



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y APLICADAS**  
**CARRERA DE INGENIERIA ELÉCTRICA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**“APLICACIÓN DE ALGORITMOS GENÉTICOS PARA LA UBICACIÓN ÓPTIMA DE  
CONDENSADORES EN EL ALIMENTADOR PRIMARIO DE DISTRIBUCIÓN TIPO  
RADIAL”**

Proyecto de investigación presentado previo a la obtención del Título.

**INGENIERO ELÉCTRICO EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA**

**Autores:**

Aguirre Morillo Guido Joel

Toapanta Barreiro Eddy Geraldo

**Tutor:**

MSc. Ing. Quinatoa Caiza Carlos Iván

Latacunga – Ecuador

2021

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

“Yo **Guido Joel Aguirre Morillo y Eddy Geraldo Toapanta Barreiro** declaro ser autor del presente proyecto de investigación: “**APLICACIÓN DE ALGORITMOS GENÉTICOS PARA LA UBICACIÓN ÓPTIMA DE CONDENSADORES EN EL ALIMENTADOR PRIMARIO DE DISTRIBUCIÓN TIPO RADIAL**”, siendo el MSc. Ing. Carlos Ivan Quinatoa Caiza tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

.....  
**Guido Joel Aguirre Morillo**  
**C.I.: 1722187521**

.....  
**Eddy Geraldo Toapanta Barreiro**  
**C.I.:1720110517**

## **AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN**

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

***“APLICACIÓN DE ALGORITMOS GENÉTICOS PARA LA UBICACIÓN ÓPTIMA DE CONDENSADORES EN EL ALIMENTADOR PRIMARIO DE DISTRIBUCIÓN TIPO RADIAL”***

De los Sres, **Guido Joel Aguirre Morillo**, y **Eddy Geraldo Toapanta Barreiro** de la carrera ingeniería Eléctrica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, marzo, 2021

.....

MSc. Ing. Carlos Iván Quinatoa Caiza

C.I.: 050328786-4

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN**

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la FACULTAD de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas (CIYA); por cuanto, el o los postulantes: **Guido Joel Aguirre Morillo** y **Eddy Geraldo Toapanta Barreiro** con el título de Proyecto de titulación: “**APLICACIÓN DE ALGORITMOS GENÉTICOS PARA LA UBICACIÓN ÓPTIMA DE CONDENSADORES EN EL ALIMENTADOR PRIMARIO DE DISTRIBUCIÓN TIPO RADIAL**” han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, marzo, 2021

Para constancia firman:

---

**Lector 1 (Presidente)**

MSc. Ing. Xavier Alfonso Proaño Maldonado

C.I.: 050265642-1

---

**Lector 2**

PhD. Iliana González Palau

C.I.: 175707065-9

---

**Lector 3**

MSc. Ing. Franklin Hernán Vásquez Teneda

C.I.: 171043449-7

## **AGRADECIMIENTOS**

*A mi padre celestial por brindarme la vida y la sabiduría para aprender cada día, a mis tías y abuelos que con su apoyo y consejos me permitieron ser una persona de bien y poder alcanzar este título de ingeniero eléctrico.*

*Y agradecer a mi director de tesis MSc. Ing. Carlitos Quinatoa por su apoyo incondicional.*

**Guido**

## **AGRADECIMIENTO**

*En primer lugar, deseo expresar mi agradecimiento al tutor de esta tesis, Ing. Carlos Quinatoa, por el apoyo brindado a este trabajo, por el respeto a mis sugerencias y por la dirección del mismo y también a mis padres y hermanos, ya que ellos me han inculcado ser un hombre de bien y siempre cumplir mis metas.*

**Eddy**

## **DEDICATORIA**

*Dedico esta tesis principalmente a YAHWEH, a mis tías Marisol, Marlene, Elena, Carmen y a mi mami **Albita** que con sus consejos me formaron un profesional con valores y principios y me dieron la oportunidad de estudiar y graduarme.*

*Y a mi hijo Mateo que me inspira cada día a seguirme preparando y seguir luchando por mi familia para que él también sea una persona de bien.*

*Finalmente, a toda mi familia y amigo por el apoyo moral.*

**Guido**

## **DEDICATORIA**

*Dedico esta tesis principalmente a mi madre Gladys, que gracias a su esfuerzo y consejos contribuyo en el proceso de convertirme en un profesional con mucha ética y valores, así como en la capacidad de graduarme*

**Eddy**

## INDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	2
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN .....	3
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN .....	4
AGRADECIMIENTOS .....	5
AGRADECIMIENTO .....	6
DEDICATORIA .....	7
INDICE DE FIGURAS.....	12
INDICE DE TABLAS .....	13
INDICE DE ECUACIONES .....	14
RESUMEN.....	15
ABSTRACT.....	16
1 INFORMATION GENERAL .....	1
Título de Proyecto .....	1
Fecha de inicio.....	1
Fecha de finalización.....	1
Facultad .....	1
Proyecto de investigación.....	1
Equipo de trabajo.....	1
Área de conocimiento.....	1
Línea de investigación.....	1
Sub líneas de investigación de la Carrera.....	1
2 DESCRIPCION DEL PROYECTO.....	2
3 JUSTIFICACION DEL PROYECTO .....	2
4 BENEFICIARIOS DEL PROYECTO.....	3
5 PROBLEMA DE INVESTIGACION .....	3
5.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	4
6 OBJETIVOS .....	5

6.1 OBJETIVO GENERAL .....	5
6.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	5
7 ACTIVIDADES CON RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS .....	5
8 ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS O ESTADO DEL ARTE.....	6
8.1 Autores que utilizan métodos analíticos.....	8
8.2 Autores que utilizan métodos heurísticos y métodos de inteligencia artificial .....	8
8.3 Autores que utilizan lógica difusa y Algoritmos Genéticos.....	9
8.4 Algoritmo de colonia de hormigas .....	10
9 Sistemas de Distribución.....	10
9.1 Características de los sistemas de distribución.....	12
9.2 Sistema radial. ....	13
9.3 Sistema en anillo. ....	13
9.4 Sistema mallado. ....	14
9.5 Alimentadores primarios de distribución eléctrica.....	14
9.6 Factores a considerar en la decisión del nivel de voltaje en el alimentador primario .	14
9.7 Efectos producidos por la circulación de potencia reactiva .....	14
9.8 Compensación de potencia reactiva .....	15
9.9 Análisis de sensibilidad .....	18
9.10 flujo de potencia .....	20
9.11 Método Gauss-Seidel .....	21
10 ALGORITMOS GENÉTICOS .....	22
10.1 Definición.....	22
10.2 funcionamiento de los algoritmos genéticos .....	23
10.3 Componentes de nuestro algoritmo genético. ....	24
10.4 ventajas de los algoritmos genéticos con respecto a otros métodos.....	25
10.5 Aplicación de los algoritmos genéticos en los sistemas de distribución.....	26
10.6 Algoritmos de nichos.....	27
10.6.1 Clasificación de los métodos de nichos .....	28
10.7 Poblamiento Determinístico .....	28
11 APLICACIÓN DEL ALGORITMO GENÉTICO.....	29
11.1 Función objetivo a minimizar mediante el algoritmo genético.....	29

11.2 Diagrama de flujo del programa para la localización de capacitores.....	33
11.2 Diagrama de flujo del sistema .....	34
11.2.1 Lectura de datos.....	34
11.2.2 Inserción de parámetros.....	35
11.2.3 Análisis de sensibilidad .....	35
11.2.4 Generaciones de la población inicial .....	35
11.2.5 Selección de parejas de padres aleatoriamente y sin remplazo .....	36
11.2.6 Cruzamiento.....	36
11.2.7 Mutación.....	36
11.2.8 Evaluación .....	37
11.2.9 Actualizar datos .....	37
11.2.10 Actualizar grafica.....	37
11.2.11 Resultado final .....	37
11.3 Interfaz grafica .....	37
11.3.1 Ventana principal.....	38
11.3.2 Ventana de configurar el sistema.....	38
11.3.3 Ventana de introducir parámetros.....	39
11.3.4 Ventana de localizar .....	40
11 METODOLOGÍA .....	40
11.1 Métodos de investigación.....	40
11.2 Técnicas de investigación.....	41
12 RESULTADOS.....	42
12.1 Sistema de 4 barras.....	42
12.2 Sistema de Prueba IEEE de 31 Barras.....	46
12.3 Sistema de Prueba IEEE de 52 Barras.....	48
12.4 Sistema de Prueba IEEE de 123 Barras.....	51
12. CONCLUSIONES .....	57
13. RECOMENDACIONES .....	58
BIBLIOGRAFÍA .....	59
ANEXOS .....	61

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de un sistema de distribución .....	11
Figura 2. Alimentador primario .....	12
Figura 3. Sistema Radial .....	13
Figura 4. Sistema en Anillo.....	13
Figura 5. Sistema Mallado .....	14
Figura 6. Diagrama de bajo factor de potencia .....	17
Figura 7. Representación de potencia reactiva.....	17
Figura 8. Modelado del circuito anterior .....	18
Figura 9. Discretización de la curva en niveles de carga.....	30
Figura 10. Codificación del individuo. ....	36
Figura 11. Sistema de localización de capacitores.....	38
Figura 12. Configuración del programa.....	39
Figura 13. Configuración de parámetros.....	39
Figura 14. Muestra de resultado.....	40
Figura 15. Sistema de 4 barras .....	42
Figura 16. Introducción d parámetros .....	44
Figura 17. Parámetros generales del Algoritmo genético .....	44
Figura 18. Resultados Finales .....	45
Figura 19. Sistema de 31 nodos .....	46
Figura 20. Sistemas de 52 nodos.....	48
Figura 21. Sistema de 123 nodos .....	52

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de métodos de nichos .....	28
Tabla 2. Datos del sistema de 4 barras .....	43
Tabla 3. Parámetros de Algoritmos Genéticos.....	43
Tabla 4. Comparación de Resultados del Programa Power Factory .....	45
Tabla 5. Parámetros de entrada .....	46
Tabla 6. Comparación de resultados del programa y Power Factory .....	47
Tabla 7. Parámetros de entrada .....	48
Tabla 8. Comparación entre Resultados del programa y Power Factory .....	49
Tabla 9. Parámetros de entrada .....	52
Tabla 10. Comparación entre Resultados del programa y Power Factory .....	53

## INDICE DE ECUACIONES

(1) Bajo Factor de Potencia.....	16
(2) Cálculo de Potencia Reactiva.....	16
(3) Pérdidas Técnicas.....	17
(4) Pérdidas de Potencia Compleja.....	18
(5) Pérdidas de Potencia Activa.....	18
(6) Pérdidas Incrementales.....	19
(7) Relación de Pérdidas de Potencia Activa y Reactiva.....	19
(8) Relación de Potencia Reactiva con Relación al Ángulo.....	19
(9) Ecuación de Estado.....	19
(10) Ecuación con Respecto a la Conductancia.....	19
(11) Voltaje, Conductancia y Susceptancia.....	20
(12) Inyección de Potencia Reactiva con respecto a la Susceptancia.....	20
(13) Relación Carga Ángulo.....	20
(14) Relación Carga Voltaje en el nodo.....	20
(15) Corriente en cada barra.....	21
(16) Admitancia Directamente proporcional con respecto al Voltaje.....	21
(17) Cálculo de Voltaje por el Método de Gauss Seidel.....	21
(18) Voltaje y Ángulo en el Nodo.....	21
(19) Costo de Capacitancia.....	30
(20) Pérdidas de Energía.....	31
(21) Costos de las Pérdidas de Energía.....	31
(22) Costos de las Pérdidas de Potencia.....	31
(23) Costo Total.....	32
(24) Potencia Activa.....	32
(25) Potencia Reactiva.....	32
(26) Límites de Voltaje.....	32
(27) Capacidad del Condensador.....	33
(28) Formulacion del Problema.....	33

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y APLICADAS

**TITULO:** “APLICACIÓN DE ALGORITMOS GENÉTICOS PARA LA UBICACIÓN ÓPTIMA DE CONDENSADORES EN EL ALIMENTADOR PRIMARIO DE DISTRIBUCIÓN TIPO RADIAL”

**Autores:** Aguirre Morillo Guido Joel

Toapanta Barreiro Eddy Geraldo

### RESUMEN

En el presente trabajo se basa en el desarrollo de un programa para reducir pérdidas eléctricas de potencia y energía en el sistema de distribución. El principal objetivo es la aplicación de algoritmos genéticos para la ubicación óptima de condensadores en el alimentador primario de distribución tipo radial para reducir caídas de voltajes y pérdidas de energía, con la metodología de algoritmos genéticos determinamos su ubicación óptima de condensadores en las redes primarias de distribución y así como mejorar el perfil de voltaje en el sistema. A partir del flujo, el cual se encuentra conformado de potencia activa y reactiva en las barras o nodos de la red, determinamos cuanto se debe inyectar de potencia reactiva para la reducción de caídas de voltaje y obtener una óptima localización de los capacitores. Se desarrolló un programa con un algoritmo genético capaz de encontrar el capacitor adecuado de potencia reactiva en diferentes nodos de dicho sistema, para obtener resultados de voltaje en cada nodo con y sin compensación de reactivos, que van de la mano con una simulación en DIgSILENT para comprobación de dichos resultados.

**Palabras claves:** Algoritmos genéticos, localización, red, distribución, voltaje, factor de potencia, pérdidas.

**TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI**

**ACADEMIC UNIT OF ENGINEERING SCIENCES AND APLIED**

**TITULO:** “APPLICATION OF GENETIC ALGORITHMS FOR THE OPTIMAL LOCATION OF CAPACITORS IN THE PRIMARY FEEDER OF RADIAL TYPE DISTRIBUTION”

**Authors:** Aguirre Morillo Guido Joel

Toapanta Barreiro Eddy Geraldo

**ABSTRACT**

This work is based on the development of a program to reduce electrical power and energy losses in the distribution system. The main objective is the application of genetic algorithms for the optimal location of capacitors in the radial type primary distribution feeder to reduce voltage drops and energy losses, with the methodology of genetic algorithms we were determined the optimal location of capacitors in the primary distribution networks and thus improve the voltage profile in the system. From the movement, which is made up of active and reactive power in the bars or nodes of the network, we determine how much reactive power should be injected to reduce voltage drops and obtain an optimal location of the capacitors. A program was developed with a genetic algorithm capable of finding the appropriate reactive power capacitor at different nodes of the system, to obtain voltage results at each node with and without reactive compensation, which go hand in hand with a simulation in DIGSILENT to verify these results.

**Keywords:** Genetic algorithms, location, network, distribution, voltage, power factor, losses.



Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi

CENTRO DE IDIOMAS

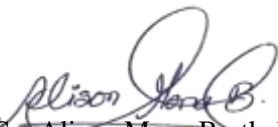
## *AVAL DE TRADUCCIÓN*

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que: La traducción del resumen de tesis al Idioma Inglés presentado por los señores egresados de la **CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS: TOAPANTA BARREIRO EDDY GERALDO y AGUIRRE MORILLO GUIDO JOEL** cuyo título versa **“APLICACIÓN DE ALGORITMOS GENETICOS PARA LA UBICACIÓN OPTIMA DE CONDENSADORES EN EL ALIMENTADOR PRIMARIO DE DISTRIBUCION TIPO RADIAL”**, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimen conveniente.

Latacunga, marzo del 2021

Atentamente,

  
MSc. Alison Mena Barthelotty  
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS  
C.C. 0501801252

[www.utc.edu.ec](http://www.utc.edu.ec)

Av. Simón Rodríguez s/n Barrio El Ejido /San Felipe. Tel: (03) 2252346 - 2252307 - 2252205

1803027935 Firmado  
digitalmente por  
VICTOR HUGO ROMERO GARCIA  
HUGO ROMERO GARCIA  
ROMERO GARCIA  
GARCIA  
Fecha: 2021.03.04  
12:53:05 -05'00'

## **1 INFORMATION GENERAL**

### **Título de Proyecto**

APLICACIÓN DE ALGORITMOS GENÉTICOS PARA LA UBICACIÓN OPTIMA DE CONDENSADORES EN EL ALIMENTADOR PRIMARIO DE DISTRIBUCIÓN TIPO RADIAL

### **Fecha de inicio**

07 de diciembre del 2020

### **Fecha de finalización**

26 de febrero del 2021

### **Facultad**

Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

### **Proyecto de investigación**

### **Equipo de trabajo**

Ing. MSc. Quinatoa Carlos (**Tutor**)

Aguirre Morillo Guido joel

Toapanta Barreiro Eddy Geraldo

### **Área de conocimiento**

Ingeniería, construcción y Distribución.

### **Línea de investigación**

Redes inteligentes y generación distribuida

### **Sub líneas de investigación de la Carrera**

Explotación y diseños de sistemas eléctrico de potencia.

## **2 DESCRIPCION DEL PROYECTO**

El presente trabajo de tesis “APLICACIÓN DE ALGORITMOS GENETICOS PARA LA UBICACIÓN ÓPTIMA DE CONDENSADORES EN EL ALIMENTADOR PRIMARIO DE DISTRIBUCION TIPO RADIAL”, existen pérdidas de energía y Potencia en los sistemas de Distribución de empresas proveedoras del servicio de energía Eléctrica a nivel mundial, donde juega un rol importante el control y regulación de tensión, así como también la compensación de la potencia reactiva para evitar que se genere grandes pérdidas de energía y de inversión monetaria.

Este estudio considera sistema de distribución eléctrica preexistentes y escenarios estáticos lo cual nos permite la ubicación de los condensadores más adecuada a instalar en una red predefinida y que no varíe en el tiempo por lo que en las empresas eléctricas a nivel Nacional necesitan herramientas o programas sofisticados para reducir dichas perdidas y así obtener un mejor beneficio de ingresos activos para la empresa distribuidora, por lo cual nuestra investigación es de gran beneficio.

El presente trabajo se desarrollará una metodología basada en métodos heurístico entre ello el algoritmo genético para la compensación de potencia reactiva que es utilizada en los alimentadores primarios de distribución. Tanto los beneficios técnicos y económicos que convierten en una herramienta importante para reducir perdidas de energía y así mejorando la calidad del suministro eléctrico. Este proyecto de investigación fija los principales fundamentos para la creación de un sistema para localización de capacitores, desarrollado en un programa donde brinda la mejor solución óptima en la ubicación de capacitores en dichos nodos, y los resultados obtenidos en el programa serán comparados con una simulación en DIGSILENT, con el objetivo que se cumpla el nivel de voltaje dentro de los rangos establecidos del sistema de Distribución tipo radial.

## **3 JUSTIFICACION DEL PROYECTO**

El uso de capacitores contribuyen a la reducción de pérdidas de potencia, que van de la mano con mejorar el perfil de los voltajes, teniendo en cuenta que todos los componentes del sistema deben estar diseñados para tratar niveles de carga reactiva, y es aquí donde intervienes los condensadores porque reducen las corrientes de la línea desde el condensadora hasta el equipo de generación, es decir la capacidad de compensación va ligada a la localización de condensadores en el sistema de distribución

El estudio de la ubicación de bancos de capacitores en redes primarias de distribución se justifica con el cálculo de reducción de pérdidas y los beneficios técnicos y económicos, las prácticas de eficiencias en distintas empresas se necesita técnicas de innovación que den una solución óptima y es ahí donde tenemos los métodos heurísticos como los algoritmos genéticos donde brinda una solución factible tanto en lo económico como en la rapidez de poder analizar un sistema de barras.

La solución consiste en encontrar la mejor configuración posibles que minimice las pérdidas y los costos del sistema por lo cual los métodos matemáticos como son la programación lineal, no lineal, entera no pueden resolver grandes cantidades de variables porque el problema matemáticos es método entero mixto no lineal y los algoritmos genéticos ayudan a resolver con menor complejidad que están sujetas a restricciones que se deben cumplir las cuales son: flujo de potencia, rango de tensión y valor de los condensadores disponibles, para lo cual se realiza un análisis de sensibilidad que permite localizar las posibles barras a compensar determinando el valor más óptimo de una función.

#### **4 BENEFICIARIOS DEL PROYECTO**

Dentro de los beneficiarios del proyecto de investigación están los estudiantes e investigadores que tratan de mejorar el rendimiento del sistema de Distribución, para reducir perdidas y mejorar el nivel de voltaje, con la aplicación de algoritmos genéticos que tendrán el conocimiento necesario para sus proyectos de investigación.

#### **5 PROBLEMA DE INVESTIGACION**

Actualmente la distribución automatizada de energía eléctrica es observada por las industrias como el principal ente que comprende la mayor parte de sistemas automáticos en la generación, monitoreo de subestaciones, sistemas de protección, control, líneas de distribución y carga, etc. El factor principal que incentivan a esta investigación es esencialmente económico. El control de potencia reactiva y voltaje juegan roles importantes dentro de los esquemas de distribución automatizada. El uso de los bancos de capacitores permite reducir perdidas de potencia y energía y mejora los niveles de voltajes en dichos nodos, en cuanto a la potencia reactiva es entregada por la planta de generación por cada componente del sistema como generadores, líneas de transmisión y distribución, deben ser dimensionados para tratar nivel de carga reactiva. Los condensadores ayudan a inyectar los que necesitan las líneas, al reducir las

corrientes desde el condensador hasta el generador, es decir, el nivel de compensación esté ligado a la localización de condensadores en el sistema de distribución.

El principal problema de la localización óptima de condensadores en el sistema de distribución es localizar donde necesita ser compensado como el número, tipo de condensador, tamaño que se instalaran para minimizar al mínimo los costos de energía y demanda siempre y cuando considerando los costos de los condensadores.

La solución para la ubicación óptima de condensadores consiste en obtener la mejor configuración, que minimice los costos del sistema, para ello se obtiene o se define la función reducir mediante método heurístico entre ello el Algoritmo Genético, la cual se compone por tres términos que representan el costo de energía, potencia y de los condensadores a ser instalados en el Sistema de Distribución, donde se sujetan a restricciones que se debe cumplir como: flujo de potencia, tensiones máximas y mínimas, numero de capacitores que dispone en el mercado. Para si utilizar un análisis de sensibilidad que permita ubicar las barras candidatas a ser compensadas y reduciendo de esta manera el espacio de búsqueda del Algoritmo Genético, el cual nos arroja una solución correspondiente al óptimo global de la función considerando requerimientos computacionales razonables.

## **5.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cómo la ubicación óptima de condensadores en un Sistema de Distribución radial de Energía Eléctrica a través de la Aplicación de Algoritmos reduce pérdidas y mejora el perfil de voltajes?

## 6 OBJETIVOS

### 6.1 OBJETIVO GENERAL

Implementar un algoritmo genético para la ubicación óptima de condensadores en el alimentador primario de distribución tipo radial.

### 6.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Realizar el estado de arte para la ubicación óptima de condensadores utilizando algoritmos genéticos en alimentadores primario de distribución.
- Desarrollar un algoritmo genético para la ubicación óptima de condensadores en la red eléctrica de distribución
- Simular y analizar los resultados del algoritmo genético para la localización de los condensadores en las redes eléctricas de distribución.

## 7 ACTIVIDADES CON RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

OBJETIVOS	ACTIVIDAD	RESULTADOS
Realizar el estado de arte para la ubicación óptima de condensadores utilizado algoritmo genético en alimentadores primario de distribución	Investigación bibliográfica de trabajos referentes a la aplicación de Algoritmos Genéticos en Sistemas de Distribución.	Comparación de la información de los trabajos que utilizan métodos Heurísticos.

Desarrollar un algoritmo genético para la ubicación óptima de condensadores en la red eléctrica de distribución	Procesamiento de la información obtenida en la investigación.	Creación de una herramienta realizada en Matlab que tenga como objetivo indicar la capacidad y localización óptima de condensadores en Sistemas de Distribución tipo Radial.
Simular y analizar los resultados del algoritmo genético para la localización de los capacitores en las redes eléctricas de distribución.	Implementar los ejemplos de los sistemas de Distribución obtenidos de los artículos de revista de la IEEE, en el simulador para proceder a ubicar los condensadores en el mismo, según el programa de propuesta.	Comparar resultados de nivel de voltaje al antes y después de realizar la ubicación óptima de condensadores en el sistema de Distribución.

## 8 ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS O ESTADO DEL ARTE

Por lo general las dificultades para la ubicación óptima de condensadores en el sistema de distribución buscan en alcanzar la cantidad, tipo (fijos o conmutables), localización, y las capacidades de los condensadores que optimicen la función objetiva propuesta por los investigadores, dicha función objetiva varía por cada autor, siempre y cuando se obtenga mayor beneficio. Se presentan diferentes problemas para la localización.

Las investigaciones publicadas que relaciona la localización de capacitores y algoritmos genético de solución son abundantes, según [2] sobrepasa los 400 artículos técnicos publicados desde el 1950, principalmente por la IEEE, la localización de algoritmos genéticos aborda diferentes fuentes de investigación que comprende diferentes métodos para su solución. En la mayoría de avances la función

objetivo ha sido simulada para minimizar pérdidas de energía y potencia en los nodos o barras del sistema en horas pico, y considerando costos de mantenimiento e instalación de capacitores.

En los sistemas eléctricos de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica es en corriente alterna (CA), en circuitos de CA se necesita suministrar potencia reactiva junto con la potencia activa. La potencia reactiva es un mal necesario en los sistemas eléctricos pues es imprescindible para crear los campos magnéticos de los motores y transformadores eléctricos, pero si produce importantes pérdidas en líneas y conexiones (Vicini & Micheloud, 2012)

Dice Adams and Laughton (1974) desarrollaron el que se puede considerar como primer modelo para la planificación de redes. Propusieron la utilización de programación entera-mixta lineal. No consideraron a las subestaciones como elementos involucrados en el proceso de diseño, siendo conocidas sus localizaciones y capacidad de suministro. El modelo permitía la obtención de las localizaciones de las líneas y tamaños óptimos de los conductores, existiendo unas restricciones relativas a la máxima potencia que podían transportar cada uno de los posibles tamaños de conductor. Se pretendía minimizar una sola función objetivo (diseño óptimo monobjetivo) que representaba a los costes totales de expansión del sistema, conocidas las demandas futuras y los límites de transporte de potencia de las líneas.

La utilización de capacitores de reactivos, comparando con otros sistemas de generación de potencia reactiva, estos tienen la ventaja principal de que son a bajo costo por kVars instalado y su mantenimiento, el cual las empresas distribuidoras optan por los capacitores de potencia en los sistemas de Distribución Cuttino (1944), nos dice que utiliza combinaciones de capacitores en los TAPs discreto, condensadores síncronos y transformadores con control de derivaciones, con el principal objetivo de obtener un control de pérdidas de potencia y caídas de voltaje. Mas recientemente los investigadores han planteado el problema como una de optimización con restricciones en especial las de voltaje (Hernandez, 2008).

Kaplan and Braunstein (1981) plantearon la obtención de la localización y tamaño óptimos de nuevas subestaciones en una red existente. Para ello consideraron como solución óptima la que conllevara menores costes de construcción y de operación. Se consideraban conocidas las demandas en cada uno de los nudos de la red, así como su situación. Además, también se consideraban conocidos los tamaños de los conductores que se debían utilizar para la construcción de las líneas necesarias con el fin de que la subestación suministrara las correspondientes demandas a los puntos de consumo de la red eléctrica. La

función objetivo que se minimizó estaba formada por la suma de los costes fijos y variables (pérdidas) de las líneas a construir cuya longitud variaba en función de la posición de la subestación.

Con la metodología basada en algoritmos genéticos que se propone en esta investigación es capaz de dar una solución correspondiente a la óptima función considerando los requerimientos computacionales para obtener una solución exitosa a la resolución de localización óptima de capacitores en un sistema primario de distribución.

### **8.1 Autores que utilizan métodos analíticos**

Según [10] la función objetivo es reducir pérdidas tomando en cuenta los crecimientos de la carga y los costos de la energía, el alivio en las capacidades del sistema es minimizar el costo de capacitores; como restricción se utiliza el incremento de voltaje durante las horas de poca demanda, han utilizado el programa dinámica y método de variación local.

Este [9] artículo presenta la localización y dimensionamiento óptimo de generadores distribuidos y banco de condensadores en sistemas radiales de distribución. La función objetivo es para minimizar las pérdidas de potencia activa y reactiva. Un modelo de programación no lineal entera mixta (PNLEM) se propone como una formulación matemática del problema, el modelo matemático es resuelto mediante el paquete de optimización comercial modelado general de sistemas algebraicos (GAMs) y solver CONOPT.

### **8.2 Autores que utilizan métodos heurísticos y métodos de inteligencia artificial**

Se tiene [5] la misma función objetivo que en la [10] pero la diferencia son los costos asociados para la localización de los capacitores es considerada como una función en escalera en vez de una función de desigualdad continua, ya que en el campo de práctica se agrupan en bancos estándares de capacidades discretas y magnitud y el control de condensadores que son tratados por variables discretas. En cada ubicación del capacitor está relacionado con la instalación y el costo de compra. Se soluciona el problema mediante Simulated Annealing.

El requerido problema es combinatorio se trata de no evaluar todas las combinaciones si no utilizar diferentes métodos analíticos, algoritmos genéticos, lógica difusa, inteligencia debido a que el problema es combinatorio y se trata de no evaluar todas las combinaciones, si no utilizar los diferentes métodos de búsqueda como la inteligencia artificial y programación numérica, para llegar a una solución óptima global. Algunos autores plantean un análisis de sensibilidad para así mermar los espacios de búsqueda

### 8.3 Autores que utilizan lógica difusa y Algoritmos Genéticos

En la actualidad se ha enfocado en la utilización de esta herramienta tecnológica de algoritmos genéticos y también la programación de lógica difusa y algunas variaciones de la función objetiva [2] se ha propuesto un algoritmo micro genético junto con lógica difusa. La función objetiva incluye los ahorros económicos que se obtiene por minimizar pérdidas de energía y la reducción de pérdidas de potencia en contraste con la adquisición de costos de instalación de capacitores fijos y conmutables. [14] se plantea un algoritmo Genético, junto con lógica difusa (razonamiento aproximado), para el mejoramiento de la calidad de energía de la potencia reactiva y así lograr la ubicación optima, tamaño de los bancos de condensadores fijos en redes de distribución para cargas no lineales que impone voltaje y corriente. La función objetiva se define los costos económicos e incluye los costos de pérdidas de potencia y las pérdidas de energía y el de los bancos de condensadores mientras que los límites de voltaje, el número, tamaño de los condensadores instalados a cada barra y los límites de potencia reactiva del estándar armónico IEEE-519.

La lógica difusa para el estudio de sensibilidad utilizando como conjuntos borrosos para la desviación de voltaje, las pérdidas de potencia reactiva y activa con esto selecciona los nodos que mediante la adición de condensadores tendrán más fruto en la minimización de pérdidas de potencia y energía. Luego se establece los nodos candidatos para utilizar operadores genéticos (reproducción, Crossover y mutación) para así determinar la función objetiva que se tiene en cuenta de diferentes compensaciones ya que se tiene diferentes costos de reactivos.

Una forma novedosa de tratar la investigación es formulando el problema considerando las diferentes funciones objetivas propuestas por los autores en el arte de la investigación. Colocación optima de condensadores en sistemas de distribución utilizando un método combinado de lógica difusa y algoritmos genéticos Utilizan 3 distintos métodos.

1. Reducir costos de las pérdidas de energía y condensadores
2. Aumentar el margen de cargabilidad de las barras
3. Mejorar los niveles de voltaje.

#### **8.4 Algoritmo de colonia de hormigas**

Este artículo [21], propone un Método de optimización por Colonia de Hormigas, para compensar potencia reactiva en los sistemas de distribución, todos estos métodos de algoritmos genéticos y programas no lineales tratan de resolver la ubicación óptima de banco de capacitores, el problema es como ubicar o en que barra necesita ser compensada en el sistema de distribución. Este método trata de inteligencia donde se puede optimizar inspirando el comportamiento natural de las colonias de hormigas. El programa utilizado para la solución de dicho caso en MATLAB se valida con artículos de nodos propuestos por la IEEE.

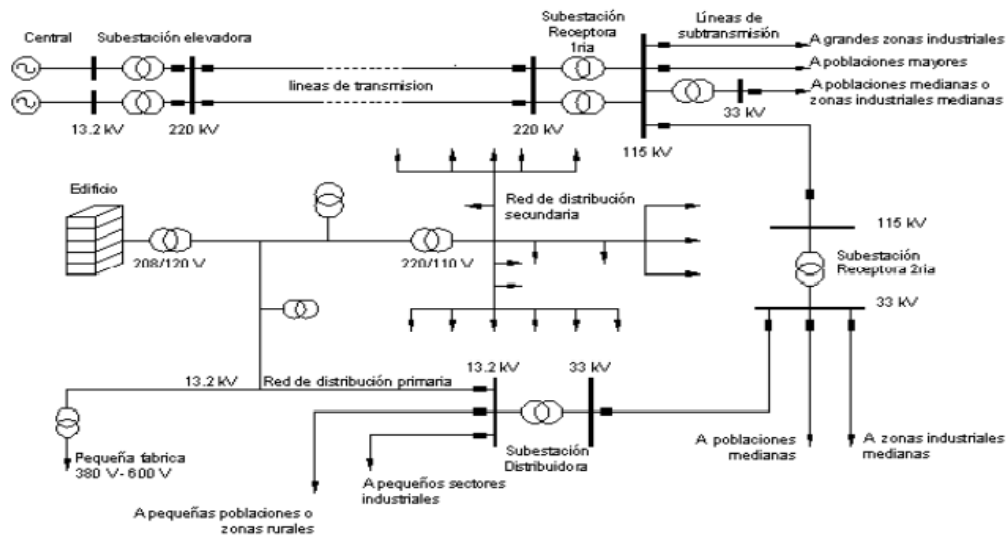
### **9 Sistemas de Distribución**

En un sistema eléctrico de potencia incluye etapas de generación, transmisión, distribución y utilización de la energía eléctrica y su función es trasladar la energía eléctrica desde el centro de generación hasta los consumos y finalmente es entregada a grandes consumidores, pequeños y la parte residencial.

Aproximadamente los  $2/3$  de la inversión total del sistema de potencia, es la parte del sistema de distribución, que necesita un trabajo cuidadoso en el planteamiento, diseño, construcción y en la operación del sistema de distribución por lo que es necesario manejar información voluminosa y tomar decisiones con criterio, lo cual es un deber complejo, pero de gran trascendencia.

En la parte del sistema de distribución, nótese que es donde se produce el mayor porcentaje de grandes pérdidas de energía, debido al gran volumen de elementos que lo conforman y por su bajo nivel de voltaje que se manejan.

**Figura 1.** Ubicación de un sistema de distribución



**Fuente:** [17].

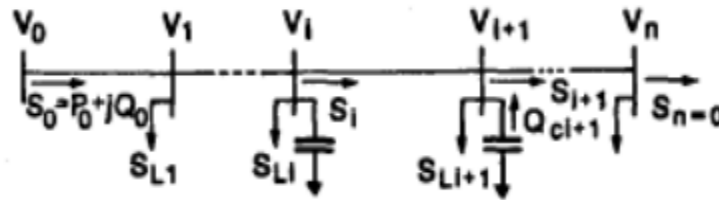
En términos generales los sistemas de distribución se dividen en redes primaria y secundarias, siendo las últimas que empiezan en el secundario de un transformador reductor para la entrega de menor tensión y termina a la entrada de los consumidores donde tienen datos de sus consumos.

La mayor parte de los sistemas de distribución operan a niveles de voltaje de 13.8 kV o menores, son de topología radial donde el flujo de potencia nace en un solo nodo que corresponde a la subestación que alimenta a toda la red de nivel de 13.8 kV.

La mayor parte de los equipos de desconexión se emplean normalmente en redes primaria que operan 13.8 y 34.5 kV. Para fines de normalización de las redes de distribución que comprende alta, baja y media tensión.

Esquema unifilar de un alimentador primario radial que comprende  $n$  nodos y las cargas como muestra en la figura:

**Figura 2.** Alimentador primario



**Fuente:** [3].

Según el autor (Baran & Wu, Tamaño óptimo de los capacitores colocados en un sistema de distribución radial, 1989) nos dice “En la figura 2, observamos como el  $V_0$  representa la magnitud de voltaje en la barrad del modo de referencia y es constante. La línea se representa en serie  $z_i = r_i + jx_i$ , y la carga con fuente de potencia constante  $S_i = P_i + jQ_i$ , entonces los capacitores inyectaran potencia reactiva a los nodos”

### 9.1 Características de los sistemas de distribución

Los sistemas de distribución llevan la energía eléctrica a grandes distancias a los consumidores y en sus construcciones pueden ser aéreas o subterráneas.

Las redes aéreas son las más vista por las personas en nuestro país, y existe mucha contaminación visual por dichas redes, sus precios de instalación son más económicas y son más usadas en la parte urbana y rural de la población, son susceptibles en fallas que pueden provocar un gran número de interrupciones en un intervalo de tiempo, donde las redes aéreas están expuestas a contingencias físicas como son: lluvias, granizo, viento polvos, gases contaminantes y temblores y otros cuerpos como las ramas de árboles, choque de vehículos en los postes y vandalismo.

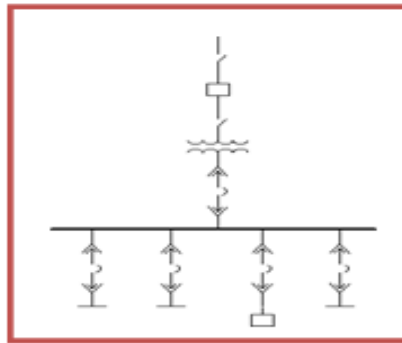
También para localizar una falla en dicha red es más fácil, se puede dar un mantenimiento de una manera adecuada siempre y cuando mantengamos presente la regla de oro.

En el caso de las redes subterráneas su inversión es muy elevada, pero su construcción es mucho más confiable debido a la mayoría de contingencias mencionadas anteriormente no son características de este tipo de redes, donde a este sistema lo hace más confiable y además es estética en las zonas urbanas le da realce par el turismo. Y la principal desventaja es difícil encontrar una falla.

### 9.2 Sistema radial.

Este tipo de distribución es aquel que parte de un punto o nodo central y se va ramificando de manera radial. Este sistema es el más económico.

**Figura 3.** Sistema Radial

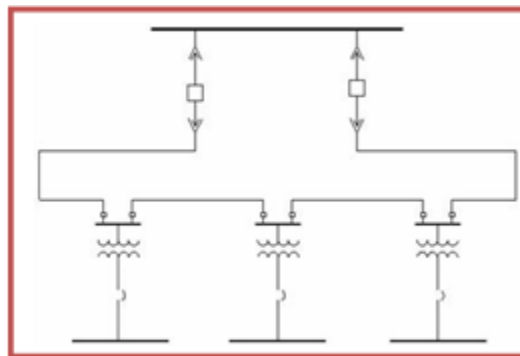


**Fuente:** [11].

### 9.3 Sistema en anillo.

En este sistema se parte de un punto o nodo central, se recorre todo el sistema a alimentar y se vuelve al mismo nodo formando así un anillo. El punto clave de este sistema radica en el hecho de que, si se produce una falla en un alimentador, la subestación se puede seguir alimentando por el otro lado.

**Figura 4.** Sistema en Anillo

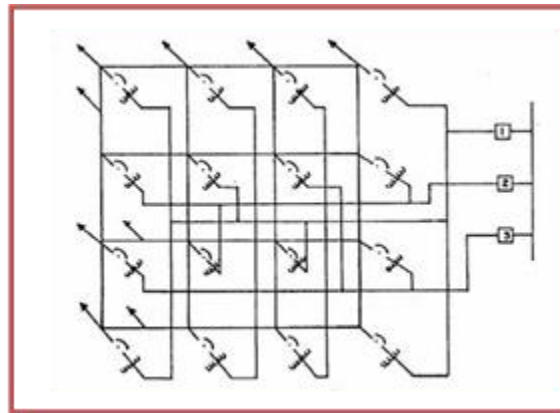


**Fuente:** [11].

#### 9.4 Sistema mallado.

El sistema de distribución mallado es aquel en el cual en media tensión la distribución es radial, pero en baja es una serie de anillos que siguen los recorridos de las calles.

**Figura 5.** Sistema Mallado



**Fuente:** [11].

#### 9.5 Alimentadores primarios de distribución eléctrica.

Los alimentadores primarios llevan la energía eléctrica desde la subestación hasta los transformadores de distribución. Los conductores van soportados en poste cuando se trata de instalaciones aéreas y en ductos cuando se trata de instalaciones subterráneas.

#### 9.6 Factores a considerar en la decisión del nivel de voltaje en el alimentador primario

Los factores a tomar en cuenta son: caída de voltaje, proyección de la carga, pérdidas de la potencia, costo de la disponibilidad del equipo, voltaje de subtransmisión, longitud de los alimentadores, políticas de la empresa, subestaciones adyacentes y voltajes en los alimentadores.

#### 9.7 Efectos producidos por la circulación de potencia reactiva

Debido a la demanda de cargas conectadas a las líneas del sistema que presentan un bajo factor de potencia, y líneas de extensas longitudes y transformadores de gran capacidad, se genera un excesivo consumo de potencia reactiva por los conductores que producen efectos.

1. Incremento de la corriente.

2. Pérdidas de sobrecalentamiento por el efecto Joule, es el cuadrado de la corriente por la resistencia del conductor.
3. Grandes caídas de tensión en los conductores.
4. Aumenta la temperatura en los conductores, así perdiendo su vida útil.
5. Baja regulación de voltaje que afectan a la estabilidad del sistema.
6. Altos límites térmicos en los equipos.

### **9.8 Compensación de potencia reactiva**

En los circuitos de corriente alterna (CA) se tiene presente los componentes reactivos por la existencia de efectos inductivos y capacitivos. Cuando conectamos alguna carga a la red de alimentación de corriente alternada, lo hacemos para transformar la energía eléctrica en alguna otra forma de energía. Si conectamos unos resistores como la calefacción, buscamos obtener calor, o al encender una lámpara queremos lograr energía de luminosidad y si energizamos un motor, un trabajo mecánico. En todos estos casos, existe algo en común, obtenemos algún modo de energía aprovechable, calor, luz, movimiento y la energía eléctrica transformada recibe el nombre de energía activa, que se consigue a través del consumo de una potencia activa. Es decir, toda forma de energía aprovechable, proviene de un consumo de “energía activa”. Algunas de estas cargas, como los resistores, las lámparas incandescentes, algunas fuentes de alimentación, etc., transforman toda la energía eléctrica absorbida de la línea, directamente en energía de utilización, siendo registrada por el medidor de la compañía. Existen otras cargas como los motores, las lámparas de descarga con limitación por balasto, los transformadores, etc., que además de consumir y transformar la energía activa en energía aprovechable, consumen otro tipo de energía eléctrica para magnetizar sus núcleos a través de los bobinados.

Esta energía de magnetización se denomina energía reactiva y se obtiene por el consumo de una potencia reactiva. En el caso de núcleos magnéticos y bobinados la energía reactiva en juego es de carácter inductiva. Otros dispositivos eléctricos tales como los capacitores o condensadores, también consumen energía reactiva, pero en este caso es de carácter capacitiva.

Las compañías de electricidad suministran tanto la energía activa como la energía reactiva, debiendo dimensionar los dispositivos y elementos empleados en la generación, transformación, transmisión y distribución, a fin de proveer ambos tipos de energía. Los medidores de electricidad comunes, instalados en la mayoría de los tableros de alimentación, registran solamente la cantidad de energía activa

consumida, que luego la compañía distribuidora de electricidad factura a su cliente. Si la energía reactiva es muy grande comparada con la activa, se produce un perjuicio que puede ser importante para las empresas proveedoras de electricidad. Por esta razón, surge la necesidad de disminuir de algún modo el consumo de la potencia reactiva, o en su defecto, las distribuidoras de electricidad están autorizadas a cobrar una tarifa adicional a los usuarios que no corrigen su carga, a modo de penalización sobre el costo de la factura del factor de potencia ( $\cos \theta$ ), donde si el factor de potencia está por debajo de los 0.9 se aumenta el coste de la factura aplicando un coeficiente de recargo  $K_r$ , que puede llegar al 47 % ( $\cos \theta < 0,5$ ). En cambio, si el consumidor logra mejorar el factor de potencia por encima de 0,9 ( $\cos \theta > 0,9$ ), se aplica una bonificación que llaga hasta el 4 % ( $\cos \theta = 1$ ). Por medio de los medidores de energía, la distribuidora obtiene los datos por el medidor de tanto en potencia activa consumida P (KW) y también la magnitud de potencia reactiva Q (kVAr).

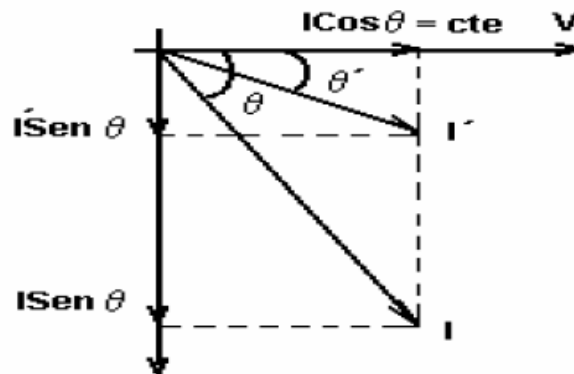
$$\cos \theta = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \quad (1)$$

$$Q = P \times \tan \theta \quad (2)$$

Un factor de potencia bajo implica un  $\theta$  y una potencia reactiva grande, tal como se deduce del triángulo de potencia para una potencia activa constante.

Par una potencia activa constante, lo anterior implica una componente reactiva mayor de la corriente o simplemente una corriente circulante mayor a través del sistema de distribución tal como se muestra en el diagrama fasorial.

**Figura 6.** Diagrama de bajo factor de potencia

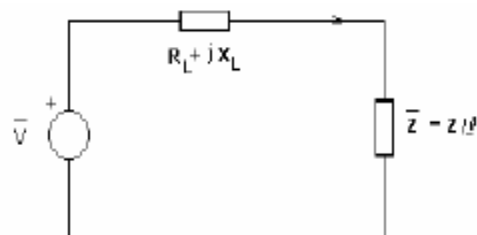


Fuente: [19].

$$I \times \text{sen } \theta = \frac{Q}{V} \quad (3)$$

Un factor de potencia bajo implica pérdidas de potencia y caída de tensión mayor en el sistema de distribución en la Figura. 7.

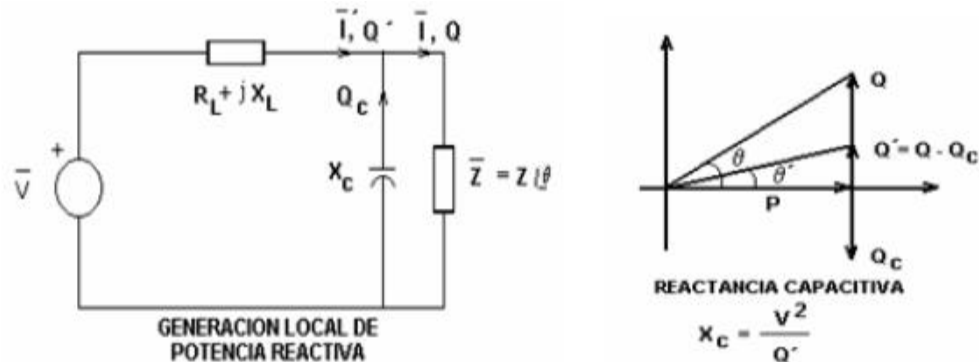
**Figura 7.** Representación de potencia reactiva



Fuente: [17].

A fines de disminuir la potencia reactiva a través del sistema de distribución y para reducir caídas de tensión y pérdidas de energía, el factor de potencia debe ser corregido a un valor mayor por medio de una reactancia capacitiva colocada en paralelo a la impedancia que modela dicha carga. (Rodríguez, 2003)

**Figura 8.** Modelado del circuito anterior



**Fuente:** [19].

En la figura 7, muestra el bajo factor de potencia, lo que existe una demanda de potencia eléctrica muy grande, lo que conlleva que los alimentadores se encuentren sobrecargado a su máxima capacidad térmica. Con la instalación de los capacitores el factor de potencia aumenta por tanto la demandó en KVA disminuye trayendo alivio y beneficio para una prolongación en la vida útil del alimentador.

### 9.9 Análisis de sensibilidad

Con este análisis se puede determinar las barras que serán compasadas donde se localizará el capacitor más óptimo por medio de algoritmos genéticos.

El análisis de sensibilidad es un procedimiento sistemático para seleccionar la ubicación optima que presentan mayor impacto en las perdidas de potencia activa y caídas de tensión respecto a una inyección de potencia reactiva a la dicha barra.

En esta ecuación formula, las pérdidas de potencia compleja vienen dada:

$$P_i + jQ_L = VI^* = VY^*V^* \quad (4)$$

A partir de dicha ecuación se expresa las pérdidas de potencia activa.

$$P_L = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n V_i V_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sen \theta_{ij}) \quad (5)$$

Donde:

$G_{ij}$  y  $B_{ij}$  son la conductancia y la susceptancia de la línea entre los nodos  $i$  y  $j$ .

$\theta_{ij} = \theta_i - \theta_j$  es la diferencia de ángulos entre las tensiones de las barras  $i$  y  $j$ .

Las pérdidas incrementales vienen expresadas por la siguiente ecuación.

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial P_L}{\partial P} \\ \frac{\partial P_L}{\partial Q} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial \theta}{\partial P} & \frac{\partial V}{\partial P} \\ \frac{\partial \theta}{\partial Q} & \frac{\partial V}{\partial Q} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial P_L}{\partial \theta} \\ \frac{\partial P_L}{\partial V} \end{bmatrix} \quad (6)$$

La relación entre las pérdidas de potencia activa y una inyección de potencia reactiva viene dada por:

$$\frac{\partial P_L}{\partial Q_i} = \frac{\partial \theta_j}{\partial Q_i} \frac{\partial P_L}{\partial \theta_j} + \frac{\partial V_j}{\partial Q_i} \frac{\partial P_L}{\partial V_j} \quad (7)$$

En donde a su vez:

$$\frac{\partial \theta_j}{\partial Q_i} = \frac{1}{\frac{\partial Q_i}{\partial \theta_j}} \text{ y } \frac{\partial V_j}{\partial Q_i} = \frac{1}{\frac{\partial Q_i}{\partial V_j}} \quad (8)$$

Además, los elementos de pueden expresar en la ecuación anterior:

$$\frac{\partial Q_j}{\partial \theta_j} = -V_i V_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) \quad ; i \neq j \quad (9)$$

$$\frac{\partial Q_j}{\partial \theta_j} = -G_{ii} V_i^2 + P_i \quad ; i = j \quad (10)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial V_j} = V_i (G_{ij} \text{sen} \theta_{ij} + B_{ij} \text{cos} \theta_{ij}) \quad ; i \neq j \quad (11)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial V_j} = -B_{ii} V_i + \frac{Q_i}{V_i} \quad ; i=j \quad (12)$$

Finalmente derivando la 3.4 se puede obtener los términos:

$$\frac{\partial P_L}{\partial \theta_i} = -2V_i \sum_{j=1}^n V_j (G_{ij} \text{sen} \theta_{ij}) \quad (13)$$

$$\frac{\partial P_L}{\partial V_i} = 2V_i \sum_{j=1}^n V_j (G_{ij} \text{cos} \theta_{ij} + B_{ij} \text{sen} \theta_{ij}) \quad (14)$$

## 9.10 flujo de potencia

El análisis de flujo de potencia consiste en determinar el voltaje, corriente y potencia activa en los diferentes puntos de la red eléctrica, donde por medio de método interactivos podemos encontrar las variables como la potencia activa, la potencia reactiva Q, la magnitud del voltaje |V| y el ángulo del voltaje  $\delta$ . En cada una de las barras, dependiendo su tipo, se especifica dos de estas variables y se calculan las otras dos, por lo que debemos seleccionar una barra de referencia donde se encuentre un generador que provea de potencia activa necesaria para suplir la diferencia entre la potencia activa de los otros generadores y la demanda: siendo la demanda la potencia de la carga más las pérdidas en la línea de transmisión

El flujo de potencia está sometido a condiciones:

- No se consideran las impedancias de los generadores
- Se desprecian los efectos de inductancia mutuas en las líneas
- Se considera que el sistema tiene secuencia positiva solamente

### 9.11 Método Gauss-Seidel

El método consiste en asignar valores estimados a los voltajes desconocidos y asignamos valores iniciales de perfil plano con un voltaje 1 y un ángulo 0.

La ecuación empleada para el método de Gauss-Seidel está relacionada con la corriente que entra a cada barra.

$$I_K = \frac{P_K - jQ_K}{V_K^*} = Y_{K1}V_1 + Y_{K2}V_2 + \dots + Y_{KK}V_K + \dots + Y_{KN}V_N \quad (15)$$

$$I_K = \sum_{m=1}^N Y_{Km}V_m \quad (16)$$

$$V_K = \frac{1}{Y_{KK}} \left( \frac{P_K - jQ_K}{V_K^*} - (Y_{K1}V_1 + Y_{K2}V_2 + \dots + Y_{KN}V_N) \right) \quad (17)$$

$$V_K = \frac{1}{Y_{KK}} \left( \frac{P_K - jQ_K}{V_K^*} - \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq K}}^N Y_{km} V_m \right) \quad (18)$$

Donde

$Y_{km}$  los valores asignados a las matrices de admitancias de la barra, lo que depende de las impedancias de las líneas de transmisión entre las diferentes barras. Los tipos de barras en un sistema radial de distribución son:

- Barra oscilante: esta barra toma como referencia la magnitud y el ángulo de voltaje.
- Barra de carga: es la barra donde existe cargas exclusivamente y en la que se especifica la potencia reactiva y de potencia reactiva, las cuales en la ecuación deben tener valores negativos por potencias que salen del sistema.

## 10 ALGORITMOS GENÉTICOS

Los algoritmos genéticos forman parte de la Computación Evolutiva [Bäck and Schwefel (1992)], que constituye una familia de modelos computacionales inspirados en la evolución natural.

Los algoritmos genéticos constituyen el paradigma más completo de los que presenta la Computación Evolutiva. Una característica importante es el poco conocimiento específico que precisan, del problema al que se aplican, para su funcionamiento. Permiten resolver problemas con poco esfuerzo computacional, especialmente en los casos en que otros métodos fallan o suponen unos requerimientos computacionales excesivos.

Utilizan una población de individuos, la cual evoluciona al ser sometidos dichos individuos a una serie de transformaciones mediante unos determinados operadores. Se emulan los procesos de selección natural y de reproducción presentes en la Naturaleza, siendo los individuos más fuertes los que sobreviven y procrean a lo largo de la ejecución del algoritmo.

### 10.1 Definición

Los algoritmos codifican una posible solución correspondiente a un determinado problema, siendo el resultado un individuo perteneciente a la población formada por las soluciones que se estén considerando, y aplican operadores de mezcla a estas estructuras. Los algoritmos genéticos son considerados usualmente como optimizadores de funciones, aunque el rango de problemas en los cuales han sido y están siendo aplicados es bastante amplio.

El primer algoritmo genético se remonta al modelo introducido e investigado por John Holland (1992a). La mayor parte de la teoría existente sobre algoritmos genéticos se aplica solamente o bien principalmente al modelo introducido por Holland, así como a variaciones del mismo, que se conoce en la literatura especializada como el algoritmo genético canónico. Recientes avances teóricos en el modelo de algoritmos genéticos también se refieren principalmente al mencionado algoritmo genético canónico.

Existen muchos métodos de optimización que han sido desarrollados en investigación matemática y operativa. Entonces, ¿qué papel realizan los algoritmos genéticos como herramientas de optimización? Los algoritmos genéticos se suelen describir como métodos de búsqueda global [Bäck and Hoffmeister (1991)], que no hacen uso de información del gradiente. De este modo, las funciones no diferenciables, así como las funciones con múltiples óptimos locales constituyen clases de problemas a los cuales se les

puede aplicar especialmente los algoritmos genéticos. Los algoritmos genéticos, además de realizar pocas suposiciones sobre el problema que está siendo resuelto, constituyen un método robusto y muy general. Sin embargo, si existe un buen método de optimización especializado para un problema concreto, entonces el algoritmo genético puede no ser la mejor herramienta de optimización para dicha aplicación.

Las características diferenciadoras generales entre los métodos tradicionales de optimización y los algoritmos genéticos son:

- Los algoritmos genéticos trabajan con una codificación de las soluciones, en vez de con las soluciones.
- Realizan una búsqueda utilizando una población de posibles soluciones, en vez de con una única solución. Así se obtiene, generalmente, un conjunto de soluciones viables para el problema en estudio.
- Utilizan una función objetivo (función de evaluación), en vez de utilizar gradientes u otros datos suplementarios. Esto permite resolver problemas con poco conocimiento específico.
- Utilizan reglas probabilísticas de transición, en vez de reglas determinísticas. Los operadores que actúan durante la ejecución de un algoritmo genético se aplican con una determinada probabilidad.

A continuación, se van a introducir las ideas básicas sobre los algoritmos genéticos, así como los conceptos básicos relacionados con los mismos.

## **10.2 funcionamiento de los algoritmos genéticos**

El algoritmo genético comprende grupos de población y operadores biológicos que están definidos por los miembros de la población. Toma como inspiración la teoría evolutiva, donde solo los individuos más fuertes son los que sobreviven y crean hijos y dejan su herencia a las nuevas generaciones.

Para implementar el algoritmo genético se sigue un proceso cíclico inicial.

1. Generar una población de individuos iniciales
2. Evaluar a los individuos de la población según algún criterio.
3. Seleccionar a los individuos más fuertes de la población
4. Reproducir a los individuos escogidos para la creación de nuevos miembros.
5. Reemplazar los individuos débiles, por los nuevos individuos creados.

Los individuos de la primera población son escogidos al azar, cada ciclo produce nuevas generaciones de factibles soluciones al problema planteado, donde cada individuo es evaluado y sometido a análisis usando una función objetiva del costo o función de criterio a optimizar. Los valores arrojados por el conjunto de individuos a ser evaluados, el proceso de evolución se escoge a los individuos más fuertes de la población para reproducirlos.

Con los individuos elegidos se arranca a la reproducción usando operadores de mutación y cruzamiento para obtener nuevos individuos. Como el conjunto de población debe mantenerse constante, se procede a una fase de rivalizar el fenómeno de competencia entre los individuos, en este procedimiento se encargará de escoger a los individuos aptos entre nuevos y viejos. Una vez remplazados los individuos más débiles, se inicia un nuevo proceso de selección antes mencionado hasta que converja las mejores soluciones dadas.

### 10.3 Componentes de nuestro algoritmo genético.

El algoritmo genético del programa se encuentra estructurado de la siguiente manera:

- **Función Objetivo:** Se encuentra definida en función del costo y es utilizada para medir a los individuos de una población.
- **Criterios de Convergencia:** En este caso se identificará los criterios más sobresalientes para determinar el principal objetivo de los Algoritmos Genéticos, los cuales se muestran a continuación:
  - La función objetivo nos despliega un valor, el cual es mayor o menor al valor determinado.
  - Bajo un determinado número de iteraciones.
  - La función objetivo no selecciona individuos diferentes en un numero predefinido de iteraciones.
- **Mecanismos de Codificación:** En este caso genera cadenas de bits de diferentes posibles soluciones de algún problema, dependiendo de la naturaleza de las variables del problema a optimizar.
- **Operadores Genéticos:** En este caso una vez creado de código genético según el número de individuos, estos operadores como: selección, cruce, mutación encuentran el individuo con más capacidades de sobrevivir seleccionándolo como el más óptimo.

- ✓ **Selección:** Nuestro programa cumple con las características de que todos los bits tienen la oportunidad de ser seleccionados aunque el algoritmo genético converja lentamente la solución, debido a que los mejores individuos tienen características similares a los peores, en donde este esquema presenta otros criterios los cuales presentan una variante denominado muestreo estocástico universal, los cuales tratan de evitar que los individuos con más bits saturen la población permitiendo también seleccionar a los individuos con menos bits, entonces esto quiere decir que con un solo intento se seleccionan los  $n$  individuos necesarios.
- ✓ **Cruzamiento:** En nuestro programa este operador genético forma parte de uno de los principales, ya que intercambia cromosomas entre dos individuos de la población seleccionados aleatoriamente, en donde después estos tengan una probabilidad de cruce elevada (típicamente es de 0.8), para cada pareja seleccionada puede como no puede ocurrir el cruce, en el caso de que no ocurra el cruce los dos individuos avanzan a la etapa de mutación, el cual es otro operador esencial. Existen dos técnicas principales de cruce a partir de un solo punto de cruce y a partir de dos puntos de cruce.
- ✓ **Mutación:** Este operador principal proporciona cambio en los bits de los individuos de la población, debido a que el objetivo principal de la mutación es producir nuevas soluciones a partir del cambio en el gen de una solución existente, en nuestro caso la mutación se utilizó con una baja probabilidad de orden de 1% a 0.1% que se utiliza para poblaciones normales. Este operador es muy necesario debido a que recupera algunos genes (valores de bits) que se consideran como perdidos en el proceso de selección, y la mutación los rescata si es necesario.

#### 10.4 ventajas de los algoritmos genéticos con respecto a otros métodos.

- Los algoritmos genéticos trabajan con codificaciones conformadas por varios parámetros y no con determinados parámetros, es decir trabajan con un conjunto de puntos denominados individuos y con un único punto y su entorno, lo cual ayuda a obtener información sobre el universo de búsqueda, a través de las evaluaciones de la función a optimizar.
- Los algoritmos genéticos utilizan operadores probabilísticos, a diferencia de los típicos operadores determinísticos de las técnicas tradicionales.

- Para su implementación no son complicados, ya que solo necesitan como información la función objetivo y las restricciones de las mismas.
- Los Algoritmos Genéticos se utilizan para implementaciones en serie o en paralelo.

### **10.5 Aplicación de los algoritmos genéticos en los sistemas de distribución.**

La aplicación de los algoritmos genéticos logra el diseño óptimo de grandes sistemas de distribución, en donde la planificación de la distribución nos permite obtener una expansión ordenada de las construcciones (como subestaciones y alimentadores), minimizando los costos asociados a estas nuevas construcciones y sus costos operacionales dentro de un rango establecido de confiabilidad.

Los modelos que se pueden realizar son flexibles como para considerar características realistas y condiciones naturales de operación como:

- Inclusión de varios alimentadores en el mismo trecho, contribuyendo a la seguridad del sistema.
- Contribuye al criterio de no considerar líneas para un determinado tiempo y la posible re inserción de las líneas en un tiempo posterior.
- Manejo en forma natural de diferentes factores de diferentes cargas.
- Ayuda a especificar en qué momento debe ser construida una subestación o en que momento debe ser puesta en servicio.

En este caso para planificar un sistema de distribución mediante los algoritmos genéticos es necesario conocer la capacidad de los capacitores disponibles y su localización, así como también el tiempo de planeamiento, tomando en cuenta la curva de duración de carga, la cual esta especificada en distintos niveles.

El modelo de diseño es un problema de optimización de una función objetivo no diferenciable, la cual considera una función de costos debido a las pérdidas de energía de potencia de punta y de instalación de banco de capacitores. Además, presenta restricciones no lineales, existen varias discretas y reales, además presenta un fenómeno de explosión combinatorio.

Las restricciones consideradas en nuestro modelo son las siguientes:

- Especificaciones de potencia demandada.
- Límites de tensión en cada uno de los nodos del sistema.

- Tamaño de las unidades capacitivas disponibles.

Bosquejo de la aplicación de Algoritmos Genéticos para el problema de planificación considerando los siguientes lineamientos:

- Se elige un conjunto de variables para presentar una solución de la red en un tiempo determinado, las cuales son codificadas bajo un cromosoma, el cual se obtiene del código binario.
- El Algoritmo Genético es aplicado a una familia de soluciones, proporcionando el nacimiento de nuevas generaciones.
- Cada solución se evalúa a través de la función objetivo, que contiene costos de inversión, costos de generación, confiabilidad, desviación de la caída de tensión, no cumplimiento de otras restricciones relacionadas con la función objetivo.
- De esta manera al final del proceso se obtiene una familia que presenta un buen desempeño.
- El algoritmo genético nos permite encontrar la localización y los tamaños óptimos de los capacitores para cada carga que deben ser colocados en el sistema de distribución, considerando los límites de caída de tensión en los nodos.

### 10.6 Algoritmos de nichos

Los algoritmos genéticos están basados en los principios de la biología y operan de forma análoga a la evolución. Mientras tanto los procesos por naturaleza evolutiva mantienen gran número de variedades de especies, la cual ocupa un nicho ecológico separado, los algoritmos genéticos tradicionales empujan a la población inicial a una solución de convergencia. Lo que da a conocer que todos los individuos de la población serán similares o idénticos, la cual cuando se necesite de un problema de varias soluciones el Algoritmo Genético tradicional solo ubicara una de ellos. [8]

Además, un AG tradicional simple pierde soluciones debido a tres efectos:

- Presión de selección: es el resultado de la solución esperada del proceso de selección de individuos con *fitness* bajo una población finita.
- Ruido de selección: resulta de la varianza del proceso de selección, en una población finita conjuntos de individuos aleatorios de subsoluciones competitivos de idéntico *fitness* la que genera ruido a las posibles soluciones, así forzando a entregar las mejores soluciones de individuos [8]

- Alteración de operadores: es el empleo del crossover y la mutación, que son capaces de destruir, en forma directa las soluciones.

### 10.6.1 Clasificación de los métodos de nichos

Los métodos de nichos se clasifican en dos dimensiones según su comportamiento.

#### 1. Dimensión es espacio vs tiempo

Espaciales: consiste en la formación de distintos nichos en los conjuntos de poblaciones de la misma familia de ejecución del Algoritmo genético, se los conoce como nichos paralelos.

Temporales: es la formación de diferentes grupos de nichos a lo largo de ejecuciones del Algoritmo Genético.

- #### 2. Segunda dimensión da a conocer los nichos que se desarrollan con una sola solo ambiente y otros con múltiples ambientes.

En diferentes casos el ambiente general varia a través de ambos: tiempo y espacio.

Diferentes métodos de nichos según su comportamiento:

Clasificación de métodos de nichos

**Tabla 1.** Clasificación de métodos de nichos

	AMBIENTE SIMPLE	MULTIPLES AMBIENTES
TEMPORAL	Localización Secuencial	Sobre Especificaciones AG, Ecológicos.
ESPACIAL	Ventaja heterocigota Crowding	AG, Ecológicos Sistemas Inmunes

### 10.7 Poblamiento Determinístico

Un método de poblamiento, es un esquema de selecciones que inserta el nuevo individuo en la población al sobrescribir uno similar. Esta técnica de sustituir individuos similares de la población puede ser una base sólida para la fundación del método efectivo de nichos.

Según De Jong en 1975 nos dice [10] se introdujo la idea de poblamiento, no se obtuvo mantener firme más de dos peaks de una función multimodal, sin importar lo más sencillo que sea. Antes de Jong, según [3] inserto diferentes esquemas donde los hijos reemplazan a sus padres de una forma directa, ya que los padres son idénticos a los hijos y se denominan esquemas de preselección y se evalúan como métodos de poblamiento.

Entonces el objetivo es evolucionar un método de poblamiento que se reduzca el número de errores de reemplazo, y como producto tenga un número máximo de peaks.

Según [4] invento un algoritmo llamado poblamiento determinístico donde se obtenga la diversidad dentro del conjunto de población y encontrar soluciones finales.

El algoritmo genético no trabaja con todo el conjunto de la población sino lo hacer con los padres de los nuevos elementos, cada par de hijo es ingresado simultáneamente a la población de la siguiente manera. Existen dos métodos de posibles reemplazos de dos padres por sus dos hijos.

1. Hijo 1 reemplaza al padre 1 e hijo 2 reemplaza al padre 2.
2. Hijo 1 reemplaza padre 2 e hijo 2 reemplaza al padre 1.

## **11 APLICACIÓN DEL ALGORITMO GENÉTICO**

En este capítulo se explica el desarrollo del programa y su funcionamiento para la localización óptima de capacitores en los Sistemas de Distribución, mediante la aplicación de los algoritmos genéticos.

Para la realización del programa se utilizó el software Matlab R2018b, ya que este posee una gran variedad de funciones de aplicación, proporcionándonos su capacidad de cálculo y herramientas del tipo interactivas facilitando el manejo del mismo.

### **11.1 Función objetivo a minimizar mediante el algoritmo genético.**

Al momento de ubicar condensadores en un sistema de distribución se debe tener en cuenta la posición, tipo, y capacidad, con el objetivo de minimizar costos que van de la mano con las pérdidas de energía, de potencia, y la inversión de la instalación de los capacitores manteniendo los módulos de tensión en las barras dentro de los límites establecidos.

En este caso la función de costo se encuentra conformada por el costo de los condensadores, el costo total de las pérdidas de energía y de potencia en el sistema de distribución, pero estas se encuentran sujetas a restricciones en función a la capacidad y ubicación del condensador.

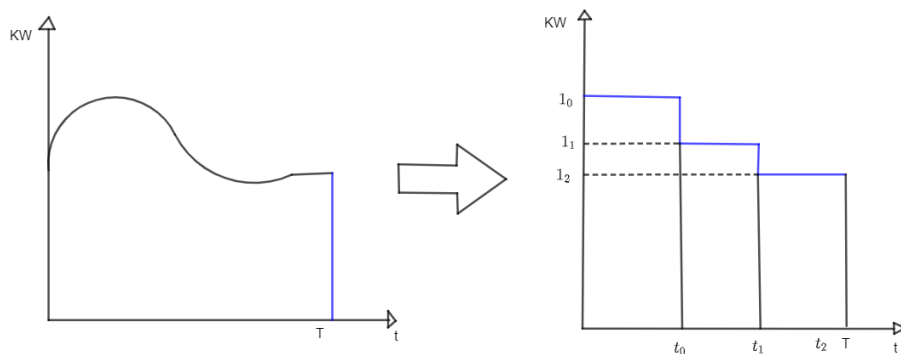
- **Costo de los Capacitores:** Siempre se debe tener en cuenta el costo del condensador y su costo de instalación. Entonces si  $C_j$  es la capacidad de los condensadores localizados en el nodo  $j$  y  $K_c$  es el costo KVAR incluyéndose el costo de instalación, el costo total fijo viene dado por:

$$C_{cond} = K_c \sum_{j=1}^M C_j \quad (19)$$

En este caso  $C_j$  corresponde a un vector que contiene el banco de capacitores que se instalaran en las localizaciones  $j=1, 2, \dots, M$

- **Costo de las Pérdidas de Energía:** Las pérdidas de energía del sistema, se calculan obteniendo las variaciones de carga en un tiempo determinado  $T$ . La carga de un sistema varía continuamente durante el día, pero como no se conoce su comportamiento lo indicado es definir a niveles de carga para que pueda ser resuelto utilizando técnicas de optimización ya existentes. Entonces la curva de duración de carga está compuesta por segmentos lineales y el periodo de tiempo  $T$  es dividido en intervalos durante los cuales los niveles de carga son constantes.

**Figura 9.** Discretización de la curva en niveles de carga



**Fuente:** [9].

- ✓ Si  $P_i$  corresponde a las pérdidas totales en cualquier nivel de carga  $i$  con un tiempo de duración  $T_i$ , las pérdidas totales de energía vienen dadas por la siguiente expresión:

$$E_{loss} = \sum_{i=1}^n T_i P_i \quad (20)$$

- ✓ El costo de las pérdidas de energía se calcula entonces, multiplicando las pérdidas de energía total por la constante del costo de energía  $K_e$ .

$$C_{E-loss} = K_e \sum_{i=1}^n T_i P_i \quad (21)$$

- **Costos de las Pérdidas de Potencia:** En este caso hay que tomar en cuenta la ganancia marginal de la capacidad de distribución, ya que las pérdidas corresponden a la misma, como resultado de la compensación reactiva. Esto se calcula como función del valor máximo de las pérdidas ( $P_0$ ) obtenidas para una configuración dada, en el valor pico de la carga, entonces si  $K_p$  es la constante del costo de la potencia máxima, a continuación, se muestra los costos debido a las pérdidas de potencia.

$$C_{P-loss} = K_p \cdot P_0 \quad (22)$$

- **Costo Total:** Viene dada por la suma de los tres costos anteriores, es decir, por los costos asociados a las pérdidas de potencia, energía y por el costo de los condensadores que incluye además el costo de instalación de estos equipos.

$$C_{Total} = C_{Cond} + C_{E-loss} + C_{P-loss} \quad (23)$$

En la realización del programa se trabajó con las siguientes restricciones:

- **Restricciones del Flujo de Potencia:** En este se considera el carácter inductivo y capacitivo de la red y van de la mano con las ecuaciones que conforman un módulo es decir el voltaje y el ángulo del flujo:

$$P_i - V_i \sum_{k=1}^b (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) V_k = 0 \quad i = 1, 2, \dots, b \quad (24)$$

$$Q_i - V_i \sum_{k=1}^b (G_{ij} \sin \theta_{ij} + B_{ij} \cos \theta_{ij}) V_k = 0 \quad i = 1, 2, \dots, b \quad (25)$$

- **Restricciones de Voltajes:** En las redes de distribución bien diseñadas los cambios de las condiciones desbalanceadas de carga y de la demanda, solo causan cambios sutiles en la variación de los voltajes, por lo que los voltajes máximos y mínimos en cada nodo del sistema se establece de la siguiente forma:

$$V_{min} \leq V_l \leq V_{max} \quad l = 1, 2, \dots, z \quad (26)$$

Donde  $l$  corresponde al número del nodo y  $z$  al número máximos de nodos en el sistema, mientras que  $V_{min}$  y  $V_{max}$  corresponden a la tensión mínima y máxima admisible respectivamente.

$$C_j \leq r_j \quad r_j > 0 \quad (27)$$

Donde  $C_j$  es un condensador de capacidad  $j$  y  $r$  es el número máximo de unidades disponibles.

Entonces la formulación del problema se expresa de la siguiente manera:

$$\min = Ke \sum_{i=1}^n Ti Pi + K_p P_0 + K_c \sum_{j=1}^M C_j \quad (28)$$

Sujeto a:

$$P_i - Vi \sum_{k=1}^b (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) V_k = 0 \quad i = 1, 2, \dots, b$$

$$Q_i - Vi \sum_{k=1}^b (G_{ij} \sin \theta_{ij} + B_{ij} \cos \theta_{ij}) V_k = 0 \quad i = 1, 2, \dots, b$$

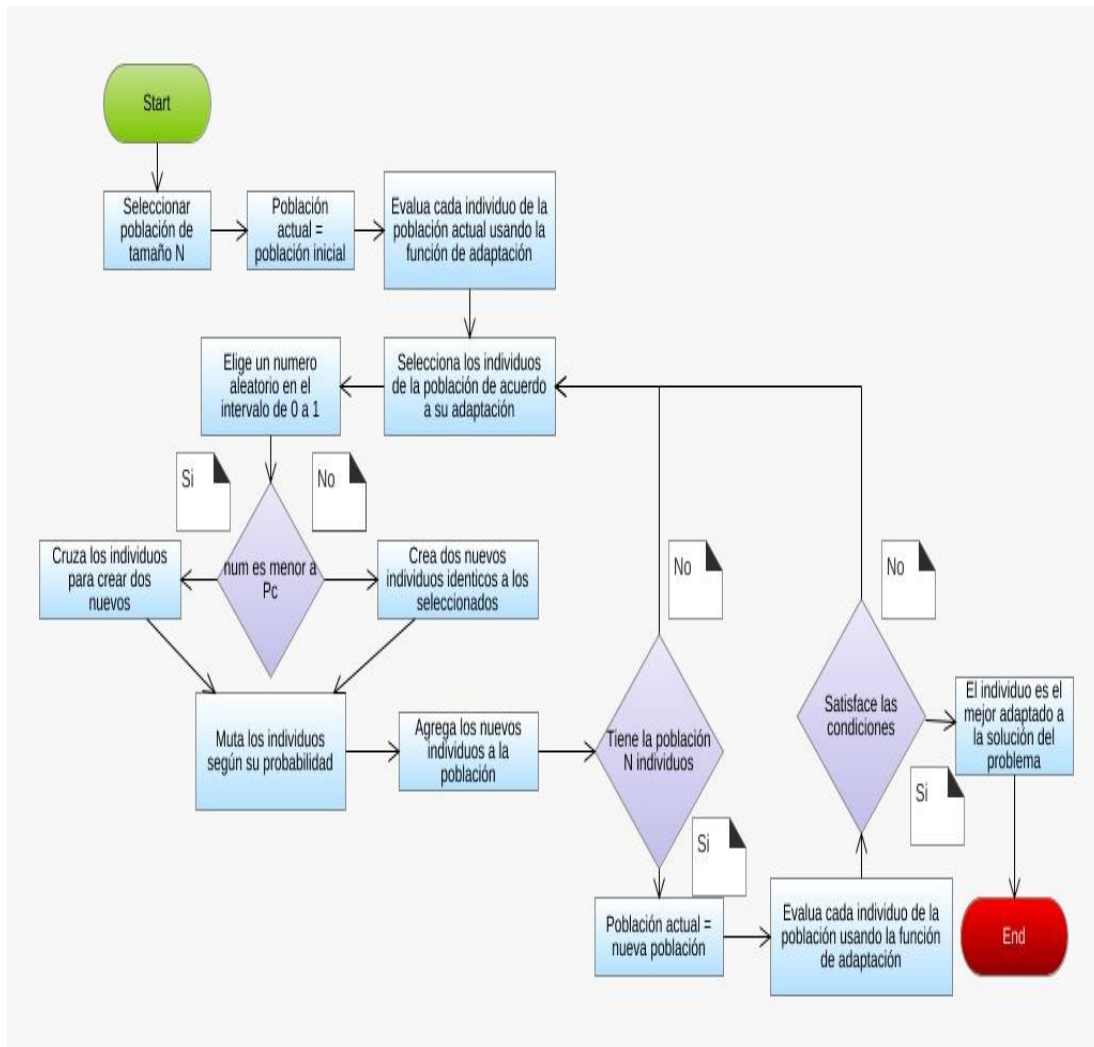
$$V_{\min} \leq V_l \leq V_{\max} \quad l = 1, 2, \dots, z$$

$$C_j \leq r_j \quad r_j > 0$$

Donde  $K_p$ ,  $K_e$ ,  $K_c$  son las constantes de costos de potencia de punta, de energía y de KVar respectivamente  $P_i$  corresponden a las pérdidas de potencia para cualquier nivel de carga  $i$ , mientras que  $P_0$  corresponden a las pérdidas de potencia punta. Además, se considera que hay  $n$  niveles de carga y  $M$  posibles localizaciones.

## 11.2 Diagrama de flujo del programa para la localización de capacitores

El esquema que se presenta a continuación describe el diagrama de flujo para proceder a explicar el funcionamiento, la utilización y todas las tareas que ofrece el programa realizado.



## 11.2 Diagrama de flujo del sistema

### 11.2.1 Lectura de datos

La lectura de datos para configurar el sistema de distribución se tiene archivado en los documentos del PC como: la potencia activa, nivel de voltaje, potencia reactiva y impedancias y los valores que se dispone de los condensadores almacenados en las matrices y el número de barras que se tiene del sistema.

### **11.2.2 Inserción de parámetros**

En este bloque se observan los parámetros del sistema, donde se definen las variables para así alcanzar los objetivos mediante esta aplicación.

Tenemos las probabilidades de ocurrencia de mutación, el número de interacciones, niveles de carga, tensión máxima y mínima del sistema, número de barras a compensar, intervalos de carga potencia de punta y valor de kvar instalados y el número máximo de interacciones.

### **11.2.3 Análisis de sensibilidad**

El análisis de sensibilidad se encarga de revisar en el programa los efectos de cambios y cómo afectaría a la función óptima y función objetivo, cambio de alguno de sus variables ya sea de una o de otras. Donde se determina las barras donde las pérdidas de potencia activa tienen mayor sensibilidad a una inyección de potencia reactiva. Por tal manera el Algoritmo genético reduce su tiempo de búsqueda. Por tal manera por medio de método interactivo de Gauss Seidel podemos calcular los voltajes en las barras de sistema y las admitancias de las líneas, obtenemos valores que serán almacenados desde el valor más pequeño y así en forma ascendente.

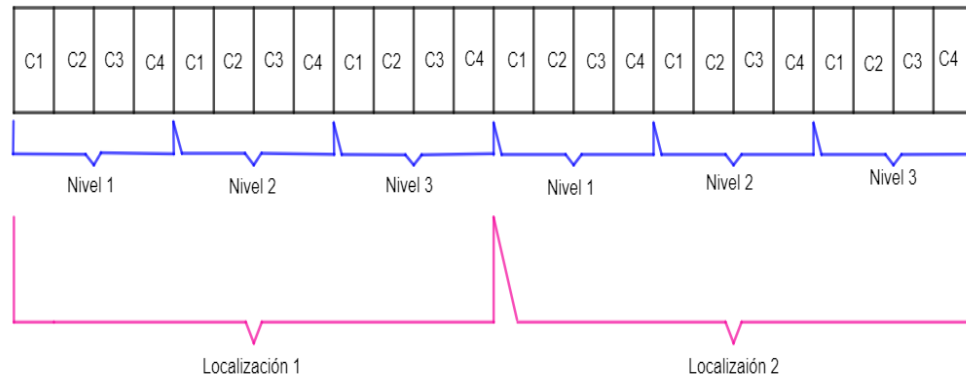
### **11.2.4 Generaciones de la población inicial**

La primera población es generada al azar, ya que para la configuración del individuo se escoge un número de barras y solamente esas barras serán escogidas o localizadas para ingresar la capacidad del condensador a ser inyectado de potencia reactiva.

Cada individuo de la población está compuesto por una cadena de bits. Donde determina las barras a ser compensadas ( $M$ ), niveles de carga ( $n$ ) y el tipo de condensadores disponibles (NTC), donde su unidad de medida es el Kvars, entonces el tamaño de individuo es  $M*n*NTC$ .

Por ejemplo, tenemos cuatro capacitores ( $C_1, C_2, C_3, C_4$ ), tres niveles de carga y dos posibles localizaciones, entonces el tamaño del individuo es de 24 bits.

**Figura 10.** Codificación del individuo.



**Fuente:** [8].

### 11.2.5 Selección de parejas de padres aleatoriamente y sin remplazo

Todos los posibles individuos de la población ingresan a un proceso de mutación y cruce entonces tienen la posibilidad de reproducirse por lo cual generan individuos  $N/2$  de parejas al azar y sin remplazo, a quienes se les aplica el Algoritmo genético hasta alcanzar las máximas generaciones.

### 11.2.6 Cruzamiento

Después de escoger los individuos aleatoriamente de pareja de padres comienza el proceso de cruzamiento donde se intercambia una pequeña parte del cromosoma entre los dos individuos haciendo que cualquier cruzamiento se potencial para los nuevos individuos.

### 11.2.7 Mutación

Los dos individuos a mutar en su característica binaria de 0 o 1 donde existen restricciones como voltajes máximos y mínimos donde se genera esquemas de cuál es el individuo más óptimo de la población inicial que se generó aleatoriamente va ser el individuo más óptimo.

### 11.2.8 Evaluación

Una vez obtenidos los nuevos miembros que han sido mutados tanto padres como hijos se evalúan de una manera rápida para evaluar los costos en función a restricciones como:

- Los capacitores no excedan lo que requiere el usuario
- Los voltajes deben estar entre los límites establecidos para la calidad de servicio que brinde al usuario
- Restricciones para cumplir el flujo de potencia

### 11.2.9 Actualizar datos

Los padres que son reemplazados por los hijos se colocan en la misma posición de los antecesores almacenados con sus respectivos precios.

### 11.2.10 Actualizar grafica

En esta parte es donde se evalúa el costo mínimo encontrado en cada generación en la gráfica, así guardando cada dato almacenado con un vector para luego ser representado gráficamente.

### 11.2.11 Resultado final

Se representa la muestra de resultado en la pantalla:

- Grafica corresponde al precio más bajo  $V_s$ , número de generaciones.
- Costo más bajo o mínimo de un máximo de generaciones (costo de compensación)
- Costo sin compensación
- Valores de ahorros de perdidas
- La información de las barras del sistema donde van a ser compensadas con sus respectivos capacitores.

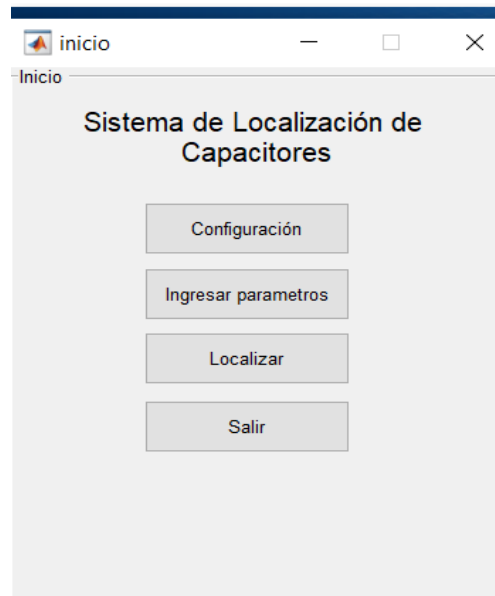
## 11.3 Interfaz grafica

Las funciones y herramientas que brinda el programa Matlab, son utilizado para la interfaz gráfica, donde permite al usuario la interacción con el programa, donde se localizara de una manera sencilla, para la localización de las barras del sistema a compensar.

### 11.3.1 Ventana principal

Esta es la primera ventada que se despliega en el ordenador cuando se ejecuta el programa, donde se observan cuatro opciones que son representadas por botones, para localizar e introducir parámetros.

**Figura 11.** Sistema de localización de capacitores



### 11.3.2 Ventana de configurar el sistema

Esta ventana se observa a partir de la ventana principal donde configuramos el sistema, en esta parte se definen las características de distribución como: número de barras, impedancias de cada tramo de la línea, las cargas de cada barra, cantidad de capacitores disponibles y cantidad para compensar el sistema. Y un botón de aceptar para el despliegue al siguiente paso.

**Figura 12.** Configuración del programa

Configuración

Introducir número de barras

Número de barras del sistema

Seleccionar el archivo de impedancias

Impedancia (p.u)  
 Impedancia (Ohm)  
 l(km), R(Ohm/km), x(Ohm/km)

Subir Archivo

Seleccionar el archivo de cargas

Subir Archivo

Seleccionar el archivo de condensadores

Subir Archivo

Cancelar Menu

### 11.3.3 Ventana de introducir parámetros

Al activarse en la ventana principal el botón se despliega la ventana que donde muestra la siguiente figura 13. Consta 4 botones donde permiten al usuario ingresar información general del sistema, es decir los datos que se desarrolló el programa.

**Figura 13.** Configuración de parámetros

Parametros

Parametros Generales

Número de iteraciones para tensiones: 100

Número máximo de barras a compensar: 1

S Base (MVA): 100

Tensión base (KV): 23

Tensión mínima (p.u): 0.9

Tensión máxima (p.u): 1.1

Algoritmo Genético

Número máximo de generaciones: 50

Tamaño de la población: 100

Probabilidad de mutación: 0.06

Costo

Costo de energía (UM/KWh): 0.6

Costo de potencia(UM/KW): 120

Costo de condensadores (UM/KVAR): 5

Niveles de carga

Niveles de carga (p.u):

Intervalos de duración:

Aceptar

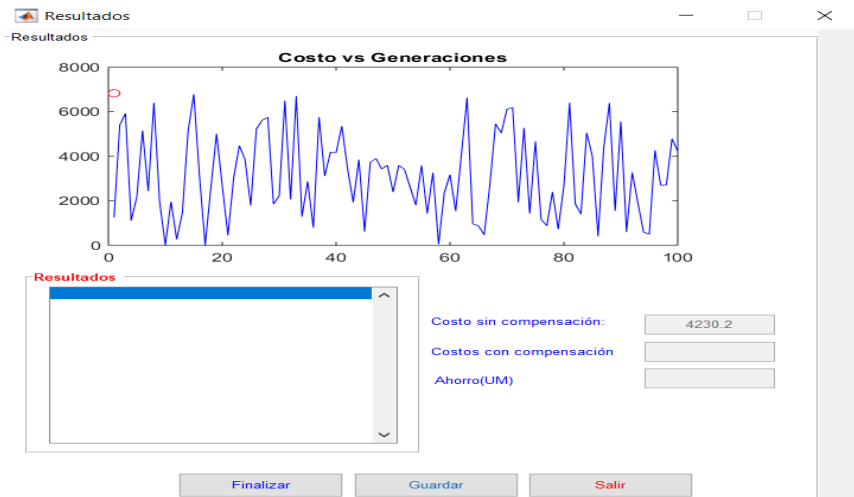
Borrar Todo

Menu

### 11.3.4 Ventana de localizar

Una vez configurado el sistema e introducido los diferentes parámetros se presiona localizar, donde muestra al usuario los resultados de la aplicación, indicando en que barra necesita ser compensada por los respectivos bancos de capacitores para cada nivel de carga, y como también el precio sin compensación y el precio ya compensado. Y se representa gráficamente el costo mínimo.

**Figura 14.** Muestra de resultado



## 11 METODOLOGÍA

### 11.1 Métodos de investigación

La investigación bibliográfica es un procedimiento que se emplea como guía para obtener la información comprendida en documentos, es decir, el método bibliográfico es un conjunto de técnicas y estrategias que se usan para localizar, identificar y acceder a los documentos que disponen de la información que se requiere para el desarrollo del proyecto. Para llevar a cabo con éxito el presente proyecto, se realizó una minuciosa investigación bibliográfica, es decir, se analizó una gran variedad de archivos (textos y manuales), que nos proporcionan una noción clara y precisa respecto al manejo de algoritmos genéticos para iniciar un estudio y diagnóstico del alimentador primario en un sistema de distribución tipo radial.

## **11.2 Técnicas de investigación**

Los algoritmos genéticos (AG) funcionan entre el conjunto de soluciones de un problema llamado fenotipo, y el conjunto de individuos de una población natural, codificando la información de cada solución en una cadena, generalmente binaria, llamada cromosoma. Los símbolos que forman la cadena son llamados genes. Cuando la representación de los cromosomas se hace con cadenas de dígitos binarios se le conoce como genotipo. Los cromosomas evolucionan a través de iteraciones, llamadas generaciones. En cada generación, los cromosomas son evaluados usando alguna medida de aptitud. Las siguientes generaciones (nuevos cromosomas), son generadas aplicando los operadores genéticos repetidamente, siendo estos los operadores de selección, cruzamiento, mutación y reemplazo.

## 12 RESULTADOS

En este apartado se muestra la ejecución del modelo propuesto para diferentes sistemas de barras, para hacer un análisis comparativo entre los resultados obtenidos de los diferentes sistemas nodales del programa desarrollado y el software la cual ofrece los valores de pérdidas de energía en el Sistema de Distribución con y sin compensación de potencia reactiva y el tipo de capacitor a ser instalado.

Se va a demostrar la simulación desde la obtención de flujos de potencia los cual nos va a permitir obtener los valores de las pérdidas de energía en un sistema de distribución de n barras, la compensación de potencia reactiva y la capacidad de los capacitores a instalar.

A continuación, tenemos un sistema de 4 barras donde los datos se presentarán en el mismo.

### 12.1 Sistema de 4 barras

se muestra el sistema de 4 barras como se muestra en la figura 15. Los datos utilizados se mostrarán en la siguiente tabla 1.

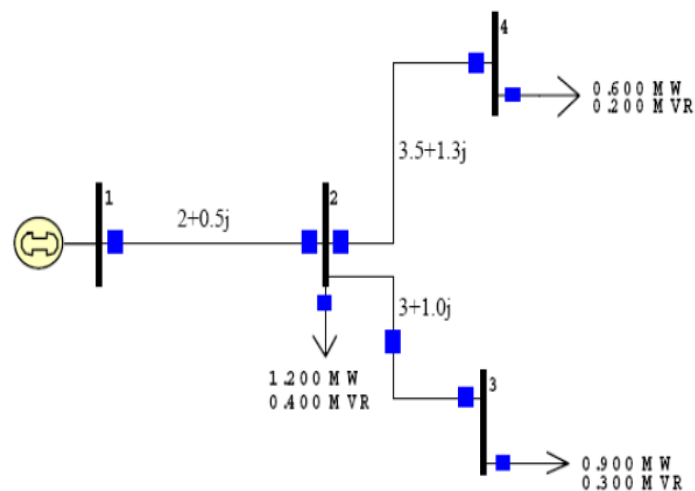


Figura 15. Sistema de 4 barras

**Tabla 2.** Datos del sistema de 4 barras

Tensión Base (KV)	23
Costo de energía (UM/KWh)	0.6
Costo de Potencia (UM/KW)	120
Costo de Capacitores (UM/año)	5
Unidades de capacitores (KVAR)	200, 300, 500, 1000 (30 c/u)
Tensión mínima (p.u)	0.9
Tensión Máxima (p.u)	1.1

Los parámetros utilizados con los operadores para el Algoritmo Genético son los siguiente:

**Tabla 3.** Parámetros de Algoritmos Genéticos

Número máximo de generaciones	50
Tamaño de la población	100
Probabilidad de mutación	0.08

Se muestra los flujos de potencia para realizar la simulación en el programa MATLAB, con su respectivo procedimiento.

En este caso se va a ingresar los datos de impedancia de la línea, cargas y capacitores disponibles para el cálculo de flujos de potencia.

**Figura 16.** Introducción d parámetros

The screenshot shows a window titled 'Configuración' with the following sections:

- Introducir numero de barras:** A text box labeled 'Número de barras del sistema' with the value '4' entered.
- Seleccionar el archivo de impedancias:** Three radio buttons: 'Impedancia (p.u.)' (selected), 'Impedancia (Ohm)', and 'l(km), R(Ohm/km), x(Ohm/km)'. Below them is a 'Subir Archivo' button and a list box containing:
 

1	2	0.5
2	3	1
2	4	1.3
- Seleccionar el archivo de cargas:** A list box containing:
 

1	0	0
2	1200	400
3	900	300
4	600	200

 Below it is a 'Subir Archivo' button.
- Seleccionar el archivo de condensadores:** A list box containing:
 

200	30
300	30
500	30
1000	30

 Below it is a 'Subir Archivo' button.

At the bottom of the window are 'Cancelar' and 'Menu' buttons.

A continuación, se va a realizar la introducción de parámetros como: el número de nodos para el flujo, numero de barras a compensar, potencia y tensión base, el número máximo de generaciones, tamaño de la población, la probabilidad de mutación, costo de energía y potencia, así como de los condensadores, también hay que considerar los niveles de carga en alta, media y baja.

**Figura 17.** Parámetros generales del Algoritmo genético

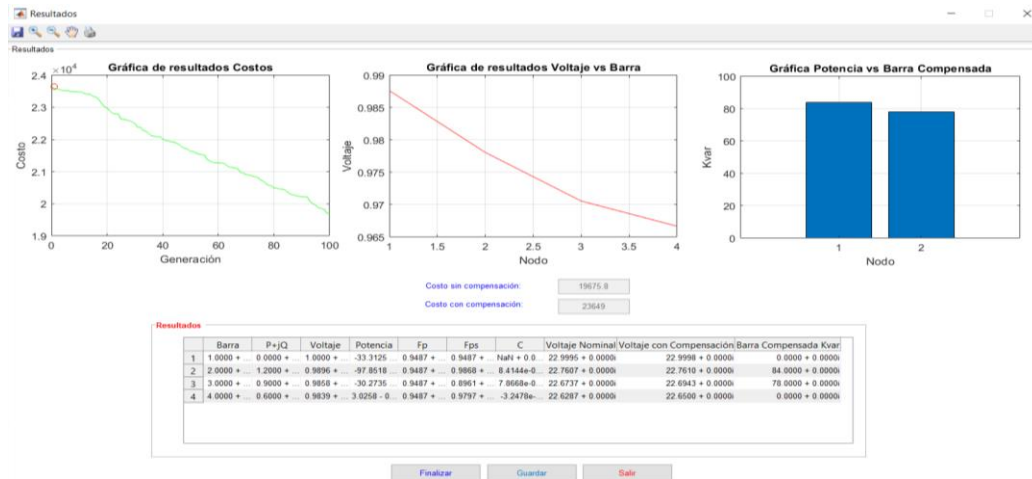
The screenshot shows a window titled 'Parametros' with the following sections:

- Parámetros Generales:**
  - Número de iteraciones para tensiones: 100
  - Número máximo de barras a compensar: 1
  - S Base (MVA): 100
  - Tensión base (KV): 23
  - Tensión mínima (p.u.): 0.9
  - Tensión máxima (p.u.): 1.1
- Algoritmo Genético:**
  - Número máximo de generaciones: 50
  - Tamaño de la población: 100
  - Probabilidad de mutación: 0.08
- Costo:**
  - Costo de energía (UM/KWh): 0.6
  - Costo de potencia(UM/KW): 120
  - Costo de condensadores (UM/KVAR): 5
- Niveles de carga:**
  - Niveles de carga (p.u.): [1 0.8 0.6]
  - Intervalos de duración: [2990 2990 2990]

At the bottom right are 'Aceptar', 'Borrar Todo', and 'Menu' buttons.

Entonces el programa está configurado para obtener el flujo de potencia óptimo para cada barra y considerar las pérdidas con respecto a la carga, de esta manera se va desplegar el costo vs generación con la compensación de ubicación óptima de condensadores obtenidos por el cruce y mutación de algoritmos genéticos, ya que en algunos casos no va a ser necesario la ubicación de los mismos.

**Figura 18. Resultados Finales**



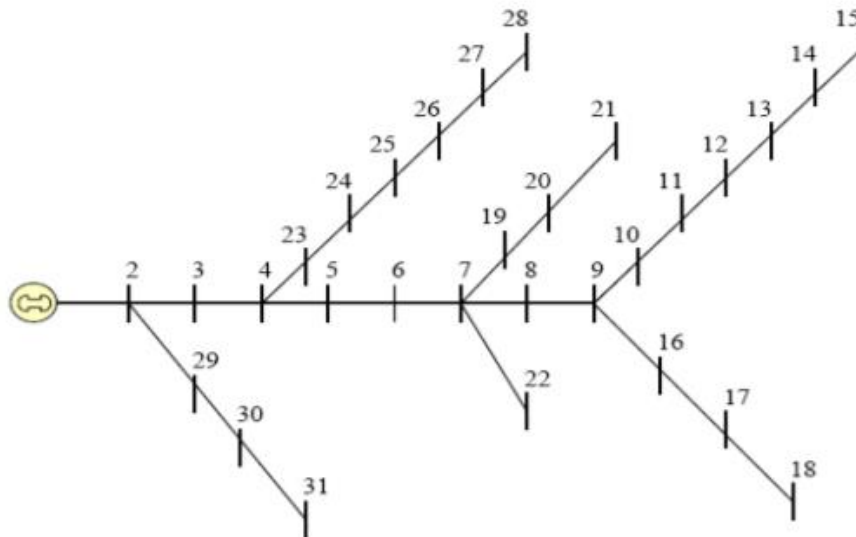
**Tabla 4. Comparación de Resultados del Programa Power Factory**

Barr a	Power Factory		Programa (Propuesta)		Perdidas
	Voltaje sin Compensación (p.u)	Voltaje con Compensación (p.u)	Voltaje sin Compensación (p.u)	Voltaje con Compensación (p.u)	
1	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	0.00000
2	0.98963	0.98965	0.98963	0.98963	0.01037
3	0.98582	0.98671	0.98580	0.98667	0.01418
4	0.98388	0.98481	0.98387	0.98479	0.01612

## 12.2 Sistema de Prueba IEEE de 31 Barras

En la Figura 19 se presenta el sistema IEEE de 31 nodos. Los datos de este sistema se encuentran en el Anexo A. En este sistema los condensadores fueron conectados en los nodos que el programa define.

**Figura 19.** Sistema de 31 nodos



**Tabla 5.** Parámetros de entrada

Tensión Base (KV)	23
Costo de energía (UM/KWh)	0.6
Costo de Potencia (UM/KW)	120
Costo de Capacitores (UM/año)	5
Unidades de capacitores (KVAR)	200, 300, 500, 1000 (30 c/u)
Tensión mínima (p.u)	0.9
Tensión Máxima (p.u)	1.1
Número máximo de generaciones	50
Tamaño de la población	100
Probabilidad de mutación	0.08

**Tabla 6.** Comparación de resultados del programa y Power Factory

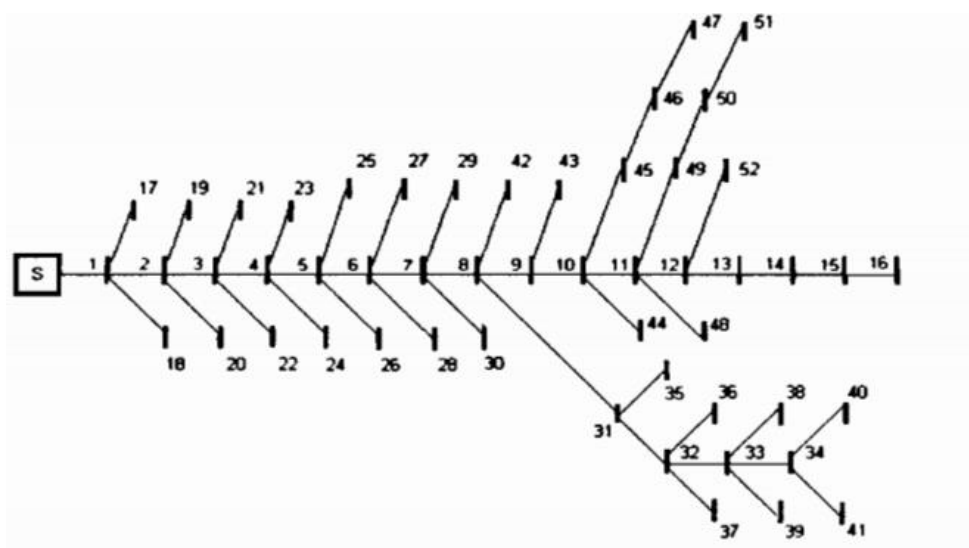
	<b>Power Factory</b>		<b>Programa (Propuesta)</b>		
<b>Barra</b>	<b>Voltaje sin Compensación (KV)</b>	<b>Voltaje con Compensación (KV)</b>	<b>Voltaje sin Compensación (KV)</b>	<b>Voltaje con Compensación (KV)</b>	<b>Perdidas</b>
<b>1</b>	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	0.00000
<b>2</b>	0.99993	0.99993	0.99990	0.99990	0.00007
<b>3</b>	0.99973	0.99973	0.99970	0.99970	0.00027
<b>4</b>	0.99363	0.99542	0.99360	0.99540	0.00637
<b>5</b>	0.99020	0.99323	0.99018	0.99320	0.00980
<b>6</b>	0.98670	0.99086	0.98667	0.99084	0.01330
<b>7</b>	0.98508	0.99047	0.98506	0.99044	0.01492
<b>8</b>	0.98393	0.98869	0.98391	0.98865	0.01607
<b>9</b>	0.98228	0.98661	0.98228	0.98657	0.01772
<b>10</b>	0.98186	0.98604	0.98183	0.98603	0.01814
<b>11</b>	0.98122	0.98528	0.98120	0.98526	0.01878
<b>12</b>	0.98041	0.98437	2.41517	0.98436	0.01959
<b>13</b>	0.97969	0.98363	0.97964	0.98360	0.02031
<b>14</b>	0.97905	0.98297	0.97904	0.98295	0.02095
<b>15</b>	0.97849	0.98242	0.97848	0.98239	0.02151
<b>16</b>	0.98026	0.98455	0.98023	0.98453	0.01974
<b>17</b>	0.97956	0.98384	0.97954	0.98383	0.02044
<b>18</b>	0.97916	0.98344	0.97913	0.98343	0.02084
<b>19</b>	0.98175	0.98755	0.98172	0.98752	0.01825
<b>20</b>	0.97869	0.98508	0.97866	0.98507	0.02131
<b>21</b>	0.97823	0.98517	0.97823	0.98515	0.02177
<b>22</b>	0.98486	0.99025	0.98485	0.99023	0.01514
<b>23</b>	0.99072	0.99323	0.99071	0.99321	0.00928

24	0.98794	0.99115	0.98791	0.99112	0.01206
25	0.98455	0.98894	0.98451	0.98892	0.01545
26	0.98259	0.98721	0.98257	0.98720	0.01741
27	0.98146	0.98626	0.98145	0.98623	0.01854
28	0.98085	0.98566	0.98082	0.98565	0.01915
29	0.99927	0.99927	0.99926	0.99926	0.00073
30	0.99801	0.99801	0.99800	0.99800	0.00199
31	0.99708	0.99708	0.99706	0.99706	0.00292

### 12.3 Sistema de Prueba IEEE de 52 Barras

En la Figura 20 se presenta el sistema IEEE de 52 nodos. Los datos de este sistema se encuentran en el Anexo B. En este sistema los condensadores fueron conectados en los nodos que el programa define.

**Figura 20.** Sistemas de 52 nodos



**Tabla 7.** Parámetros de entrada

Tensión Base (KV)	23
Costo de energía (UM/KWh)	0.6
Costo de Potencia (UM/KW)	120

Costo de Capacitores (UM/año)	5
Unidades de capacitores (KVAR)	200, 300, 500, 1000 (30 c/u)
Tensión mínima (p.u)	0.9
Tensión Máxima (p.u)	1.1
Número máximo de generaciones	50
Tamaño de la población	100
Probabilidad de mutación	0.08

**Tabla 8.** Comparación entre Resultados del programa y Power Factory

Barra	Power Factory		Programa (Propuesta)		Perdidas
	Voltaje sin Compensación (KV)	Voltaje con Compensación (KV)	Voltaje sin Compensación (KV)	Voltaje con Compensación (KV)	
1	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	0.00000
2	0.99992	0.99992	0.99992	0.99990	0.00008
3	0.99979	0.99979	0.99977	0.99979	0.00021
4	0.99506	0.99786	0.99503	0.99785	0.00494
5	0.99020	0.99346	0.99017	0.99343	0.00980
6	0.98945	0.99287	0.11986	0.99286	0.01055
7	0.98697	0.99117	0.98696	0.99115	0.01303
8	0.97956	0.99065	0.97955	0.99064	0.02044
9	0.97880	0.98971	0.97876	0.98969	0.02120
10	0.97823	0.98912	0.97820	0.98911	0.02177
11	0.97623	0.98910	0.97621	0.98907	0.02377
12	0.97595	0.98869	0.97594	0.98868	0.02405
13	0.97394	0.98614	0.97393	0.98613	0.02606
14	0.97373	0.98558	0.97371	0.98555	0.02627
15	0.97270	0.98512	0.97269	0.98509	0.02730

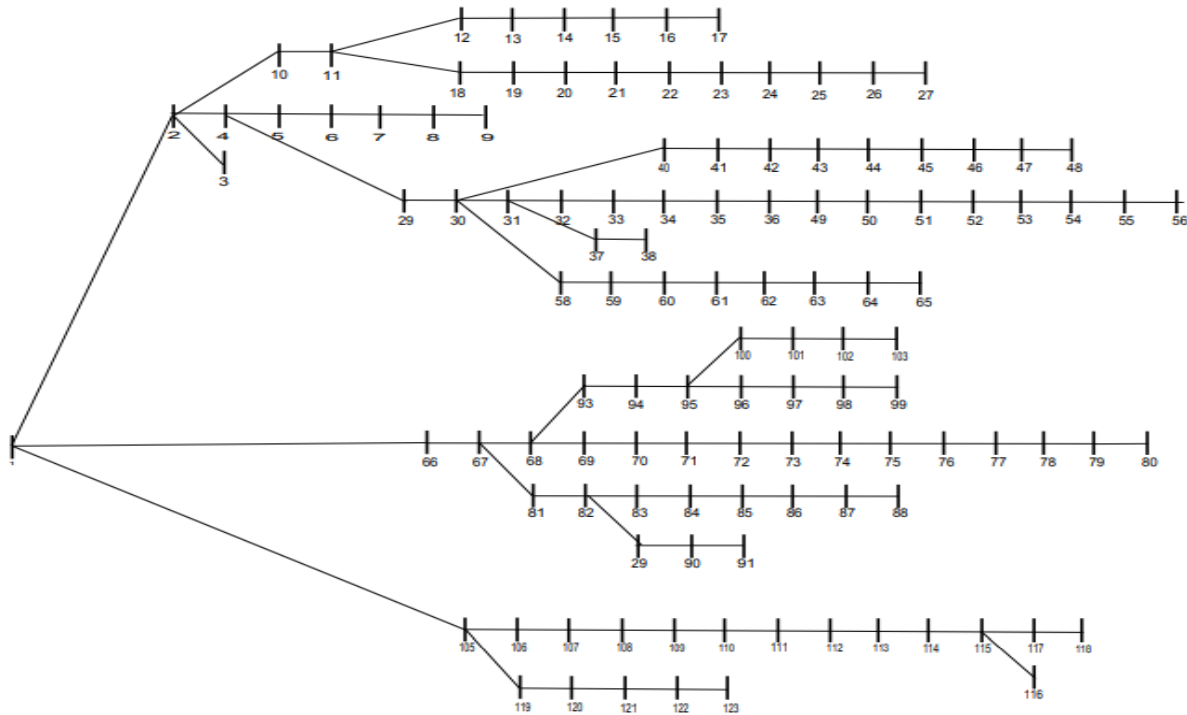
<b>16</b>	0.97180	0.98363	0.97177	0.98361	0.02820
<b>17</b>	0.99994	0.99994	0.13037	0.99990	0.00006
<b>18</b>	0.99984	0.99984	0.99981	0.99982	0.00016
<b>19</b>	0.99983	0.99983	0.99980	0.99982	0.00017
<b>20</b>	0.99987	0.99987	0.99987	0.99984	0.00013
<b>21</b>	0.99533	0.99624	0.99532	0.99621	0.00467
<b>22</b>	0.99169	0.99568	0.99167	0.99566	0.00831
<b>23</b>	0.99117	0.99549	0.99113	0.99548	0.00883
<b>24</b>	0.99120	0.99520	0.99117	0.99519	0.00880
<b>25</b>	0.98723	0.99358	0.98719	0.99357	0.01277
<b>26</b>	0.98702	0.99292	0.98699	0.99289	0.01298
<b>27</b>	0.98527	0.99198	0.98525	0.99195	0.01473
<b>28</b>	0.98604	0.99147	0.98601	0.99143	0.01396
<b>29</b>	0.98405	0.99108	0.98403	0.99105	0.01595
<b>30</b>	0.98284	0.99030	0.98282	0.99027	0.01716
<b>31</b>	0.98255	0.99036	0.98254	0.99033	0.01745
<b>32</b>	0.98217	0.98979	0.98217	0.98978	0.01783
<b>33</b>	0.97821	0.98956	0.97820	0.98954	0.02179
<b>34</b>	0.97720	0.98849	0.97717	0.98847	0.02280
<b>35</b>	0.97815	0.99038	0.97813	0.99037	0.02185
<b>36</b>	0.97572	0.99024	0.97570	0.99021	0.02428
<b>37</b>	0.97607	0.98995	0.97603	0.98995	0.02393
<b>38</b>	0.97493	0.98759	0.97491	0.98756	0.02507
<b>39</b>	0.97444	0.98744	0.97443	0.98742	0.02556
<b>40</b>	0.97473	0.98699	0.97472	0.98697	0.02527
<b>41</b>	0.97432	0.98677	0.97431	0.98675	0.02568
<b>42</b>	0.97460	0.99011	0.97457	0.99007	0.02540
<b>43</b>	0.97426	0.98606	0.97422	0.98604	0.02574

<b>44</b>	0.97392	0.98600	0.97390	0.98597	0.02608
<b>45</b>	0.97433	0.98564	0.97433	0.98562	0.02567
<b>46</b>	0.97440	0.98544	0.97437	0.98543	0.02560
<b>47</b>	0.97434	0.98493	0.97433	0.98491	0.02566
<b>48</b>	0.97433	0.98483	0.97431	0.98481	0.02567
<b>49</b>	0.97417	0.98412	0.97414	0.98409	0.02583
<b>50</b>	0.97354	0.98403	0.97352	0.98403	0.02646
<b>51</b>	0.97224	0.98274	0.97221	0.98273	0.02776
<b>52</b>	0.97399	0.98262	0.97397	0.98259	0.02601

#### **12.4 Sistema de Prueba IEEE de 123 Barras**

En la Figura 21 se presenta el sistema IEEE de 123 nodos. Los datos de este sistema se encuentran en el Anexo C. En este sistema los condensadores fueron conectados en los nodos que el programa define.

Figura 21. Sistema de 123 Nodos.

**Figura 21.** Sistema de 123 nodos**Tabla 9.** Parámetros de entrada

Tensión Base (KV)	23
Costo de energía (UM/KWh)	0.6
Costo de Potencia (UM/KW)	120
Costo de Capacitores (UM/año)	5
Unidades de capacitores (KVAR)	200, 300, 500, 1000 (30 c/u)
Tensión mínima (p.u)	0.9
Tensión Máxima (p.u)	1.1
Número máximo de generaciones	50
Tamaño de la población	100
Probabilidad de mutación	0.08

**Tabla 10.** Comparación entre Resultados del programa y Power Factory

<b>Barra</b>	<b>Power Factory</b>		<b>Programa (Propuesta)</b>		<b>Perdidas</b>
	<b>Voltaje sin Compensación (KV)</b>	<b>Voltaje con Compensación (KV)</b>	<b>Voltaje sin Compensación (KV)</b>	<b>Voltaje con Compensación (KV)</b>	
<b>1</b>	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	0.00000
<b>2</b>	0.99805	0.99805	0.99803	0.99802	0.00195
<b>3</b>	0.99804	0.99804	0.99801	0.99801	0.00196
<b>4</b>	0.99612	0.99612	0.99610	0.99610	0.00388
<b>5</b>	0.99604	0.99604	0.99602	0.99601	0.00396
<b>6</b>	0.99598	0.99598	0.99597	0.99596	0.00402
<b>7</b>	0.99596	0.99596	0.99592	0.99594	0.00404
<b>8</b>	0.99595	0.99595	0.99592	0.99591	0.00405
<b>9</b>	0.99593	0.99593	0.99591	0.99592	0.00407
<b>10</b>	0.99590	0.99590	0.99588	0.99588	0.00410
<b>11</b>	0.99463	0.99547	0.99462	0.99543	0.00537
<b>12</b>	0.99410	0.99434	0.99408	0.99433	0.00590
<b>13</b>	0.99380	0.99413	0.99380	0.99412	0.00620
<b>14</b>	0.99354	0.99388	0.99351	0.99387	0.00646
<b>15</b>	0.99348	0.99377	0.99345	0.99374	0.00652
<b>16</b>	0.99340	0.99354	0.99337	0.99353	0.00660
<b>17</b>	0.99339	0.99348	0.99338	0.99346	0.00661
<b>18</b>	0.99222	0.99347	0.99221	0.99343	0.00778
<b>19</b>	0.99081	0.99294	0.99080	0.99292	0.00919
<b>20</b>	0.98929	0.99259	0.98927	0.99258	0.01071
<b>21</b>	0.98852	0.99217	0.98850	0.99214	0.01148
<b>22</b>	0.98815	0.99110	0.98813	0.99109	0.01185

<b>23</b>	0.98473	0.99077	0.98471	0.99075	0.01527
<b>24</b>	0.98417	0.98931	0.98413	0.98930	0.01583
<b>25</b>	0.98400	0.98905	0.98400	0.98903	0.01600
<b>26</b>	0.98394	0.98867	0.98390	0.98863	0.01606
<b>27</b>	0.98390	0.98775	0.98387	0.98772	0.01610
<b>29</b>	0.99489	0.99572	0.99488	0.99571	0.00511
<b>30</b>	0.99389	0.99555	0.99385	0.99554	0.00611
<b>31</b>	0.98727	0.99527	0.98723	0.99524	0.01273
<b>32</b>	0.98117	0.99389	0.98115	0.99386	0.01883
<b>33</b>	0.97907	0.99347	0.97903	0.99343	0.02093
<b>34</b>	0.97502	0.99223	0.97498	0.99221	0.02498
<b>35</b>	0.97121	0.99164	0.97118	0.99163	0.02879
<b>36</b>	0.96847	0.99085	0.96843	0.99083	0.03153
<b>37</b>	0.98586	0.99115	0.98583	0.99112	0.01414
<b>38</b>	0.98549	0.98956	0.98548	0.98955	0.01451
<b>40</b>	0.99080	0.99456	0.99077	0.99453	0.00920
<b>41</b>	0.98802	0.99433	0.98799	0.99431	0.01198
<b>42</b>	0.98643	0.99375	0.98642	0.99374	0.01357
<b>43</b>	0.98477	0.99286	0.98476	0.99284	0.01523
<b>44</b>	0.97973	0.99207	0.97970	0.99206	0.02027
<b>45</b>	0.97921	0.99134	0.97920	0.99131	0.02079
<b>46</b>	0.97903	0.99052	0.97901	0.99049	0.02097
<b>47</b>	0.97889	0.99040	0.97886	0.99038	0.02111
<b>48</b>	0.97883	0.98933	0.97880	0.98930	0.02117
<b>49</b>	0.96659	0.98895	0.96656	0.98894	0.03341
<b>50</b>	0.96400	0.98846	0.96398	0.98844	0.03600
<b>51</b>	0.96208	0.98669	0.96204	0.98667	0.03792
<b>52</b>	0.96026	0.98530	0.96024	0.98527	0.03974

<b>53</b>	0.95911	0.98477	0.95910	0.98474	0.04089
<b>54</b>	0.95870	0.98433	0.95868	0.98432	0.04130
<b>55</b>	0.95766	0.98402	0.95762	0.98400	0.04234
<b>56</b>	0.95671	0.98373	0.95669	0.98370	0.04329
<b>58</b>	0.99207	0.99624	0.99205	0.99622	0.00793
<b>59</b>	0.99051	0.99594	0.99050	0.99591	0.00949
<b>60</b>	0.98901	0.99578	0.98898	0.99576	0.01099
<b>61</b>	0.98607	0.99520	0.98607	0.99519	0.01393
<b>62</b>	0.98561	0.99413	0.98560	0.99410	0.01439
<b>63</b>	0.98518	0.99286	0.98517	0.99283	0.01482
<b>64</b>	0.98501	0.99105	0.98498	0.99105	0.01499
<b>65</b>	0.98477	0.99028	0.98476	0.99027	0.01523
<b>66</b>	0.99844	0.99844	0.99843	0.99840	0.00156
<b>67</b>	0.99201	0.99532	0.99199	0.99529	0.00799
<b>68</b>	0.98697	0.99453	0.98693	0.99452	0.01303
<b>69</b>	0.98462	0.99364	0.98460	0.99360	0.01538
<b>70</b>	0.98540	0.99116	0.98539	0.99113	0.01460
<b>71</b>	0.97577	0.99043	0.97576	0.99040	0.02423
<b>72</b>	0.97217	0.98998	0.97215	0.98997	0.02783
<b>73</b>	0.96216	0.98583	0.96215	0.98580	0.03784
<b>74</b>	0.96118	0.98546	0.96117	0.98543	0.03882
<b>75</b>	0.96027	0.98489	0.96026	0.98488	0.03973
<b>76</b>	0.95957	0.98399	0.95954	0.98397	0.04043
<b>77</b>	0.95907	0.98317	0.95903	0.98315	0.04093
<b>78</b>	0.95871	0.98305	0.95868	0.98302	0.04129
<b>79</b>	0.95792	0.98303	0.95791	0.98302	0.04208
<b>80</b>	0.95787	0.98258	0.95784	0.98254	0.04213
<b>81</b>	0.98452	0.99545	0.98448	0.99541	0.01548

<b>82</b>	0.98232	0.99453	0.98230	0.99452	0.01768
<b>83</b>	0.98092	0.99440	0.98088	0.99438	0.01908
<b>84</b>	0.97986	0.99207	0.97984	0.99203	0.02014
<b>85</b>	0.97936	0.99152	0.97935	0.99151	0.02064
<b>86</b>	0.97907	0.99083	0.97904	0.99080	0.02093
<b>87</b>	0.97897	0.99015	0.97893	0.99015	0.02103
<b>88</b>	0.97891	0.98928	0.97889	0.98927	0.02109
<b>89</b>	0.98180	0.99203	0.98178	0.99200	0.01820
<b>90</b>	0.98171	0.99113	0.98167	0.99109	0.01829
<b>91</b>	0.98167	0.99002	0.98163	0.99000	0.01833
<b>93</b>	0.98171	0.99364	0.98170	0.99361	0.01829
<b>94</b>	0.97960	0.99309	0.97957	0.99307	0.02040
<b>95</b>	0.97754	0.99304	0.97752	0.99303	0.02246
<b>96</b>	0.97713	0.99207	0.97711	0.99207	0.02287
<b>97</b>	0.97690	0.99193	0.97689	0.99190	0.02310
<b>98</b>	0.97680	0.99056	0.97679	0.99056	0.02320
<b>99</b>	0.97670	0.98986	0.97666	0.98985	0.02330
<b>100</b>	0.97616	0.12448	0.97613	0.99390	0.02384
<b>101</b>	0.97538	0.99287	0.97536	0.99283	0.02462
<b>102</b>	0.97530	0.99113	0.97528	0.99112	0.02470
<b>103</b>	0.97525	0.99156	0.97522	0.99153	0.02475
<b>105</b>	0.99823	0.99823	0.99820	0.99821	0.00177
<b>106</b>	0.99195	0.99594	0.99192	0.99592	0.00805
<b>107</b>	0.98846	0.99451	0.98843	0.99450	0.01154
<b>108</b>	0.98363	0.99292	0.98360	0.99289	0.01637
<b>109</b>	0.97595	0.99106	0.97594	0.99103	0.02405
<b>110</b>	0.97327	0.98911	0.97326	0.98910	0.02673
<b>111</b>	0.96826	0.98854	0.96824	0.98852	0.03174

<b>112</b>	0.96588	0.98702	0.96584	0.98698	0.03412
<b>113</b>	0.96111	0.98587	0.96107	0.98585	0.03889
<b>114</b>	0.95927	0.98490	0.95925	0.98487	0.04073
<b>115</b>	0.99951	0.98470	0.99947	0.98467	0.00049
<b>116</b>	0.99818	0.98356	0.99815	0.98355	0.00182
<b>117</b>	0.99910	0.98304	0.99908	0.98303	0.00090
<b>118</b>	0.99903	0.98288	0.99901	0.98284	0.00097
<b>119</b>	0.99662	0.99663	0.99660	0.99662	0.00338
<b>120</b>	0.99629	0.99630	0.99626	0.99628	0.00371
<b>121</b>	0.99579	0.99621	0.99576	0.99620	0.00421
<b>122</b>	0.99557	0.99593	0.99553	0.99592	0.00443
<b>123</b>	0.99549	0.99555	0.99431	0.99554	0.00451

## 12. CONCLUSIONES

- ✓ En el estado de arte se identificó que los diferentes autores utilizan métodos heurísticos como: el método de recocido simulado el cual ofrece una manera más simultánea de resolver problemas de inyección de reactivos y filtrado de componentes armónicas al sistema de distribución, otros utilizan el método de enjambre de partículas el cual ofrece una posición del condensador más óptima dentro del sistema de distribución debido a la velocidad de las partículas, otros utilizan el método de colonia de hormigas el cual contribuye de manera más eficiente a la reducción de pérdidas en el sistema de distribución ya que utiliza mecanismos de exploración para ser guiados por el concepto de dominancia y otros utilizan el método de búsqueda tabú los cuales son muy utilizados debido a que localizan y ubican los condensadores en los sistemas de distribución a menor costo reduciendo las pérdidas del mismo.
- ✓ Se desarrolló un algoritmo genético para ubicación óptima de condensadores en redes eléctricas de distribución mediante una herramienta creada en Matlab, en donde el algoritmo genético genera una población aleatoria mediante un código binario con determinadas variables, las cuales se encuentran sujetas a restricciones, para después evaluar a dicha población identificando a los

individuos que tienen más posibilidades de sobrevivir cumpliendo las restricciones y se encuentren dentro del espacio factible de optimización, en donde nuestro algoritmo se detiene cuando encuentra el menor costo y menos pérdidas.

- ✓ En el análisis de la barra 20 del sistema de 31 barras obtenido de la IEEE aplicando el algoritmo genético sin ninguna compensación se obtuvo un voltaje de 0.97869 con pérdidas de 0.02121. Ahora cuando ingresamos condensadores se obtuvo un voltaje de 0.98508 con pérdidas de 0.01492, que al compararlo con el software DIGSILENT los resultados obtenidos fueron un voltaje sin compensación de 0.97866 con pérdidas de 0.02019 y cuando ingresamos condensadores se obtuvo un voltaje de 0.98507 con pérdidas de 0.01413 los cuales son bastante similares a los del programa con un error de 0.00003 en el voltaje sin compensación y de 0.00001 en el voltaje con compensación.

### 13. RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda el uso de los métodos heurísticos, que en nuestro caso utilizamos AG's, en donde estos métodos sobresalen más que los matemáticos, en lo que se refiere a la planificación de compensación de carga a futuro.
- ✓ Para la localización óptima de condensadores también se recomienda utilizar el método heurístico colonia de hormigas ya que, este se encuentra compuesto por algoritmos utilizados para obtener soluciones a problemas más complejos es decir con varias variables, contribuyendo a la optimización de estas variables en una cantidad razonable de tiempo de cómputo.
- ✓ Al realizar el estudio del Sistema de Distribución, que, con su topología radial y sus características, los problemas que existen actualmente de pérdidas de energía son grandes, por lo que se recomienda la implementación del proyecto debido a que tanto el estudio técnico como económico resultan viables, brindando resultados favorables a la empresa y a los usuarios.
- ✓ Para la utilización del programa se recomienda ingresar los datos para una carga alta, baja y media, así como ingresar correctamente los valores de las impedancias correspondientes a la línea que une una barra con respecto a otra, datos de carga y datos de condensadores.
- ✓ El programa calcula un módulo de voltaje óptimo, el cual está constituido por un módulo y ángulo de voltaje, por lo que se recomienda comparar resultados con programas diseñados para cálculo de flujos de potencia.

- ✓ En la manipulación del software DIGSILENT se recomienda utilizar formatos A1 debido a que, al momento de implementar el sistema de distribución son los más óptimos para la ubicación de condensadores por el espacio que ofrecen.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] 1036-1992, I. S. (1992). Guide For Application of shunt Power Capacitors. *IEEE*.
- [ 2 ]Alves, H. n., Alencar deDouza, B., & Alves Ferreira , H. (2005). Banco de Condensadores Automaticos en sistemas de ditribución eléctrica: un algoritmo hibrido de conrol. *Scielo*.
- [3] Baran, M., & Wu, F. (1989). Tamaño optimo de los capacitores colocados en un sistema de distribucion radial. *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. , no 1, pags.735-743.
- [4] Borges Vasconcellos, D. E., & Concepción Céspedes, Y. (2017). Compensación de Potencia Reactiva en Sistemas de Distribucion primaria de eneria aplicando algoritmos genéticos. *Ingeniería Energética*, 25-34.
- [5] Chiang , H., Wang , J., Cockings, O., & Shin, H. (1990). Colocaciones optimas de condensadores en sistemas de distribucion . *IEEE*, 643-649.
- [6] Galarza Espin , M. V. (2005). *Localización óptima de capacitores en redes primarias de distribución via algoritmos genéticos*. Quito: Escuela Politecnica nacional del Ecuador.
- [7] Gallego Rendón , R. A., Escobar Zuluaga, A. H., & Rodas Rendón , D. (2004). Algoritmo genético especializado para la localización optima de capacitores en sistemas de distribución deenergia eléctrica. *Scientia Et Techbuca*, 71-76.
- [8] Hernández , M. (2008). *Aplicacion de algoritmos genéticos para la localización optima de capacitores en redes primarias* . Caracas: Universidad de los Andes Mérida.
- [9] Hernandez, M. (2008). *Aplicación de algoritmos gen´rticos para la localizacion óptima de capacitores en redes primarias de distribución*. Universidad de Iso Andes Mérida, Venezuela.
- [10] Jong, D. (Septiembre). *Analysis of the behaviour of a class of genetic adaptive systems*. Micjjigan: Doctoral Dissertation, University of Michigan.

- [11] [Juarez Cervantes, J. D. (1995). *Sistemas de distribución de energía eléctrica*. MÉXICO: UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA.
- [12] Juárez Cervantes, J. D. (1995). *Sistemas de distribución de energía eléctrica*. México: Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco.
- [13] Juárez Cervantes, J. D. (1995). *Sistemas de distribución de energía eléctrica*. México: Azcapotzalco.
- [14] Ladjavardi , M., & Masoum, M. A. (2008). Genetically Optimized Fuzzy Placement and Sizing of Capacitor Banks in Distorted distribution Networks. *IEEE transactions on Power Delivery*, Vol 23 1, pp. 449-456.
- [15] MOnroya Giraldo, O. D., Ramirez Venegas, C. A., & Grsales , N. (2017). Localizacion y Dimensionamiento óptimo de generadores Distribuidos y Bancos de condensadores en Sistemas de Distribución. *Fundación Dialnet*, 308-314.
- [16] Ponnaivaikko , M., & Prakasa Rao, K. (n.d.). Optimal Choice of fixed and Switched Shunt Capacitor on Radial Distributors by the Method of local Variations. *IEEE transactions on Power Apparatus and Systems*.
- [17] Ramirez Castaño, S. (2004). *REDES DE DISTRIBUCION DE ENERGIA* . Manizales: Universidad Nacional De Colombia .
- [18] Reconfiguración de alimentadores y colocación de condensadores en sistemas de distribución: un enfoque para la solución simultánea mediante un algoritmo genético. (2010). *REVISTA CHILENA DE INGENIERIA*.
- [19] Rodriguez, M. (2003). *Principios de Electricidad y Electronica tomo III*. Marcombo.
- [20] Turan, G. (1986). *Electric Power Distribution System Engineering*. California: McGraw-Hill.
- [20] Vicini, R., & Micheloud, O. (2012). *Smart Grid Fundamentos, tecnologías y aplicaciones*. CENGAGE Learning .
- [21] Viracocha Chicaiza, M. L. (2018). *Óptimo Dimensionamiento y ubicación de Bancos de capacitores en Redes de distribución usando Algoritmos de Colonias de Hormigas*. QUITO: Universidad Politécnica Salesiana.

## ANEXOS

### Sistemas de Prueba

La Tabla A muestra los datos del sistema de prueba de 31 nodos, donde las demandas están asociadas al nodo de recibo.

#### A. Sistema IEEE de 31 nodos

**Tabla A:** Datos del sistema de 31 nodos de la IEEE

Barra i	Barra j	R(ohm/km)	X(ohm/km)	P(KW)	Q(KVAR)
1	2	0.196	0.655	522	174
2	3	0.279	0.015	522	174
2	29	0.279	0.015	936	312
3	4	0.444	0.439	936	312
4	5	0.864	0.751	936	312
4	23	0.444	0.439	666	222
5	6	0.864	0.751	666	222
6	7	0.13740	0.774	666	222
7	8	0.13740	0.774	189	63
7	19	0.864	0.751	336	112
7	22	0.864	0.751	336	112
8	9	0.13740	0.774	657	219
9	10	0.1374	0.774	783	261
9	16	0.864	0.751	729	243
10	11	0.1374	0.751	477	159
11	12	0.1374	0.774	549	183
12	13	0.1374	0.774	477	159

13	14	0.1374	0.774	432	144
14	15	0.1374	0.774	732	244
16	17	0.1374	0.774	495	165
17	18	0.1374	0.774	207	69
19	20	0.864	0.751	522	174
20	21	0.1374	0.774	1917	639
23	24	0.444	0.439	1116	372
24	25	0.864	0.751	1116	372
25	26	0.864	0.751	549	183
26	27	0.864	0.751	792	264
27	28	0.1374	0.774	882	294
29	30	0.1374	0.774	882	294
30	31	0.1374	0.774	882	294

La Tabla B muestra los datos del sistema de prueba de 52 nodos, donde las demandas están asociadas al nodo de recibo.

### B. Sistema IEEE de 52 nodos

**Tabla B.** Datos del sistema de 52 nodos de la IEEE

Barra i	Barra j	R(ohm/km)	X(ohm/km)	P(KW)	Q(KVAR)
0	1	3.7643	1.4209	49	50
1	2	0.153	0.5228	73	75
2	3	0.2368	0.5318	49	50
3	4	0.2368	0.5318	73	75
4	5	0.2368	0.5318	49	50
5	6	0.2368	0.5318	73	75
6	7	0.2368	0.5318	49	50

7	8	0.2368	0.5318	73	75
8	9	0.3753	0.6390	49	50
9	10	0.3753	0.6390	73	75
10	11	0.3753	0.6390	49	50
11	12	1.1929	0.7060	73	75
12	13	1.8991	0.7104	49	50
13	14	1.8991	0.7104	73	75
14	15	1.8991	0.7104	49	50
15	16	1.8991	0.7104	73	75
1	17	1.8991	0.7104	73	75
1	18	1.8991	0.7104	73	75
2	19	1.8991	0.7104	49	50
2	20	1.8991	0.7104	49	50
3	21	1.8991	0.7104	73	75
3	22	1.8991	0.7104	73	75
4	23	1.8991	0.7104	49	50
4	24	1.8991	0.7104	49	50
5	25	1.8991	0.7104	73	75
5	26	1.8991	0.7104	73	75
6	27	1.8991	0.7104	49	50
6	28	1.8991	0.7104	49	50
7	29	1.8991	0.7104	73	75
7	30	1.8991	0.7104	73	75
8	31	0.3753	0.6390	49	50
31	32	0.5988	0.6926	73	75
32	33	1.1929	0.7060	49	50
33	34	1.8991	0.7104	73	75
31	35	1.8991	0.7104	73	75
32	36	1.8991	0.7104	49	50

32	37	1.8991	0.7104	49	50
33	38	1.8991	0.7104	73	75
33	39	1.8991	0.7104	73	75
34	40	1.8991	0.7104	49	50
34	41	1.8991	0.7104	49	50
8	42	1.8991	0.7104	49	50
9	43	1.8991	0.7104	73	75
10	44	1.8991	0.7104	49	50
10	45	1.8991	0.7104	49	50
45	46	1.8991	0.7104	73	75
46	47	1.8991	0.7104	49	50
11	48	1.8991	0.7104	73	75
11	49	1.8991	0.7104	73	75
49	50	1.8991	0.7104	49	50
50	51	1.8991	0.7104	73	75
12	52	1.8991	0.7104	49	50

La Tabla C muestra los datos del sistema de prueba de 123 nodos, donde las demandas están asociadas al nodo de recibo.

### C. Sistema IEEE de 123 nodos

**Tabla C:** Datos del sistema de 123 nodos de la IEEE

Barra i	Barra j	R(ohm/km)	X(ohm/km)	P(KW)	Q(KVAR)
1	2	0.036	0.013	133.840	101.140
2	3	0.033	0.012	16.214	11.292
2	4	0.045	0.016	34.315	21.845
4	5	0.015	0.054	73.016	63.602
5	6	0.015	0.054	144.200	68.604

6	7	0.015	0.013	104.470	61.725
7	8	0.018	0.014	28.547	11.503
8	9	0.021	0.063	87.560	51.073
2	10	0.166	0.134	198.200	106.770
10	11	0.112	0.079	146.800	75.995
11	12	0.187	0.313	26.040	18.687
12	13	0.142	0.151	52.100	23.220
13	14	0.180	0.118	141.900	117.500
14	15	0.150	0.045	21.870	28.790
15	16	0.160	0.180	33.370	26.450
16	17	0.157	0.171	32.430	25.230
11	18	0.218	0.285	20.234	11.906
18	19	0.118	0.185	156.940	78.523
19	20	0.160	0.196	546.290	351.400
20	21	0.120	0.189	180.310	164.200
21	22	0.120	0.079	93.167	54.594
22	23	1.410	0.723	85.180	39.650
23	24	0.293	0.135	168.100	95.178
24	25	0.133	0.104	125.110	150.220
25	26	0.178	0.134	16.030	24.620
26	27	0.178	0.134	26.030	24.620
4	29	0.015	0.030	594.560	522.620
29	30	0.012	0.028	120.620	59.117
30	31	0.120	0.277	102.380	99.554
31	32	0.210	0.243	513.400	318.500
32	33	0.120	0.054	475.250	456.140
33	34	0.178	0.234	151.430	136.790
34	35	0.178	0.234	205.380	83.302
35	36	0.154	0.162	131.600	93.082

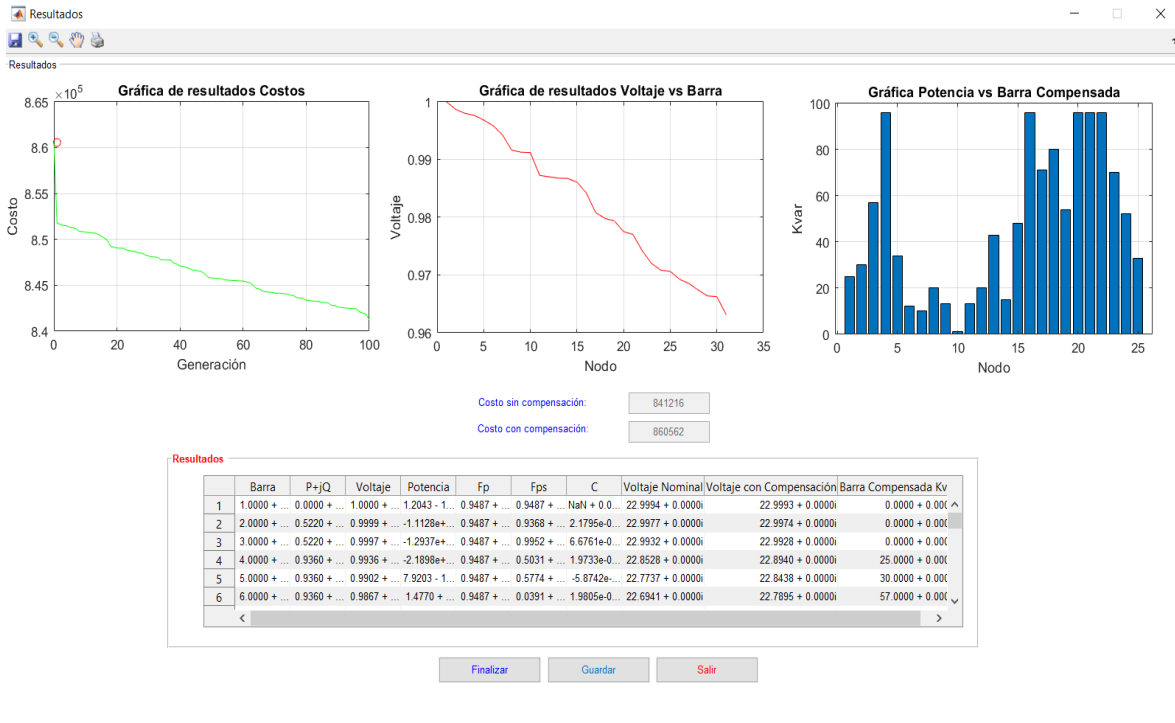
31	37	0.187	0.261	448.400	369.790
37	38	0.133	0.099	440.520	321.640
30	40	0.330	0.194	112.540	55.134
40	41	0.310	0.194	53.963	38.998
41	42	0.130	0.194	393.050	342.600
42	43	0.280	0.150	326.740	278.560
43	44	1.180	0.850	536.260	240.240
44	45	0.420	0.244	76.247	66.562
45	46	0.270	0.097	53.520	39.760
46	47	0.339	0.122	40.328	31.964
47	48	0.270	0.178	39.653	20.758
36	49	0.210	0.138	66.195	42.361
49	50	0.120	0.079	73.904	51.653
50	51	0.150	0.099	114.770	57.965
51	52	0.150	0.099	918.370	1205.100
52	53	0.240	0.158	210.300	146.660
53	54	0.120	0.079	66.680	56.608
54	55	0.405	0.146	42.207	40.184
54	56	0.405	0.146	433.740	283.410
30	58	0.391	0.141	62.100	26.860
58	59	0.406	0.146	92.460	88.380
59	60	0.406	0.146	85.188	55.436
60	61	0.706	0.546	345.300	332.400
61	62	0.338	0.122	22.500	16.830
62	63	0.338	0.122	80.551	49.156
63	64	0.207	0.075	95.860	90.758
64	65	0.247	0.892	62.920	47.700
1	66	0.028	0.042	478.800	463.740
66	67	0.117	0.202	120.940	52.006

67	68	0.255	0.092	139.110	100.340
68	69	0.210	0.076	391.780	193.500
69	70	0.383	0.138	27.741	26.713
70	71	0.504	0.330	52.814	25.257
71	72	0.406	0.146	66.890	38.713
72	73	0.962	0.761	467.500	395.140
73	74	0.165	0.060	594.850	239.740
74	75	0.303	0.109	132.500	84.363
75	76	0.303	0.109	52.699	22.482
76	77	0.206	0.144	86.979	61.478
77	78	0.233	0.084	31.349	29.817
78	79	0.591	0.177	192.390	122.430
79	80	0.126	0.045	65.750	45.370
67	81	0.559	0.369	238.150	223.220
81	82	0.186	0.123	294.550	162.470
82	83	0.186	0.123	485.570	437.920
83	84	0.260	0.139	243.530	183.030
84	85	0.154	0.148	243.530	183.030
85	86	0.230	0.128	134.250	119.290
86	87	0.252	0.106	22.710	27.960
87	88	0.180	0.148	49.513	26.515
82	89	0.160	0.182	383.780	257.160
89	90	0.200	0.230	49.640	20.600
90	91	0.160	0.393	22.473	11.806
68	93	0.669	0.241	62.930	42.960
93	94	0.266	0.123	30.670	34.930
94	95	0.266	0.123	62.530	66.790
95	96	0.266	0.123	114.570	81.748
96	97	0.266	0.123	81.292	66.526

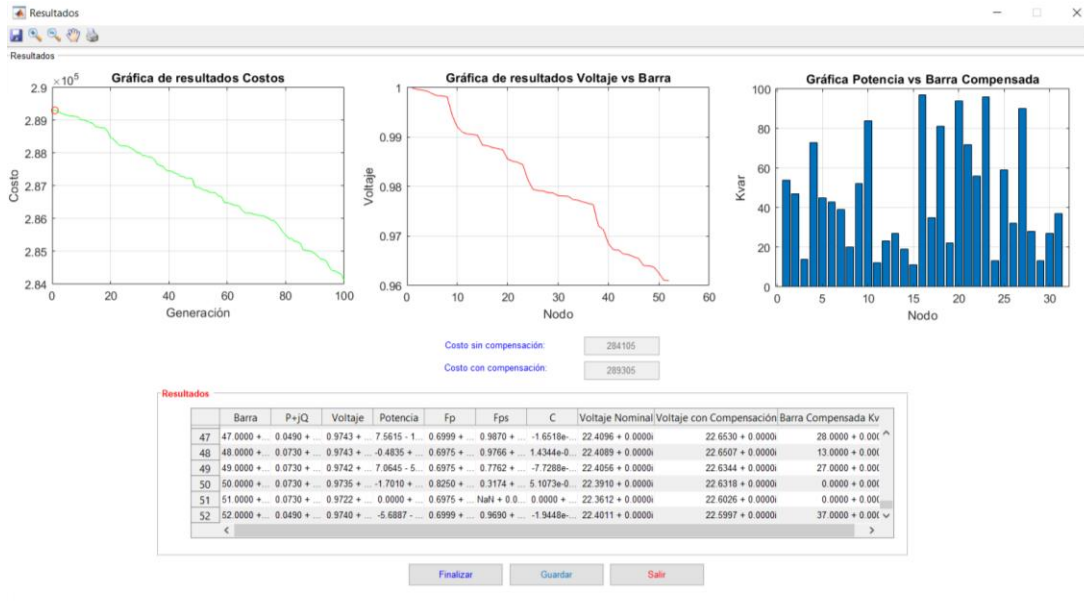
97	98	0.233	0.115	31.733	15.960
98	99	0.496	0.138	33.320	60.480
95	100	0.196	0.180	531.280	224.850
100	101	0.196	0.180	507.030	367.420
101	102	0.187	0.122	26.390	11.700
102	103	0.075	0.318	45.990	30.392
1	105	0.063	0.027	100.660	47.572
105	106	0.150	0.234	456.480	350.300
106	107	0.135	0.089	522.560	449.290
107	108	0.231	0.120	408.430	168.460
108	109	0.447	0.161	141.480	134.250
109	110	0.163	0.059	104.430	66.024
110	111	0.330	0.099	96.793	83.647
111	112	0.156	0.056	493.920	419.340
112	113	0.382	0.137	225.380	135.880
113	114	0.163	0.059	509.210	387.210
114	115	0.382	0.137	188.500	173.460
115	116	0.245	0.088	918.030	898.550
115	117	0.209	0.075	305.080	215.370
117	118	0.230	0.083	54.380	40.970
105	119	0.610	0.220	211.140	192.900
119	120	0.187	0.127	67.009	53.336
120	121	0.373	0.246	162.070	90.321
121	122	0.405	0.367	48.785	29.156
122	123	0.489	0.438	33.900	18.980
8	18	1.000	0.700	0.000	0.000
34	40	0.750	0.500	0.000	0.000
108	121	1.000	1.000	0.000	0.000

## Resultados de Propuesta en Sistema a Prueba.

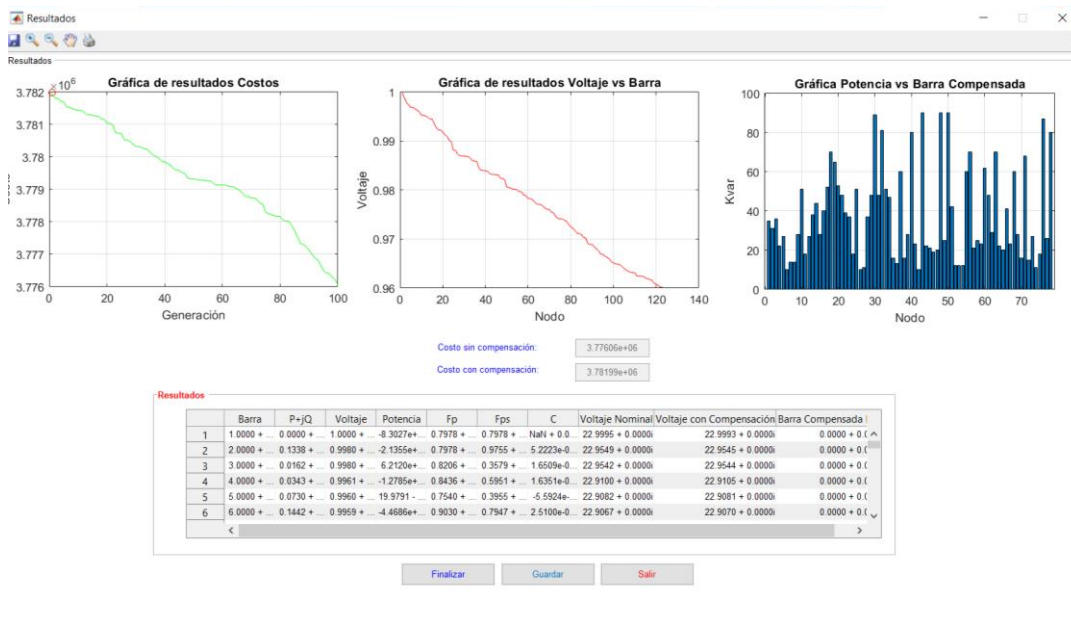
## Anexo D. Sistema de 31 nodos de la IEEE



Anexo E: Sistema de la IEEE de 52 nodos



Anexo F: Sistema del IEEE de 123 nodos.



**Anexo G:** Sistema 4 Nodos (Barras Compensadas).

<b>Barra Compensada</b>	<b>Potencia (KVAR)</b>
2	84
3	78

**Anexo H:** Sistema 31 Nodos (Barras Compensadas).

<b>Barra Compensada</b>	<b>Potencia (KVAR)</b>
4	25
5	30
6	57
7	96
8	34
9	12
10	10
11	20
12	13
13	11
14	13
15	20
16	43
17	15
18	48
19	96
20	71
21	80
22	54
23	96
24	96

25	96
26	70
27	52
28	33

**Anexo I:** Sistema 52 Nodos (Barras Compensadas).

<b>Barra Compensada</b>	<b>Potencia (KVAR)</b>
4	54
5	47
6	14
7	73
8	45
9	43
10	39
11	20
12	52
14	84
15	12
22	23
23	17
25	27
26	19
27	11
29	97
31	35
32	81
33	22
34	94

35	72
36	56
37	96
41	13
42	59
43	32
46	90
47	28
48	13
49	27
52	37

**Anexo J: Sistema 123 Nodos (Barras Compensadas).**

<b>Barra Compensada</b>	<b>Potencia (KVAR)</b>
12	35
14	31
15	36
16	22
17	27
19	10
22	14
23	14
24	28
25	51
27	18
29	27
31	38
33	44

35	28
36	40
37	52
38	70
40	65
41	53
42	48
43	39
44	37
45	18
47	51
48	10
49	11
50	37
51	48
53	89
54	48
55	81
56	51
58	47
59	16
60	13
62	60
63	16
64	28
69	80
70	23
71	10
74	90

75	22
76	21
77	19
78	20
79	90
80	25
81	90
82	42
83	12
84	12
85	12
86	60
87	70
89	21
90	25
93	23
94	62
95	48
96	29
98	70
100	22
102	20
103	41
108	23
109	60
110	28
111	16
112	68
113	15

114	27
115	11
116	18
117	87
119	26
122	80