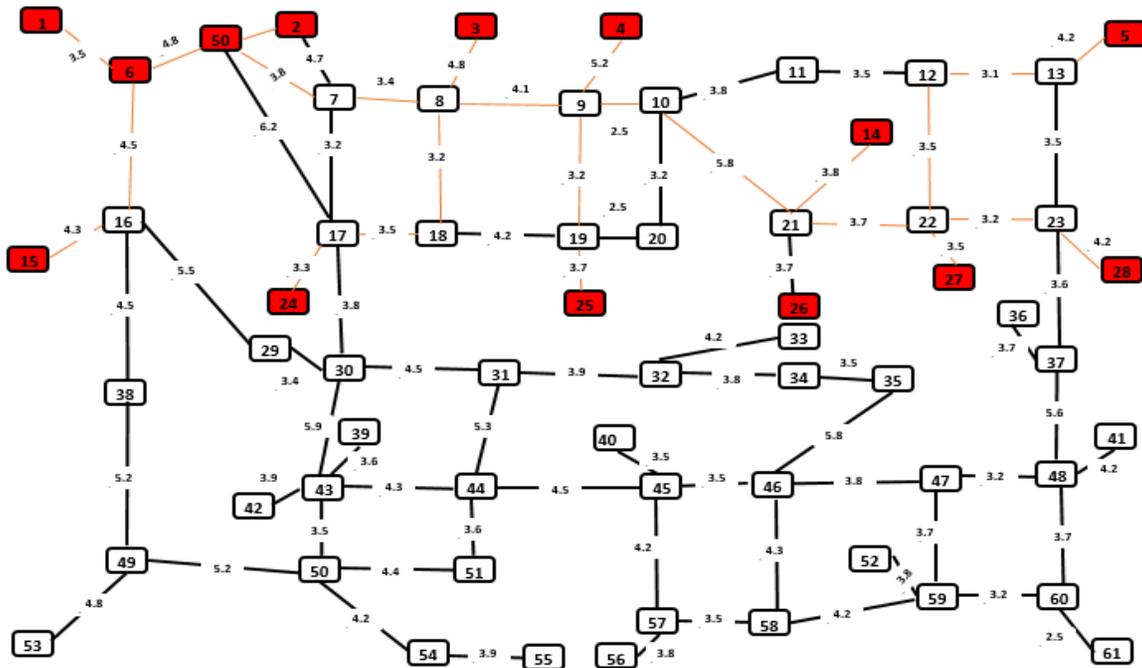


Figura 5 16 Resultado del algoritmo MCS para 14 nodos demanda de línea positiva. Las líneas de color rojo representan la solución obtenida por el algoritmo. Lo recuadros de color rojo representan los nodos demanda a conectar.

Los parámetros para la ejecución del algoritmo son los siguientes:

Tabla 5 8 Valores de ajuste del algoritmo MCS.

Parámetros de ajuste del algoritmo MCS	
Número de individuos por generación	100
Número de generaciones	300
Probabilidad de mutacion por inversión	10 %
Número de cortes en operador de cruza n- puntos aleatorio	3
Operador de selección por torneo (valor del K)	3

A continuación, en la figura 5.17 se presenta la gráfica de la ejecución del algoritmo genético MCS donde se realiza la comparación de los resultados entre el experto humano y el algoritmo MCS. Donde para esta experimentación se puede observar la minimización de cableado.

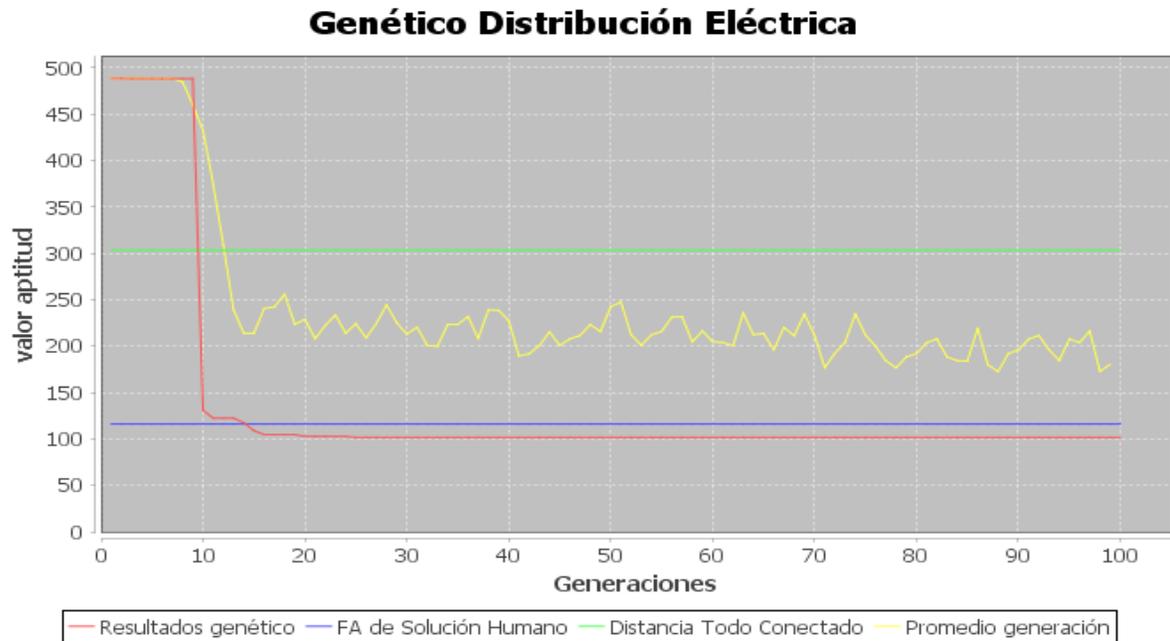


Figura 5 17 Gráfica del algoritmo genético para evaluación de 14 nodos demanda de línea positiva.

Tabla 5 9 Resultado algoritmo MCS.

Resultado del algoritmo MCS				
No. de nodos a buscar.	No. de nodos conectados	Distancia obtenida por humano	Distancia encontrada por algoritmo	Distancia de todo conectado (peor solución)
14	14	110.2	101.7	315.20

Para esta ejecución de 14 nodos demanda a conectar tanto el algoritmo como el experto humano lograron conectar todos los nodos. El algoritmo obtuvo el mejor resultado entre la generación número 10 y 20; tal y como se muestra la figura 5.17; El algoritmo obtuvo una ventaja de **8.5** metros cumpliendo con el objetivo de minimizar la cantidad de cableado. Podemos concluir que el algoritmo MCS en esta ejecución funciona de manera correcta. Considerando el que costo del cable por metro es de **\$ 15 pesos**, dando como resultado un ahorro de **\$ 127.5 pesos**.

5.2.2 Evaluación línea positiva para el plano eléctrico de la figura 5.17

A continuación, se muestra una prueba de 29 nodos demanda a conectar por el algoritmo genético para la línea del cable negativo.

Nodos a Conectar: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28

Resultado obtenido por experto humano con una distancia de **129.8 metros** lineales para línea negativa. En la figura 5.18 se observa de manera grafica la solución propuesta por el experto humano.

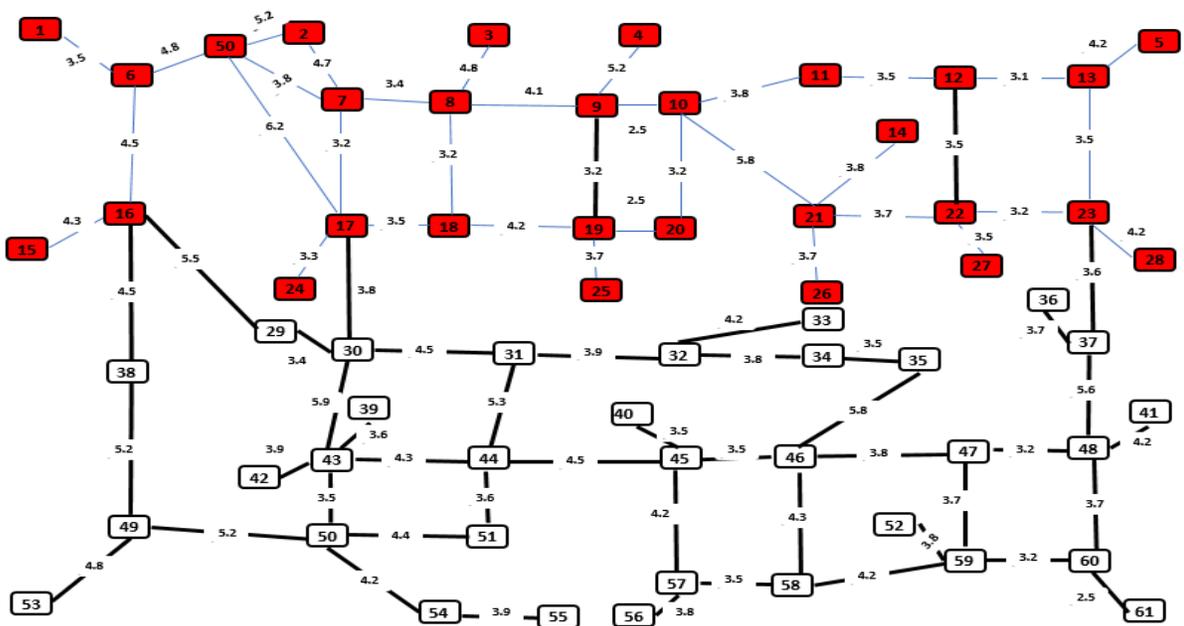


Figura 5 18 Solución experto humano para 29 nodos demanda. Las líneas de color azul representan la solución del experto humano. Los recuadros de color rojo representan los nodos a conectar.

El resultado de la ejecución es de **105.6 metros** lineales para línea negativa, obteniendo una ventaja de **24.2 metros** respecto a una solución del experto humano.

En la figura 5.19 se observa el camino que el algoritmo siguió, reduciendo la cantidad de cableado y cumpliendo con el objetivo de conectar todos los nodos demanda requeridos.

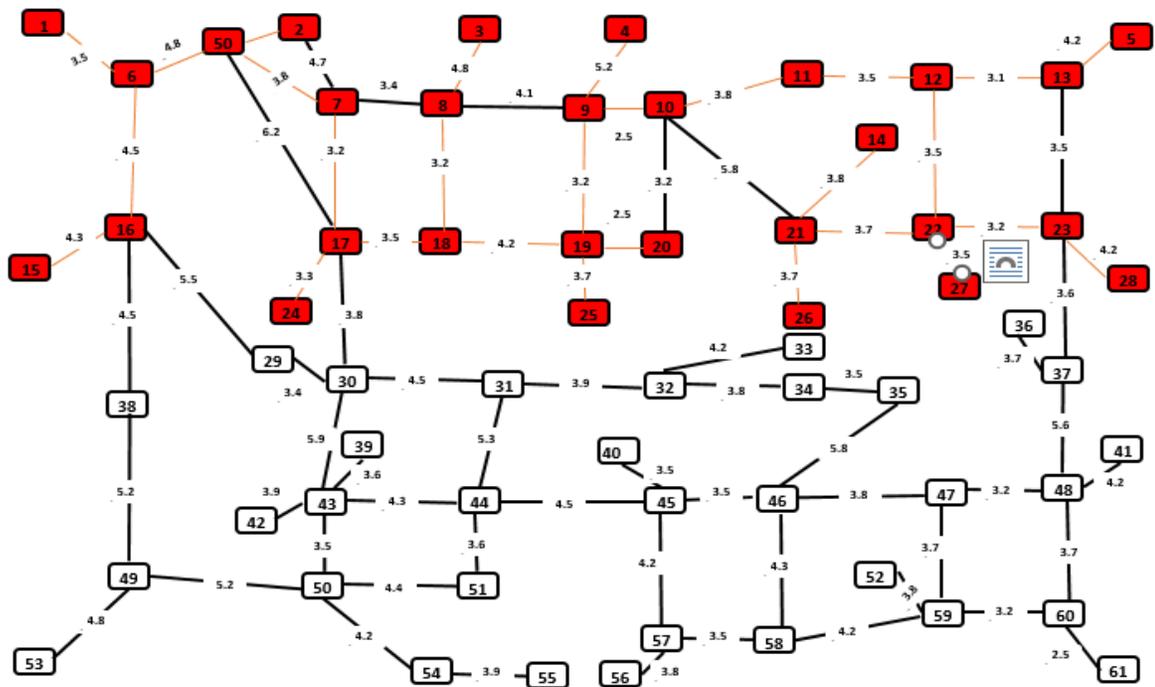


Figura 5 19 Resultado del algoritmo genético MCS para 29 nodos demanda de línea positiva. Las líneas de color rojo representan la solución del algoritmo. Los recuadros de color rojo representan los nodos demanda a conectar.

Los parámetros para la ejecución del algoritmo son los siguientes:

Tabla 5 10 Valores de ajuste del algoritmo MCS.

Parámetros de ajuste del algoritmo MCS	
Número de individuos por generación	100
Número de generaciones	300
Probabilidad de mutación por inversión	10 %
Número de cortes en operador de cruce n- puntos aleatorio	3
Operador de selección por torneo (valor del K)	3

A continuación, en la figura 20 se presenta la gráfica de la ejecución del algoritmo genético MCS, donde se realiza la comparación de los resultados entre el experto humano y el algoritmo MCS. Donde para esta experimentación se puede observar la minimización de cableado.

Genético Distribución Eléctrica

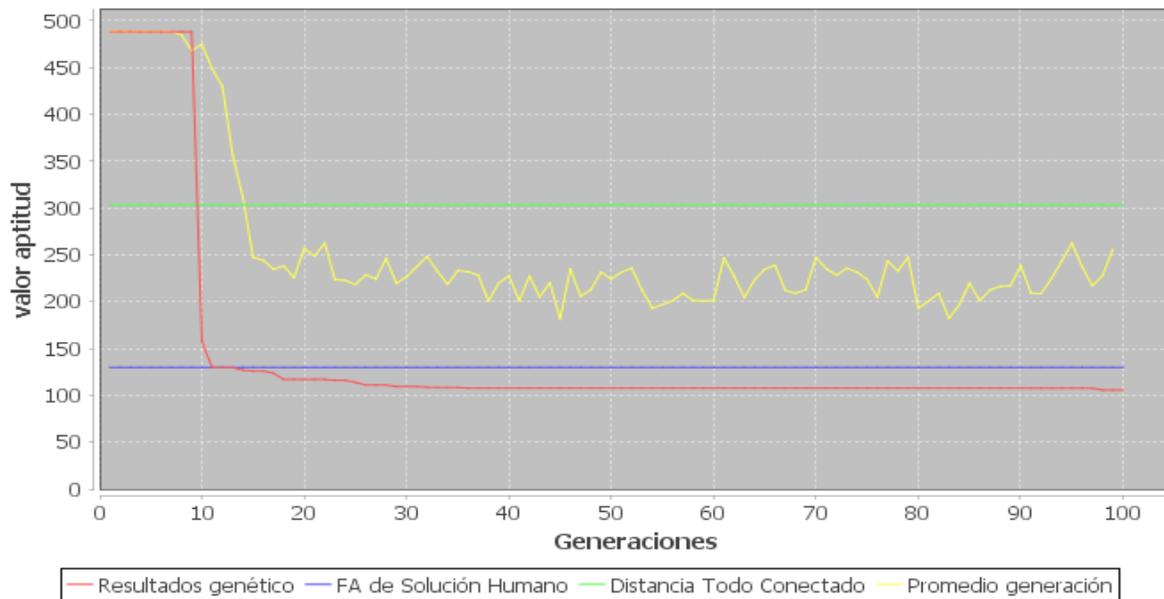


Figura 5 20 Gráfica del algoritmo genético para evaluación de 29 nodos demanda de línea positiva.

Tabla 5 11 Resultado algoritmo MCS.

Resultado del algoritmo MCS				
No. de nodos a buscar.	No. de nodos conectados	Distancia obtenida por humano	Distancia encontrada por algoritmo	Distancia de todo conectado (peor solución)
29	29	129.8	105.6	315.20

Para esta ejecución de 29 nodos demanda a conectar tanto el algoritmo como el experto humano lograron conectar todos los nodos. El algoritmo obtuvo el mejor resultado entre la generación número 10 y 30; tal y como se muestra la figura 5.20; El algoritmo obtuvo una ventaja de 24.2 metros cumpliendo con el objetivo de minimizar la cantidad de cableado. Podemos concluir que el algoritmo MCS en esta ejecución funciona de manera correcta. Considerando el que costo del cable por metro es de \$ 15 pesos, dando como resultado un ahorro de \$ 363 pesos.

5.2.3 Evaluación línea positiva para el plano eléctrico de la figura 5.21

A continuación, se muestra una prueba de 14 nodos demanda a conectar por el algoritmo genético para la línea del cable positivo.

Nodos a Conectar: 0, 29, 33, 36, 39, 40, 41, 42, 52, 53, 54, 55, 56, 61

Resultado obtenido por experto humano con una distancia de **130 metros** lineales para línea positiva. En la figura 5.21 se observa de manera gráfica la solución propuesta por el experto humano.

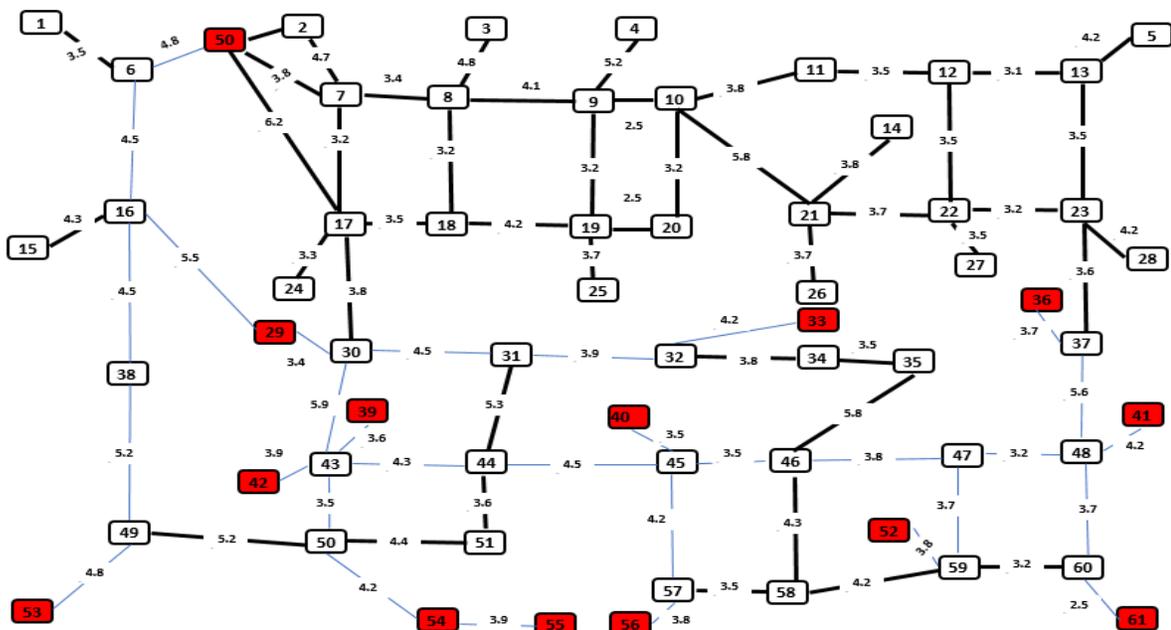


Figura 5 21 Solución experto humano para 14 nodos demanda. Las líneas de color azul representan la solución del experto humano. Los recuadros de color rojo representan los nodos a conectar.

El resultado de la ejecución del algoritmo es de **128 metros** lineales para línea negativa, obteniendo una ventaja de **2 metros** respecto a una solución del experto humano.

En la figura 5.22 se observa el camino que el algoritmo siguió, reduciendo la cantidad de cableado y cumpliendo con el objetivo de conectar todos los nodos demanda requeridos. Además de puede ver que el algoritmo obtuvo una ruta diferente respecto al experto humano.

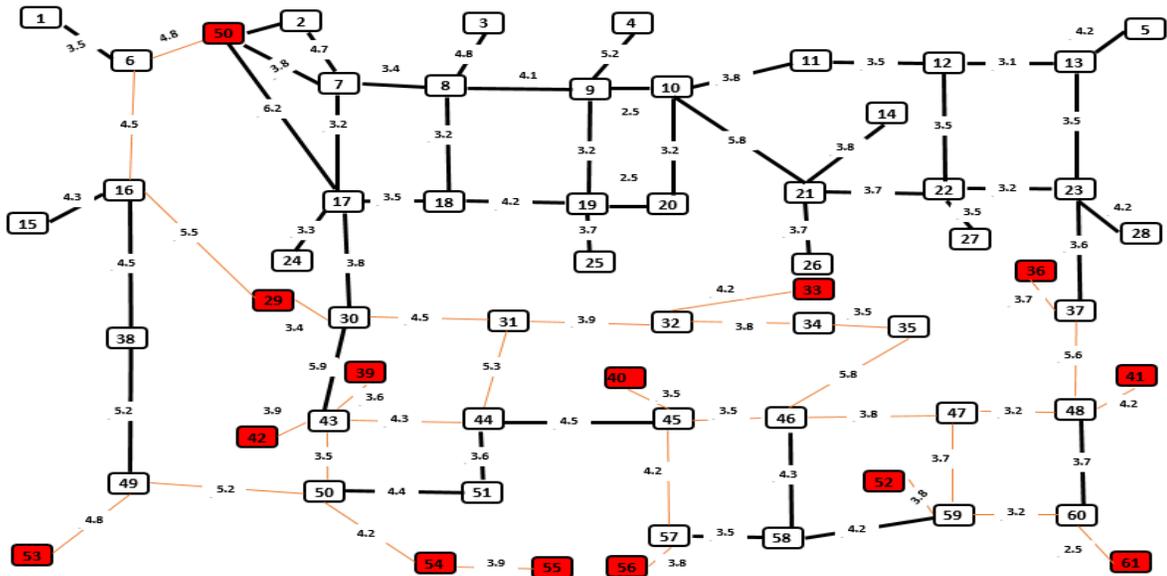


Figura 5 22 Resultado del algoritmo genético MCS para 14 nodos demanda de línea positiva. Las líneas de color rojo representan la solución del experto humano. Los recuadros de color rojo representas los nodos a conectar.

Los parámetros para la ejecución del algoritmo son los siguientes:

Tabla 5 12 Valores de ajuste del algoritmo MCS.

Parámetros de ajuste del algoritmo MCS	
Número de individuos por generación	100
Número de generaciones	300
Probabilidad de mutacion por inversión	10 %
Número de cortes en operador de cruce n- puntos aleatorio	3
Operador de selección por torneo (valor del K)	3

A continuación, en la figura 5.22 se presenta la gráfica de la ejecución del algoritmo genético MCS, donde se realiza la comparación de los resultados entre el experto humano y el algoritmo MCS. Donde para esta experimentación se puede observar la minimización de cableado.

Genético Distribución Eléctrica

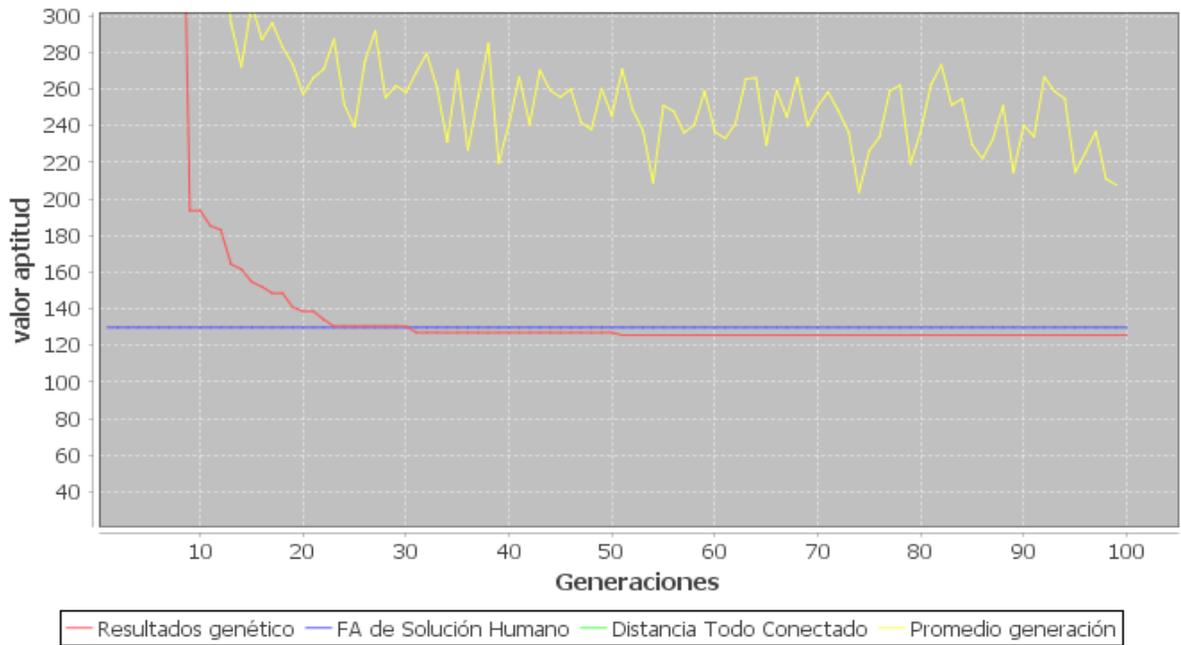


Figura 5 23 Gráfica del algoritmo genético para evaluación de 14 nodos demanda de línea positiva.

Tabla 5 13 Resultado algoritmo MCS.

Resultado del algoritmo MCS				
No. de nodos a buscar.	No. de nodos conectados	Distancia obtenida por humano	Distancia encontrada por algoritmo	Distancia de todo conectado (peor solución)
14	14	130	128	315.20

Para esta ejecución de 14 nodos demanda a conectar tanto el algoritmo como el experto humano lograron conectar todos los nodos. El algoritmo obtuvo el mejor resultado entre la generación número 10 y 30 tal y como se muestra la figura 5.23; El algoritmo obtuvo una ventaja de 2 metros cumpliendo con el objetivo de minimizar la cantidad de cableado. Podemos concluir que el algoritmo MCS en esta ejecución funciona de manera correcta. Considerando el que costo del cable por metro es de \$ 15 pesos, dando como resultado un ahorro de \$ 30 pesos.

5.2.4 Evaluación línea positiva para el plano eléctrico de la figura 5.24

A continuación, se muestra una prueba de 34 nodos demanda a conectar por el algoritmo genético para la línea del cable negativo.

Nodos a Conectar: 0, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 56, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61

Resultado obtenido por experto humano con una distancia de **171.5 metros** lineales para línea negativa. A continuación, en la figura 5.24 se observa de manera grafica la solución propuesta por el experto humano.

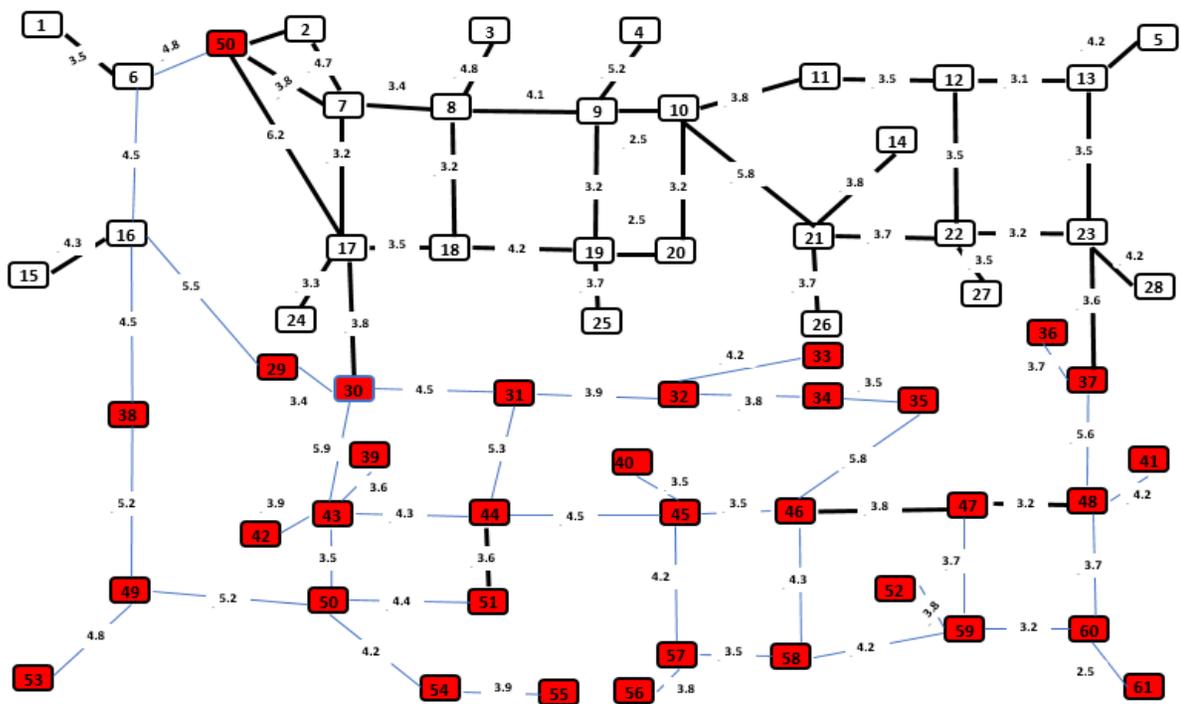


Figura 5 24 Solución experto humano para 34 nodos demanda. Las líneas de color azul representan la solución del experto humano. Los recuadros de color rojo representan los nodos demanda a conectar.

El resultado de la ejecución del algoritmo es **143.4 metros** lineales para línea negativa, obteniendo una ventaja de **28.1 metros** respecto a una solución del experto humano.

En la figura 5.25 se observa el camino que el algoritmo siguió, reduciendo la cantidad de cableado y cumpliendo con el objetivo de conectar todos los nodos demanda requeridos.

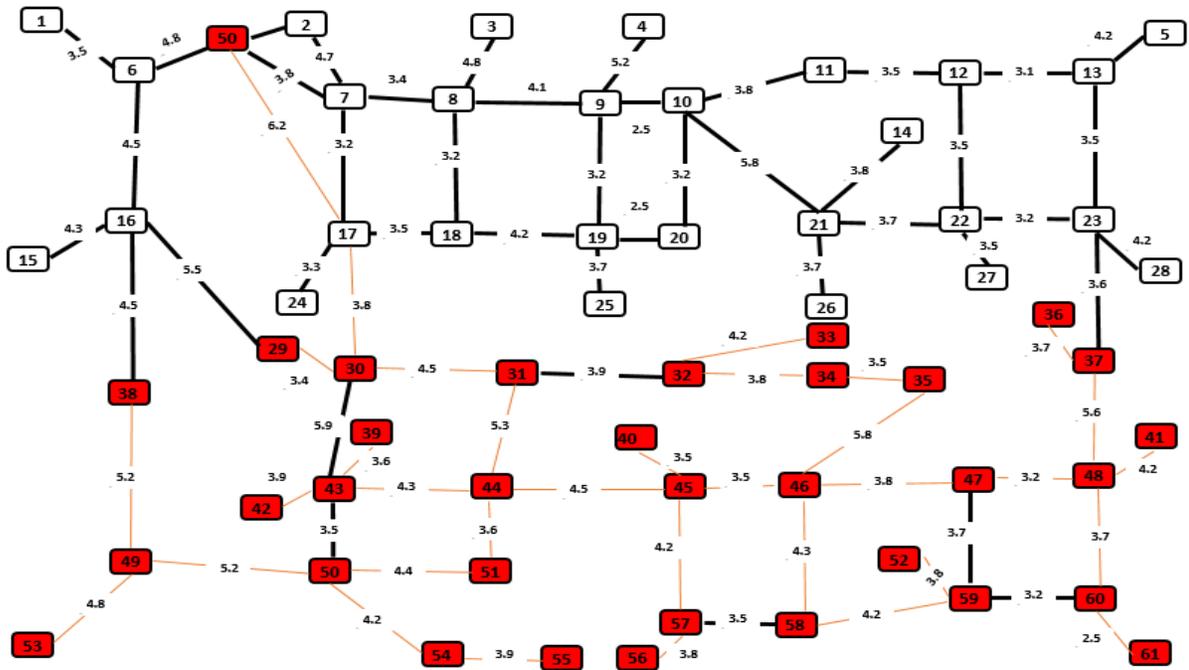


Figura 5 25 Resultado del algoritmo genético MCS para 34 nodos demanda de línea negativa. Las líneas de color rojo representan la solución del algoritmo. Los recuadros de color rojo representan los nodos demanda a conectar.

Los parámetros para la ejecución del algoritmo son los siguientes:

Tabla 5 14 Valores de ajuste del algoritmo MCS.

Parámetros de ajuste del algoritmo MCS	
Número de individuos por generación	100
Número de generaciones	300
Probabilidad de mutación por inversión	10 %
Número de cortes en operador de cruce n- puntos aleatorio	3
Operador de selección por torneo (valor del K)	3

A continuación, en la figura 5.26 se presenta la gráfica de la ejecución del algoritmo genético MCS, donde se realiza la comparación de los resultados entre el experto humano y el algoritmo MCS. Donde para esta experimentación se puede observar la minimización de cableado.

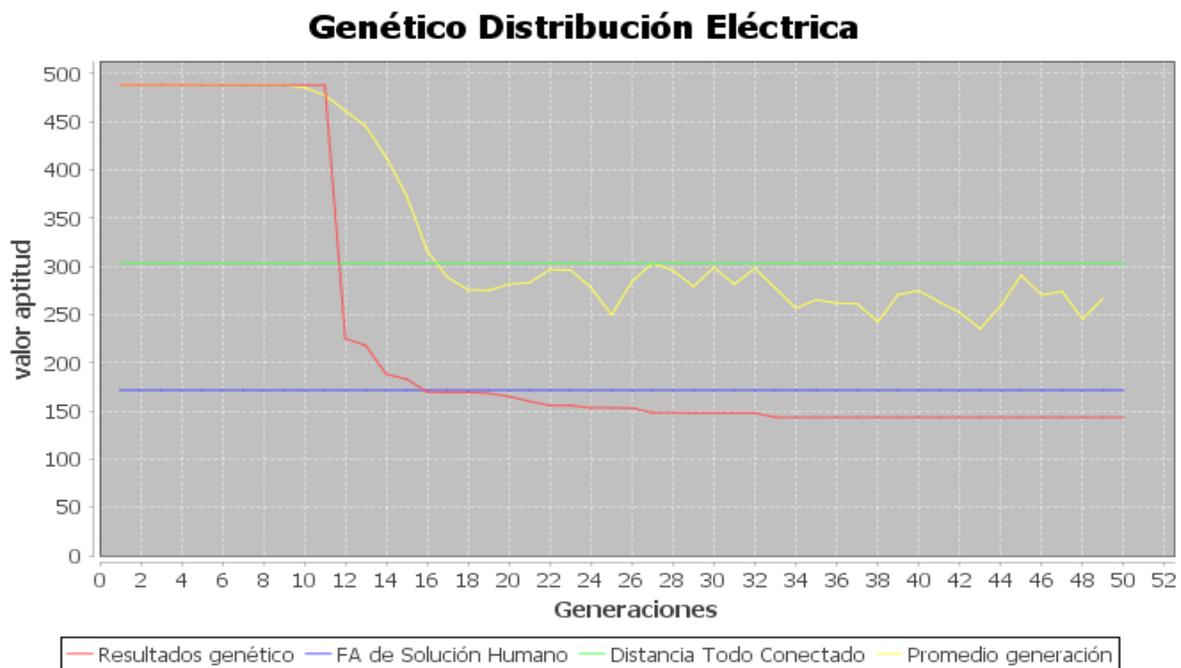


Figura 5 26 Gráfica del algoritmo genético para evaluación de 34 nodos demanda de línea negativa.

Tabla 5 15 Resultado algoritmo MCS.

Resultado del algoritmo MCS				
No. de nodos a buscar.	No. de nodos conectados	Distancia obtenida por humano	Distancia encontrada por algoritmo	Distancia de todo conectado (peor solución)
34	34	171.5	143.4	315.20

Para esta ejecución de 34 nodos demanda a conectar tanto el algoritmo como el experto humano lograron conectar todos los nodos. El algoritmo obtuvo el mejor resultado entre la generación número 10 y 35 tal y como se muestra la figura 5.26; El algoritmo obtuvo una ventaja de **28.1** metros cumpliendo con el objetivo de minimizar la cantidad de cableado. Podemos concluir que el algoritmo MCS en esta ejecución funciona de manera correcta. Considerando el que costo del cable por metro es de **\$ 15 pesos**, dando como resultado un ahorro de **\$ 421.5 pesos**.

Después de las evaluaciones necesarias para hacer una distribución eléctrica de red funcional mediante el algoritmo MCS se obtuvo como resultado un ahorro total de **62.8 metros** con respecto a la solución propuesta por un experto humano.

Considerando el que costo del cable por metro es de **\$ 15 pesos**, dando como resultado un ahorro de **\$ 942 pesos**.

Se puede definir que el ahorro no solo es de dinero, también es de tiempo y de esfuerzo para el diseño de una red de cableado funcional. Considerando que con los resultados obtenidos se pueden utilizar por diferentes humanos, incluso con baja experiencia en el tema eléctrico, debido a que el algoritmo entrega la ruta a seguir para poder hacer el cableado.

Los parámetros para la ejecución del algoritmo son los siguientes:

Tabla 5 16 valores de ajuste del algoritmo MCS.

Parámetros de ajuste del algoritmo MCS	
Número de individuos por generación	100
Número de generaciones	100
Probabilidad de mutación por inversión	15 %
Número de cortes en operador de cruce n- puntos aleatorio	3
Operador de selección por torneo (valor del K)	3

En la gráfica de la figura 5.28 podemos observar el comportamiento del algoritmo genético donde está buscando la mejor solución, conociendo que la mejor solución está en el valor 89 se obtiene para esta ejecución un resultado de 308 metros lineales. También en esta grafica se puede observar el comportamiento genético de minimización con el cual se define que el algoritmo propuesto es adecuado y funcional para el diseño de red de cableado sin supervisión de un experto humano.

Genético Distribución Eléctrica

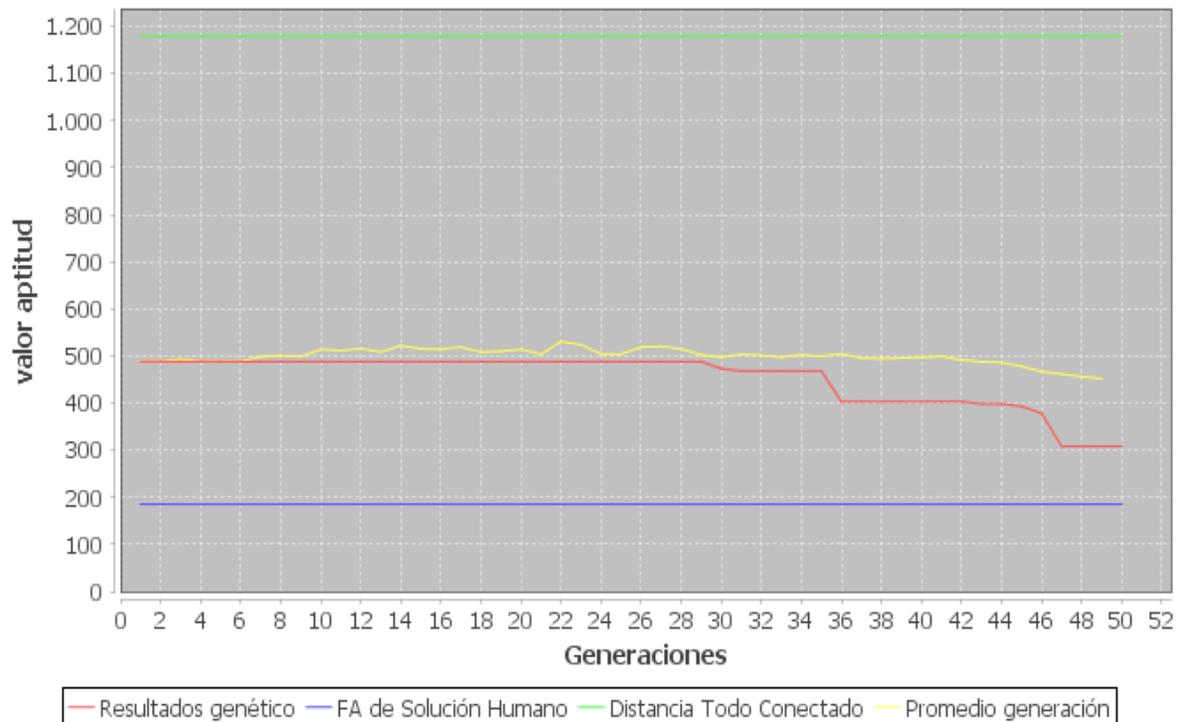


Figura 5 28 Gráfica de resultado de algoritmo MCS.

El resultado obtenido por el algoritmo MCS donde la distancia que se obtuvo en una de las ejecuciones del algoritmo MCS es de **308 metros** con un comportamiento en base a la gráfica de la figura 5.28 de minimización.

En la figura 5.29 se observa de manera gráfica el resultado obtenido por el algoritmo MCS donde podemos observar que se cumple con la mejor solución, agregando dos nodos conexiones de más lo cual indica que tiene un margen de error que al ser evaluado por un experto humano se puede notar el error y corregir.

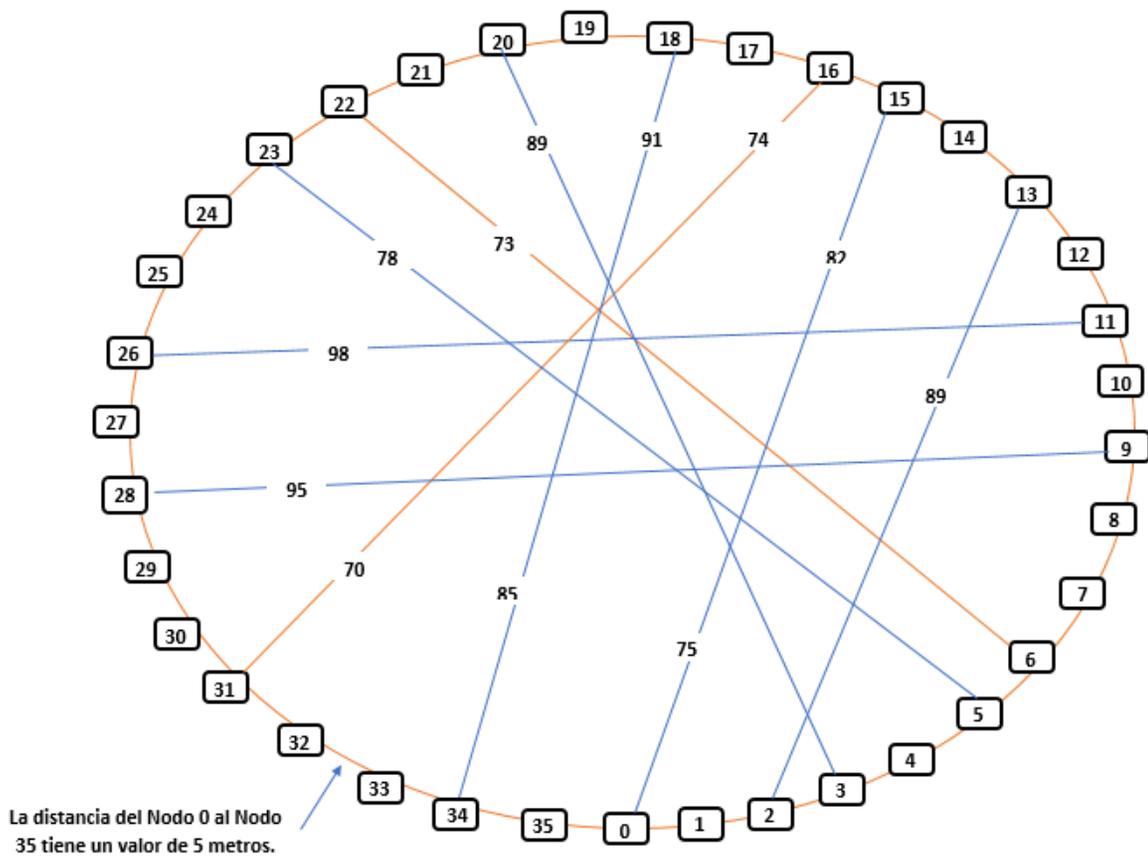


Figura 5 29 Resultado del algoritmo MCS. Las líneas de color rojo representan la solución obtenida por el algoritmo.

Los resultados obtenidos en este plano artificial son los esperados. Observando la gráfica de la figura 5.28 se puede observar el comportamiento del algoritmo MCS y continuamos haciendo movimientos en los parámetros de ajuste podemos llegar a encontrar la mejor solución posible.

5.4 *Resumen*

En este capítulo de experimentaciones se mostraron tres casos de evaluación. Los dos primeros son aplicados a planos eléctricos reales donde se muestra la distribución de poliducto existente en la residencia. Donde se obtienen la adyacencia y las distancias de las aristas para posteriormente poder hacer el modelado mediante un grafo. Aplicando el algoritmo genético MCS se puede encontrar nuevas redes de cableado eléctrico donde podemos observar una comparación con el experto humano. Los resultados obtenidos son favorables y cumplen los objetivos del método propuesto. Para el tercer caso se creó un método artificial donde se conoce cuál es la mejor solución y se compara con la encontrada por el algoritmo MCS. Se puede definir en esta evaluación el algoritmo encuentra la solución de todos los nodos conectados. Pero se puede observar que existe un margen de error muy bajo que puede ser corregido por el experto humano y que si se sigue ejecutando el algoritmo existe la posibilidad de corregir ese error. Se muestran las gráficas comparativas entre el algoritmo y el experto humano. También podemos observar los resultados de manera gráfica en los grafos resultantes.



CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES

Dentro de esta propuesta de tesis existen dos ramas importantes de investigación. Por un lado, tenemos las ciencias computacionales. Mediante el uso de estas herramientas podemos modelar problemas del mundo real donde el beneficio es aplicable. Podemos crear modelos matemáticos donde se representan elementos que componen un sistema. Estos modelos nos ayudan a poder entender y representar de mejor manera la realidad.

Los algoritmos genéticos pertenecen a esta categoría. Es una herramienta computacional de optimización que permite maximizar o minimizar mediante la aplicación de operadores genéticos replicados de la evolución de Darwin. Este tipo de algoritmo es ideal para poder minimizar distancias. Por lo que para esta investigación es un factor muy importante.

Otro de los aspectos importantes de esta investigación es el tema de electricidad doméstica e industrial. En el capítulo de estado del arte se puede observar trabajos de diferentes autores. Donde se observa la utilización de algoritmos genéticos. Estos están aplicados a redes de distribución eléctrica a niveles de alta tensión. Con la finalidad de poder reducir los costos de operación y funcionamiento para el mejoramiento de una red eléctrica de tipo radial.

Debemos entender que para este punto de nuestra vida el aspecto eléctrico es un factor importante que pertenece a una necesidad diaria del ser humano. La electricidad de alta y baja tensión es necesaria en todas las áreas que tiene que ver con el humano.

En esta investigación se espera poder ayudar a la mejora del proceso de utilización de cableado de tipo eléctrico a un nivel de baja tensión. Como podemos observar en el estado del arte las investigaciones solo tiene un enfoque de alta tensión. Se estuvo haciendo investigación y por el momento no existe un aporte que se enfoque al aspecto de baja tensión

que pertenece al nivel doméstico. Una de las condiciones de un correcto funcionamiento de una red radial, consiste en que una buena funcionalidad depende del correcto funcionamiento de cada uno de los nodos de carga existentes en toda la red. Por eso es importante que si existen optimizaciones en redes de cableado de tipo eléctrico a nivel de alta tensión. Es necesario tener también optimizaciones de redes de cableado de tipo eléctrico a nivel doméstico residencial. Si se logra diseñar una red de cableado optimizada podemos garantizar un correcto funcionamiento del todo el sistema. Trayendo un beneficio en conjunto.

Con esta investigación se busca generar diseños de red de cableado que ayuden a la toma de decisiones de un experto humano. Se busca crear diseños simples de red que puedan ser entendidos por cualquier experto y además que sean confiables. Con estos diseños se cumplen diferentes objetivos. Por un lado, tenemos el mejor aprovechamiento de los recursos, implicando ahorro de material, ahorro de tiempo, reducción en los gastos de operación. Por otro lado, tenemos el apoyo documentado para el experto humano, una oportunidad de negocio, una posibilidad de competencia laboral en un mercado tan competido y la ayuda a una mejor estimación de presupuestos.

Un aporte extra por parte del área de algoritmos genéticos es el uso de una función multiobjetivo. Esta función es una función que genera que el algoritmo cumpla diferentes objetivos dentro de la misma ejecución. Estos multi - objetivos son importantes para encontrar el mejor resultado posible. En esta investigación estoy usando este tipo de función y puedo definir que es estable y confiable por un lado maximiza un requerimiento y una vez completado ese objetivo la función ejecuta el segundo objetivo, dando lugar a la minimización de cableado. Los resultados obtenidos son los esperados, según los objetivos descritos en esta investigación.

El uso del algoritmo genético con esta variante multiobjetivo nos proporciona millones de posibilidades por cada ejecución. Reduciendo el esfuerzo computacional por la mitad al resolver múltiples objetivos al mismo tiempo.

Los resultados obtenidos en las experimentaciones son confiables. Se realizó una comparación contra un experto humano y los resultados fueron en su mayoría de los casos de evaluación mejores con respeto a los obtenidos por el experto. Se observa en las evaluaciones que los resultados son mejores no solo en resultado final de distancia, sino también en aspectos de tiempo. Entendemos que para esta investigación se cuenta con planos de tipo eléctrico con medidas y modelado en un grafo. De esta manera la evaluación por el experto humano fue más fácil. En la realidad muchas veces no se cuenta con un plano eléctrico. Por lo que puedo concluir que para estos casos de evaluación el experto humano tenía ventaja. Aun así, con la

ventaja de contar con planos eléctricos el algoritmo propuesto obtuvo mejores resultados. Estas comparaciones nos demuestran que el algoritmo es confiable y que en un estado donde no exista la supervisión del experto humano los resultados siempre van a ser los mejores posibles.

Dentro del algoritmo se utilizó otro factor importante. El uso de elitismo asegura que el algoritmo siempre va a encontrar la mejor solución en cada generación y determina que siempre va en busca de la mejor solución.

Según los resultados observados en las gráficas se puede observar que el algoritmo tiene una rápida convergencia y no requiere de mucho tiempo de ejecución. Los parámetros fueron ajustados para que el resultado sea conseguido de manera rápida y además demuestra que el algoritmo es robusto.

El resultado final es una red de tipo radial que determina por defecto que su operación es simple y su administración es menos compleja.

Con esta propuesta de tesis se pretende mejorar el proceso constructivo de redes de cableado de todo tipo. Es posible las adaptaciones de diferentes tipos de redes y además facilitar el trabajo al experto humano. Por lo que se define que el algoritmo también es adaptable y escalable.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Referencias

- Alvarez, A. F. (2009). *LÍNEAS ELÉCTRICAS Y TRANSPORTE DE ENERGÍA ELÉCTRICA*. Valencia : Editorial Universitat Politècnica de València.
- Barrero, A. C. (2010). *Introducción a la Teoría de Grafos* . Ediciones Elizcom.
- Callaos, N. (2006). El error humano. Universidad Simón Bolívar .
- Durán. (2008). Redes cableadas e inalámbricas para transmisión de datos. *Científica*, 118.
- Fernández, J. L. (15 de Agosto de 2018). *FISICALAB*. Obtenido de <https://www.fiscalab.com/apartado/interferencias-ondas-armonicas#contenidos>
- Gestal, D. R. (2010). *Introducción a los algoritmos Genéticos y la Programación Genética*. Coruña: Galego.
- Gil, F. A. (2003). *Introducción a la programación estructurada en C*. Valencia: Maite Simon.
- Guerrero, E. C. (2009). *Electricidad Básica*. Machala El oro, Ecuador .
- Harper, H. H. (1999). *El ABC de las Instalaciones Eléctricas*. España: LIMUSA.
- IV, F. (21 de Febrero de 2017). *Real Academia Española*. Obtenido de <http://dle.rae.es/?id=3ZCBbvz>
- Luis García, Revillo Sánchez. (2006). El factor Humano de la Empresa. MBA.
- Marcos Gestal. (2010). Coruña: Galego.
- Miguel, A. S. (2007). *Calidad*. Madrid: Paraninfo.

- POLIFLEX. (12 de Agosto de 2018). *Catálogo Poliflex*. Obtenido de http://www.grupocoel.com.mx/varios_pdf/poliflex
- Purcell, E. M. (1988). *Electricidad y Magnetismo*. España: Reverté S.A.
- Robledo Leal, G. M. (2008). Calidad de la Energía Eléctrica: Camino a la Normalización. *Simposio de Metrología*.
- S, T. I. (28 de Febrero de 2018). *TYCO* . Obtenido de <https://blogseguridad.tyco.es/productos/que-es-sistema-cameras-cctv/>
- Saucedo Zavala, R. (2001). *Introducción a las Instalaciones electrónicas*.
- Sommerville, I. (2006). *Ingeniería de software* . Madrid España: Pearson.
- Thomas, F. (2007). *Principios de Circuitos Eléctricos*. (L. M. Castillo, Trad.) Naucalpan de Juárez, Edo. de México: Pearson Educación de México, S.A. de C.V.
- UNID. (12 de Agosto de 2018). *Universidad Interamericana para el Desarrollo*. Obtenido de http://moodle2.unid.edu.mx/dts_cursos_md/ADI/AO/AO01/AOPP01Lectura1.pdf