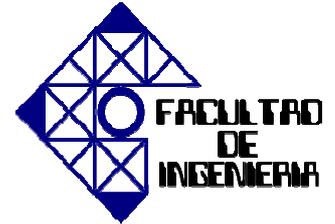




UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE POTENCIA



APLICACIÓN DE UN ALGORITMO GENÉTICO PARA EL DISEÑO DE LAS CONEXIONES DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN RADIAL MULTINODO

Autores: Br. González, Cristina.

Br. Guédez, Dexalina.

Tutor: Ing. Cesar Ruiz.

Naguanagua, Junio de 2012



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE POTENCIA



**APLICACIÓN DE UN ALGORITMO GENÉTICO PARA EL DISEÑO DE LAS
CONEXIONES DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN RADIAL MULTINODO**

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE
UNIVERSIDAD DE CARABOBO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTRICISTA**

Autores: Br. González, Cristina.
Br. Guédez, Dexalina.
Tutor: Ing. Cesar Ruiz.

Naguanagua, Junio de 2012

UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE POTENCIA

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Los abajo firmantes miembros del jurado asignado para evaluar el trabajo especial de grado titulado “Aplicación de un Algoritmo Genético para el Diseño de las Conexiones de un Sistema de Distribución Radial Multinodo”, realizado por los bachilleres: González, Cristina portadora de la cédula de identidad V-19.604.249 y Guédez Dexalina portador de la cédula de identidad V-17.551.509, hacemos constar que hemos revisado y aprobado dicho trabajo.

Ing. Cesar Ruiz

Tutor

Prof. Carlos Brito

Jurado

Prof. Juan Carlos Ataya

Jurado

Naguanagua, Junio 2012

DEDICATORIA

Ante todo, le agradezco a **Dios** por la vida que me da cada día y por acompañarme en mi caminar.

A mi madre **Fátima Rodríguez**, quien es mi ejemplo a seguir, la que me impulsa y me motiva a alcanzar mis metas. Por ella lo doy todo.

A mi padre **Hernán González**, quien en las buenas y en las malas me brindo su comprensión y nunca dudo de mí.

A mi hermana, mi amiga **Verónica González**, ninguna como tú, quien siempre me ha apoyado en cada paso que doy.

Y por último a mis amigas **Noemia De Andrade** y **Karla Briceño**, porque sé que mis logros son los de ellas. ¡Las quiero!

Cristina González

A **Dios todopoderoso**, por ser mi protector y guía en todo momento.

A mi abuela **Ligia Silva**, que siempre me acompañas en todas circunstancias, enviándome desde el cielo tus bendiciones, amor y apoyo absoluto para lograr esta meta, así como también iluminándome el camino de la sabiduría y claridad que siempre te he pedido. Eres mi razón de seguir adelante en todo momento y a pesar del vacío que dejaste en mí, sé que desde donde estás te sientes orgullosa y feliz porque éste también era tu sueño. ¡Gracias por darme tanto y todo!

A mis padres, **Dexa Fajardo** y **Jaime Guédez**, por darme la vida, la confianza y

el apoyo en este camino que decidí tomar, demostrándome siempre ser unos padres maravillosos. ¡Dios los bendiga!

A mi cielo, **Carlos García**, por amarme, creer en mí y brindarme siempre tu apoyo absoluto e incondicional en cada momento de este largo camino. Gracias por existir y por ser parte de mi vida. ¡Te amo infinito!

A mis hermanas, **Yenire Guédez** y **Jaismelis Guédez**, por siempre brindarme un espacio único de alegría y cariño sincero en los momentos difíciles. ¡Las quiero!

A mi sobrina, **Nathalia Adelina**, que llegó a mi vida en el mejor de los momentos, dándole ese toque de inocencia y pureza que sólo los angelitos pueden dar. ¡Dios te bendiga mi princesa!

A mis tíos, **Ygalmar** y **Marisol**, quienes de alguna u otra manera han representado un estímulo para seguir adelante.

Dexalina Guédez

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Carabobo por ser nuestra alma mater, a la Facultad de Ingeniería por habernos formado académica e individualmente durante estos cinco (5) años y con especial mención al Departamento de Potencia por guiarnos en esta etapa final.

A nuestro tutor académico, Ing. Cesar Ruiz, a usted por ser nuestra guía en este proyecto, por su colaboración y ardua entrega.

A los profesores Carlos García y Carlos Brito por acompañarnos, ayudarnos y brindarnos toda su sabiduría y orientación.

A nuestros padres, por tanto apoyo y respaldo.

¡A todos, nuestros más sinceros agradecimientos!

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTOS	VI
ÍNDICE GENERAL	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	X
ÍNDICE DE TABLAS	XI
RESUMEN	XII
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I. EL PROBLEMA	3
1.1 Planteamiento del problema.....	4
1.2 Formulación del problema	7
1.3 Objetivos de la Investigación.....	7
1.3.1 Objetivo General.....	7
1.3.2 Objetivos Específicos.....	7
1.4 Justificación.....	8
1.5 Alcance	9
1.6 Resultados Esperados	9
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	10
2.1 Antecedentes	11
2.2 Bases Teóricas	13
2.2.1 Algoritmo.....	13
2.2.2 Inteligencia Artificial	13
2.2.3 Algoritmos Genéticos.....	14
2.2.4 Operadores Genéticos.....	17
2.2.4.1 Selección.....	17
2.2.4.2 Recombinación.....	17
2.2.4.3 Algoritmos de Reemplazo	18
2.2.4.3.1 Mutación.....	18

2.2.5 Software	20
2.2.6 Lenguaje de Programación.....	21
2.2.7 Característica de Demanda	21
2.2.8 Características Técnicas y Económicas.....	22
2.2.8.1 Red de Alimentadores.....	22
2.2.8.2 Subestaciones.....	23
2.2.9 Modelo de Planificación.....	23
2.2.9.1 Restricciones del Sistema	23
2.3 Definición de Términos Básicos	24
2.3.1 Balance de Potencia	24
2.3.2 Capacidad del Sistema	24
2.3.3 Instalación del Sistema	24
2.3.4 Radialidad	24
2.3.5 Circuitos de Distribución.....	25
CAPITULO III. MARCO METODOLÓGICO	26
3.1 Tipo de investigación.....	27
3.2 Diseño de la investigación.....	28
3.3 Fases del Proyecto	28
3.3.1 Diagnóstico	29
3.3.1.1 Población y muestra.....	29
3.3.1.2 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	30
3.3.1.3 La Observación.....	31
3.3.1.3.1 Instrumento para la Observación	31
3.3.1.4 La Entrevista	32
3.3.1.4.1 Instrumentos para la Entrevista.....	32
3.3.1.5 Análisis Documental.....	33
3.3.2. Procedimientos Previstos.....	33
CAPITULO IV. FUNDAMENTOS DEL PROGRAMA	36
4.1 Selección del Urbanismo para el Estudio de Algoritmo Genético.....	37

4.2 Descripción del Circuito.....	37
4.2.1 Ubicación Geográfica.....	37
4.2.2 Características Físicas del Circuito.....	39
4.3 Constante de Distribución de Conductores Subterráneos.....	42
4.3.1 Parámetros Eléctricos de los Cables Subterráneos.....	43
4.3.2 Cálculo de las Constante de Distribución (Kd).....	44
4.4. Obtención de Tabla de Distancias.....	49
CAPITULO V. PROGRAMA HEURÍSTICO PARA EL DISEÑO DE LAS CONEXIONES DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN RADIAL MULTINODO.....	52
5.1 Diseño de la Propuesta.....	53
5.2 DistriGen-UC.....	53
5.3 ¿Por qué Visual Basic 6.0?.....	55
5.4 Manual del Usuario.....	55
5.4.1 Requisitos para el Uso de DistriGen-UC.....	55
5.4.2 Instalación de DistriGen-UC.....	56
5.4.3 Inicio de DistriGen-UC.....	59
5.4.4 Creación de los archivos de entrada (datos) de DistriGen-UC.....	66
5.5 Validación de los Resultados.....	67
5.6. Comparación entre Resultados Manuales y Resultados emitidos por DistriGen-UC.....	75
5.7 Corrida del Programa.....	76
5.8 Conclusiones.....	79
5.9 Recomendaciones.....	80
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81
Apéndice A.....	84
Apéndice B.....	85
Apéndice C Topología Inicial.....	86
Apéndice D Topología Existente.....	87

Apéndice E Topología DistriGen-UC.....	88
Apéndice F.....	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.Sistema de Distribución Radial Primario.	4
Figura 1.2 Sistema de Distribución en Anillo Secundario.....	5
Figura 2.1 Esquema Básico de los Algoritmos Genéticos.	16
Figura 2.2 El Ciclo de la Evolución.....	20
Figura 3.1. Esquema o Flujograma de Fases de Investigación.....	35
Figura 4.1 Ubicación Urb. Piedra Pintada.	38
Figura 4.2 Medición de una cuadra de la Urb. Piedra Pintada.	39
Figura 4.3 Plano de Corpoelec Urb. Piedra Pintada	40
Figura 5.1 Pseudocódigo del Algoritmo Genético	53
Figura 5.2 Instalación DistriGen-UC I	56
Figura 5.3 Instalación DistriGen-UC II.....	57
Figura 5.4 Instalación DistriGen-UC III.....	58
Figura 5.5 Instalación DistriGen-UC IV.....	59
Figura 5.6 Bienvenida a DistriGen-UC	60
Figura 5.7 Inicio a DistriGen-UC	61
Figura 5.8 Acerca de DistriGen-UC	62
Figura 5.9 Configuración Parámetros - AG.....	63
Figura 5.10 Configuración Topologías Población Inicial.....	63
Figura 5.11 Configuración Topologías Población Inicial. Enlaces	64
Figura 5.12 Configuración Topologías Población Inicial. Cargas.....	64
Figura 5.13 Configuración Topologías Población Inicial. Distancias	65
Figura 5.14 Iniciar DistriGen-UC.....	66
Figura 5.15 Circuito en media tensión de una topología específica	67
Figura 5.16 Troncal Principal. Circuito en media tensión de una topología específica...69	

Figura 5.17 Concentración de cargas.....	70
Figura 5.18 Paso de Cargas.....	70
Figura 5.19 Circuito en media tensión de una topología al azar.....	76
Figura 5.20 Agrupación y paso de cargas.....	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1 Elementos Eléctricos	41
Tabla 4.2. Capacidad de Casetas de Transformación.	42
Tabla 4.3. Resistencia y Reactancia de Conductores.....	45
Tabla 4.4. Datos de Impedancia de Circuitos Trifásicos de Cable de Cobre en ohms por Km aproximadamente a 75°C.....	47
Tabla 4.5. Constantes de Distribución para Redes Subterráneas con Conductor de Cobre en Ductos No Magnéticos.	49
Tabla 4.6. Distancias entre Casetas de Transformación.....	51
Tabla 5.1. Íconos de Inicio.....	62
Tabla 5.2. Comparación de Resultados	75

UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA Y COMUNICACIONES

**APLICACIÓN DE UN ALGORITMO GENÉTICO PARA EL DISEÑO DE
LAS CONEXIONES DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN RADIAL
MULTINODO.**

RESUMEN

El problema de la planificación óptima de sistemas radiales se plantea considerando que se dispone de una serie de subestaciones y nodos de demanda. Se parte del hecho que se conocen las rutas de las redes existentes y las posibles rutas futuras (construcción de líneas eléctricas) para transportar la energía desde las subestaciones hasta las cargas. Cada una de las líneas posee un costo que depende principalmente de su longitud y del valor de la potencia pico que transporta, por lo que el costo global (asociado a todas las líneas eléctricas) del suministro de potencia a todos los nodos de demanda dependerá de las líneas eléctricas que finalmente se utilice, ésta es la razón por la cual se diseñó un programa basado en algoritmo genético para el diseño de conexiones de un sistema de distribución, dando así un aporte para el área de DISTRIBUCION DE ENERGÍA.

Autores: Br. González, Cristina.
Br. Guédez, Dexalina.
Tutor: Ing. Cesar Ruiz.

Naguanagua, Mayo de 2012



INTRODUCCIÓN

El abastecimiento de energía eléctrica se realiza a través de tres grandes etapas, generación, transmisión y distribución. Particularmente es esta última la responsable de llevar la energía eléctrica a los consumidores finales de un modo eficiente y cumpliendo con los estándares de calidad de servicio. Este proceso, llevado a cabo mediante redes de alimentación y subestaciones, debe ser continuamente evaluado y modificado con la finalidad de mantener el sistema eléctrico acorde y adaptado a los constantes cambios en la demanda.

La tarea de planificación, tanto en la operación como en la expansión de los sistemas de distribución eléctricos en el largo plazo es realmente compleja, ya que está íntimamente relacionada y depende de altos costos de inversión y dentro de una gama inmensa de alternativas posibles.

Esta investigación se enfocó en algoritmo genético, el cual es un método de búsqueda dirigida basada en probabilidad. Bajo una condición muy débil (que el algoritmo mantenga elitismo, es decir, guarde siempre al mejor elemento de la población sin hacerle ningún cambio) se puede demostrar que el algoritmo converge en probabilidad al óptimo. En otras palabras, al aumentar el número de iteraciones, la probabilidad de tener el óptimo en la población tiende a 1 (uno).

Es por tanto, que al aplicarlo al diseño de redes de distribución de un urbanismo, lo que se logra es, conseguir la ruta óptima de la misma, para así obtener mejores resultados en el ámbito económico.

En tal sentido, el propósito fundamental de este Trabajo Especial de Grado es lograr la aplicación de un algoritmo genético para el diseño de las conexiones de un sistema de distribución radial multinodo.

Esta investigación consta de cinco (5) capítulos los cuales están estructurados de la siguiente forma:

- **Capítulo I:** Se presenta el planteamiento y formulación del problema, la justificación de la investigación, el objetivo general y los objetivos específicos, junto con el alcance, limitaciones y recursos de este estudio, en este capítulo se reflejan los resultados esperados.
- **Capítulo II:** Se presentan los antecedentes y bases teóricas, en donde se expone y se explica toda la información recopilada para el desarrollo del presente Trabajo de Grado, así como también la definición de términos básicos para una mayor comprensión de los temas a tratar.
- **Capítulo III:** Se describe el tipo y el diseño de la investigación, la población y muestra tomada, así como también, las fuentes y técnicas de recopilación necesarias. Luego se procede a describir las fases de la investigación las cuales se ostentan en cinco (5) fases.
- **Capítulo IV:** En este capítulo se exponen los fundamentos necesarios para la realización del programa de algoritmo genético. Así como la descripción de la zona a trabajar.
- **Capítulo V:** Finalizando, se exponen los resultados arrojados por el programa que se diseñó y en función a todos los aspectos mencionados, se plantean las conclusiones y recomendaciones por parte de los investigadores y se señalan las fuentes bibliográficas.



TITULO: APLICACIÓN DE UN ALGORITMO GENÉTICO PARA EL DISEÑO DE LAS CONEXIONES DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN RADIAL MULTINODO

AUTORAS: BR. DEXALINA GUÉDEZ C.I.: 17.551.509
BR. CRISTINA GONZÁLEZ C.I.: 19.604.249

CAPITULO I. EL PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Un sistema de distribución de energía eléctrica consta básicamente de un número de fuentes y cargas (consumos) interconectados entre sí mediante un sistema de alimentadores diseñados de forma tal de garantizar un servicio de calidad bajo ciertos criterios de confiabilidad y al mínimo costo posible.

Existen distintas topologías de redes de alimentación dependiendo de los requerimientos, siendo los tipos radiales los más utilizados en los sistemas de distribución primario, pues son fáciles de modificar mediante la apertura y cierre de seccionadores e interruptores, y sencillos en sus configuraciones de protección.

Un sistema de distribución eléctrica es de topología radial, cuando desde una subestación (S.E.) salen uno o más alimentadores. Cada uno de ellos puede o no ramificarse, pero jamás vuelven a encontrarse en un punto común. En la figura se muestra un diagrama donde se describe lo mencionado:

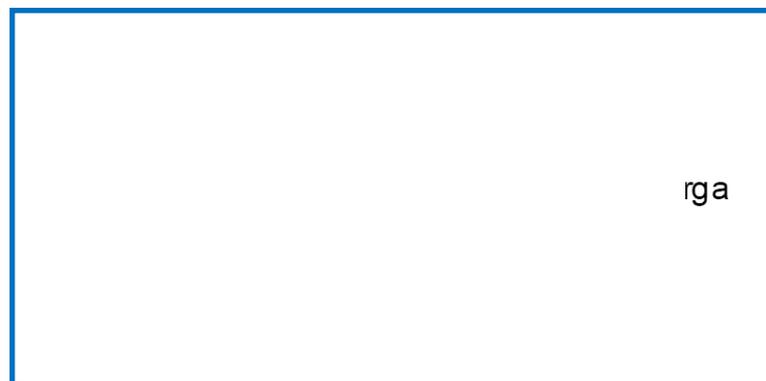


Figura. 1.1 Sistema de Distribución Radial Primario
Fuente: Dexalina Guédez y Cristina González

Por otro lado, en cuanto al sistema de distribución secundario encontramos por lo general una topología de tipo anillo ya que la misma ofrece una caída parcial, es decir,

todos los usuarios presentan de forma equitativa el mismo fenómeno. Un sistema de distribución eléctrica es de topología en anillo cuando tiene un camino unidireccional cerrado que conecta todos los nodos, por consiguiente el control de acceso está distribuido por toda la red. Ilustrando lo antes expuesto, se tiene la siguiente figura:

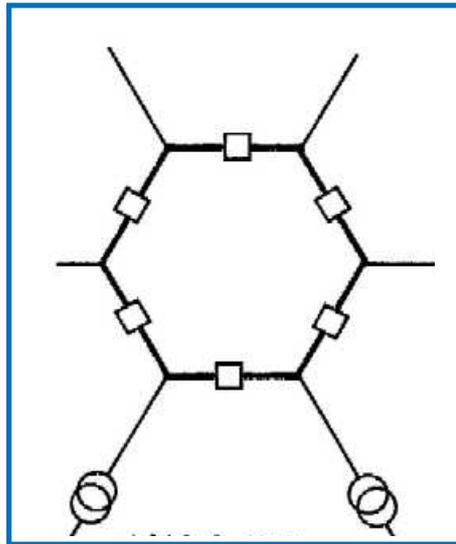


Figura 1.2. Sistema de Distribución en Anillo Secundario

Fuente: Dexalina Guédez y Cristina González

Así mismo, el problema de la planificación óptima de sistemas radiales se plantea considerando que se dispone de una serie de subestaciones y nodos de demanda. Se parte del hecho que se conocen las rutas de las redes existentes y las posibles rutas futuras (construcción de líneas eléctricas) para transportar la energía desde las subestaciones hasta las cargas. Cada una de las líneas posee un costo que depende principalmente de su longitud (costos fijos) y del valor de la potencia pico que transporta, por lo que el costo global (asociado a todas las líneas eléctricas) del suministro de potencia a todos los nodos de demanda dependerá de las líneas eléctricas (rutas) que finalmente se utilicen. Se trata de buscar la topología óptima en esta etapa (redes urbanas), conjunto de líneas eléctricas y de subestaciones, que minimice el costo y la caída de tensión asociados al sistema de distribución urbano, respetando un conjunto de restricciones técnicas. Dentro de ellas, cabe

señalar los límites térmicos asociados a la capacidad de transporte de los conductores considerados para la construcción de las líneas.

Se puede entonces observar que el proceso de representar el sistema eléctrico dentro de un esquema de planificación de la distribución puede ser altamente complejo, debido al enorme número de variables involucradas, tanto continuas como discretas. Al mismo tiempo muchas de ellas tienen un alto grado de incertidumbre debido en gran medida al entorno macroeconómico y también a los elementos técnicos mencionados.

En este sentido, se han desarrollado algoritmos matemáticos y computacionales [Rudn95] basados en técnicas de Optimización Numérica, Programación Dinámica y Descomposición de Benders entre otros, que han abordado el problema mencionado, pero con limitaciones asociadas a las capacidades de cómputo, tamaño de redes a modelar, calidad de los datos de entrada, etc.

Recientemente, se han utilizado algunos métodos heurísticos como los algoritmos evolutivos y en especial los algoritmos genéticos [Sanh99], que han demostrado adaptarse a este tipo de problema de naturaleza combinatoria, dinámicos y de grandes dimensiones, reduciendo el tiempo necesario para la obtención de soluciones al compararlos con otros métodos clásicos e incluso mejorando los resultados alcanzados.

Es importante resaltar que los algoritmos genéticos son métodos adaptativos que pueden usarse para resolver problemas de búsqueda y optimización. Están basados en el proceso genético de los organismos vivos. A lo largo de las generaciones, las poblaciones evolucionan en la naturaleza de acuerdo con los principios de la selección natural y la supervivencia de los más fuertes, postulados por Darwin (1859). Por imitación de este proceso, los algoritmos genéticos son capaces de ir creando soluciones para problemas del mundo real. La evolución de dichas soluciones hacia valores óptimos del problema depende en buena medida de una adecuada codificación de las mismas.

Cabe destacar que los mismos han sido aplicados en topologías de tipo anillo, típicas en sistemas de distribución que operan usualmente en bajas tensiones.

Frente a lo anterior, surge la necesidad de desarrollar un modelo, que sirva de herramienta de apoyo con el fin de facilitar la tarea de la aplicación de un algoritmo genético para el diseño de las conexiones de un sistema de distribución primario radial multinodo.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

¿Cómo se podría realizar el diseño de las conexiones de un Sistema de Distribución Radial multinodo mediante la aplicación de Algoritmos Genéticos?

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.

1.3.1 Objetivo General

Emplear la aplicación de un Algoritmo Genético para el diseño de las conexiones de un Sistema de Distribución Radial multinodo.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Identificar las variables involucradas en el diseño de la planificación y/o expansión de un sistema de distribución urbano.
- Establecer la estructura lógica de datos apta para la aplicación de Algoritmos Genéticos en la solución del problema.
- Seleccionar el lenguaje de programación y la herramienta matemática apropiada que permita la adquisición y procesamiento de los datos involucrados.
- Construir el prototipo funcional del algoritmo genético que permita realizar la planificación y/o expansión de un sistema de distribución urbano.

1.4 JUSTIFICACIÓN

El presente estudio plantea una posible alternativa de solución mediante el uso de una técnica que podría optimizar el proceso de la expansión de sistemas de distribución urbanos, ya que determina la carga total en un área específica.

Social

En nuestro país, el gobierno nacional ha emprendido políticas claras en el desarrollo de soluciones habitacionales para la población, en el marco de la Misión Habitat a través del Ministerio de Habitat y Vivienda.

En ese sentido se prevé la creación y ampliación de innumerables de zonas urbanas a lo largo del territorio nacional, lo cual genera la necesidad de expandir las redes de distribución de energía eléctrica en las zonas mencionadas, bajo criterios de calidad de servicio y de minimización de costos, lo cual evidencia la pertinencia de la presente investigación.

Teórica-Práctico

La investigación presente proporciona un aporte teórico, debido a que analiza y propone la creación de modelos matemáticos que permitan la aplicación de los algoritmos genéticos a la problemática planteada. Estos procedimientos constituirían bases para el desarrollo de estudios similares en diversas áreas de la ingeniería eléctrica en la Universidad de Carabobo.

Desde un punto de vista práctico se demostrará mediante el abordaje metodológico cómo aplicar los Algoritmos Genéticos como modelo de solución mejorada al problema del diseño de la planificación de sistemas de distribución urbanos.

1.5 ALCANCE.

El rápido crecimiento y constante evolución del sistema eléctrico de distribución hace casi imposible determinar con exactitud las demandas y localizaciones futuras de los centros de cargas. Por esta razón, el modelo de planificación considera un alcance de tiempo finito, para el cual se han dado como variables conocidas la localización geográfica de las cargas y las demandas para cada uno de los años del período en estudio. Simplificación que transforma el problema aleatorio en uno determinístico, con lo que es posible determinar la ubicación cronológica de las obras manteniendo el sistema permanentemente adaptado.

1.6 RESULTADOS ESPERADOS.

Resultados óptimos con relación a los obtenidos mediante herramientas alternativas para un mismo escenario y para nuevos problemas, con el fin de comprobar la robustez y flexibilidad del modelo.



TITULO: APLICACIÓN DE UN ALGORITMO GENÉTICO PARA EL DISEÑO DE LAS CONEXIONES DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN RADIAL MULTINODO

AUTORAS: BR. DEXALINA GUEDEZ C.I.: 17.551.509
BR. CRISTINA GONZÁLEZ C.I.: 19.604.249

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

2.1 ANTECEDENTES

El problema de planificación de sistemas eléctricos de distribución, tanto en la operación como en la expansión, no solo se enmarca dentro del criterio económico, sino que además debe contemplar estándares de seguridad, confiabilidad, es decir, calidad de servicio. Esto conlleva a un conflicto de intereses que se traduce en un problema altamente complejo, ya que presenta una gama inmensa de alternativas posibles.

Así mismo un número de autores ha abordado el tema desde las más diversas perspectivas, modelando los sistemas dependiendo principalmente de las necesidades y restricciones propias de éstos.

De esta forma, se tienen modelos que centran la atención en la optimización de las subestaciones y alimentadores, tal como lo cita [Elka 84], quien incluye además las restricciones de radialidad y caídas de voltaje. En el procedimiento se utiliza el algoritmo de programación entera mixta. [Mazu74] por su parte, simula el crecimiento de la carga y el área de servicio de las subestaciones, estableciendo el plan de expansión de menor costo mediante técnicas de programación lineal y entera. Similarmente, [Will85] analiza el proceso de transferencia de carga entre subestaciones mediante una completa información de la demanda diaria de cada alimentador, con lo que luego busca minimizar el máximo de diversidad de carga.

Otros modelos, simplemente buscan los caminos más cortos, basados en la teoría de Dijkstra, y de transporte de Ford y Fulkerson. [Craw75] aplica este método conjuntamente a la programación lineal, determinando las áreas de servicio de las subestaciones y así busca minimizar el producto demanda distancia. [Thom80] realiza un desarrollo similar, donde utilizando el algoritmo branch and bound se resuelve el problema de transbordos con cargos fijos en la planificación.

Por último se citan modelos que descomponen el problema en dos o más fases con lo cual buscan resolver por partes la planificación. En esta línea se encuentra el trabajo de [Sanh94], quien aplicando el algoritmo de descomposición de Bender descompone el problema original, entero mixto, en dos subproblemas. El primero denominado “Problema de Primer Estado” o “Maestro” que se expresa en términos de las variables enteras, mientras que el segundo, o “Problema de Segundo Estado” tiene una estructura particular que se resuelve simplemente mediante algoritmos de flujo de redes.

A lo anterior, se suman investigaciones desarrolladas en esta materia por el Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Católica de Chile.

La literatura demuestra que el apropiado modelamiento de los sistemas de distribución eléctricos se ve dificultado por el tipo de restricciones y la gran cantidad de variables implicadas, lo que conlleva a que las herramientas de resolución existentes se vean limitadas. Se concluye que, en general, los métodos propuestos consideran un modelo sobre simplificado que los hace perder efectividad a medida que el tamaño del sistema va aumentando. Razón por la cual se busca una nueva metodología que permita trabajar con problemas de multiobjetivos, gran número de variables, y que permita modelar diversos escenarios.

Analizando las diferentes alternativas posibles, se ha optado por una nueva metodología basada en los algoritmos genéticos, avalada por las exitosas investigaciones del grupo de Porto, Portugal, encabezadas por [Miguel Proença y Vladimiro Miranda 80] principalmente, que demuestran el potencial de la metodología genética para la optimización de los sistemas de distribución.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Algoritmo

Un algoritmo es una serie de pasos organizados que describe el proceso que se debe seguir, para dar solución a un problema específico.

2.2.2 Inteligencia Artificial

La inteligencia artificial es considerada una rama de la computación y relaciona un fenómeno natural con una analogía artificial a través de programas de computador. La inteligencia artificial puede ser tomada como ciencia si se enfoca hacia la elaboración de programas basados en comparaciones con la eficiencia del hombre, contribuyendo a un mayor entendimiento del conocimiento humano.

Si por otro lado es tomada como ingeniería, basada en una relación deseable de entrada-salida para sintetizar un programa de computador. "El resultado es un programa de alta eficiencia que funciona como una poderosa herramienta para quien la utiliza."

A través de la inteligencia artificial se han desarrollado los sistemas expertos que pueden imitar la capacidad mental del hombre y relacionan reglas de sintaxis del lenguaje hablado y escrito sobre la base de la experiencia, para luego hacer juicios acerca de un problema, cuya solución se logra con mejores juicios y más rápidamente que el ser humano.

Basado en esos postulados se han desarrollado algoritmos que permiten analizar y solucionar situaciones problemáticas bajo criterios "inteligentes". Se pueden mencionar:

- Algoritmos genéticos (análogo al proceso de evolución de las cadenas de ADN).
- Redes neuronales artificiales (análogo al funcionamiento físico del cerebro de

animales y humanos).

2.2.3 Algoritmos Genéticos

Uno de los algoritmos evolutivos más populares son los Algoritmos Genéticos (AG), propuestos por John Henry Holland en 1975.

Los AG son métodos adaptativos que pueden usarse para resolver problemas de búsqueda y optimización. Están basados en el proceso genético de los organismos vivos. A lo largo de las generaciones, las poblaciones evolucionan en la naturaleza de acorde con los principios de la selección natural y la supervivencia de los más fuertes, postulados por Darwin (1859). Por imitación de este proceso, los AG son capaces de ir creando soluciones para problemas del mundo real. La evolución de dichas soluciones hacia valores óptimos del problema depende en buena medida de una adecuada codificación de las mismas.

En la naturaleza los individuos de una población compiten entre sí en la búsqueda de recursos tales como comida, agua y refugio. Incluso los miembros de una misma especie compiten a menudo en la búsqueda de un compañero. Aquellos individuos que tienen más éxito en sobrevivir y en atraer compañeros tienen mayor probabilidad de generar un gran número de descendientes. Por el contrario individuos poco dotados producirán un menor número de descendientes. Esto significa que los genes de los individuos mejor adaptados se propagaran en sucesivas generaciones hacia un número de individuos creciente. La combinación de buenas características provenientes de diferentes ancestros, puede a veces producir descendientes "superindividuos", cuya adaptación es mucho mayor que la de cualquiera de sus ancestros. De esta manera, las especies evolucionan logrando unas características cada vez mejor adaptadas al entorno en el que viven.

El gran campo de aplicación de los AG se relaciona con aquellos problemas para los cuales no existen técnicas especializadas. Incluso en el caso en que dichas técnicas

existan, y funcionen bien, pueden efectuarse mejoras de las mismas híbridándolas con los AG.

Lo que aventaja a los AG frente a otros algoritmos tradicionales de búsqueda es que se diferencian de estos en los siguientes aspectos:

- Trabajan con una codificación de un conjunto de parámetros, no con los parámetros mismos.
- Trabajan con un conjunto de puntos, no con un único punto y su entorno (su técnica de búsqueda es global.) Utilizan un subconjunto del espacio total, para obtener información sobre el universo de búsqueda, a través de las evaluaciones de la función a optimizar. Esas evaluaciones se emplean de forma eficiente para clasificar los subconjuntos de acuerdo con su idoneidad.
- No necesitan conocimientos específicos sobre el problema a resolver; es decir, no están sujetos a restricciones. Por ejemplo, se pueden aplicar a funciones no continuas, lo cual les abre un amplio campo de aplicaciones que no podían ser tratadas por los métodos tradicionales.
- Utilizan operadores probabilísticos, en vez de los típicos operadores determinísticos de las técnicas tradicionales.
- Resulta sumamente fácil ejecutarlos en las modernas arquitecturas masivas en paralelo.
- Cuando se usan para problemas de optimización, resultan menos afectados por los máximos locales que las técnicas tradicionales (i.e., son métodos robustos).

Ahora bien; un esquema del funcionamiento general de un algoritmo genético podría ser el siguiente:

Algoritmo Genético:

- Generar una población inicial.
- Iterar hasta un criterio de parada.
- Evaluar cada individuo de la población.
- Seleccionar los progenitores.
- Aplicar el operador de cruce y mutación a estos progenitores.
- Incluir la nueva descendencia para formar una nueva generación.



Figura 2.1. Esquema básico de los Algoritmos Genéticos.

Fuente: Scielo Librería Electrónica Científica On-line – Capítulo Colombia

2.2.4 Operadores Genéticos

Para el paso de una generación a la siguiente se aplican una serie de operadores genéticos. Los más empleados son los operadores de selección, cruce y mutación. En el caso de no trabajar con una población intermedia temporal también cobran relevancia los algoritmos de reemplazo.

2.2.4.1. Selección

Los algoritmos de selección serán los encargados de escoger qué individuos van a disponer de oportunidades de reproducirse y cuáles no. Puesto que se trata de imitar lo que ocurre en la naturaleza, se ha de otorgar un mayor número de oportunidades de reproducción a los individuos más aptos. Por lo tanto la selección de un individuo estará relacionada con su valor de ajuste.

No se debe sin embargo eliminar por completo las opciones de reproducción de los individuos menos aptos, pues en pocas generaciones la población se volvería homogénea.

2.2.4.2 Recombinación

Una vez seleccionado el individuo, este es conjugado para producir la descendencia que se insertará en la siguiente generación.

Su importancia para la transición entre generaciones es elevada puesto que las tasas de recombinación con las que se suele trabajar rondan el 90%.

Los diferentes métodos de recombinación podrán operar de dos formas diferentes. Si se opta por una estrategia destructiva los descendientes se insertarán en la población temporal aunque sus padres tengan mejor ajuste (trabajando con una única población, esta

comparación se realizará con los individuos a reemplazar). Por el contrario utilizando una estrategia no destructiva la descendencia pasará a la siguiente generación únicamente si supera la bondad del ajuste de los padres (o de los individuos a reemplazar).

2.2.4.3 Algoritmos de Reemplazo

Cuando en vez de trabajar con una población temporal se hace con una única población, sobre la que se realizan las selecciones e inserciones, deberá tenerse en cuenta que para insertar un nuevo individuo deberá de eliminarse previamente otro de la población. Existen diferentes métodos de reemplazo:

- Aleatorio: el nuevo individuo se inserta en un lugar cualquiera de la población.
- Reemplazo de padres: se obtiene espacio para la nueva descendencia liberando el espacio ocupado por los padres.
- Reemplazo de similares: una vez obtenido el ajuste de la descendencia se selecciona un grupo de individuos (entre seis y diez) de la población con un ajuste similar. Se reemplazan aleatoriamente los que sean necesarios.
- Reemplazo de los peores: de entre un porcentaje de los peores individuos de la población se seleccionan aleatoriamente los necesarios para dejar sitio a la descendencia.

2.2.4.3.1 Mutación

La mutación de un individuo provoca que alguno de sus genes, generalmente uno sólo, varíe su valor de forma aleatoria.

Aunque se pueden seleccionar los individuos directamente de la población actual y mutarlos antes de introducirlos en la nueva población, la mutación se suele utilizar de manera conjunta con el operador de cruce. Primeramente se seleccionan dos individuos

de la población para realizar el cruce. Si el cruce tiene éxito entonces uno de los descendientes, o ambos, se muta con cierta probabilidad P_m . Se imita de esta manera el comportamiento que se da en la naturaleza, pues cuando se genera la descendencia siempre se produce algún tipo de error, por lo general sin mayor trascendencia, en el paso de la carga genética de padres a hijos.

La probabilidad de mutación es muy baja, generalmente menor al 1%. Esto se debe sobre todo a que los individuos suelen tener un ajuste menor después de mutados. Sin embargo se realizan mutaciones para garantizar que ningún punto del espacio de búsqueda tenga una probabilidad nula de ser examinado.

Tal y como se ha comentado, la mutación más usual es el reemplazo aleatorio. Este consiste en variar aleatoriamente un gen de un cromosoma. Si se trabaja con codificaciones binarias consistiría simplemente en negar un bit. También es posible realizar la mutación intercambiando los valores de dos alelos del cromosoma. Con otro tipo de codificaciones no binarias existen otras opciones:

- Incrementar o decrementar a un gen una pequeña cantidad generada aleatoriamente.
- Multiplicar un gen por un valor aleatorio próximo a 1.

Aunque no es lo más común, existen implementaciones de Algoritmos Genéticos en las que no todos los individuos tienen los cromosomas de la misma longitud. Esto implica que no todos ellos codifican el mismo conjunto de variables. En este caso existen mutaciones adicionales como puede ser añadir un nuevo gen o eliminar uno ya existente.

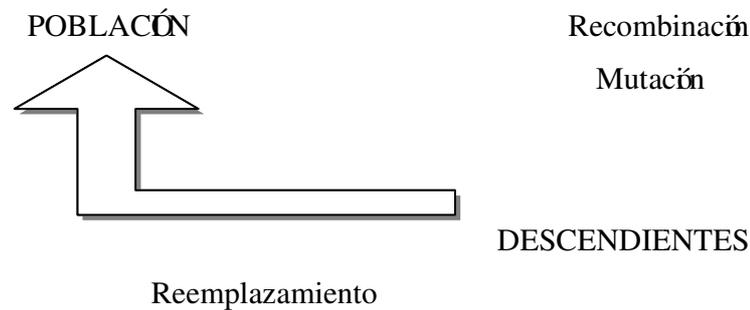


Figura 2.2. El ciclo de la Evolución

Fuente: Dexalina Guédez y Cristina González

2.2.5 Software

El software es una palabra que proviene del idioma inglés, debido a la masificación de uso, ha sido aceptada por la Real Academia Española. Según la RAE, el software es un conjunto de programas, instrucciones y reglas informáticas que permiten ejecutar distintas tareas en una computadora.

Se considera que el software es el equipamiento lógico e intangible de un ordenador. En otras palabras, el concepto de software abarca a todas las aplicaciones informáticas, como los procesadores de textos, las planillas de cálculo y los editores de imágenes.

El software es desarrollado mediante distintos lenguajes de programación, que permiten controlar el comportamiento de una máquina. Estos lenguajes consisten en un conjunto de símbolos y reglas sintácticas y semánticas, que definen el significado de sus elementos y expresiones. Un lenguaje de programación permite a los programadores del software especificar, en forma precisa, sobre qué datos debe operar una computadora.

Dentro de los tipos de software, uno de los más importantes es el software de

sistema o software de base, que permite al usuario tener el control sobre el hardware (componentes físicos) y dar soporte a otros programas informáticos. Los llamados sistemas operativos, que comienzan a funcionar cuando se enciende la computadora, son software de base.

2.2.6 Lenguaje de programación

Un lenguaje de programación es un conjunto de símbolos y reglas sintácticas y semánticas que definen su estructura y el significado de sus elementos y expresiones, y es utilizado para controlar el comportamiento físico y lógico de una máquina.

Un lenguaje de programación permite especificar de manera precisa sobre qué datos debe operar una computadora, cómo estos datos deben ser almacenados o transmitidos y qué acciones debe tomar bajo una variada gama de circunstancias.

2.2.7 Característica de la Demanda

El modelo a plantear debe considerar las modificaciones y reestructuraciones que sufren las redes de distribución producto de los constantes cambios en la demanda. Así, para mantener el sistema adaptado es necesario poder predecir la demanda con la mayor exactitud posible, pero la gran cantidad de variables involucradas y la aleatoriedad de ésta, hacen de la estimación un subproblema igualmente complejo que la planificación.

A modo de simplificación, se considera un problema de naturaleza determinística, donde el factor de potencia es constante para toda la red y los consumos son conocidos para los diferentes años de planificación con un factor de diversidad uno, con lo que la demanda anual corresponde exactamente a la suma de todas las cargas.

Por otra parte, la distribución geográfica de la demanda se define adecuadamente mediante los nodos, los que representan tanto los centros de consumos y subestaciones, como la estructura física básica necesaria para la conformación de redes de distribución.

2.2.8 Características Técnicas y Económicas

La modelación de las redes de distribución debe contemplar los diversos aspectos técnicos y económicos de éstas y además entregar información con respecto a la topología. En este ámbito, se distinguen dos modelos, siendo el primero el eléctrico compuesto por las estructuras, es decir, conductores, subestaciones y transformadores. Mientras que el segundo es el modelo económico, donde se tienen los costos de construcción, instalación, operación y mantenimiento de los sistemas de distribución eléctricos.

Con base en lo anterior, se desarrolla un modelo del sistema de distribución donde los costos considerados están representados por los conductores y las subestaciones esencialmente.

2.2.8.1 Red de Alimentadores

Los costos involucrados en la red de alimentadores vienen dados, primero por un costo fijo que contempla las estructuras y elementos físicos, mantenimiento e instalación y un costo variable dado por las pérdidas por efecto joule. Cabe notar que los costos fijos se consideran nulos si la estructura ya existe, aunque si un tramo sufre un cambio de conductor, producto de un aumento en la demanda o en los flujos de potencia, el modelo contempla un costo adicional, y las pérdidas o costos variables se reajustan en función del nuevo conductor.

2.2.8.2 Subestaciones

Las subestaciones son básicamente un grupo de transformadores que junto a los debidos equipos de protección y medición, se encuentran dispuestas en diversos sectores de la red de distribución. Estos son los encargados de transformar las altas tensiones utilizadas en la transmisión en los bajos voltajes de la distribución, proceso durante el cual se presentan pérdidas tanto en el fierro como en el cobre, las que dependen directamente del tipo y capacidad del transformador.

2.2.9 Modelo de Planificación

Conocidos los elementos que conforman la red, se formula el desarrollo de un modelo de planificación con lo cual se busca resolver el problema de expansión óptima del sistema de distribución en el tiempo. Es decir, se busca una herramienta que permita tomar decisiones correctas en cuanto a la construcción de instalaciones, la definición de las capacidades de éstas y en qué momento realizarlas, con el objeto de mantener el sistema en equilibrio.

2.2.9.1 Restricciones del Sistema

En el desarrollo de un modelo de planificación están presentes una serie de restricciones propias de los sistemas eléctricos de distribución, pues se trata de un servicio enmarcado dentro de márgenes de seguridad y confiabilidad.

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

2.3.1 Balance de Potencia

El modelo debe incorporar un análisis de equilibrio entre lo demandado y la

capacidad de las subestaciones puestas en servicio. Para tal efecto, no sólo se consideran las demandas de las cargas, sino que las pérdidas de potencia del sistema, ello para asegurar un buen abastecimiento.

2.3.2 Capacidad del Sistema

Las capacidades máximas de las subestaciones se consideran datos del sistema, de donde el modelo realiza un balance de potencia para cada una de ellas. En caso de encontrarse un desbalance, el modelo sólo puede modificar las capacidades mediante la entrada en operación de una nueva subestación.

Por otra parte, las capacidades de los segmentos de los alimentadores son variables dependiendo de los flujos de potencia que por ellos circulen, modificando la sección del conductor y así su capacidad. El costo involucrado en esta operación se ingresa en la función de costo correspondiente.

2.3.3 Instalaciones del Sistema

Las instalaciones existentes pueden dejar de operar en un período, aunque si vuelven sólo se deben considerar los costos variables involucrados y no los costos fijos, pues de ser así sería el equivalente a reconstruirlas. Ello es válido tanto para las subestaciones como para los segmentos de los conductores.

2.3.4 Radialidad

Los sistemas de distribución presentan diversas topologías de redes, entre las cuales, las de tipo radial son las más frecuentes, debido principalmente a la facilidad de modificarlas y de controlarlas. Dadas las características del modelo de planificación a desarrollar se ha seleccionado este tipo de configuración, de donde no puede darse que una carga esté conectada a dos o más subestaciones o bien la existencia de loops.

2.3.5 Circuitos de Distribución

Los alimentadores de tipo radial operan desde una sola fuente de suministro, pero se busca la manera de tener conexión a través de un seccionador, que normalmente está abierto para que en caso de falla esta sección del circuito fuera de servicio, pueda ser servida desde este interruptor el cual debe ser diseñado de forma tal que sea capaz de soportar la corriente de carga en el momento de restablecer el circuito. Según el tipo de carga tenemos un procedimiento para hacer el cálculo de la caída de tensión.

TITULO: APLICACIÓN DE UN ALGORITMO GENÉTICO PARA EL DISEÑO DE LAS CONEXIONES DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN RADIAL MULTINODO

AUTORAS: BR. DEXALINA GUEDEZ C.I.: 17.551.509
BR. CRISTINA GONZÁLEZ C.I.: 19.604.249

CAPITULO III. MARCO METODOLÓGICO

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Determinar el tipo de investigación a realizar permite al investigador establecer la estrategia para el desarrollo de la investigación, su diseño, los datos que se recolectan, la forma de obtenerlos, etc.

Definir un modelo conceptual del problema de la planificación óptima de sistemas radiales se plantea considerando que se dispone de una serie de subestaciones y nodos de demanda. El mismo es clasificado según lo establecido por Orozco, Labrador y Palencia (2002), como una Investigación **Tecnista** donde el interés del investigador consiste en hallar la solución de un problema práctico y satisfacer una necesidad detectada.

En la misma, se presentan varias modalidades, pudiendo establecer que la presente investigación se ajusta a la modalidad de Proyecto **Factible**. Este permite la elaboración de una propuesta de un modelo operativo viable, o una solución posible, cuyo propósito es satisfacer una necesidad o solucionar un problema.

Los proyectos factibles responden a una necesidad específica, ofreciendo soluciones de manera metodológica. Es así que el proyecto factible consistió en la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organización o grupos sociales; puede referirse a la formulación de políticas, programas, tecnologías, métodos o procesos.

Frente a lo anterior surge la necesidad de desarrollar un modelo, que sirva de herramienta de apoyo con el fin de facilitar la tarea de planificación de la expansión de los sistemas de distribución urbanos. (Sistemas radiales).

3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Según la clasificación propuesta por Hernández, Ferrández y Baptista (2004), la presente investigación se ubica en el renglón de Investigación no Experimental o de **Campo**, puesto que en la misma se realiza un análisis de los hechos tal y como ocurren en la realidad.

De acuerdo con Cázares, Christen, Jaramillo, Villasótor y Zamudio (2000, p. 18), la investigación de campo es aquella en que el mismo objeto de estudio sirve como fuente de información para el investigador. Consiste en la observación, directa y en vivo, de cosas, comportamiento de personas, circunstancia en que ocurren ciertos hechos; por ese motivo la naturaleza de las fuentes determina la manera de obtener los datos.

Dentro de la clasificación de las investigaciones de campo, realizada por Hernández, et al. (2004), el presente estudio presenta rasgos de Investigación Descriptivas, los cuales buscan especificar las propiedades importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que sea sometido a análisis. Miden o evalúan diversos aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno o fenómenos a investigar. Desde el punto de vista científico, describir es medir. Esto es, en un estudio descriptivo se selecciona una serie de ecuaciones y se mide cada una de ellas independientemente, para así describir lo que se investiga.

3.3 FASES DEL PROYECTO

La realización del presente proyecto factible, se realizará en tres fases de ejecución:

3.3.1 Diagnóstico

Consiste en la identificación de factores o variables críticas o claves en función de problemas, necesidades, demandas e iniciativas presentes involucradas en el proceso del diseño de la planificación y expansión de sistemas de distribución urbanos mediante algoritmos genéticos. Corresponde a esta fase, analizar el fenómeno de estudio tomando en consideración el máximo de variables que intervienen en función del contexto global.

El abastecimiento de energía eléctrica se realiza a través de tres grandes etapas,

generación, transmisión y distribución. Particularmente es esta última la responsable de llevar la energía eléctrica a los consumidores finales de un modo eficiente y cumpliendo con los estándares de calidad de servicio. Este proceso, llevado a cabo mediante redes de alimentación y subestaciones, debe ser continuamente evaluado y modificado con la finalidad de mantener el sistema eléctrico acorde y adaptado a los constantes cambios en la demanda.

La tarea de planificación, tanto en la operación como en la expansión de los sistemas de distribución eléctricos en el largo plazo es realmente compleja, ya que está íntimamente relacionada y depende de altos costos de inversión y dentro de una gama inmensa de alternativas posibles.

Por esa razón este trabajo propone el uso de un algoritmo que permita mejorar la expansión de sistemas de distribución urbanos, que tienda a maximizar, bajo ciertos criterios, la satisfacción de las demandas por parte del usuario.

3.3.1.1 Población y Muestra

Como lo establece, Hernández, et al. (2004), "...las poblaciones comprenden al conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones y deben situarse claramente en torno a sus características de contenido, de lugar y en el tiempo." (p. 238).

La presente investigación comprende un estudio de campo para identificar el proceso en la representación de un sistema eléctrico dentro de un esquema de planificación de la distribución, el cual puede ser altamente complejo debido al enorme número de variables involucradas, tanto continuas como discretas. Al mismo tiempo muchas de ellas tienen un alto grado de incertidumbre debido en gran medida al entorno macroeconómico y también a los elementos técnicos mencionados.

La muestra es considerada censal ya que el autor seleccionó el 100% de la población al considerar un número manejable de sujetos. En este sentido Ramirez (1997) afirma “la muestra censal es aquella donde todas las unidades de la investigación son consideradas como muestra”.

3.3.1.2 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Es importante destacar que los métodos de recolección de datos, se puede definir como: al medio a través del cual el investigador se relaciona con los participantes para obtener la información necesaria que le permita lograr los objetivos de la investigación.

La aplicación de una técnica, según lo expresado por Arias (2006), debe conducir a la obtención de información, la cual deberá ser guardada en un medio material de manera que los datos puedan ser recuperados para su posterior análisis. A dicho soporte se le denomina instrumento, el cual el mismo autor define como “...cualquier recurso, dispositivo o formato (en papel o digital), que se utiliza para obtener, registrar o almacenar información.” (p. 69).

Para concretar, las técnicas orientadas hacia la recolección sistemática de datos de interés necesarios para dar respuesta a la interrogante planteada, al igual que los instrumentos específicos para cada una de estas, serán las siguientes:

3.3.1.3 La Observación

Arias (2006, p. 69) afirma que la observación “...es una técnica que consiste en visualizar o captar mediante la vista, en forma sistemática, cualquier hecho, fenómeno o situación que se produzca en la naturaleza o en la sociedad, en función de unos objetivos

de investigación preestablecidos”.

En esta investigación, se utilizó la técnica de la observación desde dos puntos de vistas establecidos por Arias (2006).

En primer lugar, se utilizó la técnica de Observación Participante, donde según lo establecido por el autor antes mencionado, “.....el investigador forma parte de la comunidad o medio donde se desarrolla el estudio.” (p. 70). Dentro de la clasificación de la observación participante, se utilizó la modalidad de Observación Libre no Estructurada, la cual se ejecutó en función del desarrollo para una primera fase del diagnóstico de la situación actual en el diseño de la planificación y expansión de sistemas de distribución urbanos, no contando para el momento con una guía prediseñada que orientara cada uno de los aspectos que debían ser observados.

3.3.1.3.1 Instrumentos para la Observación

Para llevar a cabo el proceso de Observación participante, el investigador realizó un cuadro de notas, donde plasmó la mayor cantidad de procedimientos y datos necesarios para el desarrollo de los objetivos planteados.

3.3.1.4 La Entrevista

Según lo expresado por Arias (2006, p.73), la entrevista “...es una técnica basada en un diálogo o conversación cara a cara entre el entrevistador y el entrevistado, acerca de un tema previamente determinado, de tal manera que el entrevistador pueda obtener información requerida.”

A través de ella el investigador puede explicar el propósito del estudio y especificar claramente la información que necesita, si hay una interpretación errónea de la pregunta

permite aclararla, asegurando una mejor respuesta.

Dentro de la clasificación de la entrevista que realiza Arias (2006), en la investigación se utilizará la entrevista en su modalidad de Entrevista no Estructurada, en la que no se dispondrá de una guía de preguntas elaboradas previamente.

La entrevista no estructurada es más flexible y abierta, aunque los objetivos de la investigación rigen a las preguntas, su contenido, orden profundidad y formulación se encuentra por entero en manos del entrevistador. Si bien el investigador, sobre las bases del problema, los objetivos y las variables, elabora las preguntas antes de realizar la entrevista, modifica el orden, la forma de encauzar las preguntas o su formulación para adaptarlas a las diversas situaciones y características particulares de los sujetos de estudio.

3.3.1.4.1 Instrumentos para la entrevista

Entre los instrumentos que serán utilizados por el investigador para acceder a los fenómenos y situaciones inherentes al estudio y de manera de obtener la información necesaria, se encuentran: el grabador y la libreta de notas.

El uso de estos instrumentos permitirá recolectar información referida a la situación actual del proceso, identificar las características necesarias para un software para la expansión de sistemas de distribución urbanos y la definición conceptual del mismo.

3.3.1.5 Análisis documental

Tal con lo refiere Balestrini (2001), esta técnica es aplicada con el objeto de obtener la información teórica en la que se fundamentará la investigación, basada en revisión de Trabajos de Grado, textos bibliográficos, papers y manuales de procedimientos

administrativos en entes educativos.

3.3.2 Procedimientos Previstos

Con el fin de lograr el desarrollo de los objetivos de la investigación se desarrollaran las siguientes Fases procedimentales:

Fase I. Análisis del Estudio

- Observar el desarrollo de los sistemas interconectados entre sí mediante un sistema de alimentadores diseñados de forma tal de garantizar un servicio de calidad bajo ciertos criterios de confiabilidad y al mínimo costo posible.
- Realizar el primer análisis de los datos obtenidos.

Fase II. Identificación de Características

- Organizar los datos recolectados.
- Identificar los factores claves y su rol, en la determinación de las características necesarias para la definición del sistema optimizado en un sistema de distribución eléctrico.
- Establecer interrelaciones entre los factores claves para la definición del modelo conceptual de la estructura de datos a manejar.
- Ejecutar la valoración de factores claves e interrelaciones.

Fase III. Definición del Software

- Identificar factores, entidades y atributos claves para el proceso optimizado.
- Realizar la definición de la relaciones entre las entidades y atributos.

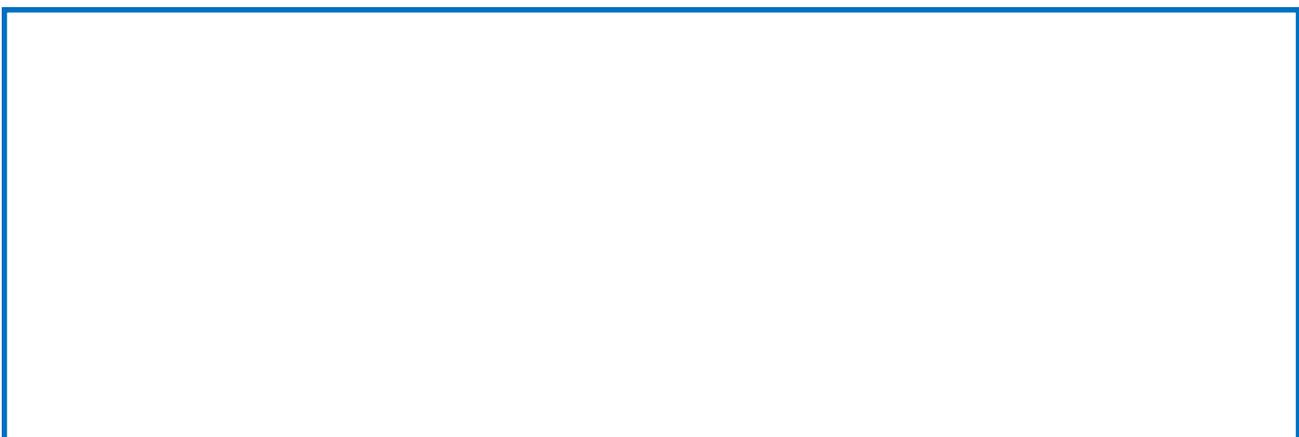
Fase IV. Diseño del Prototipo

- Seleccionar el manejador de la base de datos y del lenguaje de programación a ser utilizado en el desarrollo del diseño de la planificación y expansión de sistemas de distribución urbanos mediante algoritmos genéticos.
- Iniciar el diseño y desarrollo del software.
- Desarrollar la fase de pruebas para la base de datos y el proceso optimizado.

Fase V. Análisis de Resultados

- Se analizarán las ventajas, desventajas, debilidades y fortalezas del proceso de los sistemas de distribución urbanos actual.
- Se establecerán las mejoras mediante la optimización del sistema a través el uso de algoritmos genéticos.
- Se establecerán las conclusiones y recomendaciones en base a los resultados que se obtengan.
- Por último se elaborará un informe final.

Flujograma de Fases



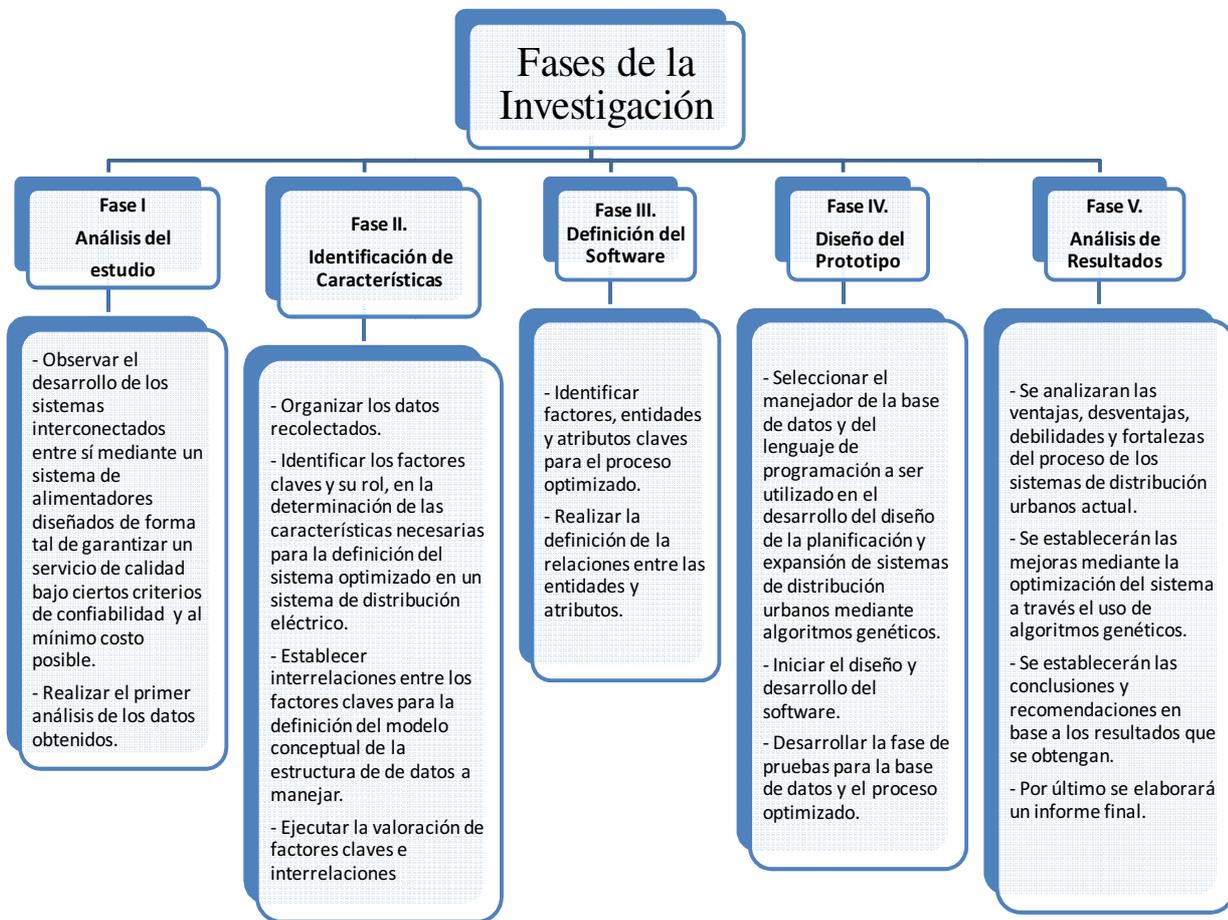


Figura 3.1. Esquema o flujograma de Fases de Investigación

Fuente: Dexalina Guédez y Cristina González.

TITULO: APLICACIÓN DE UN ALGORITMO GENÉTICO PARA EL DISEÑO DE LAS CONEXIONES DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN RADIAL MULTINODO

AUTORAS: BR. DEXALINA GUEDEZ C.I.: 17.551.509
BR. CRISTINA GONZÁLEZ C.I.: 19.604.249

CAPITULO IV. FUNDAMENTOS DEL PROGRAMA

4.1 SELECCIÓN DEL URBANISMO PARA EL ESTUDIO DEL ALGORITMO GENÉTICO

Para la realización de este Trabajo, se seleccionó para su estudio un circuito específico real con el fin de plantear desde el inicio comparaciones con otros métodos de toma de decisiones en la determinación de la topología de la red a diseñar. La red seleccionada fue la correspondiente a la Urbanización Piedra Pintada, perteneciente a la zona Trigal Norte de Valencia, Venezuela, referenciada y estudiada por el profesor Alberto Naranjo en su libro “Proyecto del Sistema de Distribución Eléctrico” y posteriormente construida sin variaciones de importancia del proyecto original.

Adicionalmente la escogencia de la misma, se centró en que presenta un circuito sencillo en cuanto a su distribución eléctrica y de fácil acceso.

El siguiente paso a realizar, para trabajar de una manera más cómoda y organizada, fue la digitalización del plano; el cual se realizó con el programa **Autodesk AutoCad 2004** y se encuentra en el Apéndice A.

4.2 DESCRIPCIÓN DEL CIRCUITO

4.2.1 Ubicación Geográfica

La urbanización en la cual se basó la investigación se encuentra en Valencia-Venezuela, específicamente en la zona El Trigal, con una latitud y longitud aproximadamente de $10^{\circ}13'46.60''$ y $67^{\circ}59'34.28''$ respectivamente. Con unas coordenadas UTM de 19 P 610305 1130971



Figura 4.1. Ubicación Urb. Piedra Pintada.

Fuente: Google Earth

En el proceso de pasar el plano de la urbanización realizado en AutoCad a escala, se tomaron medidas físicas, resultando un plano de dimensiones confiables y exactamente correspondientes al urbanismo real y a las instalaciones de distribución existentes.

Al proceder a tomar las mediciones físicas para establecer el escalamiento del plano objeto, se tomó una cuadra de la Avenida 88 que se puede apreciar en la figura 4.1 y utilizando una cinta métrica como instrumento de medición, procedimos a tomar las medidas.

Este proceso arrojó un resultado de 56,8 metros exactamente.

Además de las mediciones físicas, también se tomaron medidas usando las herramientas que proporciona Google Earth a los usuarios, para poder medir distancias y calcular tamaños, tomando como referencia la misma cuadra medida anteriormente; para así tener un punto de comparación y utilizar la media de ellos, ya que como se dijo anteriormente, estos procesos de medición siempre produce alteraciones.

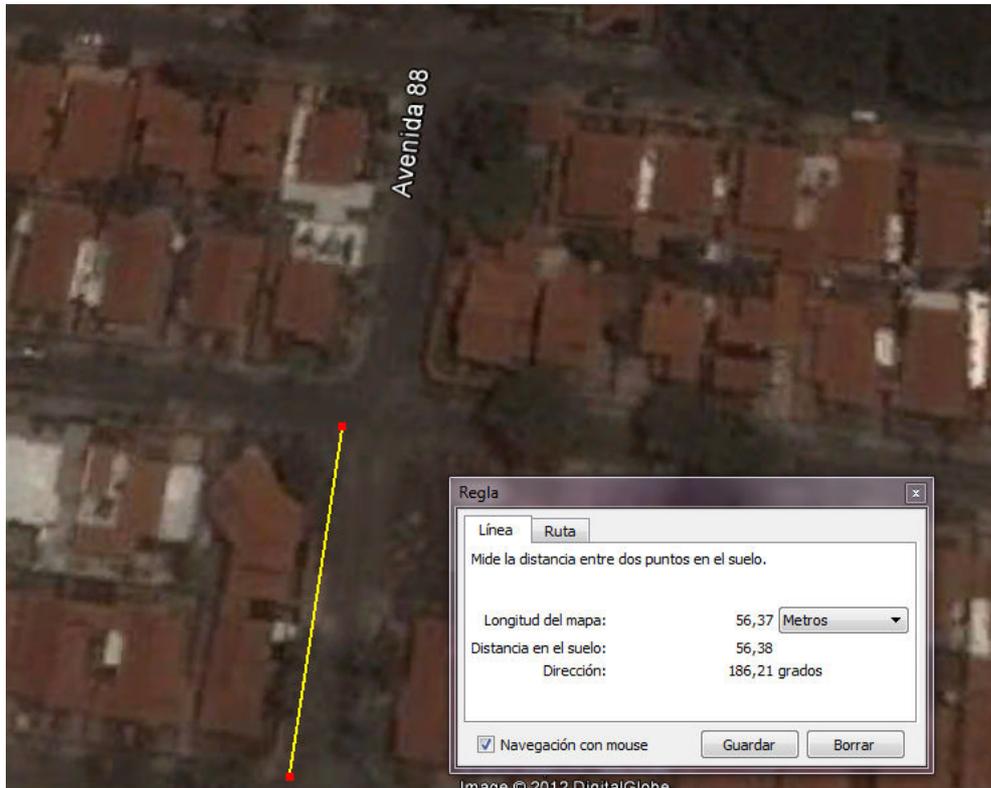


Figura 4.2 Medición de una cuadra de la Urb. Piedra Pintada

Fuente: Google Earth

Este proceso arrojó un resultado de 56,37 metros.

Por tanto, tomando la media de los dos valores obtenidos, el plano se pasó a escala con el valor de 56,58 metros.

4.2.2 Características físicas del circuito

Para el estudio de esta tesis, se solicitó la ayuda de la empresa de Electricidad Nacional CORPOELEC. Ellos facilitaron parte del plano de la Urbanización con la que se

trabajó y con este se pudo apreciar las características físicas del circuito existente actualmente.

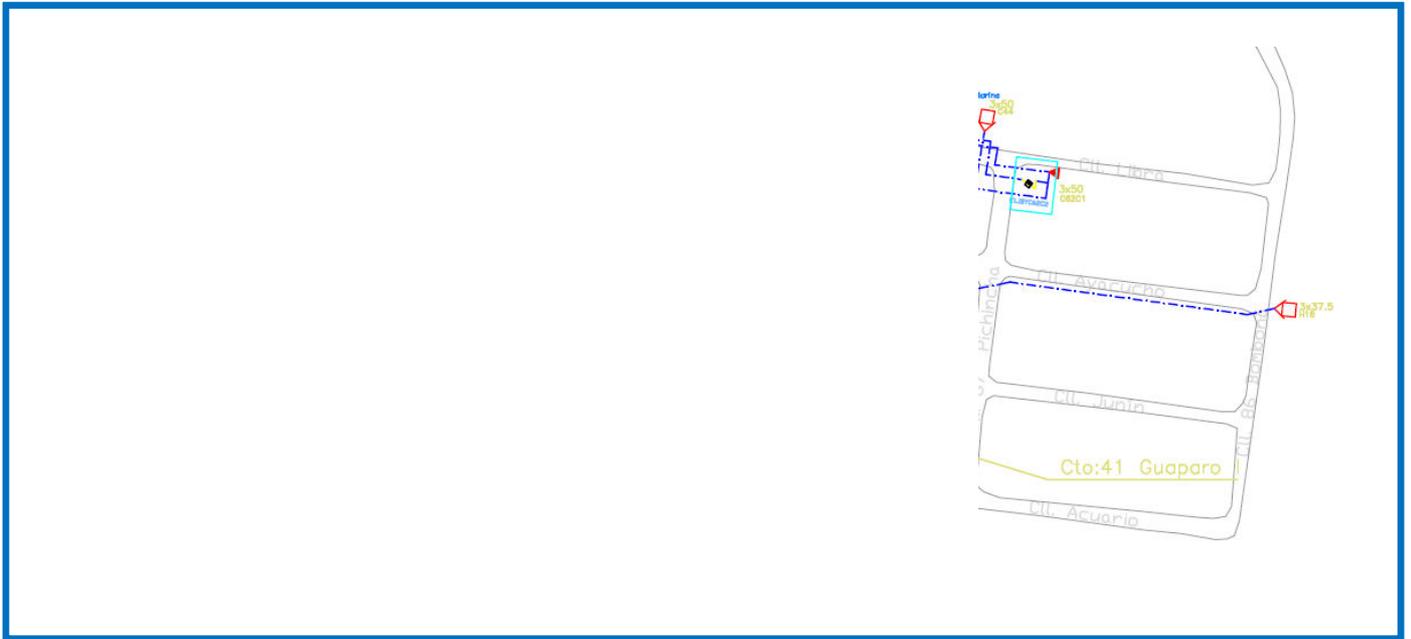


Figura 4.3. Plano de Corpoelec. Urb. Piedra Pintada

Fuente: Corporación Eléctrica Nacional (Corpoelec).

En el plano expuesto se aprecia que la zona de estudio cuenta con 14 casetas de transformación, distribuidas en toda la urbanización, interconectadas con un conductor de cobre calibre 1 AWG.

A continuación se encuentra una tabla descriptiva de los elementos más importantes encontrados en el plano facilitado por CORPOELEC, estos son:

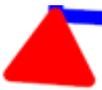
Elementos	Descripción
	Caseta de transformación.
	Banco de transformación en poste.
	Transformador tipo Pad Mounted
	Seccionadores
	Cortacorrientes.
	Capacidad de los transformadores

Tabla 4.1. Elementos eléctricos.

Fuente: Corporación Eléctrica Nacional (Cepoelec).

Cada caseta de transformación tiene una capacidad (KVA) específica. En el plano que encuentra en el Apéndice A, se puede observar que cada una de ellas tiene asociado un número.

En la tabla a continuación se especifican las capacidades de transformación correspondiente:

Número de Caseta de Transformación	Capacidad (KVA)
2	3x167.5
3	3x100
4	1x300
5	3x50
6	3x37.5
7	3x50
8	3x50
9	3x75
10	3x50
11	3x37.5
12	3x50
13	3x50
14	3x37.5
15	3x50

Tabla 4.2. Capacidades de Casetas de Transformación.

Fuente: Corporación Eléctrica Nacional (Corpoelec).

4.3 CONSTANTE DE DISTRIBUCIÓN DE CONDUCTORES ELÉCTRICOS

Con el dimensionamiento y selección de los conductores eléctricos se logra que éstos operen dentro de sus características nominales y que además soporten los transitorios provocados por las perturbaciones ocurridas en el sistema.

4.3.1 Parámetros Eléctricos de los Cables Subterráneos.

Los valores de las constantes de operación de los cables aislados (R , L) permiten el estudio técnico-económico para realizar la selección idónea del calibre del conductor en base a las pérdidas de energía y caída de tensión en el conductor, etc., también permite determinar, el valor de la impedancia, para los análisis de cortocircuito, como su comportamiento en regímenes transitorios, al efectuar las pruebas de campo y el mantenimiento correspondiente.

Los conductores utilizados para la instalación en redes subterráneas de media tensión son aislados con Polietileno reticulado (XLPE) o Goma etilenpropilénica (EPR).

La selección del aislante depende de las características de la instalación eléctrica y mecánica. Las pantallas pueden ser semiconductoras sobre el conductor o sobre el aislamiento; tienen como función crear una superficie equipotencial para uniformar el campo eléctrico en el dieléctrico y confinarlo; también se lo utiliza para blindar al cable de campos externos y como protección para el personal.

Otro parámetro a considerar es la instalación de ductos subterráneos. Este tipo de instalación es la más común, se usa en la mayoría de las industrias, en los sistemas de distribución comercial y en aquellos casos en donde se requiera una red configurable con rapidez.

La instalación de conductores en ductos subterráneos es la mejor alternativa cuando el sistema de cables tenga que atravesar zonas construidas, caminos o cualquier otro sitio en donde permite con facilidad cambiar o aumentar la cantidad de conductores.

Estos ductos pueden ser magnéticos y no magnéticos

4.3.2 Cálculo de las Constantes de Distribución (Kd).

Antes de comenzar con la realización del programa de Algoritmo Genético, es necesario calcular algunos parámetros básicos que se tienen que ingresar a la base de datos del mismo.

Uno de ellos, es el cálculo de la Constante de Distribución (Kd), de cada conductor, ya que con estos valores podemos hallar el calibre del mismo, que a final de cuentas, es lo que estamos buscando.

Para comenzar con la realización de la tabla de Constante de Distribución (Kd), es necesario conocer los parámetros de resistencia y reactancias de todos los conductores eléctricos.

Para ello, se extrajo del Libro Rojo del IEEE una tabla en donde se tienen estos valores, tanto para ductos magnéticos y no magnéticos.

Table 4A-7 — 60 Hz impedance data for three-phase copper cable circuits, in approximate ohms per 1000 ft at 75 °C*
(a) Three single conductors

AWG or kcmil	In magnetic duct						In nonmagnetic duct					
	600 V and 5 kV nonshielded			5 kV shielded and 15 kV			600 V and 5 kV nonshielded			5 kV shielded and 15 kV		
	R	X	Z	R	X	Z	R	X	Z	R	X	Z
8	0.811	0.0754	0.814	0.811	0.0860	0.816	0.811	0.0603	0.813	0.811	0.0688	0.814
8 (solid)	0.786	0.0754	0.790	0.786	0.0860	0.791	0.786	0.0603	0.788	0.786	0.0688	0.789
6	0.510	0.0685	0.515	0.510	0.0796	0.516	0.510	0.0548	0.513	0.510	0.0636	0.514
6 (solid)	0.496	0.0685	0.501	0.496	0.0796	0.502	0.496	0.0548	0.499	0.496	0.0636	0.500
4	0.321	0.0632	0.327	0.321	0.0742	0.329	0.321	0.0506	0.325	0.321	0.0594	0.326
4 (solid)	0.312	0.0632	0.318	0.312	0.0742	0.321	0.312	0.0506	0.316	0.312	0.0594	0.318
2	0.202	0.0585	0.210	0.202	0.0685	0.214	0.202	0.0467	0.207	0.202	0.0547	0.209
1	0.160	0.0570	0.170	0.160	0.0675	0.174	0.160	0.0456	0.166	0.160	0.0540	0.169
1/0	0.128	0.0540	0.139	0.128	0.0635	0.143	0.127	0.0432	0.134	0.128	0.0507	0.138
2/0	0.102	0.0533	0.115	0.103	0.0630	0.121	0.101	0.0426	0.110	0.102	0.0504	0.114
3/0	0.0805	0.0519	0.0958	0.0814	0.0605	0.101	0.0766	0.0415	0.0871	0.0805	0.0484	0.0939
4/0	0.0640	0.0497	0.0810	0.0650	0.0583	0.0929	0.0633	0.0398	0.0748	0.0640	0.0466	0.0792
250	0.0552	0.0495	0.0742	0.0557	0.0570	0.0797	0.0541	0.0396	0.0670	0.0547	0.0456	0.0712
300	0.0464	0.0493	0.0677	0.0473	0.0564	0.0736	0.0451	0.0394	0.0599	0.0460	0.0451	0.0644
350	0.0378	0.0491	0.0617	0.0386	0.0562	0.0681	0.0368	0.0393	0.0536	0.0375	0.0450	0.0586
400	0.0356	0.0490	0.0606	0.0362	0.0548	0.0657	0.0342	0.0392	0.0520	0.0348	0.0438	0.0559
450	0.0322	0.0480	0.0578	0.0328	0.0538	0.0630	0.0304	0.0384	0.0490	0.0312	0.0430	0.0531
500	0.0294	0.0466	0.0551	0.0300	0.0526	0.0505	0.0276	0.0373	0.0464	0.0284	0.0421	0.0508
600	0.0257	0.0463	0.0530	0.0264	0.0516	0.0480	0.0237	0.0371	0.0440	0.0246	0.0412	0.0479
750	0.0216	0.0445	0.0495	0.0223	0.0497	0.0545	0.0194	0.0356	0.0405	0.0203	0.0396	0.0445

NOTE—Resistance based on tinned copper at 60 Hz; 600 V and 5 kV nonshielded cable based on varnished cambric insulation; 5 kV shielded and 15 kV cable based on neoprene insulation.

*Resistance values (R_L) at lower copper temperatures (T_L) are obtained by using the formula $R_L = \frac{R_{75}(234.5 + T_L)}{309.5}$.

Tabla 4.3. Resistencia y Reactancias de conductores

Fuente: Libro Rojo IEEE

Como se puede observar, los valores expresados en la tabla tienen unidades de ohmios por 1000 pies y en el sistema de medida utilizado en Venezuela las unidades

son ohmios por metros.

Es por tanto que el primer paso a realizar, es transformar los valores de resistencias y reactivas al Sistema Métrico Nacional utilizado.

Valores de Resistencias y Reactancias.

La conversión de la resistencia y la reactancia de un conductor quedan expresadas bajo estas ecuaciones:

$$R = R_T \times \frac{1000}{304,8}$$

Dónde:

R: valor de resistencia en ohmios por Km

R_T : valor de resistencia en ohmios por 1000 pies (de la tabla 4.3)

$$X = X_T \times \frac{1000}{304,8}$$

Dónde:

R: valor de reactancia en ohmios por Km

R_T: valor de reactancia en ohmios por 1000 pies

Sustituyendo cada uno de los valores de resistencias y reactancias de cada conductor se obtiene la siguiente tabla

AWG o kcmil	R	X
2	0.6627	0.1795
1	0.5249	0.1772
1/0	0.4199	0.1663
2/0	0.3346	0.1654
3/0	0.2641	0.1588
4/0	0.2099	0.1529
250	0.1795	0.1496
300	0.1509	0.1480
350	0.1230	0.1476
400	0.1142	0.1437
450	0.1024	0.1411
500	0.0932	0.1381
600	0.0807	0.1352
750	0.0666	0.1299

Tabla 4.4. Datos de impedancia de circuitos trifásicos de cable de cobre, en ohms por km a aproximadamente a 75°C

Fuente: Cristina González y Dexalina Guédez

Luego de tener estos valores, se puede calcular la Constante de Distribución de cada conductor. Esto se hace a partir de la siguiente fórmula:

$$K_d = \frac{r \cos \varphi + x \sin \varphi}{10 \text{ KV}^2}$$

Dónde:

K_d : constante de distribución.

R: resistencia del conductor

X: reactancia del conductor

Φ : factor de potencia

KV: voltaje de la red

Obteniendo como resultado la siguiente tabla:

AWG o kcmil	Fp = 0.80 inductivo
2	3.4927
1	2.7689
1/0	2.2169
2/0	1.7689
3/0	1.3983

4/0	1.1133
250	0.95343
300	0.80315
350	0.65663
400	0.61014
450	0.54799
500	0.49947
600	0.43363
750	0.35921

Tabla 4.5. Constantes de distribución para redes subterránea con conductor de cobre en ducto no magnético. Tensión = 13,8 KV. Los KVAL están en KVA Km

(Los factores Kd deben multiplicarse por 10^{-4})

Fuente: Cristina González y Dexalina Guédez

4.4 OBTENCIÓN DE TABLA DE DISTANCIA

En el proceso de diseño y organización del programa, se concluyó que una de las maneras más cómodas para trabajar el cálculo de los KVAL del circuito, fue construir una tabla en donde se especifiquen todas las medidas existentes entre una caseta de transformación y el resto y así sucesivamente, hasta tener todas las distancias entre casetas

de transformación.

Es por ello, que se utilizó el plano del Apéndice A digitalizado y gracias a las herramientas que brinda Autocad en el proceso de medidas y cotas de un plano, se tomaron una a una las mediciones entre casetas.

A continuación se observa la tabla del resultado de las mediciones:

Matriz de Distancias

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0	485.63	568.34	629.27	327.31	555.51	697.46	291.74	513.93	709.68	845.09	554.51	822.64	548.62	645.26
2	485.63	0	84.09	144.93	185.05	67.87	209.41	413.41	152.97	284.77	373.95	342.74	429.02	62.23	157.38
3	568.34	84.09	0	60.06	268.89	45.09	126.17	497.19	240.07	208.24	293.42	425.38	343.73	32.15	61.95
4	629.27	144.93	60.06	0	331.13	105.3	63.98	556.58	300.65	145.51	233.45	485.04	283.69	62.97	32.78
5	327.31	185.05	268.89	331.13	0	227.80	368.72	226.41	205.66	401.86	538.35	381.16	554.11	251.07	345.28
6	555.51	67.87	45.09	105.3	227.80	0	141.33	455.35	204.25	224.44	312.56	379.74	362.36	24.04	118.42
7	697.46	209.41	126.17	63.98	368.72	141.33	0	596.71	349.54	119.23	205.83	522.28	257.3	145.26	48.97
8	291.74	413.41	497.19	556.58	226.41	455.35	596.71	0	258.21	453.45	589.43	266.46	534	478.52	573.32
9	513.93	152.97	240.07	300.65	205.66	204.25	349.54	258.21	0	196.33	329.72	210.77	383.3	222.66	320.21
10	709.68	284.77	208.24	145.51	401.86	224.44	119.23	453.45	196.33	0	135.73	404.44	186.68	227.19	131.5
11	845.09	373.95	293.42	233.45	538.35	312.56	205.83	589.43	329.72	135.73	0	540.81	272.94	313.5	218.54
12	554.51	342.74	425.38	485.04	381.16	379.74	522.28	266.46	210.77	404.44	540.81	0	268.02	409.64	501.73
13	822.64	429.02	343.73	283.69	554.11	362.36	257.3	534	383.3	186.68	272.94	268.02	0	366.17	269.22
14	548.62	62.33	32.15	62.97	251.07	24.04	145.26	478.52	222.66	227.19	313.5	409.64	366.17	0	93.74
15	645.26	157.38	61.95	32.78	345.28	118.42	48.97	573.32	320.21	131.5	218.54	269.22	93.74	93.74	0

Tabla 4.6. Distancias entre Casetas de Transformación (metros)

TITULO: APLICACIÓN DE UN ALGORITMO GENÉTICO PARA EL DISEÑO DE LAS CONEXIONES DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN RADIAL MULTINODO

AUTORAS: BR. DEXALINA GUEDEZ C.I.: 17.551.509

BR. CRISTINA GONZÁLEZ C.I.: 19.604.249

**CAPITULO V. PROGRAMA HEURÍSTICO
PARA EL DISEÑO DE LAS CONEXIONES DE UN SISTEMA DE
DISTRIBUCIÓN RADIAL MULTINODO**

5.1 DISEÑO DE LA PROPUESTA

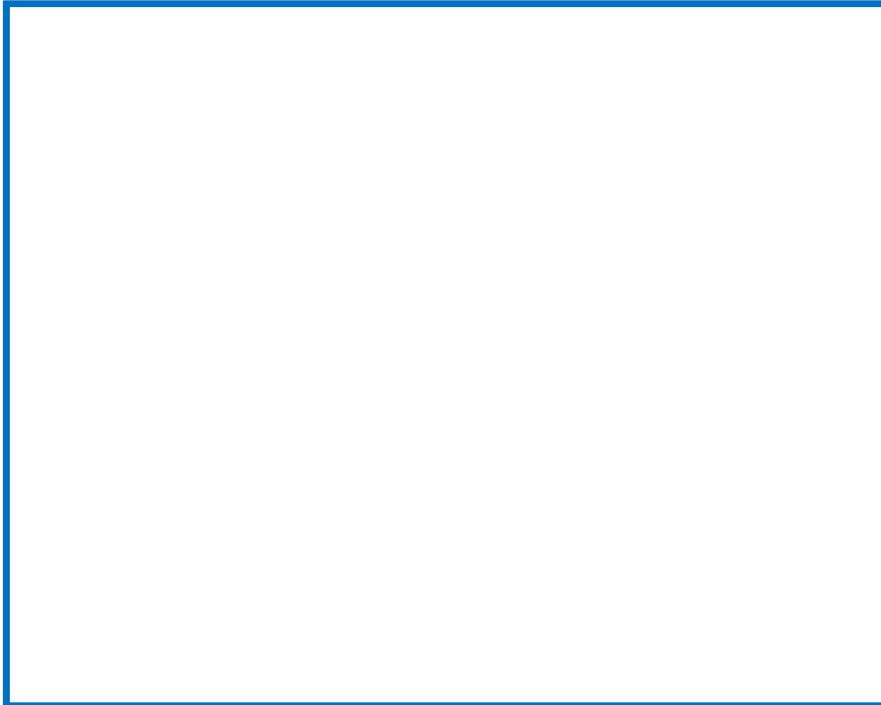


Figura 5.1. Pseudoódigo del Algoritmo Genético

Fuente: Dexalina Guédez y González Cristina

5.2 DistriGen-UC

DistriGen-UC, es un programa desarrollado en Visual Basic 6.0 con la finalidad de ofrecer una herramienta computacional rápida y sencilla para diseñar conexiones de un sistema de distribución. Esta herramienta está diseñada con la finalidad de suministrar opciones en cuanto al diseño de conexiones de sistemas de distribución radial multinodo, mediante la aplicación de un algoritmo genético, comparando los resultados para llegar a una conclusión de acuerdo con la experiencia y el sentido común de la topología circuital para la red de distribución de tipo radial.

La herramienta computacional fue diseñada para operar bajo el sistema operativo

Windows, por ser realizado con Microsoft Visual Basic 6.0 con apoyo de archivos de texto para el almacenamiento de información, guardar resultados entre otros. Trabajar bajo esta plataforma ofrece una gran cantidad de facilidades y ventajas.

Entre las ventajas más destacadas del uso de este lenguaje de programación tenemos las siguientes:

- Herramientas matemáticas: Posee una serie de bibliotecas que facilitan algunas tareas que se deseen realizar.
- Bibliografía existente: Por ser un lenguaje probado ampliamente y con una gran tradición en el mundo de los programadores se pueden encontrar fácilmente referencias bibliográficas, ayuda en la red de Internet así como también bibliotecas para realizar distintas tareas.
- Programación orientada a objetos: La tendencia actual para los realizadores de programas es la de trabajar bajo el formato de la orientación a objetos, que no es más que trabajar apoyándose en construcciones previamente realizadas pero que permiten ser modificadas haciendo así más fácil y rápido el diseño de una aplicación.
- Interfaz gráfica: por tratarse de un lenguaje orientado a objetos se poseen herramientas que permite la generación de cuadros de diálogos con todos los componentes de Windows como son botones, cuadros de edición, entre otros.

Aunque Visual Basic posee muchas ventajas también podemos mencionar algunas desventajas que se pueden presentar:

- No es un lenguaje multiplataforma. Aunque técnicamente sería fácil hacer un compilador para Linux o MacOS, Microsoft lo tiene prohibido.

- Plantea problemas de seguridad: los virus de macro que afectan al Office usan el mini-VB que éste soporta. La mayoría de virus de Windows se aprovechan del código VBScript, basado en VB.

5.3 ¿POR QUÉ VISUAL BASIC 6.0?

Visual Basic es un lenguaje en ambiente gráfico para desarrollo de aplicaciones bajo el sistema operativo de Microsoft Windows. Las aplicaciones en Visual Basic están basadas en objetos y son manejadas por eventos. Visual Basic se deriva del lenguaje Basic, el cual es un lenguaje de programación estructurado. Sin embargo, Visual Basic emplea un modelo de programación por eventos.

Visual Basic 6.0 satisface las necesidades para la creación de DistriGen-UC debido a su popularidad y gran cantidad de herramientas presentes. Debido que DistriGen-UC no requiere procedimientos matemáticos de gran complejidad y se trata de presentar un software sencillo con la mayor amigabilidad posible en su uso, también por sugerencias de expertos en programación e investigaciones de tipo informal, se decidió por la alternativa de Visual Basic entre diversos lenguajes de programación.

5.4 MANUAL DEL USUARIO

5.4.1 Requisitos para el uso de DistriGen-UC

La siguiente es una lista descriptiva de los requerimientos recomendados de software y hardware para ejecutar DistriGen-UC con éxito.

- Sistema operativo Windows 98 o superior.
- Una computadora personal con procesador Intel Pentium II o superior.

- Una impresora compatible con Windows si se desea imprimir resultados.

Cabe destacar que al trabajar con DistriGen-UC es conveniente estar familiarizado con el ambiente de trabajo de Windows ya que éste tiene similitud en su manejo.

5.4.2 Instalación de DistriGen-UC

Para la instalación de DistriGen-UC introduzca el disco compacto (CD) y ejecutar el archivo.exe. Una vez realizado este paso, aparecerá la primera pantalla de instalación, la cual, nos da la bienvenida al programa y se selecciona Aceptar.

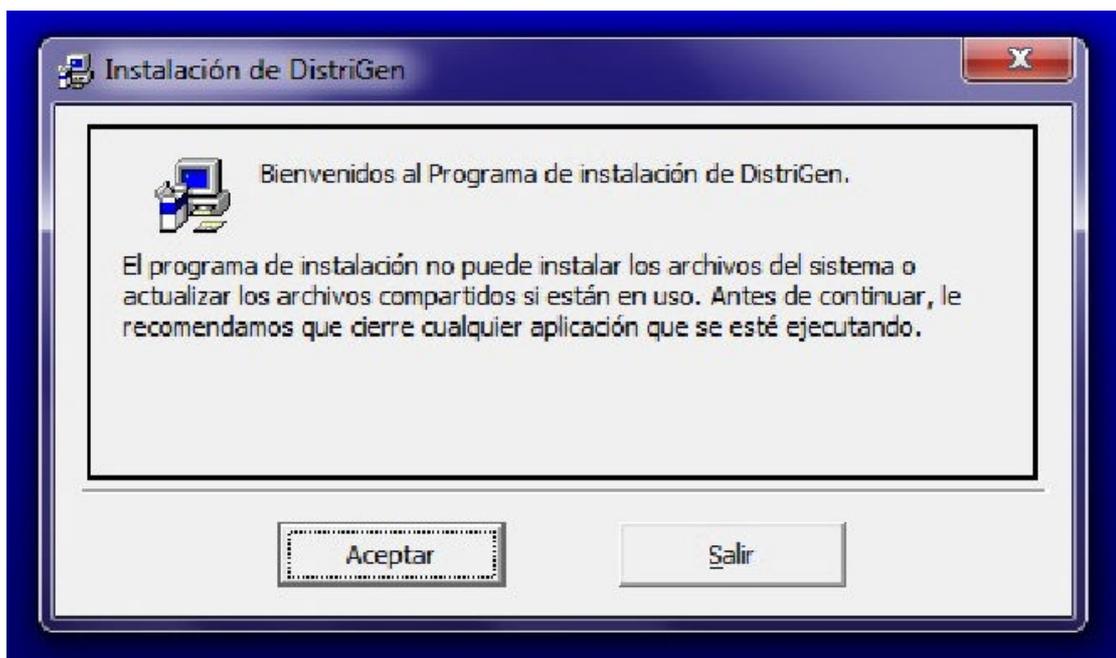


Figura 5.2 Instalación DistriGen-UC I

Fuente: Cristina González y Dexalina Guédez

Inmediatamente aparece una ventana en donde se tendrá que indicar el directorio donde se desea guardar el programa. Una vez seleccionado esto, se selecciona el icono

de la computadora como se muestra a continuación:

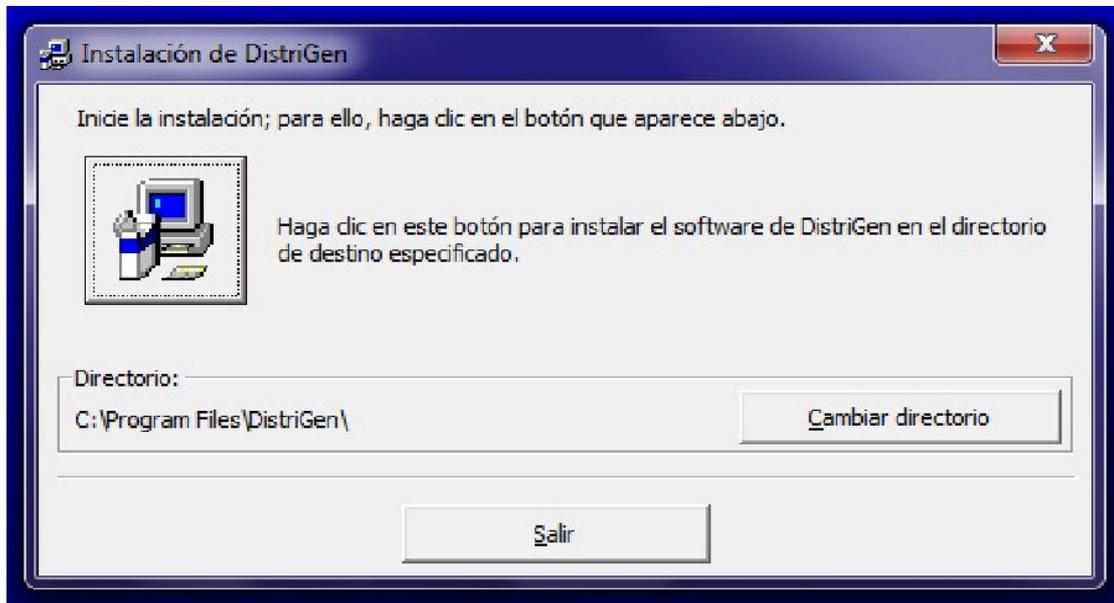


Figura 5.3 Instalación DistriGen-UC II

Fuente: Cristina González y Dexalina Guédez

Esto lleva a una nueva ventana en donde se selecciona el grupo del programa. En esta opción se despliega una lista de varios programas, en la cual se selecciona la opción DistriGen y se selecciona continuar.



Figura 5.4 Instalación DistriGen-UC III

Fuente: Cristina González y Dexalina Guédez

Luego de esto se inicia el proceso de instalación que dura pocos segundos y la instalación termina satisfactoriamente.



Figura 5.5 Instalación DistriGen-UC IV

Fuente: Cristina González y Dexalina Guédez

5.4.3 Inicio de DistriGen-UC

Una vez introducido el disco compacto en la unidad de CD de la computadora personal, el programa iniciará la instalación abriendo las ventanas de diálogo mostradas en la sección 5.4.2.

Al estar instalado el programa aparecerá una pantalla de bienvenida, la cual se mantendrá unos segundos.



Figura 5.6. Bienvenida a DistriGen-UC

Fuente: DistriGen-UC

Después de transcurrido unos minutos aparecerá la pantalla de inicio del programa, en donde se encuentran las diferentes opciones a elegir; en este punto usted es introducido en el manejo y desarrollo de este software. DistriGen-UC es un simulador de aplicaciones de conexiones en media tensión, en sistema eléctrico radial multinodo, con una simplificación rápida y eficaz del trabajo que podría ser complicado y requerir horas de trabajo.

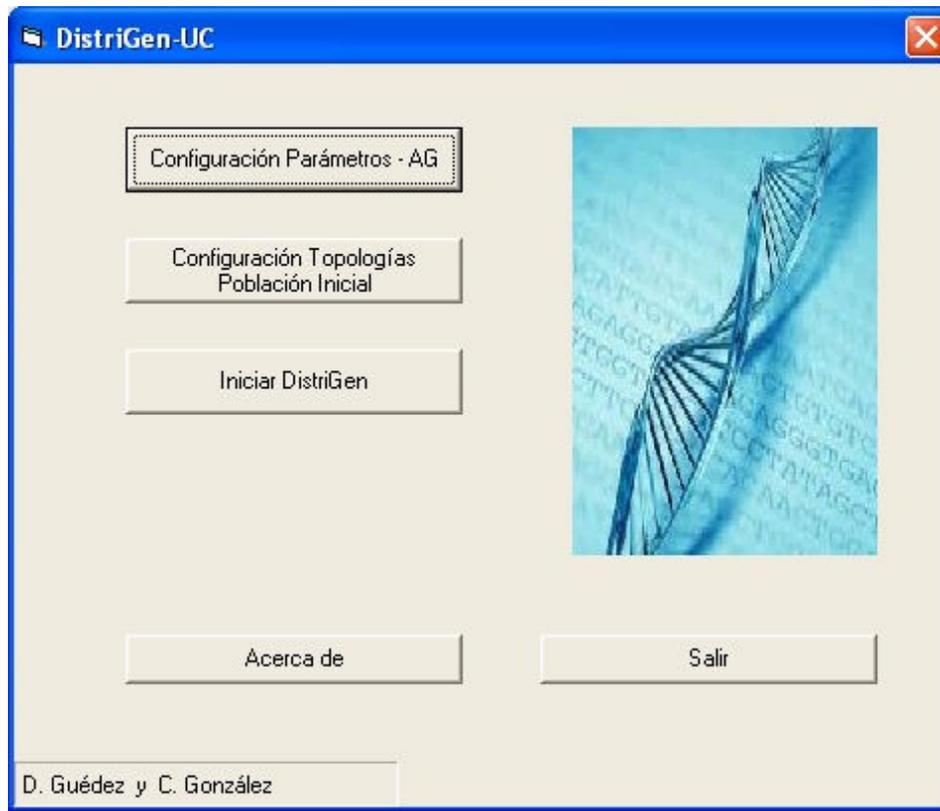
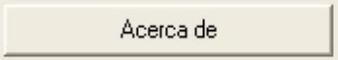


Figura 5.7. Inicio a DistriGen-UC

Fuente: DistriGen-UC

Iconos	Función
	Una breve explicación de DistriGen-UC
	Se agregan los parámetros de porcentaje de mutación, cruce y numero de iteraciones
	Se cargan los datos de la topología inicial
	El programa realiza las iteraciones necesarias y arroja el resultado

	Salida del programa
-----------------------------------------------------------------------------------	----------------------------

Tabla 5.1 Iconos de Inicio

Fuente: DistriGen-UC

Si se selecciona el icono Acerca de, se abrirá una pantalla en donde se explica muy brevemente que es DistriGen-UC.



Figura 5.8. Acerca de DistriGen-UC

Fuente: DistriGen-UC

Si se selecciona el icono Configuración Parámetros – AG, se abrirá una venta que permitirá colocar los porcentajes de cruce y mutación, así como también, el número de iteraciones que se desee que realice el programa.

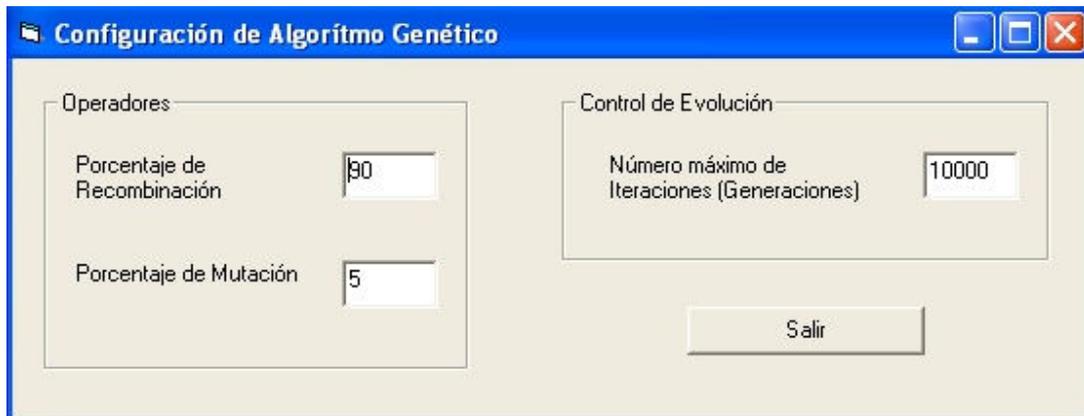


Figura 5.9. Configuración Parámetros – AG

Fuente: DistriGen-UC

Si se selecciona el ícono Configuración Topologías Población Inicial, se abrirá una ventana que nos permite cargar los datos de la topología inicial que se le tiene que ingresar al programa, esto es, nodo inicial y final, cargas y distancias entre casetas respectivamente. A continuación, se colocan estas capturas.

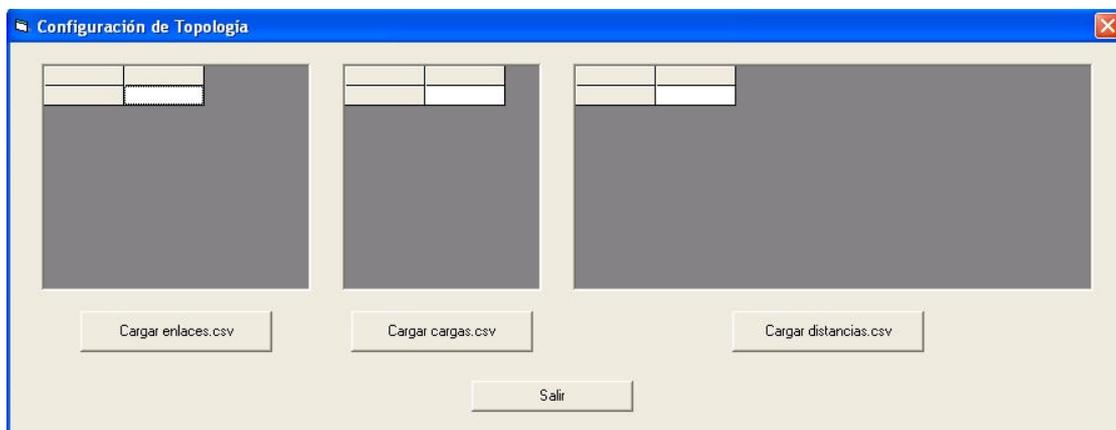


Figura 5.10. Configuración Topologías Población Inicial.

Fuente: DistriGen-UC

Se selecciona el icono Cargar enlaces, el cual, va a extraer los datos de un archivo de datos ya modificado.

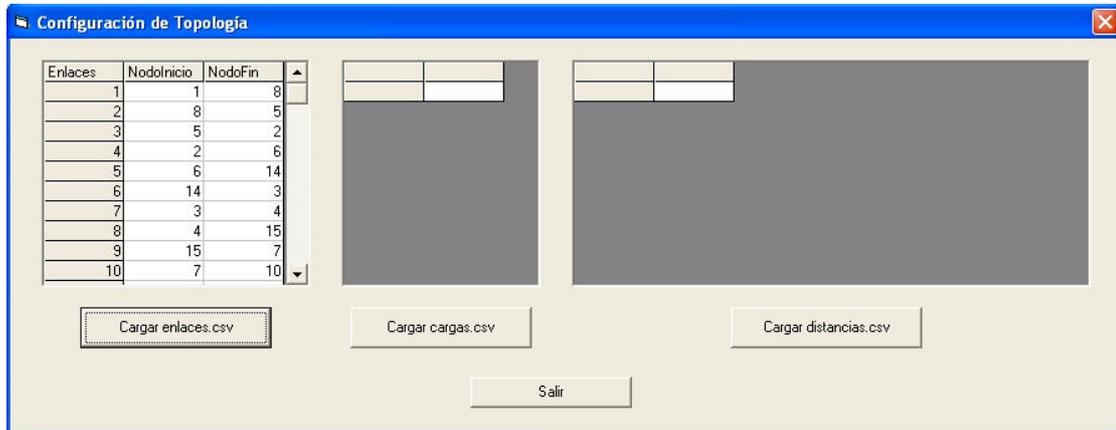


Figura 5.11. Configuración Topologías Población Inicial. Enlaces

Fuente: DistriGen-UC

Se selecciona el icono Cargar cargas, el cual va a extraer los datos de la capacidad de los transformadores.

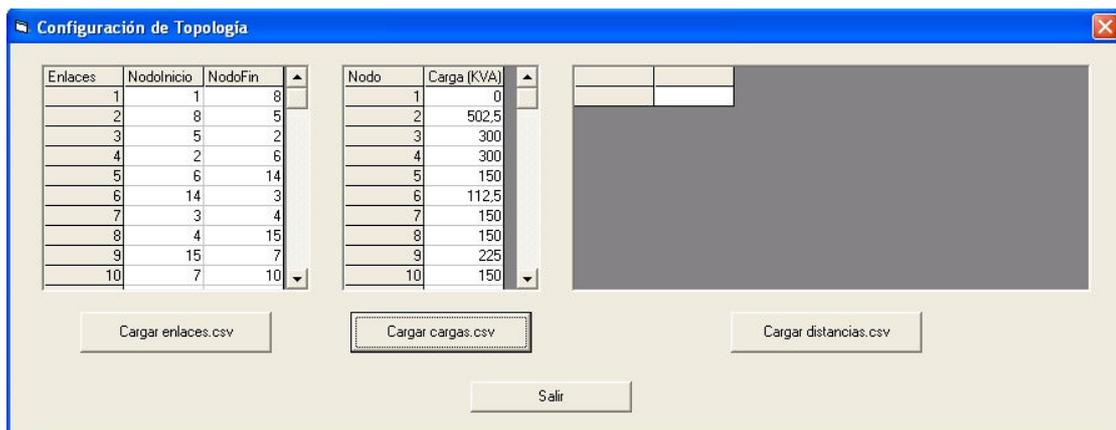


Figura 5.12. Configuración Topologías Población Inicial. Cargas

Fuente: DistriGen-UC

Se selecciona el icono Cargar distancias, el cual, va a extraer los datos de un archivo de datos ya modificado. Y luego se selecciona salir.

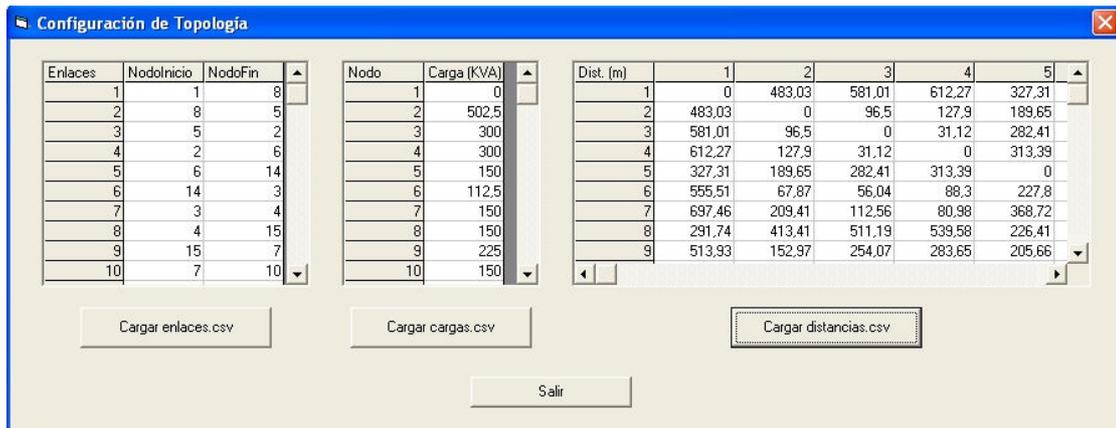


Figura 5.13. Configuración Topologías Población Inicial. Distancias

Fuente: DistriGen-UC

Si se selecciona el icono Iniciar DistriGen-UC aparecerá una pantalla como la expuesta en la Figura 5.9, en donde, saldrán cargados los datos de la topología inicial, el número de iteraciones deseadas y los porcentajes de recombinación y mutación; todos estos cargados con anterioridad. Al seleccionar el icono Iniciar el programa automáticamente comenzará a realizar las iteraciones y cuando las finalice, aparecerán expresados los siguientes resultados: topología final optimizada a la que llegó el programa, valores de KVAL, KD y calibre del conductor. Todo esto se ilustra mejor en la figura 5.14 a continuación:

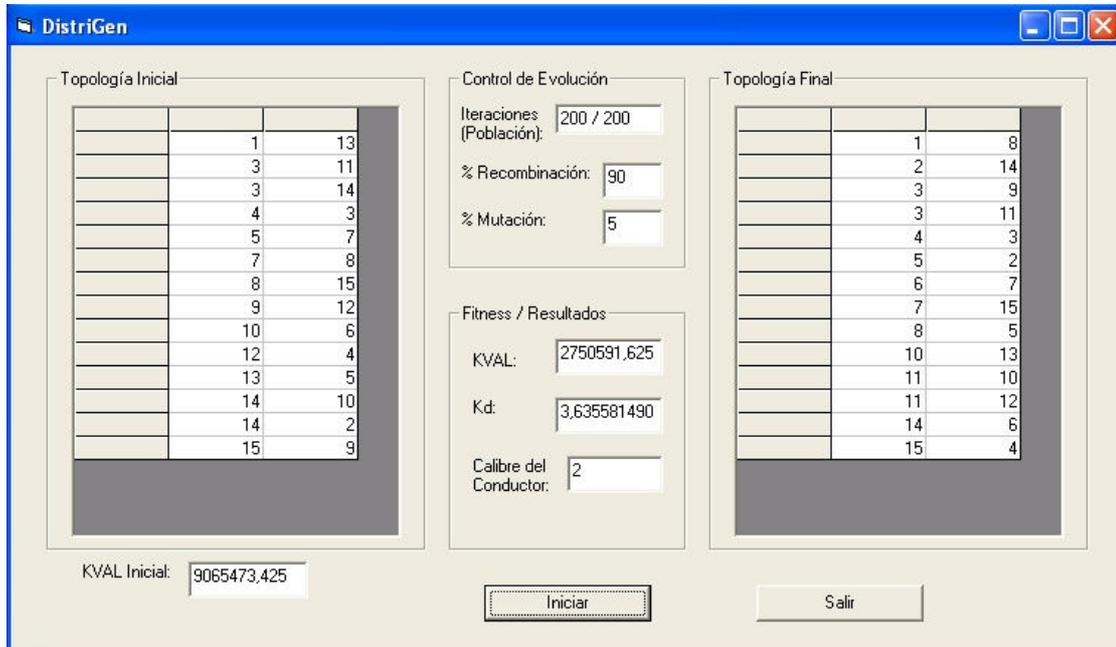


Figura 5.14. Iniciar DistriGen-UC

Fuente: DistriGen-UC

5.4.4 Creación de los archivos de entrada (datos) de DistriGen-UC

En la pantalla de la Configuración de Topología se encuentran 3 botones, cuya función ya fueron explicadas anteriormente, mostrando cómo resultado la carga de los datos allí contenidos, los cuales se muestran al hacer clic en dichos botones. La manera de crear los valores que se ilustran en pantalla es cargando lo que se desee en un archivo de datos, que debe estar separado por punto y coma (;) y éste es tomado directamente en un archivo creado en la herramienta de Windows Excel, para que de esta forma se puedan cargar los valores necesarios y principales que requiere DistriGen-UC para llevar a cabo su función.

5.5 VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS

El aumento de temperatura en los cables de potencia debido al paso de la corriente eléctrica es un tema sobre el que se ha investigado ampliamente sobre todo desde el punto de vista de la seguridad, ya que un calentamiento excesivo en ellos puede ser el origen de un incendio de graves consecuencias. Como medidas preventivas están, entre otras, el suficiente dimensionamiento de los cables, la selección adecuada de la tensión de alimentación y la correcta selección de las protecciones eléctricas.

Para realizar una comprobación de los cálculos dados por el software es necesario llevar a cabo un ejemplo calculado a mano para realizar pruebas en los resultados. El circuito a continuación representa un ejemplo de un circuito de la distribución en media tensión de la Urbanización Piedra Pintada.

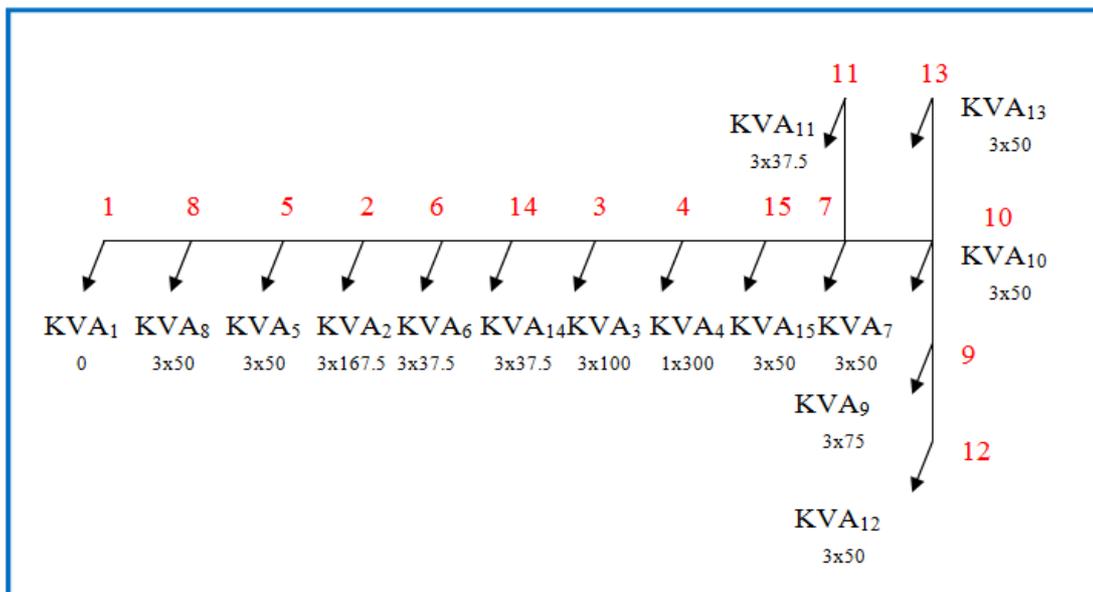


Figura 5.15. Circuito en media tensión de una topología específica.

Fuente: Cristina González y Dexalina Guédez

En general, el cálculo de un cable se basa en requerimientos técnicos, teniendo en

cuenta los posibles problemas que pueden acontecer durante su vida útil. Esto se realiza a partir de tres criterios: el de ampacidad, que asegura la posibilidad de transmitir potencia suficiente en régimen permanente; el de caída de tensión, que asegura que se mantenga entre los valores requeridos por la normativa aplicable; y el de cortocircuito: que asegura que el cable resiste la condición de cortocircuito un tiempo lo suficientemente largo para que la protección asociada al cable actúe. La combinación de estos tres cálculos nos da la solución técnica.

Sin embargo, existe un cuarto criterio que debería ser considerado en ciertas ocasiones, el criterio económico, y que es aquel que tiene en cuenta las pérdidas térmicas en la vida útil esperada de la instalación. La aplicación de este cuarto criterio puede ser importante con vistas a obtener un diseño que sea aceptable desde un punto de vista económico y energético.

Caída de tensión.

Según el Reglamento y Normas Generales para Redes de Distribución y Líneas de Alimentación, la caída de voltaje o regulación no debe de exceder en el punto más crítico y con carga máxima 1% en líneas de distribución primarias.

Es por tanto, que el cálculo resaltante en este estudio, es el dimensionamiento de los conductores. Para ello, se comenzara con el cálculo de KVAL del conductor.

Partiendo del ejemplo:

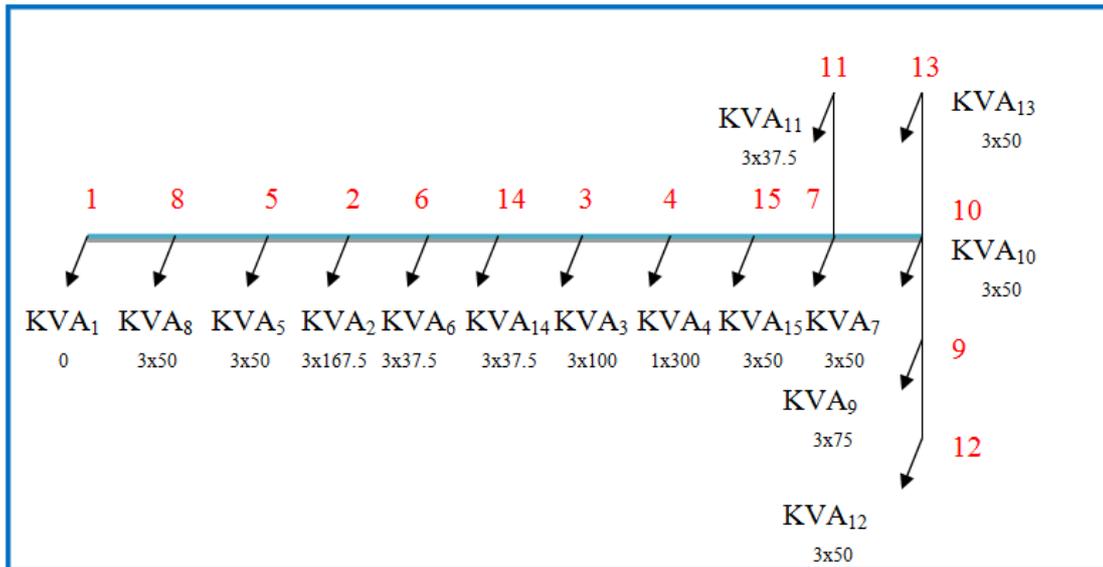


Figura 5.16. Troncal principal. Circuito en media tensión de una topología específica.

Fuente: Cristina González y Dexalina Guédez

Eligiendo como troncal principal el tramo que va desde el nodo 1 al nodo 10, se agrupan el resto de las cargas de la siguiente manera:

Nodo 7

$$KVA_{11} + KVA_7 = 112.5 + 150 = 262.5 \text{ KVA}$$

Nodo 10

$$KVA_{13} + KVA_{10} + KVA_9 + KVA_{12} = 150 + 150 + 225 + 150 = 675 \text{ KVA}$$

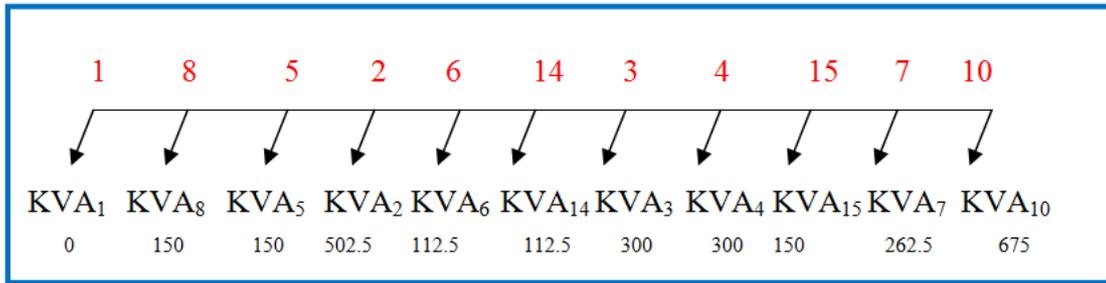


Figura 5.17. Concentraci3n de cargas.

Fuente: Cristina Gonz1lez y Dexalina Gu3dez

Realizado el c1lculo del KVAL.

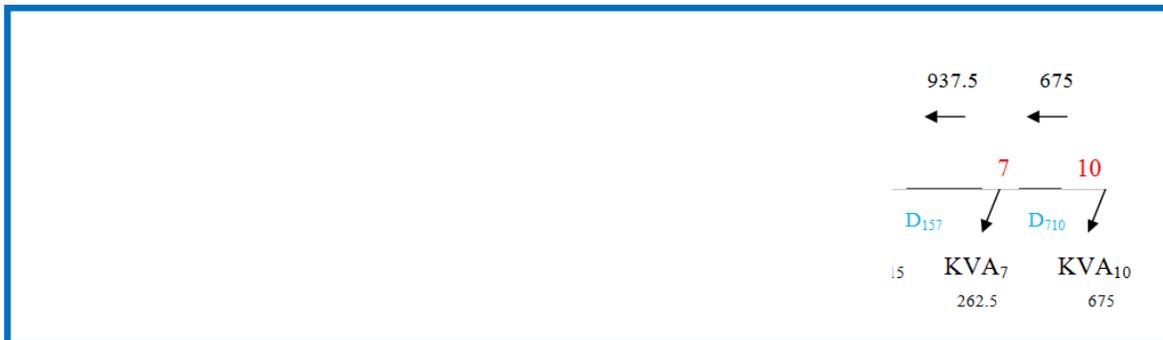


Figura 5.18. Paso de cargas.

Fuente: Cristina Gonz1lez y Dexalina Gu3dez

$$\begin{aligned}
 KVAL = & 675 \times D_{710} + 937.5 \times D_{157} + 1087.5 \times D_{415} + 1387.5 \times D_{34} \\
 & + 1687.5 \times D_{143} + 1800 \times D_{614} + 1912.5 \times D_{26} + 2415 \times D_{52} \\
 & + 2565 \times D_{85} + 2715 \times D_{18}
 \end{aligned}$$

Utilizando la tabla de distancias construida y expuesta anteriormente en la Tabla 4.6, se sustituyen los valores correspondientes:

$$\begin{aligned} KVAL &= 675 \times 119.23 + 937.5 \times 48.97 + 1087.5 \times 32.78 + 1387.5 \times 31.12 \\ &+ 1687.5 \times 32.15 + 1800 \times 24.04 + 1912.5 \times 67.87 \\ &+ 2415 \times 189.65 + 2565 \times 226.41 + 2715 \times 291.74 \end{aligned}$$

$$KVAL = 2.263.363,875 \text{ KVA}m$$

$$KVAL = 2.263,363875 \text{ KVA}Km$$

$$\%V = Kd \times KVAL$$

Despejando el Kd:

$$Kd = \frac{\%V}{KVAL}$$

Sustituyendo los valores de %V y KVAL. Como se dijo anteriormente por norma, el %V es uno (1):

$$Kd = \frac{1}{2.263,363875 \text{ KVA}Km}$$

$$Kd = 4.48 \times 10^{-4}$$

Este valor de Kd se busca en la tabla expuesta anteriormente, Tabla 4.5. Como la tabla llega hasta el valor 3.4927×10^{-4} y el resultado está dando un valor mayor, entonces se tomará como conductor el calibre inmediato superior, este sería el # 2 AWG, pero pensando en el crecimiento urbanístico, es recomendable colocar uno de mayor grosor.

En conclusión el calibre del conductor para esta topología es:

Calibre # 1 AWG

Ampacidad

La ampacidad se define como la corriente en Amperes que un conductor puede conducir de manera continua bajo condiciones de uso (condiciones del medio circundante en el que se instalan los cables) sin exceder su temperatura nominal.

Por lo anterior, el estudio de ampacidad de cables se refiere al cálculo de la elevación de la temperatura de los conductores en un sistema de cables bajo condiciones en estado estacionario.

La capacidad de conducción de corriente en cables de energía, es un problema de transferencia de calor. Las pérdidas constituyen energía que se transforma en calor en el cable, el cual se necesita cuantificar para definir la cantidad que se disipa al medio ambiente, a través de las resistencias térmicas que se oponen al flujo del mismo.

Para comenzar el cálculo de ampacidad utilizamos la ecuación de la potencia:

$$S = \sqrt{3} \times V \times I$$

Despejando la corriente, que es lo que necesitamos saber:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \times V}$$

Dónde:

S: potencia existente en todo el circuito.

V: voltaje de la línea.

$$I = \frac{2715 \text{ KVA}}{\sqrt{3} \times 13.8 \text{ KV}}$$

La corriente máxima que existía en el conductor es de:

$$I = 113.59 \text{ A}$$

Utilizando un catálogo de conductores eléctricos de cobre XLP y XLPE, que se encuentra en el Apéndice B, se observa que la corriente admisible para un conductor de cobre XLP o XLPE es de 170 A. Por lo tanto:

$$113.59 \text{ A} < 170 \text{ A}$$

Esto quiere decir que el conductor seleccionado si soportara la corriente máxima de transporte.

Cortocircuito

El cortocircuito eléctrico es una conexión de poca impedancia entre dos puntos entre los que existe una diferencia de potencial, dando lugar a una corriente de intensidad elevada en comparación con la corriente que soporta los componentes del circuito eléctrico.

Las causas de los cortocircuito son principalmente defectos eléctricos que provocan fallos de aislamiento de las instalación, o fallos en los receptores conectados, por avería o conexión incorrecta, también pueden ser provocados por causas atmosféricas (eventos atmosféricos como descargas eléctricas en líneas de alta tensión, vientos muy fuertes que acercan los conductores, humedad elevada).

Pueden ser de origen mecánico (ruptura de conductores o de aislantes, caída de árboles o ramas sobre líneas eléctricas aéreas o golpes de picos sobre cables subterráneos).

Es por tanto, que el cálculo de cortocircuito no se realizara para este estudio en la comprobación del calibre, ya que, en redes subterráneas es muy poco probable que ocurra una falla de este tipo.

5.6 COMPARACIÓN ENTRE RESULTADOS MANUALES Y RESULTADOS

EMITIDOS POR DistriGen-UC

Ítems	Resultados Manuales	Resultados emitidos por DistriGen-UC
Topología	1-8	1-8
	8-5	8-5
	5-2	5-2
	2-6	2-6
	6-14	6-14
	14-3	14-3
	3-4	3-4
	4-15	4-15
	15-7	15-7
	7-11	7-11
	7-10	7-10
	10-13	10-13
	10-9	10-9
9-12	9-12	
KVAL (KVAKm)	2.263,363875	2.419,761
Kd	$4,48 \times 10^{-4}$	$4,1326 \times 10^{-4}$
Calibre (AWG)	2	2

Tabla 5.2. Comparación de Resultados

Fuente: Cristina González y Dexalina Guédez

5.7 CORRIDA DEL PROGRAMA

Se realizara una corrida del programa para ver su funcionamiento de optimización. Primeramente, se hará el cálculo manual de una topología al azar:

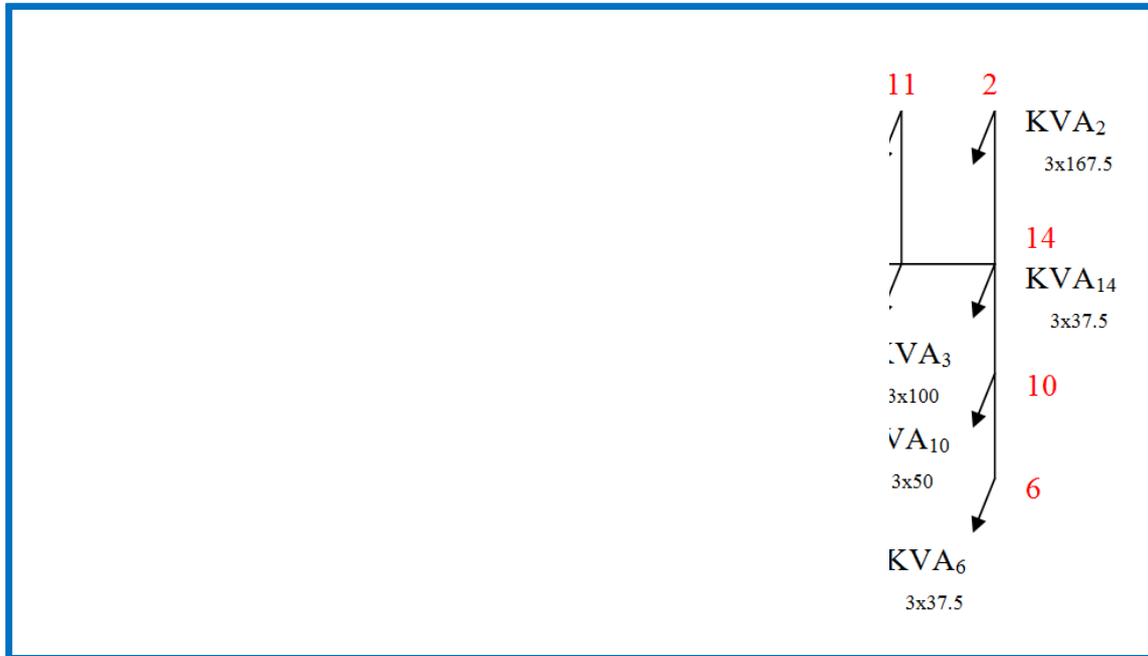


Figura 5.19. Circuito en media tensión de una topología al azar.

Fuente: Cristina González y Dexalina Guédez

Eligiendo como troncal principal el tramo que va desde el nodo 1 al nodo 14, se agrupan el resto de las cargas de la siguiente manera:

Nodo 3

$$KVA_{11} + KVA_3 = 112.5 + 300 = 412.5 \text{ KVA}$$

Nodo 14

$$KVA_2 + KVA_{14} + KVA_{10} + KVA_6 = 502.5 + 112.5 + 150 + 112.5 = 877.5 \text{ KVA}$$

Realizando el cálculo del KVAL:



Figura 5.20. Agrupación y paso de cargas.

Fuente: Cristina González y Dexalina Guédez

$$\begin{aligned}
 KVAL &= 877.5 \times D_{314} + 1290 \times D_{43} + 1590 \times D_{124} + 1740 \times D_{912} \\
 &+ 1965 \times D_{159} + 2115 \times D_{815} + 2265 \times D_{78} + 2415 \times D_{57} \\
 &+ 2565 \times D_{135} + 2715 \times D_{113}
 \end{aligned}$$

Utilizando la tabla de distancias construida y expuesta anteriormente en la Figura 4.6, se sustituyen los valores correspondientes:

$$\begin{aligned}
 KVAL &= 877.5 \times 32.15 + 1290 \times 31.12 + 1590 \times 468.04 + 1740 \times 210.77 \\
 &+ 1965 \times 320.21 + 2115 \times 573.32 + 2265 \times 596.71 \\
 &+ 2415 \times 368.72 + 2565 \times 554.11 + 2715 \times 822.64
 \end{aligned}$$

$$KVAL = 8.917.830,975 \text{ KVA}m$$

$$KVAL = 8.917,831 \text{ KVA}Km$$

$$\%V = Kd \times KVAL$$

Despejando el Kd:

$$Kd = \frac{\%V}{KVAL}$$

Sustituyendo los valores de %V y KVAL. Como se dijo anteriormente por norma, el %V es uno (1):

$$Kd = \frac{1}{8.917,831 \text{ KVA}K\text{m}}$$

$$Kd = 1.1213 \times 10^{-4}$$

Este valor de Kd se busca en la tabla expuesta anteriormente, Figura 4.5.

En conclusión el calibre del conductor para esta topología es:

Calibre 3/0 AWG

Ingresando esta topología inicial a DistriGen-UC y realizando todo el proceso de carga de datos, arrojo el siguiente resultado.

$$KVAL = 2.750,591 \text{ KVA}K\text{m}$$

$$Kd = 3,6356 \times 10^{-4}$$

Calibre # 2 AWG

Quedando de esta manera evidenciado el funcionamiento de optimización de DistriGen-UC

5.8 CONCLUSIONES

- El diseño de DistriGen-UC trae notables beneficios, entre los cuales resaltan, el tiempo de respuesta que nos brinda el programa ante las diversas características presentadas en redes de 13.8kV, donde nos ofrece perfiles de caída de tensión, ampacidad y determinación de calibre de conductor en la diversidad de tramos que tenga un circuito en específico, para que de esta manera el personal encargado de Diseño y Planificación de Redes pueda realizar los estudios pertinentes; de igual manera puede ser empleado de modo académico en la realización de ejercicios que estudiantes y/o docentes deseen plantearse a su gusto, con la ayuda de este programa se pueden conocer las respuestas a las que se deben llegar al momento de realizar los cálculos.
- La selección del calibre del conductor no sufrió modificación con respecto a la elección original, la cual fue seleccionada por los encargados de Diseño y Planificación de Redes de la empresa ELEVAL. La colocación del calibre # 1 AWG en esa ocasión era la mejor respuesta, pero en la actualidad, ese conductor es difícil de conseguir; es por tanto, que en caso de que se tuviese que sustituir el conductor ya existente se haría con un calibre 1/0.
- Para la realización de este trabajo de grado, se basó su aplicación en un circuito específico de estudio, para así facilitar el alcance del mismo. Por tanto, se estudió la Urbanización Piedra Pintada, perteneciente a la zona Trigal Norte de Valencia, Venezuela. Aunque, DistriGen-UC se puede utilizar, no solo en urbanismos pequeños sino en circuitos macro, como lo puede ser, la redistribución eléctrica de toda una ciudad.
- De los planos facilitados por CORPOELEC y luego del estudio físico del urbanismo que se realizó, se corroboró los resultados obtenidos con DistriGen-UC, como también,

los mismos alcanzados con cálculos realizados de manera metódica. Evidenciando así, el correcto funcionamiento del mismo.

5.9 RECOMENDACIONES

- Existen muchos otros métodos metaheurísticos que podrían reforzar el proceso de búsqueda de soluciones cuasi óptimas, como lo son los algoritmos de búsqueda tabú, backtracking, etc. Cabe destacar que el proceso de construcción de topologías radiales para sistemas de distribución eléctrica, no consta de un procedimiento estandarizado y resultaría interesante estudiar el impacto de otras técnicas en el desarrollo del mismo.
- Así mismo, podrían estudiarse mejoras en el algoritmo planteado en esta investigación, respecto a implementar variantes como la planteada por los algoritmos genéticos paralelos, en los cuales, se puede simular el crecimiento de la población mediante varias máquinas trabajando simultáneamente y de manera cooperativa, lo cual redundaría en mejoras en el tiempo de cómputo en redes que tengan una muy alta cantidad de nodos.
- Como continuación de este trabajo se puede proponer agregar una interfaz gráfica que pueda cargar el plano en AutoCAD de la zona donde se requiera realizar el estudio y que enlazado con DistriGen, permita calcular la topología y el conductor apropiado al caso.

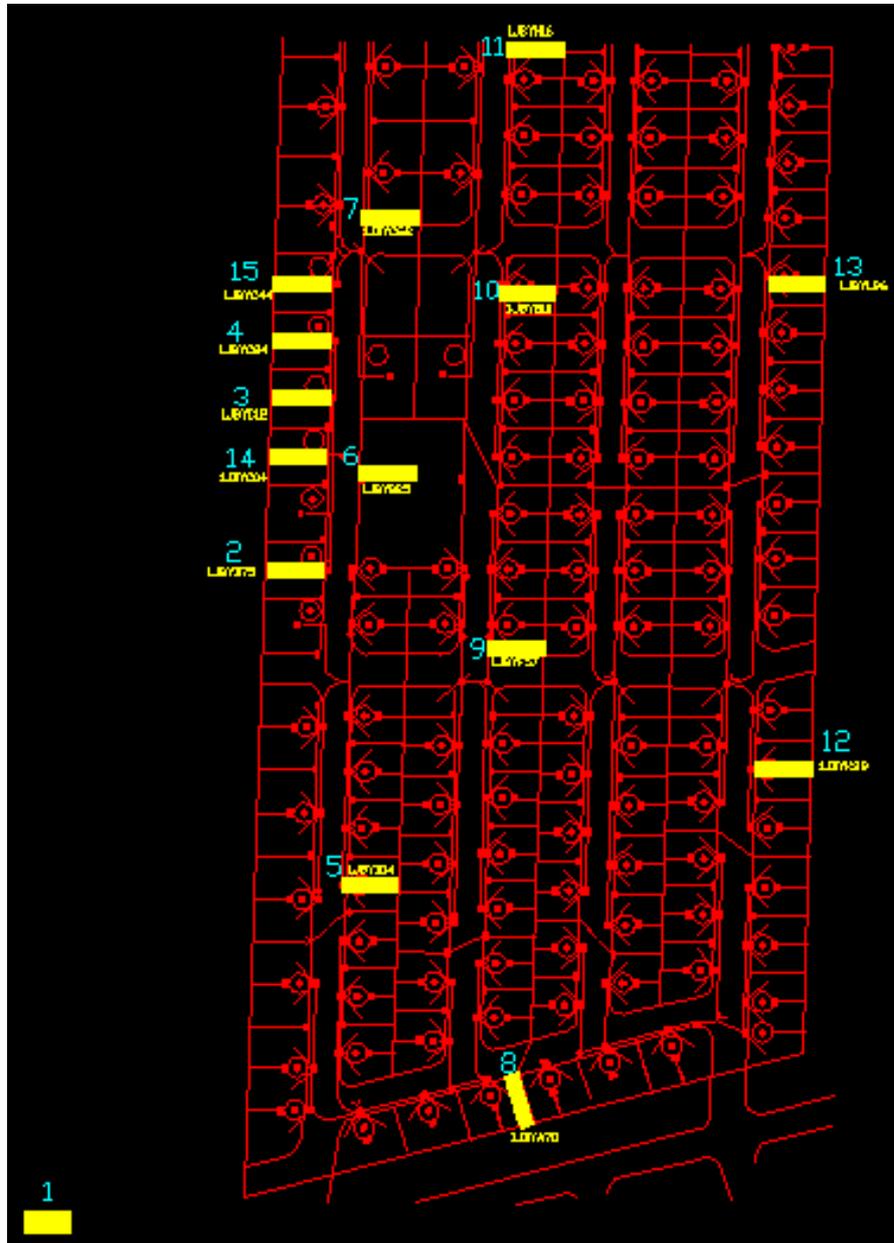
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Rudn95 RudnickHugh, Carlos Silva y Rodrigo Palma. **Descomposición de Bender en optimización de Sistemas Eléctricos de Potencia.** Universidad Católica de Chile. Apuntes de Ingeniería. Volumen 18, Nº 4 -1995
- Sanh99 Sanhueza Raúl, Ildefonso Harnisch, Horacio Díaz y Ramón Guirriman. **Aplicación de Algoritmos Genéticos al problema de planificación de Sistemas Eléctricos de Distribución.** Revista Facultad de Ingeniería, Universidad de Tarapaquí Chile. Vol. 6 -1999
- Adam74 Adams, R.N y Laughon M.A. **Optimal Planning Of Power Networks Using Mixed-Integer Programming,**Proc. IEE, Vol.121, No.2, pp 139-148, Feb. 1974.
- Bac93 Bäck, T. **Optimal Mutation Rates in Genetic Search,**S. Forrest, editor: Proceedings of the Fifth International Conference on Genetic Algorithms, pp. 2-8, Morgan Kaufmann, San Mateo CA, 1993.
- Bac94 Bäck, T. **Selective Pressure in Evolutionary Algorithms: A Characterization of Selection Mechanisms,**Proceedings of the First IEEE Conference on Evolutionary Computation, pp. 57-62, IEEE Press, Piscataway NJ, 1994 .

- Bak87 Baker, J. E. **Reducing Bias and Inefficiency in the Selection Algorithm**, Proceedings of the Second International Conference on Genetic Algorithms pp. 14-21 July 1987
Lawrence Erlbaum.
- BH91 Bäck, T. and Hoffmeister, F. **Extended Selection Mechanisms in Genetic Algorithms**, Proceedings of the Fourth International Conference on Genetic Algorithms, San Diego, CA, pp. 92-99, 1991.
- CES89 Caruana, R. A., Eshelmann, L. A. and Schaffer, J. D. **Representation And hidden bias II: Eliminating defining length bias in genetic search via shuffle crossover**. In Eleventh International Joint Conference on Artificial Intelligence, Sridharan, N. S. (Ed.), vol. 1, pp. 750-755, San Mateo, California, USA: Morgan Kaufmann Publishers, 1989.
- GD91 Goldberg, D. E. and Deb, K. **A Comparative Analysis of Selection Schemes Used in Genetic Algorithms**, Foundations of Genetic Algorithms, edited by G. J. E. Rawlins, pp. 69-93, 1991.
- Gone86 Gonen, T y Ramírez-Rosado, I. J. **Review Of Distribution System Planning Models: A Model For Optimal Multistage Planning**, IEE Proc. Vol. 133, No. 7, pp 397-408, Nov 1986.
- Harn90 Harnisch, I. **Reconfiguración De Sistemas Eléctricos De Distribución**, Tesis de Magister, PUC, 1990.

- Ponn81 Ponnavaikko, M. Y PrakasaRao K. S. **Optimal Distribution System Planning**, IEEE Trans. Vol. PAS-100, No 6, pp 2969-2977, Jun 1981.
- Will92 Willis, H. L., Tram, H. N. y Rackliffe G. B. **Short-Range load Forecasting For Distribution System Planning - An Improved Method For Extrapolating Feeder Load Growth**, IEEE Trans. Vol. 7 No 3, pp 1306-1312, Aug 1992.
- Villa89 Villarroel, M. **Diseño Óptimo De Redes De Distribución**. Tesis de Magister, PUC., Dic. 1989.

APÉNDICE A



APÉNDICE B



CABLES XLP y XLPE



600 V TIPO XHHW

APLICACIÓN:

Estos conductores monopolares están especificados para uso general hasta 600 Volts, en la distribución de energía eléctrica en instalaciones aéreas en tubo conduit o ducto subterráneo. Temperatura de operación normal de 90 C, 130 C en condiciones de emergencia y 250 C en condiciones de corto circuito.

CARACTERÍSTICAS:

- * Resistente a la mayoría de aceites y grasas
- * Alta resistencia a la penetración de humedad
- * Supera las propiedades térmicas del butilo y del polietileno
- * Resistente a bajas temperaturas.



TABLA DE DIMENSIONES Y CORRIENTES ADMISIBLES

Calibre AWG o KCM	Conductor Número de alambres	Desnudo Diámetro mm	Peso Kg / Km	Espesor del aislamiento mm	Diámetro exterior Aproximado mm	Peso Aproximado Kg / 100m.	Corriente Admisible (A)*
14	7	1.85	18.9	0.76	3.70	26	25
12	7	2.34	30.1	0.76	4.16	38	30
10	7	2.94	47.8	0.76	4.77	58	40
8	7	3.69	75.9	1.14	6.27	96	55
6	7	4.65	121	1.14	7.21	145	75
4	7	5.88	192	1.14	8.38	220	130
2	7	7.41	305	1.14	9.85	340	150
1	19	4.18	384	1.40	11.61	445	170
1/0	19	9.45	485	1.40	12.62	512	195
2/0	19	10.65	612	1.40	13.73	670	225
3/0	19	11.55	771	1.40	12.23	837	250
4/0	19	13.40	972	1.40	16.43	1045	290
250	37	14.63	1149	1.65	13.25	1245	320
300	37	16.03	1379	1.65	19.56	1483	350
350	37	17.20	1609	1.65	20.86	1720	380
400	37	18.48	1838	1.65	21.96	1957	430
500	37	20.65	2297	1.65	24.06	2430	475
600	61	22.68	2757	2.03	26.82	2937	535
750	61	25.35	3446	2.03	29.42	3646	535
1000	61	29.25	4595	2.03	33.22	4814	615

*La corriente admisible está basada en tres conductores aislados en charola y una temperatura ambiente de 30°C.

Datos aproximados y sujetos a tolerancia de manufactura.

ALCANCE:

La presente especificación cubre la construcción del cable XLP tipo XHHW con conductor de cobre, aislamiento de polietileno de cadena cruzada XLP color negro para uso general, y operación máxima de temperatura en el conductor de 90 C, 130 C en condiciones de sobre carga en emergencias y 250 C en condiciones de corto circuito. Clasificados para ser empleados hasta tensión máxima de 600 volts.

NORMAS:

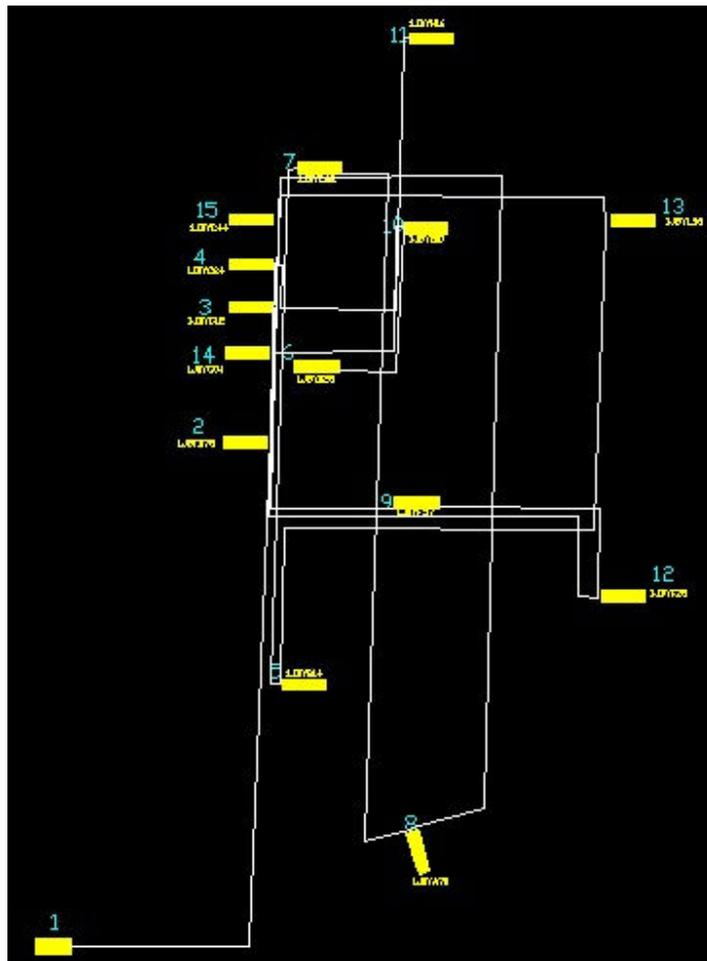
Las siguientes especificaciones y normas forman parte de la presente especificación: ICEA S-66-524, NOM -J-12, UL 44.

CONDUCTOR:

El aislamiento es de polietileno de cadena cruzada (XLP) pigmentado con negro humo y debe cumplir en general con lo especificado en ICEA S-66-524 y U.L.-44

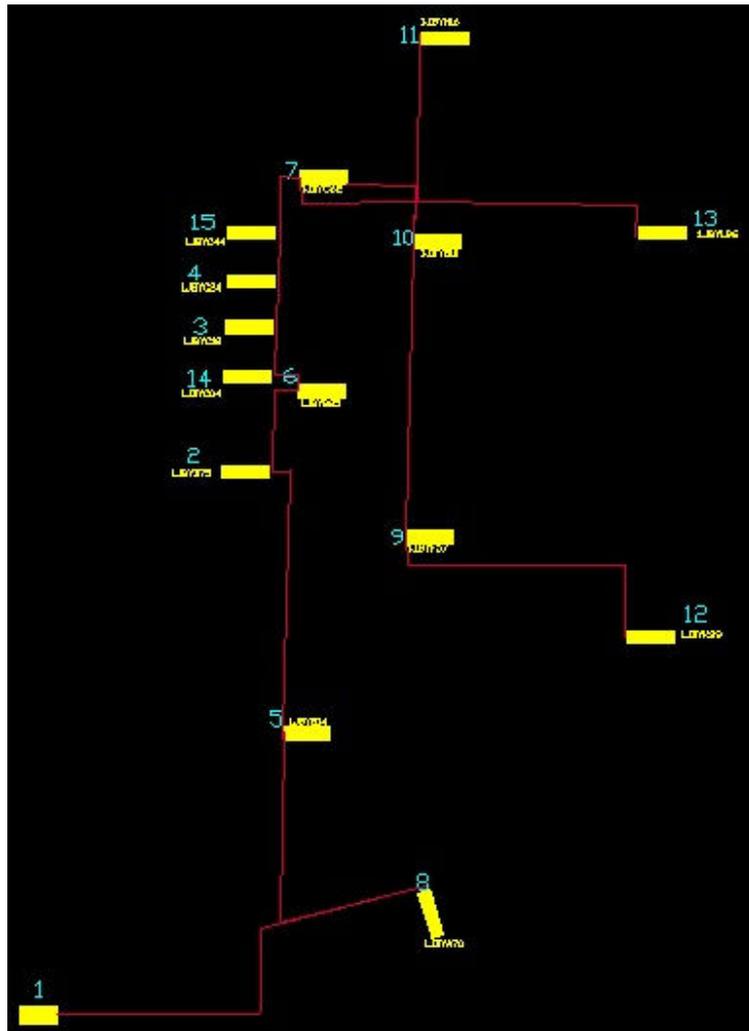
APÉNDICE C

Topología Inicial



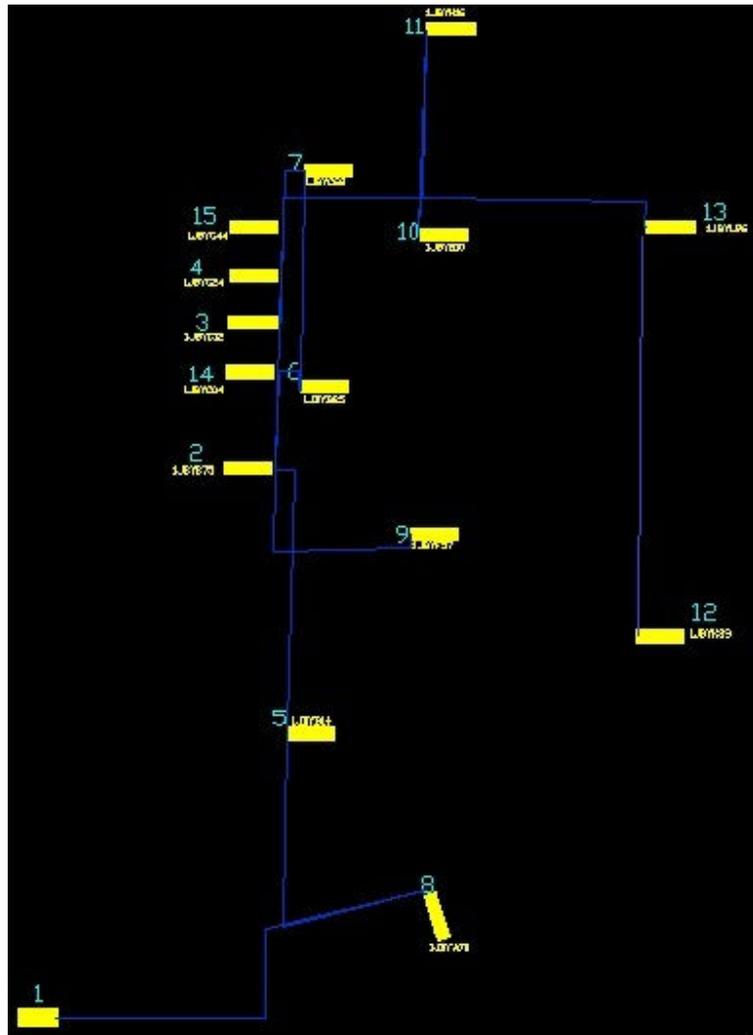
APÉNDICE D

Topología Existente



APÉNDICE E

Topología DistriGen-UC



APÉNDICE F

Public conductor As String

Public maxitera

Public porcruce

Public pormut

Public kvalmin As Double

Public ent(1 To 100) As Integer

Public sal(1 To 100) As Integer

Public carga(1 To 100) As Variant

Public dist(1 To 50, 1 To 50) As Double

Public topo(1 To 50, 1 To 50) As Integer

Public Sub calculo()

Dim topof_ini(1 To 20) As Integer

Dim topof_fin(1 To 20) As Integer

Dim ini_min(1 To 20) As Integer

Dim fin_min(1 To 20) As Integer

Form5.nittb.Text = maxitera

Form5.rectb.Text = porcruce

Form5.muttb.Text = pormut

nodos = 15

fin = 200

```
Dim nodotrab
Randomize
Dim bitacora(20000, 5)

Form5.tifg.Cols = 3
For i = 1 To 14
With Form5.tifg
    .Rows = i + 1
    .Row = i
    .Col = 1
    .Text = ent(i)
    .Col = 2
    .Text = sal(i)
End With
Next

For iterac = 1 To fin
Form5.nittb.Text = iterac & " / " & fin

nodotrab = Int((nodos * Rnd) + 1)
'nodotrab = Choose(iterac, 11, 10, 13, 7, 15, 10, 13, 2, 10, 13, 13, 9, 1, 10, 12, 14, 4, 15)

'distancia entre nodotrab y nodotrab+1
menor = 10000
For j = 1 To nodos
    If dist(nodotrab, j) < menor And dist(nodotrab, j) <> 0 Then
        menor = dist(nodotrab, j)
        posmenor = j
```

```
    Else
    End If
Next

band = 0

For j = 1 To nodos
    If topo(nodotrab, j) = 1 Then
        nodovecino = j
        band = 1

    Else
    End If
Next

bitacora(iterac, 1) = nodotrab
bitacora(iterac, 2) = nodovecino
bitacora(iterac, 3) = posmenor

If band = 1 Then

If posmenor <> nodovecino Then

    For j = 1 To 15 'intercambia filas
        aux = topo(posmenor, j)
        topo(posmenor, j) = topo(nodovecino, j)
        topo(nodovecino, j) = aux
    Next
```

```
For i = 1 To 15
  If topo(i, posmenor) = 1 Then
    topo(i, posmenor) = 0
    topo(i, nodovecino) = 1
  Exit For

  Else
  End If
Next

topo(nodotrab, posmenor) = 1
If nodotrab <> i Then
  topo(nodotrab, nodovecino) = 0
  Else
  End If
  Else
  End If

Else
End If

suma = 0
For i = 1 To 15
  For j = 1 To 15
    suma = suma + topo(i, j)
  Next
Next
bitacora(iterac, 4) = suma
```

```
k = 0
For i = 1 To 15
  For j = 1 To 15
    If topo(i, j) = 1 Then
      k = k + 1
      topof_ini(k) = i
      topof_fin(k) = j
    Else
      End If
  Next
Next

For i = 1 To k
  ent(i) = topof_ini(i)
  sal(i) = topof_fin(i)
Next

calculo2

If iterac = 1 Then kmin = 1000000000
If kvalmin < kmin Then
  kmin = kvalmin
  posmin = iterac

  For i = 1 To 14
    ini_min(i) = topof_ini(i)
```

```
fin_min(i) = topof_fin(i)
```

```
Next
```

```
Else
```

```
End If
```

```
Next iterac
```

```
'Form5.kvalmintb.Text = kmin
```

```
Form5.tffg.Cols = 3
```

```
For i = 1 To k
```

```
With Form5.tffg
```

```
  .Rows = i + 1
```

```
  .Row = i
```

```
  .Col = 1
```

```
  .Text = ini_min(i)
```

```
  .Col = 2
```

```
  .Text = fin_min(i)
```

```
End With
```

```
Next
```

```
Form5.kvaltb.Text = kmin
```

```
kd = 1000 / kmin
```

```
Form5.kdtb.Text = kd
```

```
kvalmin = kmin
```

```
calc_cond
```

```
Form5.calibretb.Text = conductor
```

```
'For i = 1 To fin
```

```
'For j = 1 To 4
```

```
'Worksheets("bitacora").Cells(1 + i, j).Value = bitacora(i, j)
```

```
'Next
```

```
'Next
```

```
End Sub
```

```
Public Sub calculo2()
```

```
Dim nodoini(20) As Integer
```

```
Dim nodofin(20) As Integer
```

```
Dim nodorep(20) As Integer
```

```
Dim mad(20, 4) As Integer
```

```
'Sheets("conex").Select
```

```
k = 0
```

```
l = 0
```

```
'For i = 1 To 14
```

```
'ent(i) = Range("A" & i).Value
```

```
'sal(i) = Range("B" & i).Value
```

```
'Next
```

```
For i = 1 To 14
```

```
band1 = 0
band2 = 0
For j = 1 To 14

  If ent(i) = sal(j) Then
    band1 = 1
  Else
  End If

  If sal(i) = ent(j) Then
    band2 = 1
  Else
  End If
Next j

If band1 = 0 Then
  k = k + 1
  nodoini(k) = ent(i)
Else
End If

If band2 = 0 Then
  l = l + 1
  nodofin(l) = sal(i)
Else
End If

Next i
```

```
'For i = 1 To k  
'Range("D" & i).Value = nodoini(i)  
'Next
```

```
'For i = 1 To l  
'Range("E" & i).Value = nodofin(i)  
'Next
```

```
m = 0  
For i = 1 To 13  
band = 0  
For j = i + 1 To 14
```

```
    If ent(i) = ent(j) Then  
        band = 1  
    Else  
    End If  
Next j
```

```
    If band = 1 Then  
        m = m + 1  
        nodorep(m) = ent(i)  
    Else  
    End If
```

```
Next i
```

```
'For i = 1 To m  
'Range("F" & i).Value = nodorep(i)
```

'Next

For i = 1 To 13

For j = i + 1 To 14

If ent(i) > ent(j) Then

 aux1 = ent(i)

 ent(i) = ent(j)

 ent(j) = aux1

 aux2 = sal(i)

 sal(i) = sal(j)

 sal(j) = aux2

Else

End If

Next

Next

'For i = 1 To 14

'Range("H" & i).Value = ent(i)

'Range("I" & i).Value = sal(i)

'Next

p = ent(14)

For i = 1 To p

For j = 1 To 4

mad(i, j) = 0

Next

Next

For i = 1 To 14

If mad(ent(i), 1) = 0 Then

 mad(ent(i), 1) = sal(i)

Else

 mad(ent(i), 2) = sal(i)

End If

Next

'For i = 1 To p

'For j = 1 To 4

'Worksheets("conex").Cells(i, 11 + j).Value = mad(i, j)

'Next

'Next

'#recorridos = # bifurcaciones + 1 /// en este caso son 2 + 1 = 3

Dim rec(5, 20) As Variant

nrec = 3

For i = 1 To 5

For j = 1 To 20

rec(i, j) = 0

Next

Next

For i = 1 To nrec

```
j = 1
Control = 0
rec(i, 1) = 1
sig = mad(1, 1)

While Control = 0
j = j + 1
rec(i, j) = sig
sigant = sig

sig = mad(sig, 1)
If sig = -1 Then
    sig = mad(sigant, 2)
Else
End If

If sig = 0 Then
    mad(sigant, 1) = -1
    'rec(i, j + 1) = sig
    Control = 1
Else
End If

If Control = 1 Then
For q = j To 1 Step -1
valor = rec(i, q)
enc = 0
```

```
For r = 1 To p
  If valor = mad(r, 1) And mad(r, 2) <> 0 Then
    mad(r, 1) = -1
    enc = 1
  Else
  End If
Next
If enc = 1 Then Exit For
Next
End If

Wend
Next

'For i = 1 To 5
'For j = 1 To 20
'Worksheets("conex").Cells(19 + i, j).Value = rec(i, j)
'Next
'Next
For i = 1 To 20
band = 0
For j = 1 To nrec

If j = 1 Then
  comp = rec(j, i)
Else
  If comp <> rec(j, i) Then
    band = 1
```

```
nodocom = rec(j, i - 1)
posnodocom = i - 1
Exit For
Else
End If
End If
Next
If band = 1 Then Exit For
Next

'Range("A26").Value = nodocom
'Range("A27").Value = posnodocom

'Dim carga(20) As Variant

'For i = 1 To 15
'carga(i) = Worksheets("carga").Cells(i, 2).Value
'Next

'Dim dist(20, 20)
'For i = 1 To 15
'For j = 1 To 15
' dist(i, j) = Worksheets("dist").Cells(1 + i, 1 + j).Value
'Next
'Next

Dim cargac(1 To 20) As Variant
```

```
For i = 1 To 15
cargac(i) = carga(i)
Next

Dim aux(40000) As Variant
t = 0
kval = 0
s = 0

For i = 3 To 1 Step -1
For j = 1 To 19

Control = 0
While rec(i, j) <> 0 And Control = 0

's = 0
'For l = 1 To 5
'For k = j + 1 To 20
's = s + 1
'aux(s) = rec(l, k)
'Next
'Next

'For k = 1 To s
'Worksheets("conex").Cells(17, k).Value = aux(k)
'Next

'For l = 1 To s - 1
```

```
'For k = l + 1 To s
'If aux(l) = aux(k) Then
'  aux(k) = 0
'Else
'End If
'Next
'Next

'For k = 1 To s
'Worksheets("conex").Cells(17, k).Value = aux(k)
'Next

sumakva = 0
For k = j + 1 To 19
pot = rec(i, k) 'pot = aux(k)
If pot <> 0 Then
    sumakva = sumakva + cargac(pot)
s = s + 1
aux(s) = pot
Else
End If
Next

x = rec(i, j)
y = rec(i, j + 1)
If x * y <> 0 Then
    kval = kval + dist(x, y) * sumakva
```

```
'Sheets("hoja1").Select  
t = t + 1  
'Range("A" & t).Value = x  
'Range("b" & t).Value = y  
'Range("c" & t).Value = dist(x, y)  
'Range("d" & t).Value = sumakva  
'Range("e" & t).Value = kval'
```

```
End If
```

```
Control = 1
```

```
Wend
```

```
'Sheets("conex").Select
```

```
Next
```

```
For k = 1 To s
```

```
cargac(aux(k)) = 0
```

```
Next
```

```
Next
```

```
'Range("D5").Value = kval
```

```
'kd = (1000 / kval)
```

```
'Range("D6").Value = kd
```

```
'Form5.kvaltb.Text = kval
```

```
'Form5.kdtdb.Text = kd
```

```
kvalmin = kval
```

End Sub

Public Sub calc_cond()

kd = 1000 / kvalmin

kdc = 10000 * kd

If kdc <= 0.35921 Then conductor = "750"

If kdc > 0.35921 Then conductor = "600"

If kdc > 0.43363 Then conductor = "500"

If kdc > 0.49947 Then conductor = "450"

If kdc > 0.54799 Then conductor = "400"

If kdc > 0.61014 Then conductor = "350"

If kdc > 0.65663 Then conductor = "300"

If kdc > 0.80315 Then conductor = "250"

If kdc > 0.95343 Then conductor = "4/0"

If kdc > 1.1133 Then conductor = "3/0"

If kdc > 1.3983 Then conductor = "2/0"

If kdc > 1.7689 Then conductor = "1/0"

If kdc > 2.2169 Then conductor = "1"

If kdc > 2.7689 Then conductor = "2"

If kdc > 3.4927 Then conductor = "2"

End Sub