

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE CUENCA**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A  
LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO ELÉCTRICO

PROYECTO TÉCNICO CON ENFOQUE GENERAL:

**“RECONFIGURACIÓN DE LA TOPOLOGÍA DE UN ALIMENTADOR  
PARA LA MINIMIZACIÓN DE COSTOS POR PÉRDIDAS  
EMPLEANDO EL ALGORITMO COLONIA DE HORMIGAS”**

Autor:

Javier Eduardo Romero Alvarracín

Tutor:

Ing. Pablo Daniel Robles Lovato MsC.

Cuenca - Ecuador

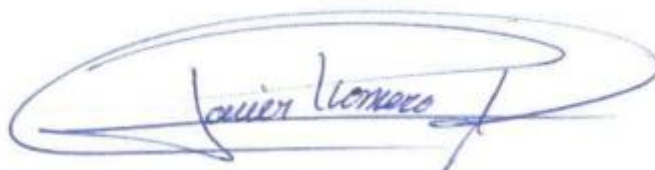
2018

## CESIÓN DE DERECHOS DEL AUTOR

Yo, Javier Eduardo Romero Alvarracín con documento de identidad N° 0105275291 manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud que soy autor del trabajo de titulación: “RECONFIGURACIÓN DE LA TOPOLOGÍA DE UN ALIMENTADOR PARA LA MINIMIZACIÓN DE COSTOS POR PÉRDIDAS EMPLEANDO EL ALGORITMO COLONIA DE HORMIGAS”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniero Eléctrico*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, octubre de 2018



Javier Eduardo Romero Alvarracín

C.I: 0105275291

# CERTIFICACIÓN

Yo, Ing. Pablo Robles Lovato MsC. declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “RECONFIGURACIÓN DE LA TOPOLOGÍA DE UN ALIMENTADOR PARA LA MINIMIZACIÓN DE COSTOS POR PÉRDIDAS EMPLEANDO EL ALGORITMO COLONIA DE HORMIGAS”, realizado por Javier Eduardo Romero Alvarracín, obteniendo el *Proyecto Técnico con Enfoque General*, que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, octubre de 2018



Ing. Pablo Robles Lovato MsC.

C.I.: 0101663342

## DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Yo, Javier Eduardo Romero Alvarracín con el documento de Identidad 0105275291 autor del trabajo de titulación: “RECONFIGURACIÓN DE LA TOPOLOGÍA DE UN ALIMENTADOR PARA LA MINIMIZACIÓN DE COSTOS POR PÉRDIDAS EMPLEANDO EL ALGORITMO COLONIA DE HORMIGAS”, certifico que el total contenido del *Proyecto Técnico con Enfoque General*, es de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, octubre de 2018



Javier Eduardo Romero Alvarracín

C.I: 0105275291

## **AGRADECIMIENTOS**

*A Dios por permitirme llegar a este punto de mi vida brindándome la fuerza y salud para poder culminar con mi objetivo del trabajo de titulación.*

*Agradezco a mis padres Kleber y Graciela por el apoyo y la confianza para poder encaminarme en cada etapa de mi vida. Sobre todo, por ser un ejemplo a seguir.*

*A mis hermanos David y Aida por apoyarme cuando creí no llegar más allá en los momentos duros de mi vida.*

*A mi cuñada Carla y mis sobrinos Sebas, Andrés y Hayet por ser parte de mi vida y representar la unidad familiar.*

*A mis amigos por confiar y creer en mí, en el transcurso de mi etapa universitaria lleno de vivencias.*

*A mi director de trabajo de titulación, quien con sus conocimientos y experiencia supo orientarme para la culminación de este proyecto*

**Javier Romero**

## **DEDICATORIA**

*Primeramente, a Dios, por ser la inspiración espiritual para la culminación de esta tesis, a mis padres que con sus consejos y apoyo en el transcurso de mi vida, a mis hermanos por todo su apoyo durante toda mi formación universitaria para culminar con éxito mi carrera, quienes son mi motivo y razón de superación como persona y profesional.*

*Gracias a todas mis amigos y maestros que me han apoyado incondicionalmente y han sido un pilar fundamental para llegar a este punto de mi vida.*

***Javier Romero***

## **RESUMEN**

En el presente trabajo de titulación se desarrolla la propuesta de un programa basado en el algoritmo de colonia de hormigas, en el que busca reconfigurar la topología de un alimentador, minimizando el costo por pérdidas. Se justifica la elaboración del algoritmo de optimización ACO, al ser una alternativa para el estudio de una nueva topología de red o al momento de realizar reformas en topologías implementadas. Al implementar este algoritmo se obtendrá una topología óptima evitando las pérdidas de energía eléctrica, debido a distancia de tramos de la red. Analizando con el algoritmo ACO de una topología implementada se puede realizar cambios para minimizar dichas pérdidas.

La metodología usada para determinar la reconfiguración de la topología de un alimentador está dada por un algoritmo metaheurístico, basado en el comportamiento de la sociedad de las hormigas, por medio del cual se analiza la información obtenida enrutando de una mejor manera el tramo troncal del alimentador.

Los resultados permitieron evaluar 201 nodos, analizando la posibilidad de reconfiguración de la topología para minimización de pérdidas. Los algoritmos de colonia de hormigas fueron desarrollados en Excel y visual Basic del mismo Excel respectivamente.

Palabras Clave: ACO, SEP, Optimización

## **ABSTRACT**

In the present degree, develops a program based of colony of ants. The programmer seeks for reconfigure the topology of feeder minimizing cost for loss of energy transport. The development of the ACO optimization algorithm is justified because is an alternative for the study of a new network topology or reform in implemented topology. This algorithm obtain optimized topology avoid cost for loss of energy transport or make change of implemented topology.

The methodology reconfigure the topology of feeder is given by a metaheuristic algorithm, based of the society of the ants, analyzed the better route of the feeder.

The 201 nodes were evaluated to configure the topology of the feeder, minimizing cost for loss of energy transport. The ant colony algorithm was developed in excel and visual basic excel.

Keywords: ACO, SEP, Optimization



# ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS .....	IV
DEDICATORIA.....	V
RESUMEN .....	VI
ABSTRACT .....	VII
ÍNDICE GENERAL .....	VIII
GLOSARIO DE TÉRMINOS .....	X
LISTA DE FIGURAS .....	XI
LISTA DE TABLAS .....	XIII
INTRODUCCIÓN.....	1
<b>1. CAPÍTULO 1: PROBLEMÁTICA Y GENERALIDADES.....</b>	<b>2</b>
1.1. Problema de estudio.....	2
1.2. Justificación .....	2
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 Objetivos Específicos .....	3
1.4 Modelos del algoritmo de optimización .....	3
<b>2. CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....</b>	<b>5</b>
2.1 Algoritmo de Colonia de Hormigas.....	5
2.2 Conceptos generales .....	5
2.2.1 Origen de los métodos metaheurísticos .....	5
2.2.2 Algoritmo de colonia de hormigas (ACO) .....	7
2.2.3 Búsqueda del camino hacia el alimento .....	8
2.3 Algoritmo de ACO implementado en redes de distribución .....	9
2.3.1 Implementación en la red de distribución eléctrica. ....	10
<b>3. CAPÍTULO 3. INFORMACIÓN DE LOS ALIMENTADORES DE LA CENTROSUR.....</b>	<b>12</b>
3.1 Área de concesión de la CENTROSUR .....	12
3.2 Sistema de distribución primario de la Centrosur .....	13
3.3 Codificación de los alimentadores de la CENTROSUR .....	14
3.3 Área de cobertura de los alimentadores.....	17
<b>4. CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA DE OPTIMIZACIÓN .....</b>	<b>20</b>
4.1 Configuración geométrica .....	20

4.2	Matriz de secuencia y matriz de impedancias .....	21
4.3	Calculo de caidas voltaje y perdidas de transporte de energia correspondiente a cada tipo de configuración.....	24
4.4	Modelo matemático para determinar las pérdidas técnicas por transporte de energía .....	25
<b>5.</b>	<b>CAPÍTULO 5: METODOLOGÍA USADA PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ALIMENTADOR .....</b>	<b>27</b>
5.1	Construcción de los grafos .....	27
5.2	Red de distribución del alimentador 0500040V22 .....	31
5.3	Análisis de la herramienta Computacional .....	31
5.4	Análisis de resultados del programa ACO .....	35
5.5	Funcionamiento del algoritmo .....	38
5.6	Flujos de camino sin aplicar ACO y aplicado ACO.....	40
5.6.1.	Camino sin ACO hasta el nodo 20 .....	40
5.6.2.	Camino con ACO hasta el nodo 20 .....	41
5.6.3.	Camino sin ACO hasta el nodo 174 .....	44
5.6.4.	Camino con ACO hasta el nodo 174 .....	45
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>48</b>
<b>7.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>50</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>53</b>

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

ACO. – Algoritmo Colonia de Hormigas

SEP. – Sistema Eléctrico de Potencia

S/E.- Subestación

W. – Potencia eléctrica expresada en Watts.

$\Delta V$ . – caída de voltaje expresada en porcentaje.

P.- Corresponde al vector de flujo de potencia

I.- Variable que corresponde al no del elemento de la matriz de incidencia

D.- Demanda de potencia de cada nodo

CENTROSUR.- Empresa Eléctrica Regional CENTROSUR

M.T. – Media tensión

RBC.- Razón Beneficio Costo

RMV – Red de Medio Voltaje

Z.- Función Objetivo

Ce.- Costo de energía (kw-h)

T – Horas de cada periodo de estudio (8760 horas/año)

$S_{ij}$  – Potencia de la carga  $j$  alimentada por el transformador  $i$

$Z_0$  Impedancia de secuencia cero

$Z_1$  Impedancia de secuencia positiva

$Z_2$  Impedancia de secuencia negativa

$Z_n$  Inductancia propia

$Z_{ik}$  Inductancia mutua

$Z_f$  Inductancia de falla

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Comportamiento de la colonia de hormigas	6
Figura 2. Comportamiento de las hormigas reales	8
Figura 3. Flujo grama en redes de distribución	9
Figura 4. Comportamiento de nodos en distribución [4]	10
Figura 5. Camino óptimo de ACO [16]	10
Figura 6. Concesión de la empresa eléctrica CENTROSUR.	13
Figura 7 Área que comprende las subestaciones.	14
Figura 8. Codificación para alimentadores	15
Figura 9. Listado de subestación y niveles de tensión [20]	16
Figura 10. Listado de ubicación y tipo de alimentadores primarios [20]	16
Figura 11. Mapa del área de cobertura del alimentador 0202 [21]	17
Figura 12. Mapa del área de cobertura del alimentador 0321 [21]	18
Figura 13. Mapa del área de cobertura del alimentador 0526 [21]	18
Figura 14. Mapa del área de cobertura del alimentador 0421 [21]	19
Figura 15. Mapa del área de cobertura del alimentador 5011-La Troncal [21]	19
Figura 16. Separación de fases en líneas aéreas.	20
Figura 17. Conductores e imágenes en la tierra, fórmula de Carson.	22
Figura 18. Proceso de crear el grafo.	27
Figura 19. Alimentador 050040V22 en ARGIS.	29
Figura 20. Grafo del alimentador 050040V22	30
Figura 21. Login del programa	32
Figura 22. Registro de fecha y hora de cada logeo	32
Figura 23. Pestaña principal del programa	33
Figura 24. Botón que muestra la hoja de cálculos	33
Figura 25. Cambia de usuario según preferencias	33
Figura 26. Opción para administrar Hojas (Solo Administrador).	34
Figura 27. Administra Hojas, Agrega y Elimina Usuarios.	34
Figura 28. Agrega Usuarios.	34
Figura 29. Elimina Usuarios.	35
Figura 30. Cambia el punto final para ejecutar el programa.	35
Figura 31. Grafo del alimentador 050040V22 con la unión para que sea mallado	37
Figura 32. Parte de la programación en Visual Basic de Excel	39
Figura 33. Camino troncal sin ACO	40
Figura 34. Camino troncal con ACO	41
Figura 35. Camino troncal sin ACO al nodo 174.	44

Figura 36. Camino troncal con ACO hasta el nodo 174	45
Figura 37. Imagen completa alimentador 0500040V22	54
Figura 38. Camino troncal sin ACO hasta el nodo 20	55
Figura 39. Camino troncal sin ACO hasta el nodo 20	55
Figura 40. Camino troncal sin ACO hasta el nodo 174	56
Figura 41. Camino troncal con ACO hasta el nodo 174	57
Figura 42. Modificaciones en los tramos del sistema	58

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Desglose de la concesión por provincias.....	12
Tabla 2 Coberturas de alimentadores [28].....	17
Tabla 3 Posición de los cables en redes aéreas.....	20
Tabla 4 Posición de los cables en redes subterráneas.....	21
Tabla 5 Expresiones para calcular las caídas de voltaje según sus diferentes tipos. ....	24
Tabla 6 Expresiones para calcular las caídas de voltaje según sus diferentes tipos, en voltios y en porcentaje. ....	24
Tabla 7 Expresiones para calcular el parámetro “M” para los tipos de alimentadores y ramales. ....	25
Tabla 8 Valores copiados para ejecutar el programa ACO .....	38
Tabla 9 Matriz del camino troncal sin ACO .....	40
Tabla 10 Sección de la primera iteración de flujos sin ACO hasta el nodo 20 .....	40
Tabla 11 Sección de la vigésima iteración de flujos sin ACO hasta el nodo 20 .....	41
Tabla 12 Matriz del camino troncal con ACO .....	41
Tabla 13 Sección de la primera iteración de flujos con ACO hasta el nodo 20 .....	42
Tabla 14 Sección de la vigésima iteración de flujos con ACO hasta el nodo 20 .....	42
Tabla 15 Datos para RBC del flujo hasta el nodo 20 .....	43
Tabla 16 Análisis de RBC del flujo hasta el nodo 20.....	43
Tabla 17 Sección de la primera iteración sin ACO hasta el nodo 174 .....	44
Tabla 18 Sección de la vigésima iteración sin ACO hasta el nodo 174 .....	45
Tabla 19 Sección de la primera iteración con ACO hasta el nodo 174 .....	46
Tabla 20 Sección de la vigésima iteración con ACO hasta el nodo 174 .....	46
Tabla 21 Datos para RBC del flujo hasta el nodo 174 .....	47
Tabla 22 Análisis de RBC del flujo hasta el nodo 174.....	47
Tabla 23 Primer iteración de flujos sin ACO hasta el nodo 20 .....	59
Tabla 24 Vigésima iteración de flujos sin ACO hasta el nodo 20.....	60
Tabla 25 Primera iteración de flujos con ACO hasta el nodo 20 .....	61
Tabla 26 Vigésima iteración de flujos con ACO hasta el nodo 20.....	62
Tabla 27 Primer iteración de flujos sin ACO hasta el nodo 174 .....	63
Tabla 28 Vigésima iteración de flujos sin ACO hasta el nodo 174.....	64
Tabla 29 Primer iteración de flujos con ACO hasta el nodo 174 .....	65
Tabla 30 Vigésima iteración de flujos con ACO hasta el nodo 174.....	66

# INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación se refiere al tema de minimización de costos por pérdida de transporte de energía aplicado al alimentador 0500040V22 utilizando el algoritmo de colonia de hormigas el cual encuentra el camino más óptimo para tener una mejor topología de la red lo que reducirá costos por pérdidas técnicas, dando un beneficio y un mejor suministro.

El análisis del trabajo se basa en encontrar rutas óptimas, caídas de voltaje, pérdidas técnicas por transporte del suministro eléctrico en el conductor dando con ello una nueva topología en el alimentador propuesto.

Debido a que es un problema de optimización se puede resolver por distintos métodos:

- Templado Simulado (SA, Simulated Annealing)
- Algoritmos Genéticos (GA, Genetic Algorithms)
- Método Dijkstra
- Método Optimización de Colonia de Hormigas (ACO),
- Entre otros.

En este caso se utilizará el Método de Optimización de Colonia de Hormigas que se aplico para varios procesos de optimización como son transporte, horarios de profesores, procesos industriales y sistemas eléctricos.

# 1. CAPÍTULO 1: PROBLEMÁTICA Y GENERALIDADES

## 1.1. Problema de estudio

Al tener diferentes alimentadores que suministran energía a una cierta cantidad de usuarios, se ve necesario la implementación de un procedimiento que permita la optimización de los recursos ya instalados; minimizando pérdidas de transporte de energía, lo cual se logra con una correcta topología de diseño o rediseño.

## 1.2. Justificación

Las pérdidas técnicas por transporte de energía representan un punto importante en un SEP porque debido a estas se toman decisiones en cuanto a capacidad de los elementos a usar en la red e incluso analizar la toma de decisiones en un futuro.

El Algoritmo de Colonia de Hormigas es un procedimiento sencillo que realizan las sociedades de insectos para lograr alcanzar un objetivo, por lo que realiza operaciones repetitivas, las cuales crean caminos por el recorrido de varias hormigas y algunas iteraciones hasta lograr el camino óptimo.

Las pérdidas que se ocasionan por fallas en la red, se realizan reconexiones manuales para poder reabastecer el servicio de energía eléctrica a los usuarios se crea una variante en la topología del alimentador, haciendo un análisis rápido con el algoritmo ACO se puede tener una pequeña noción de la reconexión necesaria para incurrir menores pérdidas en la reconfiguración temporal del alimentador a intervenir.

En el proceso de aislar fallas hay procesos de reconexión que obliga a la necesidad de balancear la carga en diferentes alimentadores, lo que puede incurrir en pérdidas debido a la falencia en el suministro de energía al no tomar una topología adecuada.



### **1.3. Objetivos**

El resultado de la investigación permitirá reconfigurar la topología de un alimentador en medio voltaje para poder minimizar costos por pérdidas técnicas (transporte de energía eléctrica) tomando como propuesta cambios en la topología actual y las distintas restricciones del sistema.

#### **1.3.1 Objetivo General**

Desarrollar un programa mediante un software que facilite la reconfiguración de un sistema de distribución de un alimentador en medio voltaje, con el fin de optimizar las restricciones del sistema eléctrico de potencia.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

1. Facilitar una herramienta computacional al personal de una empresa o profesionales que trabajen en sistemas de distribución, que permita realizar un análisis técnico - económico en la toma de decisiones.
2. Diseñar un programa que automatice cálculos eléctricos de la topología de red, disminución de pérdidas, flujos de potencia; con el fin de optimizar el sistema reconfigurando topológicamente, respetando las restricciones de voltaje y potencia eléctrica del medio.

### **1.4 Modelos del algoritmo de optimización**

En la resolución de problemas en busca de la optimización de procesos hay distintos algoritmos que se especializan en la búsqueda del proceso eficaz al problema por lo que hay distintos métodos metaheurísticos:

- Templado simulado (SA, Simulated annealing)
- Algoritmos genéticos (GA, Genetic Algorithms)
- Greedy randomized adaptive Search Procedure (GRASP)
- Método Dijkstra
- Método optimización de colonia de hormigas (ACO)
- Recolección de información de flujos que existen en el actual sistema.

El método adaptativo del algoritmo de optimización de colonia de hormigas en la reconfiguración de la red para la minimización de las pérdidas se realizará partiendo de las investigaciones.

- **Investigación Descriptiva:** Se tomará las descripciones de la topología ya implementada con sus diversas variables y conexiones evaluando cuál es el camino más probable.
- **Investigación Explicativa:** Se analiza las causas que mejoran el sistema obteniendo la mejor configuración al momento del tendido del cableado en la red de distribución.
- **Investigación Experimental:** Se someterá los nodos ya instalados a una programación metaheurística, que por medio de probabilidades nos permita encontrar la topología y el camino más óptimo con el método ACO.

## 2. CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

### 2.1 Algoritmo de Colonia de Hormigas

El sistemas de colonia de hormigas se emplean para poder encontrar el camino más corto entre el hormiguero hacia una fuente de comida, las hormigas son enviadas de forma aleatoria en busca de una fuente de alimento, una vez encontrada depositan un rastro de feromonas que marca el camino así las hormigas posteriores puedan llegar a la fuente de alimento.[1] [2]

En 1990 se hizo un experimento del comportamiento de esta sociedad de insectos para encontrar el camino más corto desde el nido hacia la fuente de alimento y la utilización de algoritmos de optimización de diversos procesos. [1][2]

### 2.2 Conceptos generales

#### 2.2.1 Origen de los métodos metaheurísticos

El comportamiento inteligente de diversos animales ha puesto en investigación los comportamientos sutiles que tienen, por lo que se analizaron diferentes tipos de sociedades de insectos y su habilidad para resolver problemas, por ejemplo, la optimización del camino para ir desde el nido hacia la fuente de alimento. [3]

Aspectos biológicos:

- *Se conoce que el 2% de los insectos son sociales.*
  - *En este caso las hormigas llegan a un 50%*
  - *Las hormigas con insectos que habitan la Tierra por mucho más tiempo antes de existir los humanos. [3]*
- Propiedades sociales que constan en el método ACO
- *Comunicación directa: Se da por medio de una forma visual entre un individuo a otro.*
  - *Comunicación indirecta: Comunicación a través de otros medios tales como elementos químicos. [3]*

Las hormigas al ser insectos con poca capacidad visual tienen en su cuerpo alrededor de 25 hidrocarburos que secretan diferentes aromas imperceptibles para los humanos.

Las hormigas van desde el nido hacia la fuente de alimento, con el tiempo que toman en el viaje van dejando ciertas sustancias químicas, que por la interacción de varias hormigas que recorren el camino en donde la feromona tiene un rango de evaporación y por donde transitaron persiste la feromona es decir una mayor cantidad de la sustancia química será el camino óptimo para proveer alimento al nido.

En el caso de que se presente algún inconveniente en el camino por efectos naturales, como lo es un obstáculo en el camino trazado, se busca la forma de evadirlo se dividen para recorrer los posibles caminos y por la densidad de feromonas que predominen será el camino que tomen las hormigas. Con el tiempo dejarán el camino más largo y solo transitarán por el camino más corto. [3][4][5]

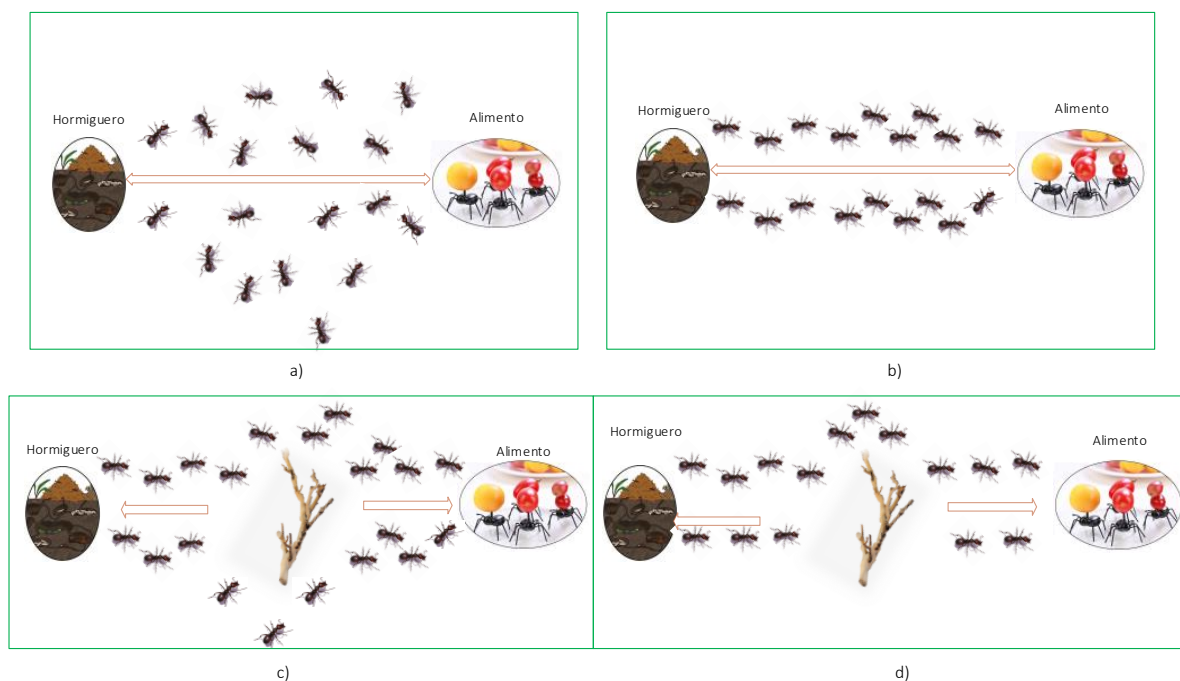


Figura 1. Comportamiento de la colonia de hormigas

El algoritmo de colonia de hormigas se realiza operaciones iterativas donde se busca una solución para cada iteración. Es necesario crear una retroalimentación conforme se realizan las iteraciones se acumulan las feromonas para obtener una solución óptima.[3][6]

En la elección de un pseudocódigo aleatorio en el cual se le asigna una probabilidad a cada componente y es influenciado por las soluciones anteriores, esta es la forma que las hormigas

se comportan en la vida real, donde el rastro de feromonas que se encuentra más denso es el camino óptimo para llevar el alimento al nido.[3][7] [6]

$$p_{ij}^h = \begin{cases} \frac{(T_{ij})^\alpha}{\sum_{l \in N_i^h} [T_{il}]^\alpha} & \text{si } j \in C_i^h \\ 0 & \text{si } j \notin C_i^h \end{cases} \quad (2.1) [8]$$

Donde:

$p_{ij}^h$  es la probabilidad de la hormiga

h escoja el componente j en la decisión i

$T_{ij}$  representa la intensidad del rastro de las feromonas en la opción j de la decisión i

$\alpha$  es un parámetro

$C_i^h$  es el conjunto de componentes que se pueden añadir a la decisión i de la hormiga h

### 2.2.2 Algoritmo de colonia de hormigas (ACO)

El algoritmo de colonia de hormigas conocido como Ant Colony Optimization (ACO), tiene un sistema de hormigas exploratorias que ven las posibilidades de caminos hasta llegar a un objetivo para lo cual, al encontrar la ruta óptima dejan una señal de feromonas que serán por la cual las hormigas van a conseguir comida y evadir obstáculos.[9][4][10]

El algoritmo de colonia de hormigas estudia modelos derivados del comportamiento de las hormigas, y utiliza esta inspiración para el desarrollo de algoritmos de solución de optimización de procesos y problemas de control distribuido. [11][12]

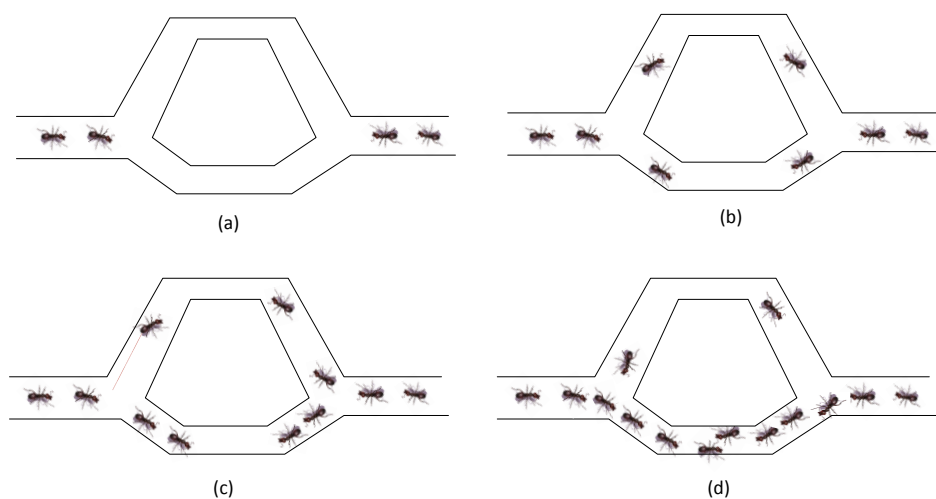
La idea detrás de los algoritmos ACO es la forma de stigmergy artificial para la coordinación de sociedades de insectos que dirige la optimización para encontrar la comida. La habilidad de las hormigas es desarrollada de forma rudimentaria, incluso algunas son totalmente ciegas por lo que el comportamiento entre individuos y medio ambiente es transcendental. El uso de productos químicos que producen las hormigas se llaman feromonas que designan el camino hacia la fuente de comida un ejemplo son las hormigas *Iridomyrmex humilis*, este camino es

trazado por el comportamiento colectivo de senderos del camino dejando un rastro químico siendo estas la inspiración para el desarrollo del algoritmo ACO. [10][11][12]

### 2.2.3 Búsqueda del camino hacia el alimento

Las hormigas logran establecer el camino más corto con una señal odorífera, depositando una sustancia química denominada feromona, esta sustancia da información de estado fisiológico social, reproductivo, edad, sexo y parentesco animal. Por lo que esta sustancia es importante para la socialización de la colonia en general.[13][11]

Al iniciar las hormigas se mueven a ciegas, la decisión de los caminos es de forma aleatoria, luego de mandar a un grupo de hormigas exploratorias se ha designado un camino ya que contiene mayor cantidad de feromonas. [13][11]



*Figura 2. Comportamiento de las hormigas reales*

Las feromonas son un sistema indirecto de comunicación química, se observa el siguiente proceso: la Figura 2.(a) las hormigas llegan a un punto donde deben decidir por qué camino tomar, por consecuencia las hormigas se dividen a la mitad para recorrer ambos caminos como se observa en la Figura2.(b). Como las hormigas transitar a la misma velocidad en el camino más corto quedara mayor densidad de feromonas, por ende hay más hormigas como lo muestra la Figura2.(c). Al conocer que la sustancia química se evapora hace que el camino más largo

sea cada vez menos transitado, hasta que al cabo de un tiempo todas transcurrir por el camino más corto, como se presenta en la Figura 2.(d).[13][11]

### 2.3 Algoritmo de ACO implementado en redes de distribución

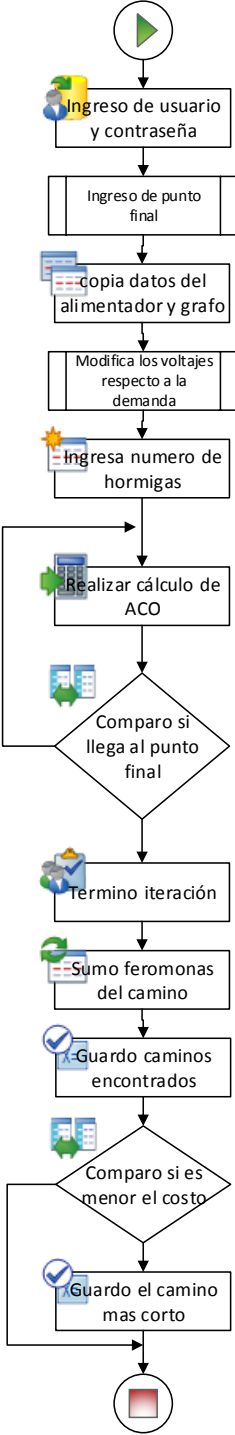


Figura 3. Flujograma en redes de distribución

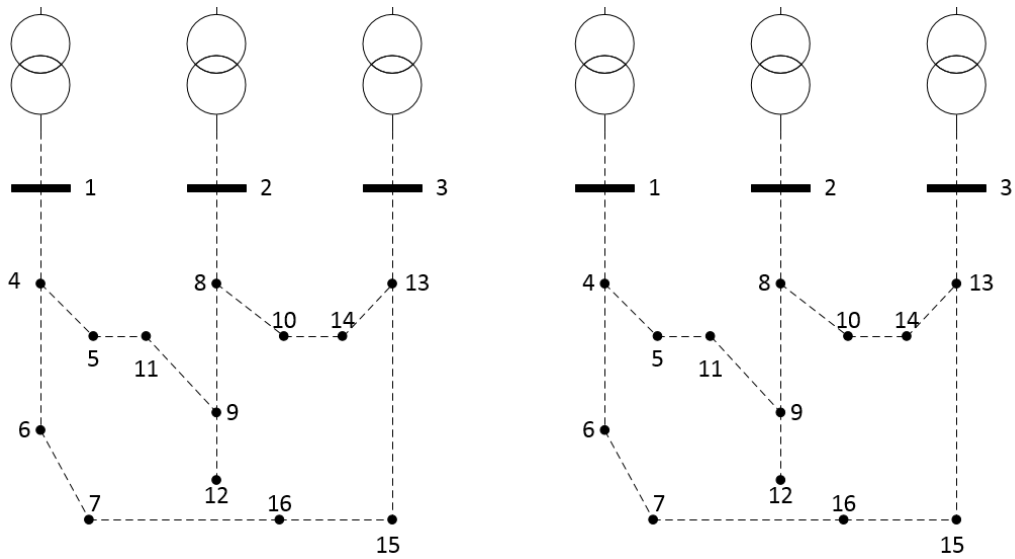


Figura 4. Comportamiento de nodos en distribución [4]

### 2.3.1 Implementación en la red de distribución eléctrica.

Se busca en un sistema eléctrico el camino más corto para la conexión respectiva de un tramo de red eléctrica, para poder tener un pequeño vistazo de las posibles rutas que una reconexión puede tener o al poner un nuevo consumidor, obtener la mejor opción evitando pérdidas técnicas por el transporte de energía elevadas en el trayecto desde la fuente hacia el nodo de conexión.[7][14][15][1]

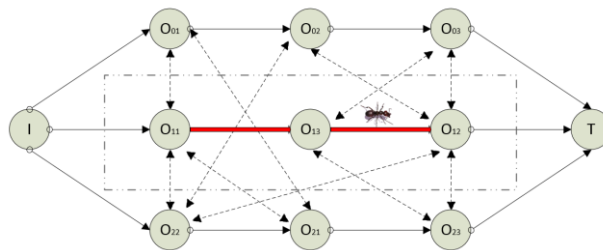


Figura 5. Camino óptimo de ACO [16]

El problema de la reconfiguración de redes de distribución para poder tener la menor pérdida de potencia, cumpliendo restricciones como radialidad, capacidad máxima de alimentadores y límites de voltaje. Para la aplicación en una red de distribución es necesario restringir, la ecuación 2.3 restringe los parámetros de radialidad; las ecuaciones 2.4 y 2.5 son las restricciones de kirchoff.[7][17][18][15]



$$\text{Minimizar } fc = \sum_{j=1}^n u_j R_j |I_j|^2 \quad j \in Nr \quad (2.2) [8]$$

Sujeto a:

$$\varphi(u) = 0 \quad (2.3)$$

$$g_v(V, u) = 0 \quad (2.4)$$

$$g_v(V, u) = 0 \quad (2.5)$$

$$V_{min} < V_i < V_{max} \quad \forall i, i \in Nb \quad (2.6)$$

$$u_i |I_j| < I_{jmax} \quad \forall j, j \in Nr \quad (2.7)$$

Donde:

Nr: Numero de ramos del sistema

Rj: resistencia de la j- enésima rama del sistema

Ij: corriente del j- enésima ramo del sistema

Uj variable binaria que indica si el j-enésimo ramo esta energizado o no

Nb: Numero de barras del sistema

Vi: Voltaje de i-enésima barra del sistema [7][18]

Para evaluar las pérdidas activas del sistema es necesario realizar un flujo de cargas, para evitar inconvenientes se analizó los sistemas para poder realizar la aplicación del algoritmo y luego realizar el flujo en ramal troncal encontrado.

### 3. CAPITULO 3. INFORMACIÓN DE LOS ALIMENTADORES DE LA CENTROSUR

#### 3.1 Área de concesión de la CENTROSUR

La CENTROSUR abastece de servicio eléctrico a 11,81% del área de servicio a nivel nacional. El área de concesión de la CENTROSUR asciende a 30.723  $km^2$  correspondiente al área que aporta servicio de energía eléctrica a nivel. [19][20][21]

*Tabla 1 Desglose de la concesión por provincias.*

Provincia	$km^2$	%
Azuay	7928,00	26,190
Cañar	2443,00	8,070
Chimborazo	1,00	0,003
El Oro	65,00	0,213
Guayas	41,00	0,136
Loja	108,00	0,357
Morona Santiago	19666,00	64,962
Pastaza	3,96	0,013
Zamora Chinchipe	0,38	0,001
Zona no delimitada	16,00	0,054
Total del área de concesión	30273,00	100,00

En la siguiente Figura se observa en rojo la concesión de la Empresa Eléctrica Centrosur

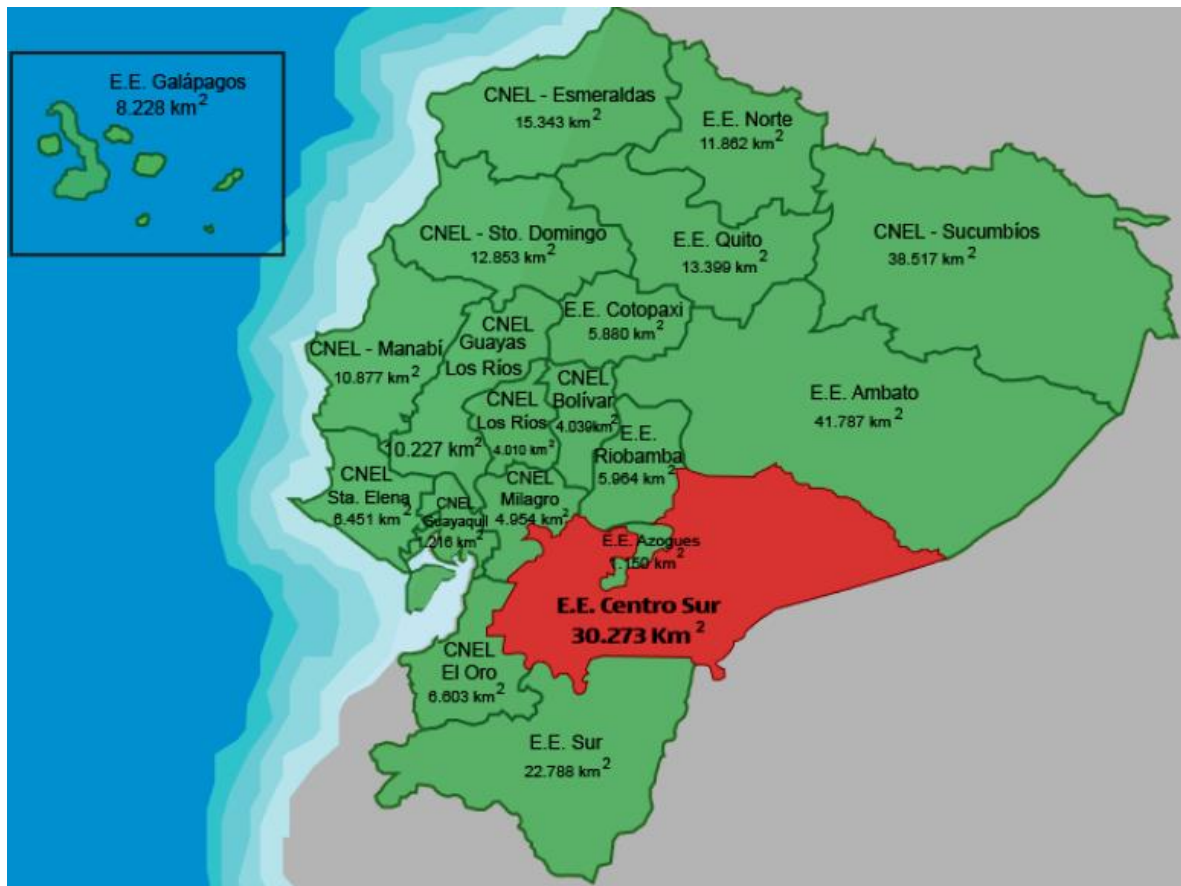


Figura 6. Concesión de la empresa eléctrica CENTROSUR.

### 3.2 Sistema de distribución primario de la Centrosur

Una subestación eléctrica contiene varios componentes como son las barras, transformadores de potencia, cuchillas, reconectores, etc. [20]

El sistema eléctrico de potencia consta con 510 subestaciones a nivel nacional, de las cuales 368 son de empresas distribuidoras y 18 están administradas en la Centrosur.

Las subestaciones de distribución también conocidas como líneas de distribución primaria pueden ser:[20]

- Aéreas
- Subterráneas

Usualmente la distribución primaria va directamente a las industrias, urbanizaciones, lotizaciones, etc. Estas cuentan con transformadores propios para necesidades específicas, mientras que los transformadores de distribución dan servicios a cargas menores como son las residenciales.

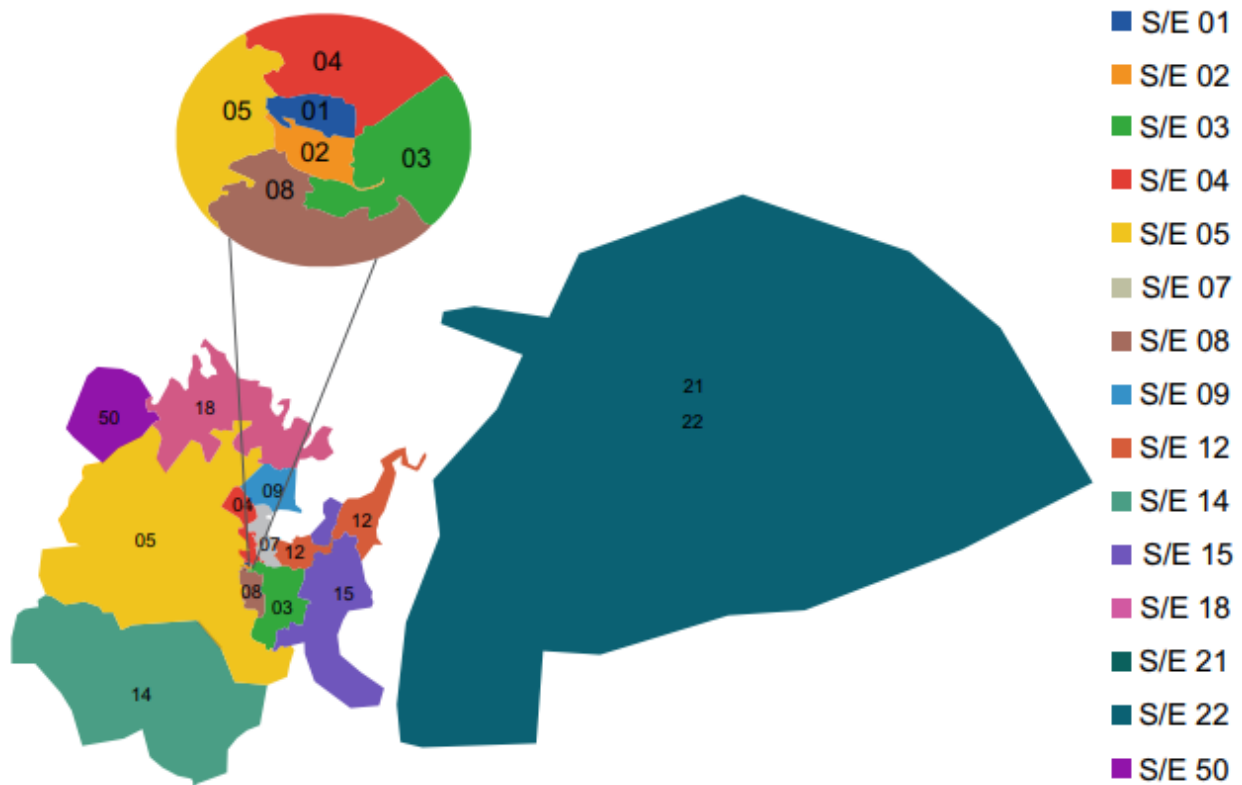


Figura 7 Área que comprende las subestaciones.

### 3.3 Codificación de los alimentadores de la CENTROSUR

Para una identificación óptima de los alimentadores se le ha designado un código corto de cuatro dígitos, los que se dividen en 3 secciones representativas: [20]

**Numero 1:** Corresponde al número de la subestación a la que permanece el alimentador.

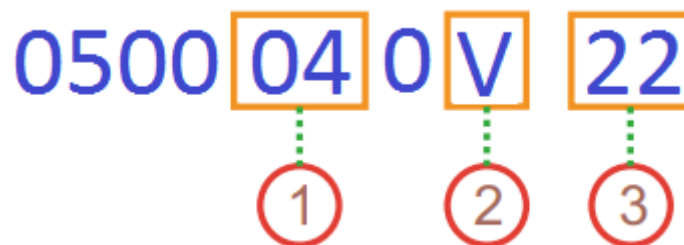
**Numero 2:** Este campo corresponde niveles de voltaje utilizados actualmente en el país, para diferenciar se ha dividido en cuatro letras S, T, V o R.

- S: para 6,3kV.
- T: para 13,8kV.
- V: para 22kV.
- R: para 34.5kV.

Datos adquiridos de la unidad de propiedad dada por el MEER.

**Numero 3:** Corresponde al número de salida del alimentador desde la subestación.

Ejemplo:



*Figura 8. Codificación para alimentadores*

La CENTROSUR. tiene la subestación reductora que llega a Cuenca en el sector de Rayoloma, perteneciente a la parroquia El Valle. La subestación reductora de 138kV/69kV para poder distribuir a su área de concesión a 69kV.

La subtransmisión de 69kV alimenta a 18 subestación ubicadas estratégicamente en toda el área de concesión; considerando que cada subestación contiene un área de cobertura, cada subestación tiene entre 1 y 7 alimentadores para la distribución de servicio, con un total de 64 alimentadores que transportan hasta una potencia de 12MVA dependiendo de las características del cable y el nivel de voltaje. [20]

En la distribución de los alimentadores en el área de concesión se tiene en las diferentes variaciones de tensión como se muestra en la figura 9, esta depende de la necesidad del sector y también los niveles que se impusieron en la época que se implementaron.

Nombre de la Subestación	Tipo	Voltaje 1 (kV)	Voltaje 2 (kV)	Potencia OA Transformación (MVA)	Potencia FA Transformación (MVA)
LUIS CORDERO	R	22	6.3	10	13
CENTENARIO		22	6.3	12	12
MONAY		69	22	26	44,5
PARQUE INDUSTRIAL		69	22	36,5	44,5
EL ARENAL		69	22	34	44,5
RICOURTE		69	22	10	12,5
AZOGUES		69	22	10	12,5
DESCANSO		69	22	20	25
LENTAG		69	22	10	12,5
GUALACEO		69	22	10	12,5
CAÑAR		69	22	10	12,5
MACAS		69	13.8	5	6,25
MÉNDEZ		69	13.8	2,5	3
LIMÓN		69	13.8	2,5	3
VERDILLO	S	69	22		
CORPANCHE		69			
<b>Total General</b>				<b>198,50</b>	<b>258,25</b>
R -> S/E de Reducción      S -> S/E de Seccionamiento					

Figura 9. Listado de subestación y niveles de tensión [20]

S/E	Prov.	Ubicación	Alim.	Tipo	S/E	Prov.	Ubicación	Alim.	Tipo			
01	Azuary	Luis Cordero	0101	U	08	Azuary	Turi	0821	U			
			0102	U				0822	U			
			0103	U				0823	U			
			0104	U				0824	U			
02	Azuary	Centenario	0201	U	12	Azuary	El Descanso	1221	U			
			0202	U				1222	R			
			0203	U				1223	U			
			0204	U	14	Azuary	Lentag	1421	R			
			0205	U				1422	R			
03	Azuary	Monay	0321	U	15	Azuary	Gualaceo	1423	R			
			0322	U				1424	R			
			0323	U				1521	R			
			0324	U				1522	U			
			0325	U				1523	U			
04	Azuary	Parque Industrial	0421	U	18	Cañar	Cañar	1821	R			
			0422	U				1822	R			
			0423	U				1823	R			
			0424	U				1824	U			
			0425	U	21	Morona Santiago	Macas	2111	U			
			0426	U				2112	R			
			0427	U				2113	R			
05	Azuary	El Arenal	0521	R	22	Morona Santiago	Méndez	2127	U			
			0522	U				2128	U			
			0523	U				2211	R			
			0524	U				2212	R			
			0525	R				23	Morona Santiago	Limón	2311	R
			0526	U							2312	R
0527	R	50	Cañar	La Troncal	5011	R						
0721	U				5012	U						
0722	U				5013	U						
0723	U				5014	R						
09	Cañar	Guablímcay	0921	R				5015	U			

Figura 10. Listado de ubicación y tipo de alimentadores primarios [20]

### 3.3 Área de cobertura de los alimentadores

Los alimentadores de la CENTROSUR tienen áreas definidas en donde cubre su cobertura de abastecimiento de servicio eléctrico, donde la variación es la predominación del cliente y características propias del alimentador. [21]

Tabla 2 Coberturas de alimentadores[21]

Nº Alimentador	Nº S/E Servido	Tipo de cliente predominante	Nº Cliente	Área Cobertura (m2)	Área de cobertura	Nivel de Voltaje
0202	2	Comercial	2026	294665	Zona Sur Este del Centro Histórico	6.3kV
0321	3	Residencial, medio-bajo	17134	286471696	Zona Sur de la ciudad de Cuenca, Monay parte alta de El Valle, Santa Ana, San Bartolo, Quingeo y Zhidmad	22kV
0526	5	Residencial, medio-bajo	12801	5696646	Zona Nor-Occidental de la ciudad de Cuenca	22kV
0421	4	Industrial	122	922687	Parque Industrial de la ciudad de Cuenca	22kV
5011	50	Residencial Zona Costera	1011	63910154	Cantón La Troncal	13.8kV

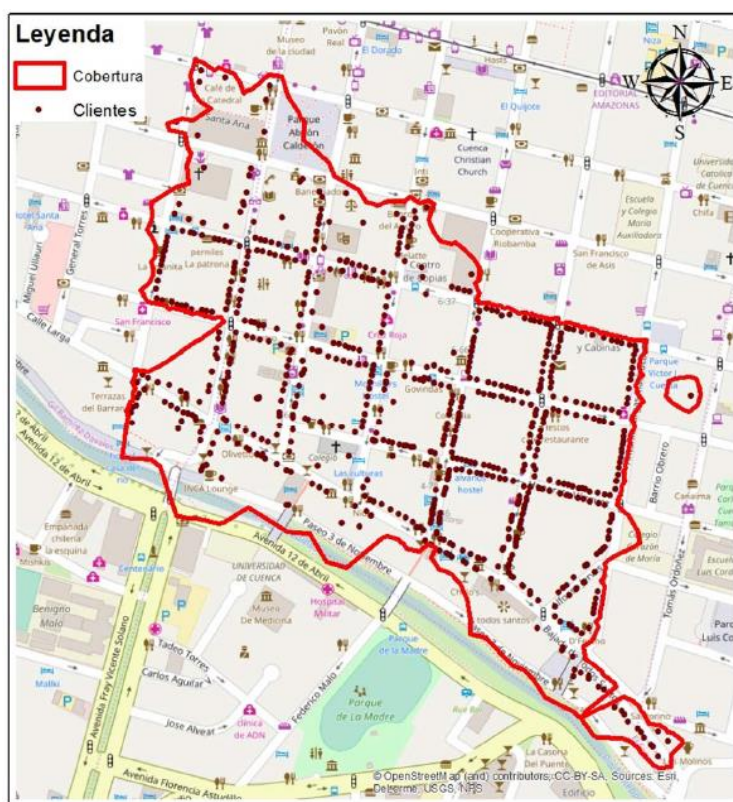


Figura 11. Mapa del área de cobertura del alimentador 0202 [21]



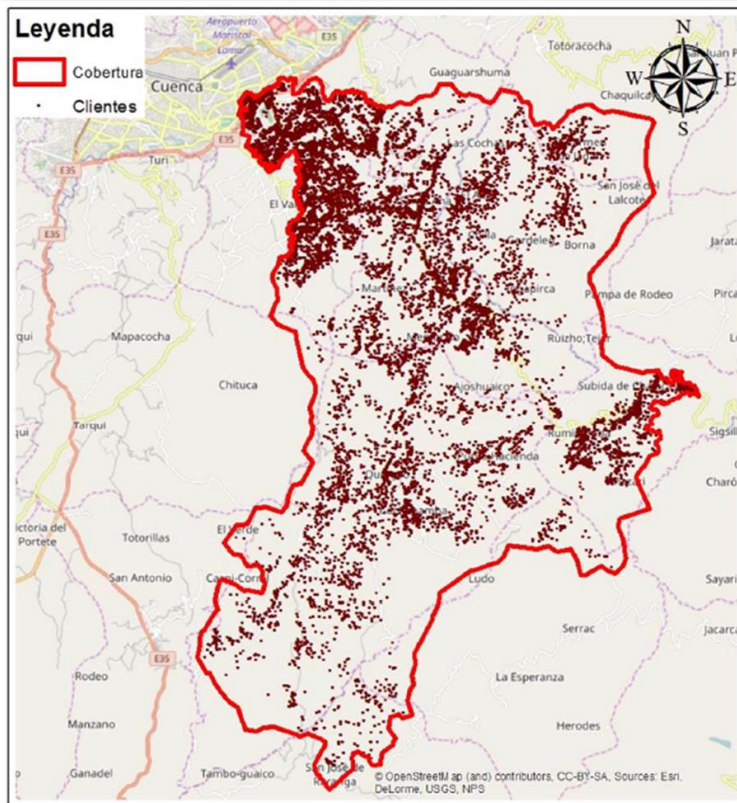


Figura 12. Mapa del área de cobertura del alimentador 0321 [21]

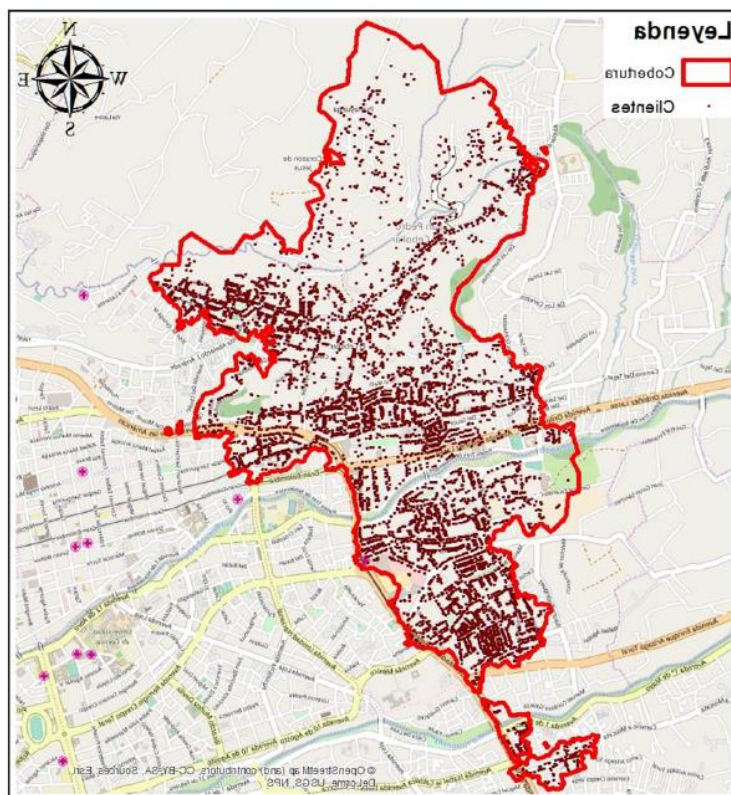


Figura 13. Mapa del área de cobertura del alimentador 0526 [21]



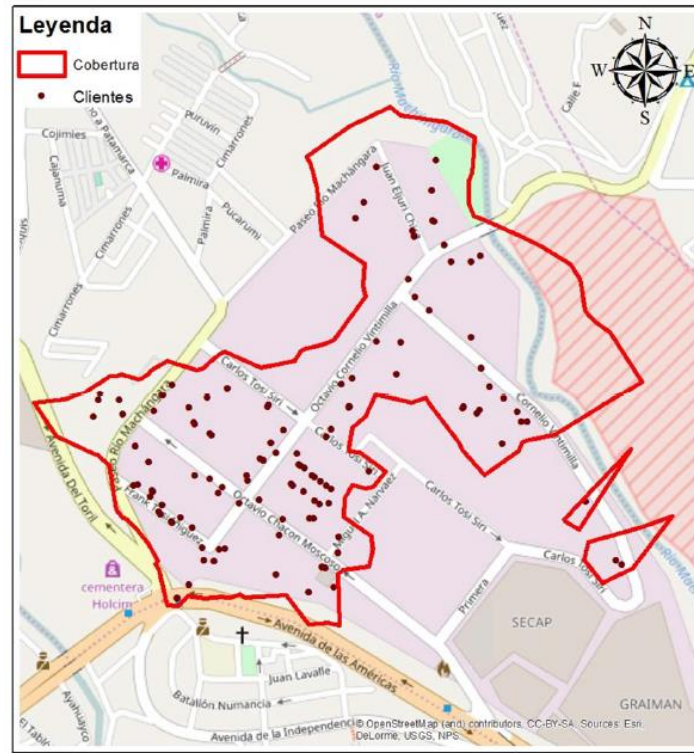


Figura 14. Mapa del área de cobertura del alimentador 0421 [21]

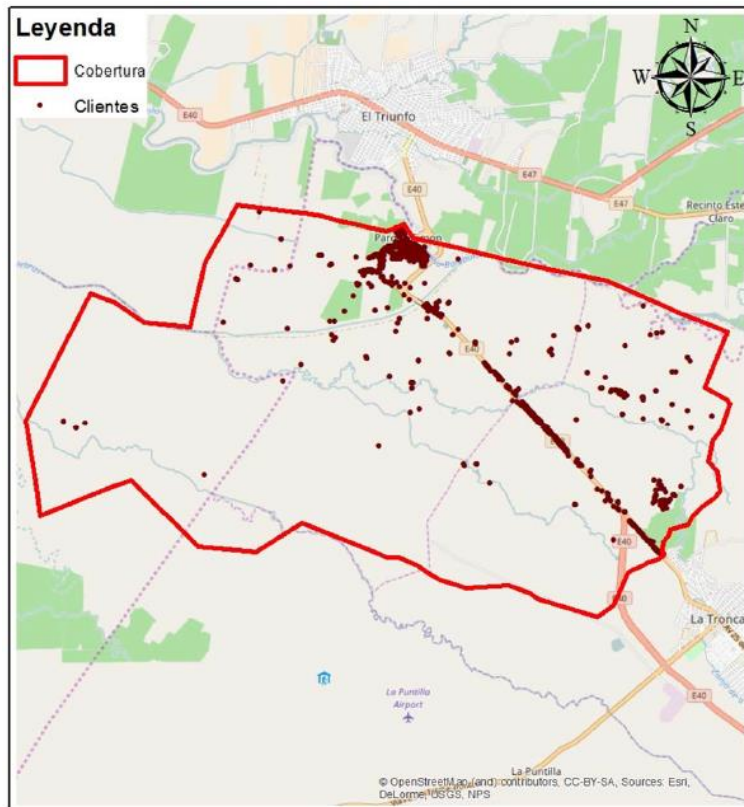


Figura 15. Mapa del área de cobertura del alimentador 5011-La Troncal [21]

## 4. CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA DE OPTIMIZACIÓN

### 4.1 Configuración geométrica

#### Redes Aéreas

Antes de comenzar los cálculos es necesario conocer la estructura de distribución aérea con el número de cables tendidos en media tensión. [22]

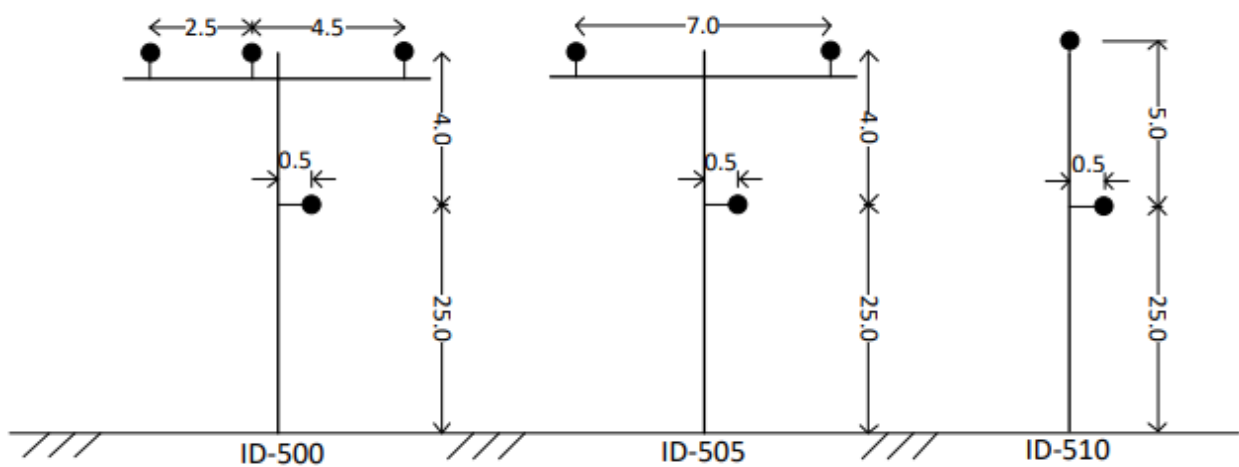


Figura 16. Separación de fases en líneas aéreas.

Tabla 3 Posición de los cables en redes aéreas

Espacio ID	Fases	Cables
500	Trifásico	4
505	Bifásico	3
510	Monofásico	2

Con este tipo de configuración es de bajos costos con respecto a las líneas subterráneas, se necesitan menor tiempo de fallas. [22]

Las desventajas es que al estar al contacto con la atmosfera presentan un peligro para los transeúntes y propenso a fallas al estar expuestos de fenómenos meteorológicos, entre otros.[22]

## Redes subterráneas

Este tipo de redes se utiliza en zonas con dificultades de para la construcción de redes aéreas ya sea por estética o por seguridad. Es un sistema competitivo frente al aéreo en zonas urbanas céntricas. [22]

Tabla 4 Posición de los cables en redes subterráneas

Espacio ID	Fases	Cables
515	Trifásico	3
520	Monofásico	2

Sus conductores están siempre aislados, son más fiables ya que las contingencias que presentan en las redes aéreas no le afectan. Pero igual presentan desventajas como es el elevado coste inicial, dificulta la apreciación de fallas y el mantenimiento es complejo. [22]

### 4.2 Matriz de secuencia y matriz de impedancias

La matriz de secuencia representa el sistema eléctrico de potencia por medio de impedancias de secuencia, representadas como secuencia positiva, negativa y cero, en un circuito equilibrado se representa con secuencia positiva. [23] [24]

Para la aplicación del modelo, se toma como datos de entrada la ubicación y distancias entre conductores, las medidas netas de la estructura que define el modelo inicial de matriz. [23][24]

Con la utilización de las ecuaciones de Carson se puede obtener las componentes de secuencia  $Z_0$ ,  $Z_1$ ,  $Z_2$  de la Zbarra. [23][25]

- Calculo de inductancia propia:

$$Z_{ii} = (R_{ii} + L) + jN \ln \left( \frac{S_{ii}}{RMG_i} \right) \left[ \frac{\Omega}{km} \right] \quad (4.1)$$

- Calculo de inductancia mutua:

$$Z_{ik} = L + jN \ln \left( \frac{S_{ik}}{D_{ik}} \right) \left[ \frac{\Omega}{km} \right] \quad (4.2)$$

Donde:

$R_{ii}$  Resistencia eléctrica del conductor “i” en  $\Omega/\text{km}$

$RMG_i$  Radio medio geométrico del conductor “i” en milímetros

$S_{ik}$  Distancia entre el conductor “i” y la imagen del conductor “k” en metros

$D_{ik}$  Distancia entre el conductor “i” y el “k” en metros

Se pueden expresar de forma matricial como se muestra a continuación:

$$Z_{[\text{barra } n \times n]} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & Z_{13} & Z_{1n} \\ Z_{21} & Z_{22} & Z_{23} & Z_{2n} \\ Z_{31} & Z_{32} & Z_{33} & Z_{3n} \\ Z_{m1} & Z_{m2} & Z_{m3} & Z_{nm} \end{bmatrix} \quad (4.3)$$

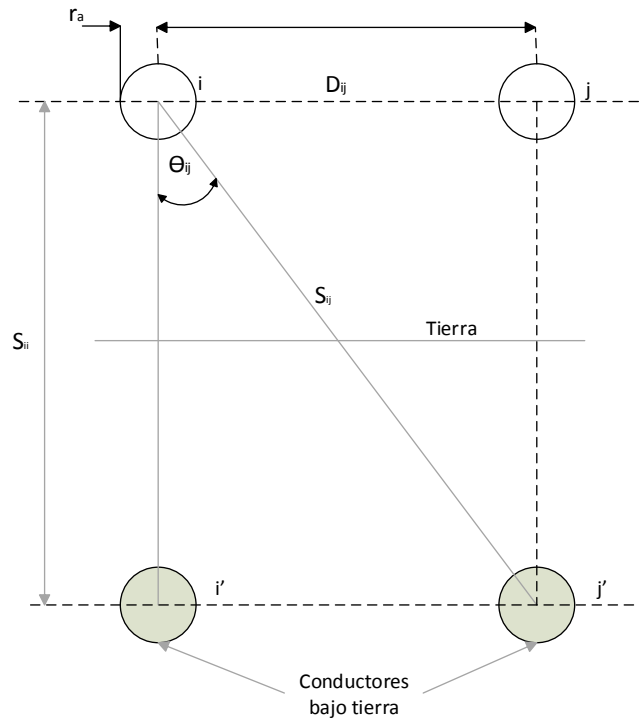


Figura 17. Conductores e imágenes en la tierra, fórmula de Carson.

La obtención de componentes de secuencia es importante obtener partiendo de la matriz de barra mediante la reducción de KRON. El método de reducción se basa en la eliminación de nodos que inyectan corrientes cero. [23][18]

$$Z_{[abc]} = Z_{11} - \frac{1}{Z_{22}} (Z_{12})(Z_{21}) \quad (4.4)$$

Donde:

$Z_{11}$  : Matriz de circuito trifasico sin neutro.

$Z_{22}$  : Impedancia propia del neutro.

$Z_{12} = (Z_{21})^r$  Submatrices de los elementos mutuos entre el neutro y la fase.

$\frac{1}{Z_{22}}(Z_{12})(Z_{21})$  : Matriz de correccion que incluye el efecto del neutro en  $Z_{11}$ .

La matriz secuencia se puede obtener multiplicando la matriz de transformación con la matriz equivalente. [23][18]

$$Z_{sec} = S^{-1} * Z_{abc} * S \quad (4.5)$$

Matriz de transformación

Donde:

$$a = 1 < 120^\circ$$

$$a^2 = 1 < 240^\circ$$

$$S = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

$$S^{-1} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \quad (4.7)$$

La diagonal de esta matriz son los componentes de secuencia y el resto de componetes son acoplamientos mutuos entre las impedancias. [9]

$$Z_s = \begin{bmatrix} Z_{00} & Z_{01} & Z_{02} \\ Z_{10} & Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{20} & Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

$Z_{00}$ : Impedancia de secuencia cero

$Z_{11}$ : Impedancia de secuencia positiva

$Z_{22}$ : Impedancia de secuencia negativa

### 4.3 Calculo de caidas voltaje y perdidas de transporte de energia correspondiente a cada tipo de configuración

Las caidas de tensión depende de la configuración que se encuentran instaladas, para tener una mejor apreciacion del impacto que generan dichas configuraciones de los circuitos.

En las siguientes tablas analizan las caidas de tensión en las configuraciones de redes primarias y secundarias. Tomando en cuenta los parametros de fase y de secuencia.

Tabla 5 Expresiones para calcular las caídas de voltaje según sus diferentes tipos.

Circuito tipo	Expresiones para calcular las perdidas en kW
3F de 3 y 4 hilos	$\Delta P_{3F-ik} = \left(\frac{DM_{ik}}{U_{Nom}}\right)^2 * l_{ik} * r_{ik} * 10^{-3}$
1F L-L ( $\Delta$ )	$\Delta P_{1F-L-Lik} = 2 * \left(\frac{DM_{1F-ik}}{U_{Nom}}\right)^2 * l_{ik} * r_{ik} * 10^{-3}$
1F L-n (Y)	$\Delta P_{3F-ik} = 3 * \left(\frac{DM_{ik}}{U_{Nom}}\right)^2 * l_{ik} * r_{ik} * 10^{-3}$
2F-n carga monofasica total	$\Delta P_{1FLn-1F} = \frac{3}{4} \left(\frac{DM_{1F-ik}}{U_{Nom}}\right)^2 * r_{Eq-ik} * l_{ik} * 10^{-3}$
2F-n carga monofasica de una fase	$\Delta P_{2Fn-1F} = 3 * \left(\frac{DM_{ik-Fn}}{U_{Nom}}\right)^2 * (r_A + r_B + r_n) * l_{ik} * 10^{-3}$
2F-n carga trifasica	$\Delta P_{2Fn-3F} = \frac{1}{3} \left(\frac{DM_{ik-3F}}{U_{Nom}}\right)^2 * (2r_F + r_n) * l_{ik} * 10^{-3}$

Tabla 6 Expresiones para calcular las caídas de voltaje según sus diferentes tipos, en voltios y en porcentaje.

Circuito tipo	Expresiones para calcular caidas de voltaje.	
	En voltios	En porcentaje
3F de 3 y 4 hilos	$\Delta U_{ik} = \frac{DM_{ik}}{\sqrt{3} * U_{Nom}} * I_{ik} * M_{ik}$	$\% \Delta U_{ik} = \frac{DM_{ik}}{10 * U_{Nom}^2} * I_{ik} * M_{ik}$
1F L-L ( $\Delta$ )	$\Delta U_{AB-ik} = 2 * \frac{DM_{ik}}{U_{AB-Nom}} * I_{ik} * M_{ik}$	$\% \Delta U_{ik} = 2 * \frac{DM_{ik}}{10 * U_{AB-Nom}^2} * I_{ik} * M_{ik}$
1F L-n (Y)	$\Delta U_{Fn-ik} = \sqrt{3} * \frac{DM_{ik}}{U_{Nom}} * I_{ik} * M_{ik}$	$\% \Delta U_{Fn-ik} = 3 * \frac{DM_{ik}}{10 * U_{Nom}^2} * I_{ik} * M_{ik}$
2F-n (Carga 1F balanc.)	$\Delta U_{Fn-ik} = \frac{\sqrt{3} * DM_{ik}}{2 * U_{Nom}} * I_{ik} * M_{2Fn-ik}$	$\% \Delta U_{Fn-ik} = \frac{3}{2} * \frac{DM_{ik}}{10 * U_{Nom}^2} * I_{ik} * M_{2Fn-ik}$
2F-n (Carga 3F balanc.)	$\Delta U_{Fn-ik} = \frac{DM_{ik}}{\sqrt{3} * U_{Nom}} * I_{ik} * M'_{2Fn-ik}$	$\% \Delta U_{Fn-ik} = \frac{DM_{ik}}{10 * U_{Nom}^2} * I_{ik} * M'_{2Fn-ik}$

El parametro “M” que considera el componente transversal de la caída de voltaje.

Tabla 7 Expresiones para calcular el parámetro “M” para los tipos de alimentadores y ramales.

Circuito tipo	Prámetro M en $\Omega/\text{km}$
3F de 3 y 4 hilos	$M_{ik} = (r * \cos \varphi + x * \sin \varphi)_{ik}$
1F L-L ( $\Delta$ )	$M_{ik} = (r * \cos \varphi + x * \sin \varphi)_{ik}$
1F L-n (Y)	$M_{ik} = (r * \cos \varphi + x * \sin \varphi)_{ik}$
2F-n (Carga 1F balanc.)	$M_{2F-n} = \{r[\cos \varphi + \cos(60 + \varphi)] + x[\sin \varphi + \sin(60 + \varphi)]\}$
2F-n (Carga 3F balanc.)	$M_{2F-n} = \{r[\cos \varphi + \sqrt{3} \cos(\varphi - 30)] + x[\sin \varphi + \sqrt{3} \sin(\varphi - 30)]\}$

#### 4.4 Modelo matemático para determinar las pérdidas técnicas por transporte de energía

Se plantea una metodología en la que se aplica el algoritmo de colonia de hormigas, el concepto se basa en un sistema mallado partiendo de un sistema radial existente, aplicando el programa ACO que buscara el mejor camino, se obtendrá el ramal troncal óptimo.[26]

Para poder aplicar el algoritmo de colonia de hormigas es el siguiente modelo matemático utilizando datos del sistema para poder encontrar el camino óptimo.[27][11]

$$P_{xy} = \frac{\tau(e) * \eta(e)}{\sum \tau(e) * \eta(e)} \quad (4.9)$$

Donde:

$P_{xy}$ : Es la probabilidad de x a y

$\tau(e)$ : Son las feromonas iniciales

$\eta(e)$ : Es la visibilidad

Para poder encontrar la probabilidad de cada camino que la hormiga tenga que escoger se tomó como referencia  $\tau(e)$  0.1 y la visibilidad es la inversa de la distancia del camino. En el caso del algoritmo la visibilidad puede tomarse como la resistencia que conlleva por la longitud del cable, respetando el concepto de optimización desde el punto de vista de menor costo por pérdidas técnicas por transporte de energía.[1]

$$\tau_{xy} = (1 - \rho) * \tau_{xy} * \sum \Delta\tau_{xy} \quad (4. 10)$$

Donde:

$\tau_{xy}$ : Cantidad de feromona depositadas en cada transición.

$\rho$ : Rango de evaporación

$\Delta\tau_{xy}$ : Cantidad de feromona depositadas por las hormigas

$$\Delta\tau_{xy} = \begin{cases} Q/lk \\ 0 \end{cases} \quad (4. 11)$$

Q: Parámetro de aprendizaje

lk: Costo de la ruta de la hormiga



## 5. CAPÍTULO 5: METODOLOGÍA USADA PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ALIMENTADOR

### 5.1 Construcción de los grafos

La aplicación del sistema en este proyecto se realiza una representación gráfica de las redes de distribución de media tensión en la cual se toma las distancias y bifurcaciones observadas en ARGIS la cual se busca una estructura de grafo y la unión en diferentes puntos para poder aplicar el algoritmo correctamente. [26]

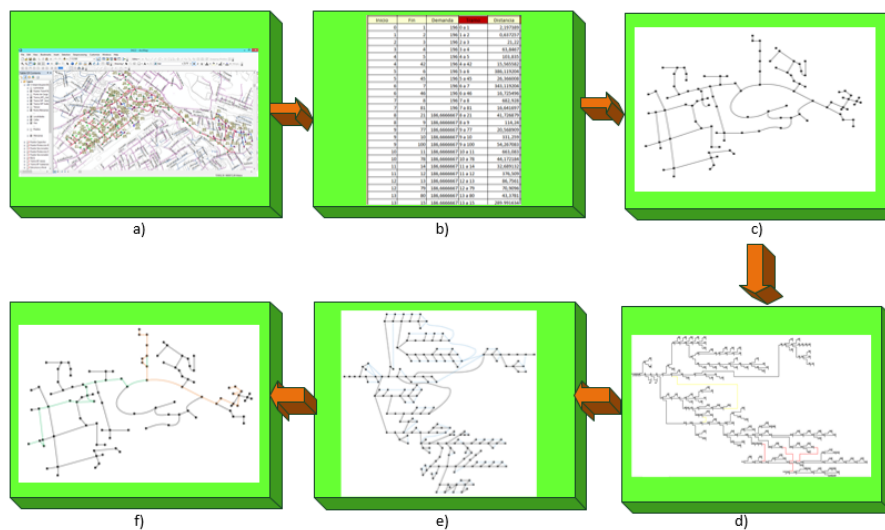


Figura 18. Proceso de crear el grafo.

Con la topología provista por la CENTROSUR, del alimentador 0500040V22, como se puede Realizar la creación de los grafos:

1. Se debe analizar los datos del alimentador como la distancia, voltajes y la demanda de cada tramo del sistema, obtenida de ARGIS.
2. Con la información recopilada se designan puntos para la designación de nodos del sistema.
3. Se grafica los punto para tener una noción del sistema en forma de nodos.
4. Con este grafico se redibuja con la posición de los puntos y nodos de forma lineal par poder evaluar de mejor manera el sistema.
5. Se realizan conexión para tener un grafo mallado para aplicar el algoritmo ACO.
6. Aplicando el algoritmo se nota una un ligero cambio en los tramos como se ve en el color azul y naranja.

En la figura 19 se puede apreciar las conexiones posibles provistas en ARGIS, de esta manera se recoge información para poder tener el sistema en nodos para poder realizar un grafo como se observa el proceso en la figura 18 hasta el camino óptimo. [26]

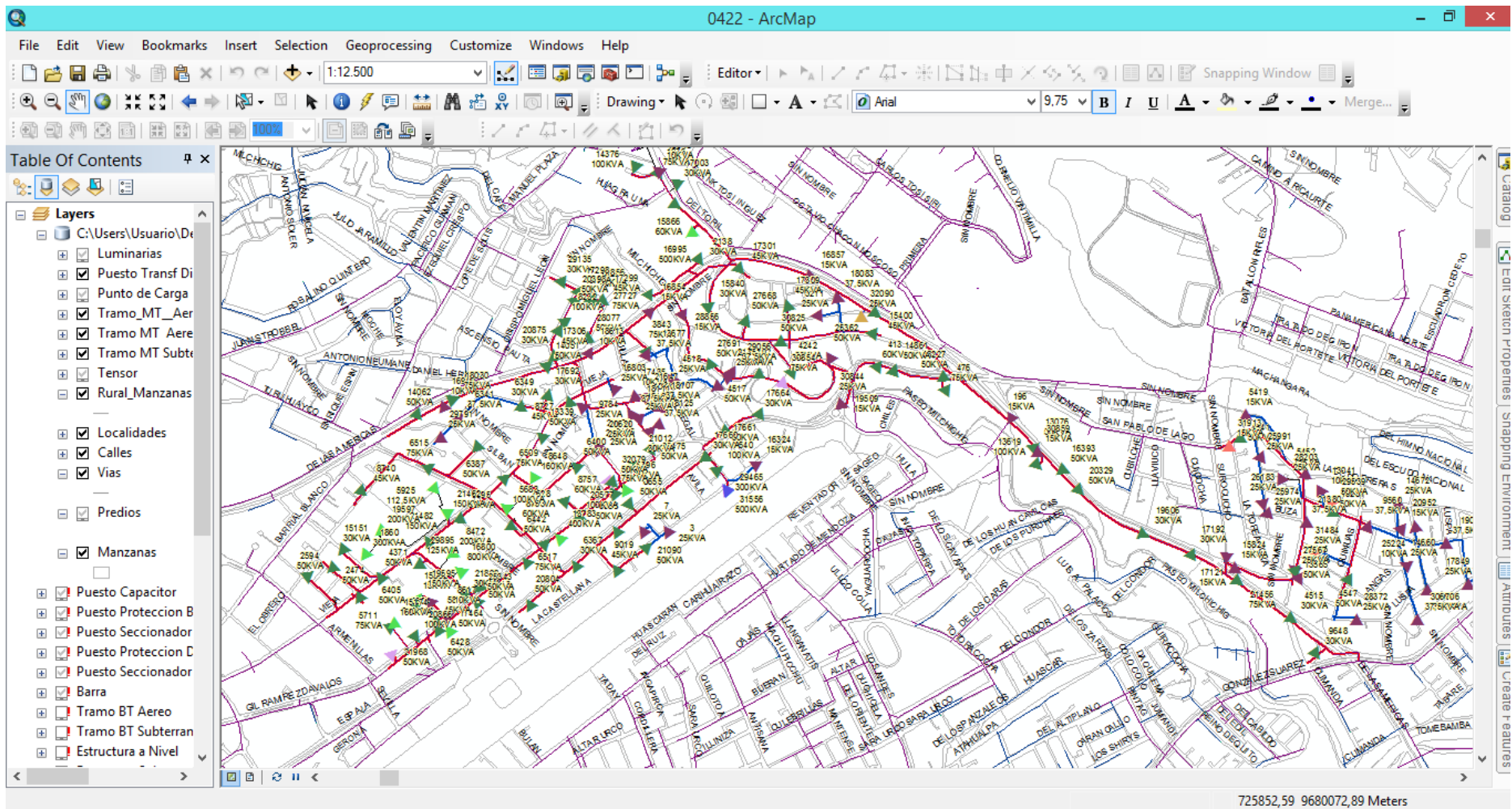


Figura 19. Alimentador 050040V22 en ARGIS.

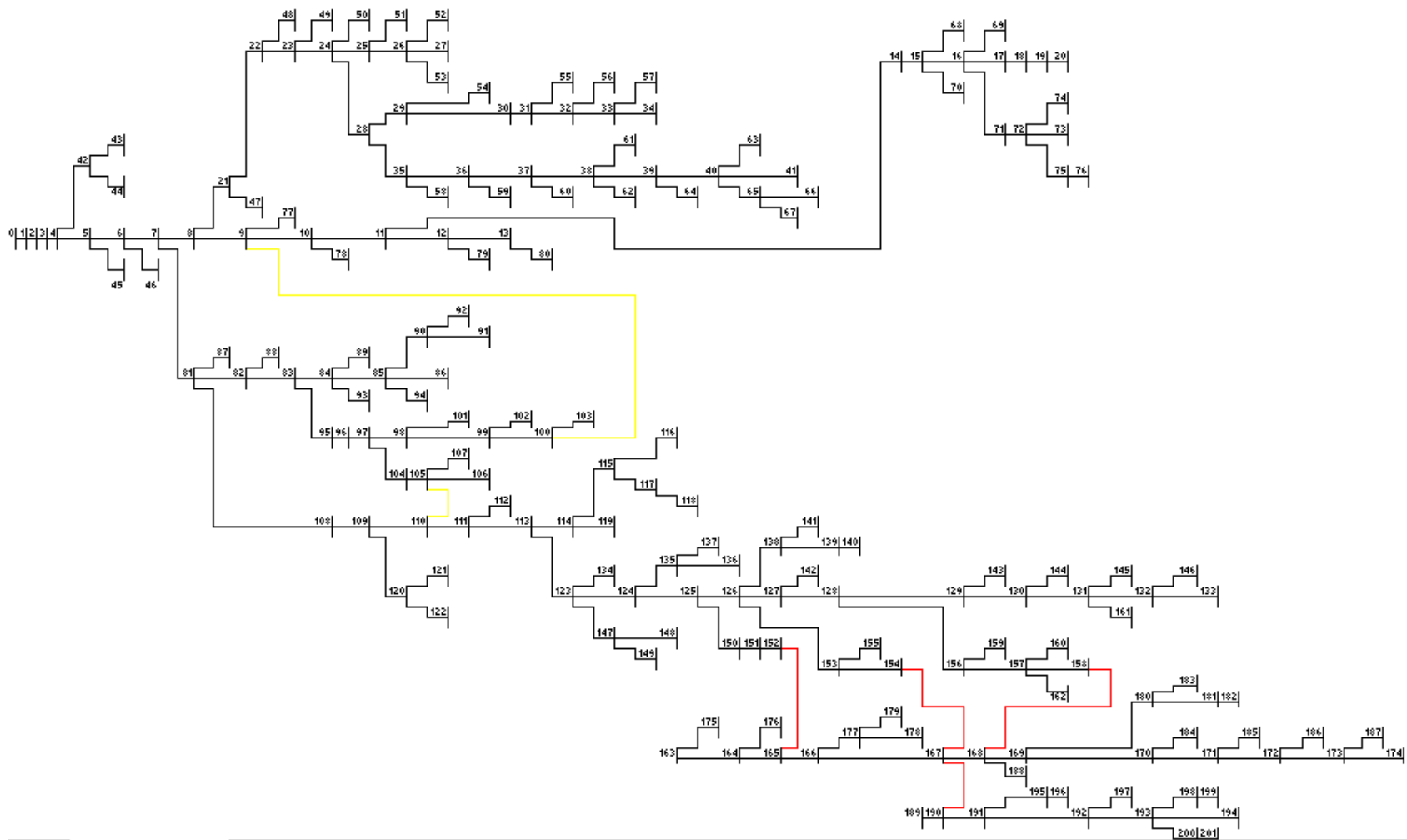


Figura 20. Grafo del alimentador 050040V22

## **5.2 Red de distribución del alimentador 0500040V22**

La red de distribución del alimentador 0500040V22 de la CENTROSUR, en el este alimentador se aplicará el algoritmo en busca de la reconfiguración del ramal troncal óptimo, lo que minimizara las pérdidas técnicas del transporte de energía, los datos fueron obtenidos de las distancias y voltajes de ARGIS. Para poder aplicar el algoritmo se necesita un circuito cerrado en este caso mallado por lo cual se realizó conexiones posibles para que el circuito que es originalmente radial sea mallado. Aplicado el algoritmo se puede conocer las modificaciones a la topología actual.

## **5.3 Análisis de la herramienta Computacional**

El software utilizado es Microsoft Excel, por medio de la función de desarrollador del programa que permite la interacción del lenguaje C+ de Visual Basic que tiene incorporado desde la versión del 2007.

Fue seleccionado Excel debido a que nos permite tener una facilidad en la realización de cálculos automáticos de forma preestablecida de distintas hojas como de diferentes libros de y con la ayuda de Visual Basic se puede hacer cálculos reiterativos que es lo necesario para la implementación del algoritmo de colonia de hormigas.

Para tener un mejor control de las operaciones que se realizan cada vez que se ingresa al programa, por medio de una autenticación de acceso en la que pide un usuario y contraseña, esto permite realizar distintos cambios de acuerdo con las restricciones preestablecidas de administrador o empleado.



Figura 21. Login del programa

Por medio de este Login se puede conocer la fecha y hora que se ingresó, solamente este registro se borra si el administrador así lo decide.

Fecha y Hora	Usuario	Status
12/06/2018 19:16	JAVIER	Admin
12/06/2018 19:19	JAVIER	Admin
12/06/2018 22:04	JAVIER	Admin
12/06/2018 22:13	AIDA	empleado
12/06/2018 22:21	JAVIER	Admin
13/06/2018 11:32	JAVIER	Admin
13/06/2018 11:33	AIDA	empleado
13/06/2018 11:33	AIDA	empleado
17/06/2018 11:54	JAVIER	Admin
19/06/2018 0:09	AIDA	empleado
19/06/2018 0:09	JAVIER	Admin

Figura 22. Registro de fecha y hora de cada logeo



## Pantalla Principal

Luego del registro aparecerá la pantalla principal en la cual se encuentran tres botones.



Figura 23. Pestaña principal del programa

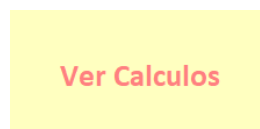


Figura 24. Botón que muestra la hoja de cálculos

Nos permite ir a la hoja de cálculos, en la que copia los datos de un libro en donde se encuentran la información obtenida por la CENTROSUR del alimentador 0500040V22 para poder realizar los respectivos cálculos del algoritmo de colonia hormigas.

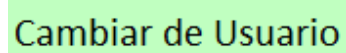


Figura 25. Cambia de usuario según preferencias

En este botón se puede cambiar de usuario según preferencias para tener datos realizados.



Figura 26. Opción para administrar Hojas (Solo Administrador).

Se encuentra habilitado solamente si el usuario que ingreso es administrador.

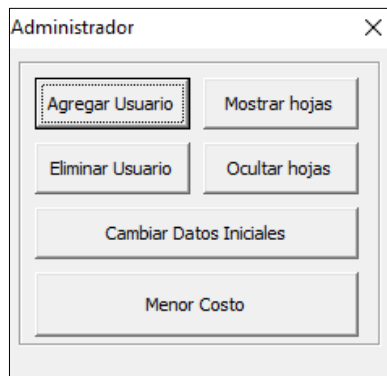


Figura 27. Administra Hojas, Agrega y Elimina Usuarios.

Este botón permite administrar las hojas del libro ya que se pueden mostrar y ocultarlas para la manipulación necesaria.

De igual forma permite agregar o eliminar usuarios controlando así la otorgación de permisos solamente como empleado o administrador.



Figura 28. Agrega Usuarios.



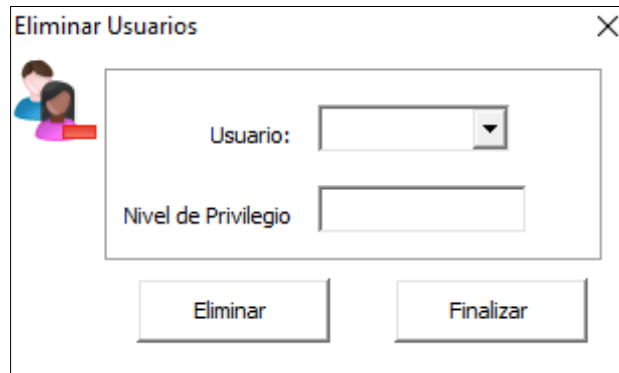


Figura 29. Elimina Usuarios.

Como administrador se puede cambiar el punto final del algoritmo para poder realizar distintas iteraciones dependiendo de que sector se va a evaluar encontrando el camino más óptimo y si es necesaria la reconfiguración.

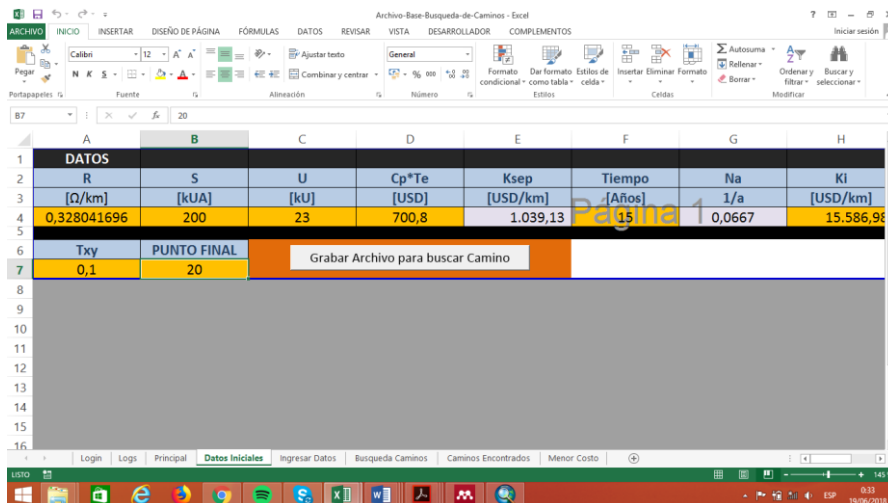


Figura 30. Cambia el punto final para ejecutar el programa.

#### 5.4 Análisis de resultados del programa ACO

Es importante que por medio del algoritmo se puede encontrar un camino reduciendo las pérdidas técnicas por transporte de energía y la caída de tensión considerando que el nivel máximo es del 6% de caída de tensión en zonas urbanas y del 4,5% en zonas rurales dictado por la normativa interna de la CENTROSUR.

Luego de realizar los gráficos la data inicial corresponde a los 201 nodos que son de forma radial, se realiza una conexión mallada y se aplica el algoritmo.

Una vez ejecutada la data entregada por la CENTROSUR se realiza diferentes operaciones repetitivas del algoritmo de colonia de hormigas hasta su convergencia, luego del recorrido de muchas hormigas y varias iteraciones se puede llegar al camino más corto y de menor costo.

Con estos datos se ingresa al programa ACO, el cual procede a buscar una ruta de forma aleatoria, el momento que llega al punto final se procede a realizar nuevas iteraciones que cambian la feromona marcando de una mejor manera el camino óptimo que tendrá un menor costo.

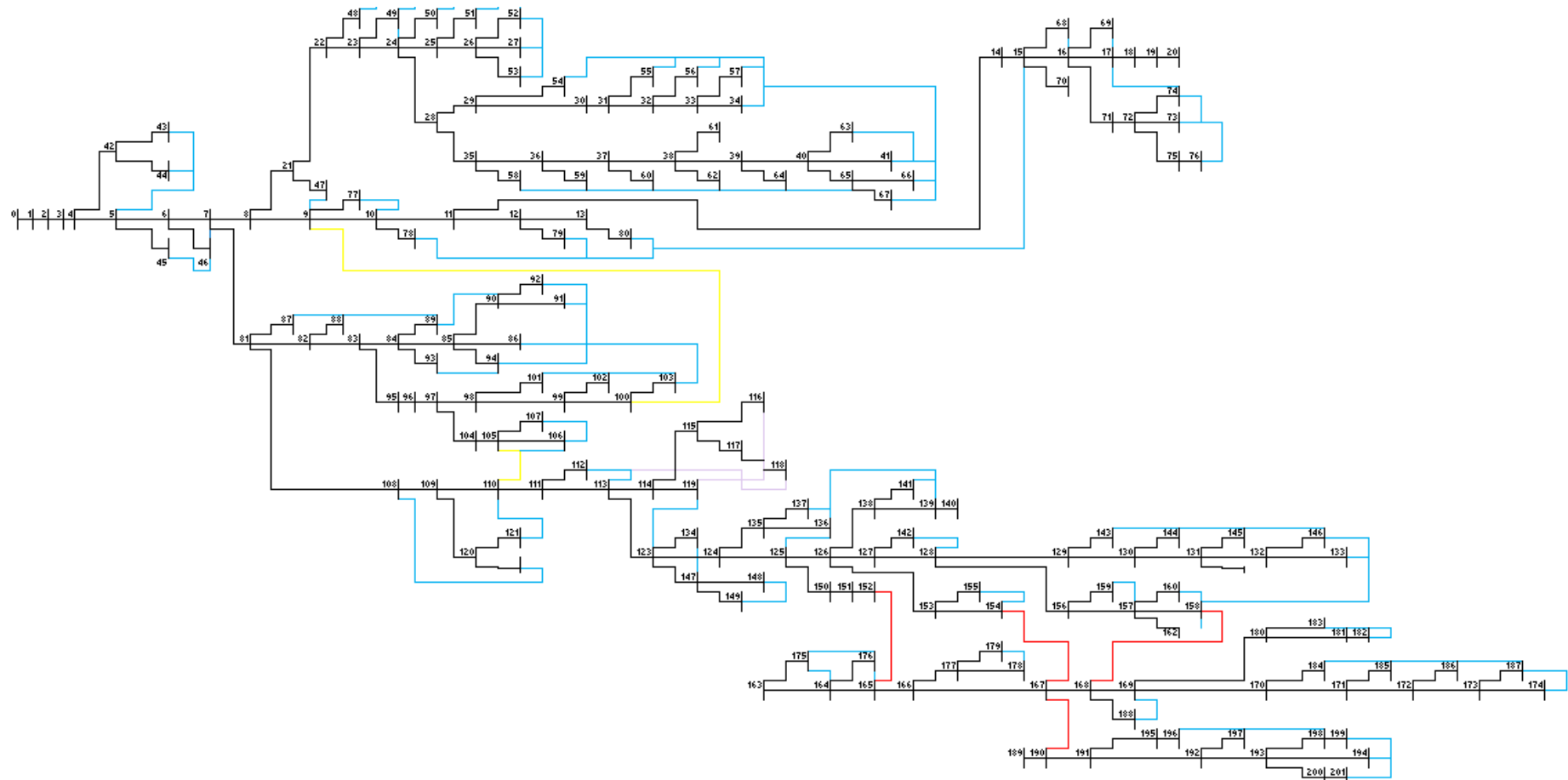


Figura 31. Grafo del alimentador 050040V22 con la unión para que sea mallado

## 5.5 Funcionamiento del algoritmo

Con esta informacion se toma como nodo inicial (0) a la S/E en donde parte la hormiga, Desde este nodo se encontrara con derivaciones en el camino donde tendra que decidir un camino al siguiente punto. En derivaciones se realiza un valor aleatorio entre cero y uno (Sistema binario), según el numero de derivaciones se da un rango de valor (0-1) que identifica la radialidad del sistema.

Debido a que deben encontrar el camino por valores aletorios, se designa un punto de llegada por medio del cual la hormiga que concluya el camino constara como una iteracion, guardando el camino y sumando la feromona de dicho camino.

Conforme mas cantidad de hormigas se digite, mayor sera la cantidad de hormigas que lleguen al punto final, considerando que los datos se guardaran respecto al punto final y cada vez que se aumente la iteracion ya constara con una feromona diferente a la inial de que es de 0,1 por lo tanto tendra mas densidad de feromonas en el camino optimo del alimentador.

Tabla 8 Valores copiados para ejecutar el programa ACO

		Costo					
Inicio	Fin	[USD]	1/Ktot	1/ktot*Feromona		Feromona	Pxy
0	1	413,6816988	0,002417317	0,000241732	0,000241732	0,1	1
1	2	412,033282	0,002426988	0,000242699	0,000242699	0,1	1
2	3	433,7908541	0,002305258	0,000230526	0,000230526	0,1	1
3	4	478,9200653	0,002088031	0,000208803	0,000208803	0,1	1
4	5	521,3411345	0,00191813	0,000191813	0,000425561	0,1	0,450729938
4	42	427,8115155	0,002337478	0,000233748	0,000425561	0,1	0,549270062
5	6	502,5373918	0,001989902	0,00019899	0,000426659	0,1	0,466391318
5	45	439,2340004	0,002276691	0,000227669	0,000426659	0,1	0,533608682
6	7	563,095541	0,001775898	0,00017759	0,000410669	0,1	0,43243974
6	46	429,0379474	0,002330796	0,00023308	0,000410669	0,1	0,56756026
7	8	1144,905027	0,000873435	8,73435E-05	0,000320471	0,1	0,272547034
7	81	428,9493405	0,002331278	0,000233128	0,000320471	0,1	0,727452966
8	21	455,4899508	0,002195438	0,000219544	0,000407375	0,1	0,538922999
8	9	532,3926588	0,001878313	0,000187831	0,000407375	0,1	0,461077001
9	77	433,1022654	0,002308924	0,000230892	0,000575078	0,1	0,401497572
9	10	764,1684851	0,001308612	0,000130861	0,000575078	0,1	0,227553886
9	100	468,769892	0,002133243	0,000213324	0,000575078	0,1	0,370948542
81	87	501,7352146	0,001993083	0,000199308	0,000547815	0,1	0,3638242
81	108	474,5517728	0,002107252	0,000210725	0,000547815	0,1	0,384664906
81	82	725,7873042	0,001377814	0,000137781	0,000547815	0,1	0,251510893

Las configuraciones que tiene son realizadas por el Visual Basic de Excel para aplicaciones en donde está todo el código del algoritmo de colonia de hormigas, se toma la información para realizar los cálculos correspondientes obteniendo la visibilidad, la variación de feromonas, las probabilidades de los tramos de caminos hasta llegar al final (Topología óptima). Para una nueva iteración se calcula la nueva feromona lo que permitirá incrementar la cantidad de hormigas logrando con ello identificar y optimizar el ramal troncal.

En la siguiente imagen se encuentra un fragmento del programa que realiza las operaciones reiterativas y pega la información en la hoja de Excel con los caminos encontrados por el cambio de feromonas. En la hoja de Excel “caminos encontrados” esta toda la información de las hormigas que llegaron al destino, se realiza una búsqueda y se encuentra al camino de menor costo para posteriormente realizar el flujo.

```

Sub Botón5_Haga_click_en()
|
ActiveSheet.Unprotect password:="admin"

Dim Hormigas As Integer
'se carga numero de hormigas
Hormigas = (InputBox("Ingrese el numero de Hormigas", "Hormigas"))

Worksheets("Busqueda Caminos").Select

'se realiza cuantas veces se desee, esti nos da el numero de hormigas ingresadas
For i = 1 To Hormigas
'CONTADOR DE HORMIGAS
Cells(2, 20) = Cells(2, 20) + 1

Call Una_Hormiga

UltimoDato = Range("T65536").End(xlUp).Row
'si el último dato coincide con el punto final
If Cells(UltimoDato, 20) = Cells(2, 19) Then
'MsgBox "Es igual a punto final"
Call Buscar_Costo
Call Colocar_Ajuste
Call CopiarCaminoValido

Call nuevaferomona
Call NuevosCalculosdeProbabilidades

```

Figura 32. Parte de la programación en Visual Basic de Excel

## 5.6 Flujos de camino sin aplicar ACO y aplicado ACO

Para tener una comparación de los caminos encontrados por el algoritmo de colonia de hormigas se analiza los flujos de los caminos trocales.

### 5.6.1. Camino sin ACO hasta el nodo 20

Los resultados del flujo de potencia ejecutados en el ramal troncal sin a ver realizado una optimización encuentran en la tabla 9, de igual manera en la figura 30 esta la data del grafo desde el inicio hasta el nodo 20

Tabla 9 Matriz del camino troncal sin ACO

INICIO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	14	15	16	17	18	19
FIN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	14	15	16	17	18	19	20



Figura 33. Camino troncal sin ACO

Se toma los valores y se realizan los cálculos de flujos para poder obtener las diferentes caídas de tensión en cada sección del ramal troncal.

Tabla 10 Sección de la primera iteración de flujos sin ACO hasta el nodo 20

PRIMERA ITERACION							
nj	Lij	Lj	Zlnj	X	$\Delta Un_{ij}$	$\Delta Un_j$	$\Delta Un_j$
	[m]	[m]	[ohm/km]	[ohm/km]	[kV]	[kV]	[%]
1	2,197389	2,197389	0,00072078	0,00092982	1,2311E-06	1,2311E-06	0,000%
2	0,637257	2,834646	0,00092982	0,00119948	3,1762E-06	4,4072E-06	0,000%
3	21,22	24,054646	0,00789037	0,01017869	4,0429E-05	4,4836E-05	0,000%
4	63,8467	87,901346	0,02883327	0,03719535	0,00019698	0,00024182	0,001%
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
17	568,000877	4268,79376	1,40024337	1,80633481	0,07264594	0,25978807	1,181%
18	68,998729	4337,79249	1,42287623	1,83553154	0,08067971	0,34046778	1,548%
19	1148,08	5485,87249	1,79946772	2,32134018	0,11070822	0,451176	2,051%
20	105,717	5591,58949	1,83414485	2,36607419	0,12168391	0,57285991	2,604%

Con la corrida de flujos se puede tener varias iteraciones para poder tener un mejor resultado, en este caso se realizó 20 iteraciones así se puede observar la caída de tensión presente en el sistema.

Tabla 11 Sección de la vigésima iteración de flujos sin ACO hasta el nodo 20

VIGESIMA ITERACION								
nj	S(t)nj	$\Delta P_{nj}$	$\Delta Q_{nj}$	$\Delta U_{nij}$	$\Delta U_{nj}$	$\Delta U_{nj}$	$\Delta P_{nij}$	$\Delta Q_{nij}$
	[KVA]	[KW]	[KVAR]	[kV]	[kV]	[%]	[Kwatt]	[KVAR]
1	149,53034	7,3169E-08	9,4389E-08	1,6231E-08	1,6231E-08	0,00000%	7,3169E-08	9,4389E-08
2	299,06068	4,8705E-07	6,283E-07	6,0723E-09	2,2304E-08	0,00000%	2,7373E-08	3,5312E-08
3	448,59102	7,8914E-05	0,0001018	1,7159E-06	1,7382E-06	0,00001%	7,7349E-06	9,9782E-06
4	598,12141	0,00187337	0,00241667	1,8866E-05	2,0604E-05	0,00009%	8,5044E-05	0,00010971
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
17	2703,7385	90,2802386	116,462853	0,01370379	0,04780587	0,21730%	0,10376187	0,13385436
18	2954,9673	111,351454	143,645035	0,00169051	0,04949638	0,22498%	0,01280271	0,01651568
19	3206,3528	209,684833	270,49656	0,03563777	0,08513416	0,38697%	0,26974343	0,34797305
20	3457,5892	253,320504	326,787225	0,00333908	0,08847324	0,40215%	0,02528706	0,03262069

### 5.6.2. Camino con ACO hasta el nodo 20

El camino encontrado por medio del algoritmo se corren flujos de igual manera es realizado desde el inicio hasta el nodo 20.

Tabla 12 Matriz del camino troncal con ACO

INICIO	0	1	2	3	4	5	45	46	7	8	9	10	11	14	15	68	16	69	17	18	19
FIN	1	2	3	4	5	45	46	7	8	9	10	11	14	15	68	16	69	17	18	19	20

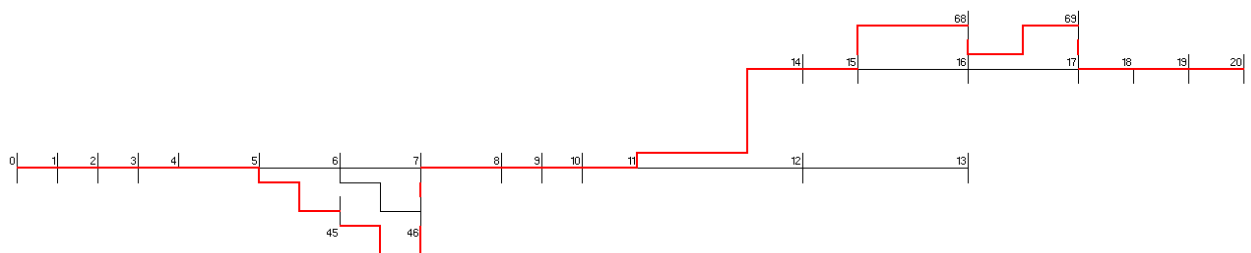


Figura 34. Camino troncal con ACO

Tabla 13 Sección de la primera iteración de flujos con ACO hasta el nodo 20

PRIMERA ITERACION							
			Z1nj				
nj	Lij	Lj	R	X	ΔUnij	ΔUnj	ΔUnj
	[m]	[m]	[ohm/km]	[ohm/km]	[kV]	[kV]	[%]
1	2,197389	2,197389	0,00072078	0,00092982	1,2311E-06	1,2311E-06	0,000%
2	0,637257	2,834646	0,00092982	0,00119948	3,1762E-06	4,4072E-06	0,000%
3	21,22	24,054646	0,00789037	0,01017869	4,0429E-05	4,4836E-05	0,000%
4	63,8467	87,901346	0,02883327	0,03719535	0,00019698	0,00024182	0,001%
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
17	65,143568	2806,4109	0,92055472	1,18752931	0,06107298	0,3310923	1,505%
18	68,998729	2875,40963	0,94318758	1,21672604	0,06257453	0,3310923	1,505%
19	1148,08	4023,48963	1,31977907	1,70253467	0,08755899	0,3310923	1,505%
20	105,717	4129,20663	1,35445621	1,74726869	0,0898596	0,3310923	1,505%

Se realizó 20 iteraciones observando las distintas caídas de tensión presentadas por este nuevo camino que son más bajas que el camino del ramal troncal sin haber aplicado el algoritmo.

Tabla 14 Sección de la vigésima iteración de flujos con ACO hasta el nodo 20

VIGESIMA INTERACCION								
nj	S(t)nj	ΔPnj	ΔQnj	ΔUnij	ΔUnj	ΔUnj	ΔPnij	ΔQnij
	[KVA]	[KW]	[KVAR]	[kV]	[kV]	[%]	[Kwatt]	[KVAR]
1	149,53034	7,3169E-08	9,4389E-08	1,6231E-08	1,6231E-08	0,00000%	7,3169E-08	9,4389E-08
2	299,06068	4,8705E-07	6,283E-07	6,0723E-09	2,2304E-08	0,00000%	2,7373E-08	3,5312E-08
3	448,59102	7,8914E-05	0,0001018	1,7159E-06	1,7382E-06	0,00001%	7,7349E-06	9,9782E-06
4	598,12141	0,00187337	0,00241667	1,8866E-05	2,0604E-05	0,00009%	8,5044E-05	0,00010971
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
17	3457,3019	63,8013848	82,3047372	0,00103256	0,02197684	0,09989%	0,00781995	0,01008786
18	3708,5281	77,0647141	99,4146296	0,00112056	0,0230974	0,10499%	0,0084864	0,01094759
19	3959,8697	172,03648	221,929622	0,02612452	0,04922192	0,22374%	0,19776827	0,25512401
20	4211,1021	204,916891	264,345844	0,00246569	0,0516876	0,23494%	0,01867307	0,02408854



En el nodo 21 la caída de tensión más elevada de 0.23494% en la red, la que es más baja que la caída de tensión presentada por los flujos de potencia en la topología inicial.

Con la información de los flujos se puede realizar un análisis costo – beneficio del rango en el cual se toman bifurcaciones, las diferencias de caídas de tensión para ver si el cambio de topología es rentable.

Tabla 15 Datos para RBC del flujo hasta el nodo 20

FLUJO HASTA EL NODO 20 SIN ACO			FLUJO HASTA EL NODO 20 CON ACO		
s(t)	$\Delta P_{nij}$	L	s(t)	$\Delta P_{nij}$	L
[MUA]	[Kwatt]	[m]	[MUA]	[Kwatt]	[m]
2261,3291	0,5871	3887,686738	3014,8581	0,3672	3677,475804

Se analiza razón beneficio-costo desde el nodo 9 hasta el nodo 20, se utiliza un margen de 15 años que es el tiempo de vida útil de un alimentador en medio voltaje aéreo, donde el resultado por la diferencia de distancia presentadas sin el algoritmo y con el algoritmo.

Tabla 16 Análisis de RBC del flujo hasta el nodo 20

Ta	Sin ACO			Con ACO						
año	s(t)	$\Delta P$	$K\Delta P$	s(t)	$\Delta P$	$K\Delta P$	$1/(1+ri)^t$	Beneficio	Costo	VAN
0	2261,3291	0,5871	2459,3735	3014,8581	0,3672	1468,9311	1	990,44241	188,60125	801,8411626
1	2355,1743	0,611491984	2561,4375	3139,9748	0,3824508	1529,8917	5,75	179,39926	32,800217	146,5990474
2	2452,914	0,636868901	2667,7372	3270,2837	0,3983225	1593,3823	33,0625	32,494667	5,7043856	26,7902812
3	2554,7099	0,663298961	2778,4483	3406,0005	0,4148529	1659,5076	190,10938	5,8857731	0,9920671	4,893706066
4	2660,7304	0,690825868	2893,7539	3547,3495	0,4320693	1728,3772	1093,1289	1,0660926	0,1725334	0,893559244
5	2771,1507	0,719495141	3013,8447	3694,5645	0,4500002	1800,1048	6285,4912	0,1931018	0,0300058	0,163096015
6	2886,1534	0,749354189	3138,9192	3847,8889	0,4686752	1874,8092	36141,574	0,0349766	0,0052184	0,029758216
7	3005,9288	0,780452388	3269,1844	4007,5763	0,4881252	1952,6138	207814,05	0,0063353	0,0009075	0,005427782
8	3130,6749	0,812841162	3404,8555	4173,8907	0,5083824	2033,6472	1194930,8	0,0011475	0,0001578	0,000989687
9	3260,5979	0,846574071	3546,157	4347,1072	0,5294803	2118,0436	6870852,1	0,0002079	2,745E-05	0,000180402
10	3395,9127	0,881706895	3693,3225	4527,5121	0,5514537	2205,9424	39507400	3,765E-05	4,774E-06	3,28743E-05
11	3536,8431	0,918297731	3846,5954	4715,4039	0,574339	2297,489	227167549	6,819E-06	8,302E-07	5,98899E-06
12	3683,622	0,956407087	4006,2291	4911,0932	0,5981741	2392,8348	1,306E+09	1,235E-06	1,444E-07	1,09078E-06
13	3836,4924	0,996097981	4172,4876	5114,9035	0,6229983	2492,1375	7,511E+09	2,237E-07	2,511E-08	1,98616E-07
14	3995,7068	1,037436047	4345,6459	5327,172	0,6488528	2595,5612	4,319E+10	4,052E-08	4,367E-09	3,61566E-08
15	4161,5286	1,080489643	4525,9902	5548,2497	0,6757802	2703,277	2,483E+11	7,34E-09	7,595E-10	6,58058E-09
<b>TOTAL</b>								1209,524	228,30678	

<b>RBC</b>	<b>5,2978017</b>
<b>Si es rentable</b>	

### 5.6.3. Camino sin ACO hasta el nodo 174

Los flujos de potencia realizados en el camino sin el algoritmo hasta el nodo 174 en la figura 31 se observa el grafo y la secuencia del camino.

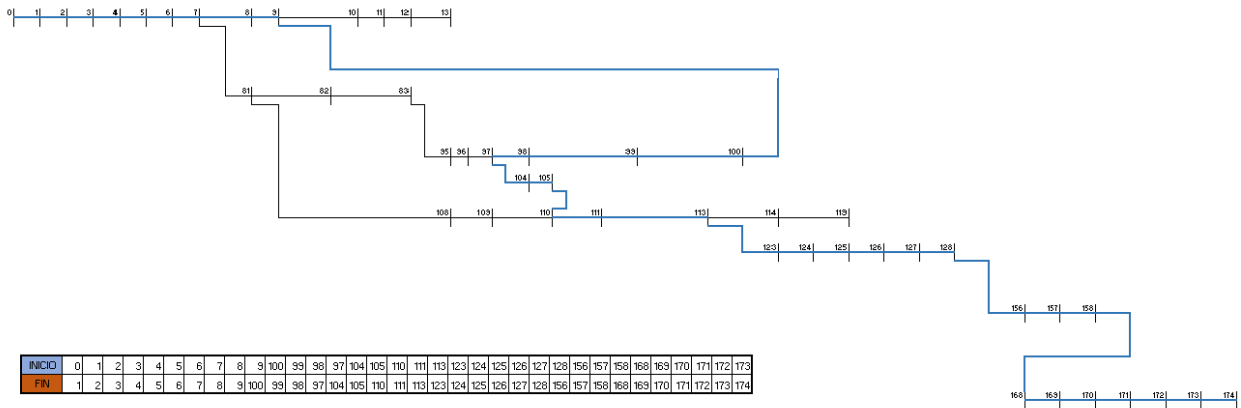


Figura 35. Camino troncal sin ACO al nodo 174.

Con esta información se realiza los flujos de potencia para las diferentes caídas de tensión según cada tramo.

Tabla 17 Sección de la primera iteración sin ACO hasta el nodo 174

PRIMERA ITERACION							
nj	Lij	Lj	Z1nj	X	ΔUnij	ΔUnj	ΔUnj
	[m]	[m]	[ohm/km]	[ohm/km]	[kV]	[kV]	[%]
1	2,197389	2,197389	0,00092982	3,9345E-07	1,1154E-06	1,1154E-06	0,000%
2	0,637257	2,834646	0,00092982	3,9345E-07	2,2308E-06	3,3461E-06	0,000%
3	21,22	24,054646	0,00789037	3,3388E-06	2,8395E-05	3,1741E-05	0,000%
4	63,8467	87,901346	0,02883327	1,2201E-05	0,00013835	0,00017009	0,001%
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
171	41,50464	4533,28875	1,48700262	0,00062922	3,53892432	29,8188854	135,540%
172	28,952977	4562,24173	1,49649973	0,00063324	3,75964621	33,5785316	152,630%
173	52,974761	4615,21649	1,51387644	0,00064059	4,00372172	37,5822533	170,828%
174	30,799964	4646,01645	1,52397939	0,00064487	4,23219849	41,8144518	190,066%

De igual manera se realiza 20 iteraciones para observar las caídas de tensión en el flujo de potencias en los extremos del alimentador.

Tabla 18 Sección de la vigésima iteración sin ACO hasta el nodo 174

VIGESIMA ITERACION							
nj	S(tnj)	$\Delta P_{nj}$	$\Delta Q_{nj}$	$\Delta U_{nj}$	$\Delta U_{nj}$	$\Delta U_{nj}$	$\Delta P_{nj}$
	[KVA]	[KW]	[KVAR]	[kV]	[kV]	[%]	[Kwatt]
1	149,53034	9,4389E-08	3,994E-11	1,4706E-08	1,4706E-08	0,00000%	9,4389E-08
2	299,06068	4,8705E-07	2,0609E-10	4,2649E-09	1,8971E-08	0,00000%	2,7373E-08
3	448,59103	7,8914E-05	3,3392E-08	1,2051E-06	1,2241E-06	0,00001%	7,7349E-06
4	598,12145	0,00187337	7,9271E-07	1,325E-05	1,4474E-05	0,00007%	8,5044E-05
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
171	28250,269	11115,3955	4,7034659	0,00466763	0,18013266	0,81878%	0,31479858
172	29821,382	12544,8392	5,30833321	0,00327668	0,18340934	0,83368%	0,22097307
173	31392,694	14226,377	6,01987389	0,00606558	0,18947492	0,86125%	0,40910898
174	32963,826	15896,068	6,72640156	0,00354975	0,19302467	0,87738%	0,23939196

#### 5.6.4. Camino con ACO hasta el nodo 174

Ahora analizado el camino óptimo encontrado por el algoritmo se presenta en la figura 33 con su grafo y la matriz de secuencia.

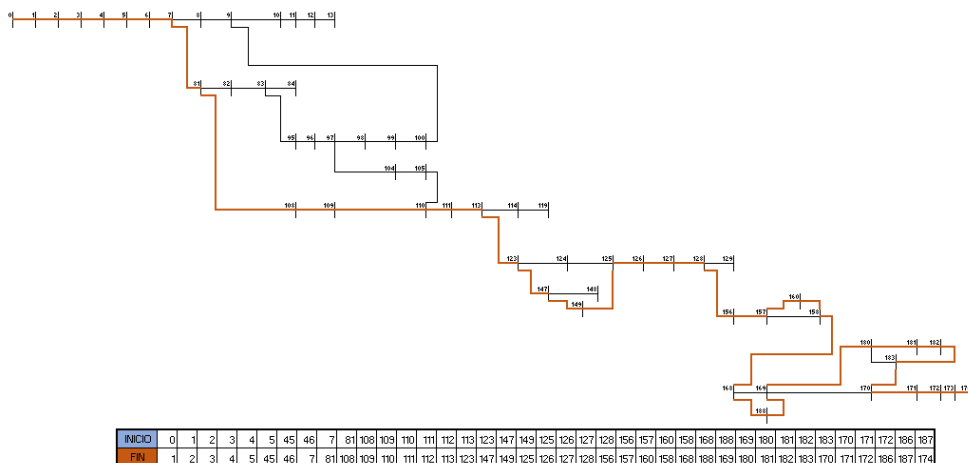


Figura 36. Camino troncal con ACO hasta el nodo 174

Tabla 19 Sección de la primera iteración con ACO hasta el nodo 174

PRIMERA INTERACCION							
nj	Lij	Lj	Z1nj	X	$\Delta U_{nj}$	$\Delta U_{nj}$	$\Delta U_{nj}$
	[m]	[m]	[ohm/km]	[ohm/km]	[kV]	[kV]	[%]
1	2,197389	2,197389	0,00092982	3,9345E-07	1,1154E-06	1,1154E-06	0,000%
2	0,637257	2,834646	0,00119948	5,0756E-07	2,8777E-06	3,9931E-06	0,000%
3	21,22	24,054646	0,01017869	4,3071E-06	3,663E-05	4,0623E-05	0,000%
4	63,8467	87,901346	0,03719535	1,5739E-05	0,00017847	0,0002191	0,001%
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
172	28,952977	3051,25144	1,29113328	0,00054634	3,92743131	40,7075429	185,034%
186	92,854053	3144,1055	1,33042436	0,00056297	4,22308196	44,9306249	204,230%
187	87,311547	3231,41704	1,36737013	0,0005786	4,52138096	49,4520058	224,782%
174	44,080037	3275,49708	1,38602255	0,00058649	4,76655123	54,2185571	246,448%

Ser realizo 20 iteraciones hasta el nodo 174, observando las caídas de voltaje en los extremos de ramal troncal aplicando el algoritmo.

Tabla 20 Sección de la vigésima iteración con ACO hasta el nodo 174

VIGESIMA ITERACCION							
nj	S(tnj)	$\Delta P_{nj}$	$\Delta Q_{nj}$	$\Delta U_{nj}$	$\Delta U_{nj}$	$\Delta U_{nj}$	$\Delta P_{nj}$
	[KVA]	[KW]	[KVAR]	[kV]	[kV]	[%]	[Kwatt]
1	149,53034	9,4389E-08	3,994E-11	1,4706E-08	1,4706E-08	0,00000%	9,4389E-08
2	299,06068	6,283E-07	2,6586E-10	5,5017E-09	2,0208E-08	0,00000%	3,5312E-08
3	448,59103	0,0001018	4,3076E-08	1,5546E-06	1,5748E-06	0,00001%	9,9782E-06
4	598,12148	0,00241667	1,0226E-06	1,7093E-05	1,8668E-05	0,00008%	0,00010971
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
172	36102,64	10609,1753	4,48925944	0,00282696	0,13514334	0,61429%	0,19064087
186	37674,186	12266,755	5,19066226	0,00934462	0,14448796	0,65676%	0,63037663
187	39245,71	14061,0619	5,949921	0,00903073	0,1535187	0,69781%	0,60919234
174	40816,919	15627,251	6,612652	0,00462061	0,15813931	0,71882%	0,31162678

La diferencia de caída de voltaje entre el camino optimo es de 0.15856% en el nodo más alejado.

Con la información de los flujos potencia se puede realizar razón beneficio - costo en donde cambian las bifurcaciones analizando la caída de tensión en ese rango, desde el nodo 7 hasta el nodo 174 tomando en cuenta de igual manera la sustracción entre los caminos.

Tabla 21 Datos para RBC del flujo hasta el nodo 174

FLUJO HASTA EL NODO 20 SIN ACO			FLUJO HASTA EL NODO 20 CON ACO		
s(t)	$\Delta P_{nij}$	L	s(t)	$\Delta P_{nij}$	L
MUA	[Kwatt]	m	MUA	[Kwatt]	KM
6860,4512	0,7946	3725,041698	7645,3795	0,3278	2975,2805

Tabla 22 Análisis de RBC del flujo hasta el nodo 174

año	Sin ACO			Con ACO			(1+ri)t	B	C	VAN
	s(t)	$\Delta P$	K $\Delta P$	s(t)	$\Delta P$	K $\Delta P$				
0	6860,4512	0,7946	3212,2946	7645,3795	0,3278	1104,8398	1	2107,454859	672,68579	1434,7691
1	7145,1599	0,827524483	3345,6049	7962,662724	0,3414288	1150,6906	5,75	381,7242149	116,98883	264,73538
2	7441,6841	0,861866749	3484,4475	8293,113227	0,3555981	1198,4443	33,0625	69,14187302	20,345884	48,795989
3	7750,514	0,897634219	3629,052	8637,277426	0,3703554	1248,1797	190,10938	12,52369752	3,5384146	8,9852829
4	8072,1603	0,934886039	3779,6577	8995,724439	0,3857251	1299,9792	1093,1289	2,268422777	0,6153765	1,6530463
5	8407,1549	0,97368381	3936,5135	9369,047003	0,4017327	1353,9283	6285,4912	0,410880404	0,107022	0,3038584
6	8756,0519	1,014091688	4099,8788	9757,862454	0,4184046	1410,1163	36141,574	0,074422946	0,0186125	0,0558104
7	9119,428	1,056176493	4270,0238	10162,81375	0,4357684	1468,6362	207814,05	0,013480261	0,003237	0,0102433
8	9497,8843	1,100007817	4447,2298	10584,57052	0,4538528	1529,5846	1194930,8	0,002441685	0,0005629	0,0018787
9	9892,0465	1,145658142	4631,7898	11023,83019	0,4726877	1593,0623	6870852,1	0,000442264	9,79E-05	0,0003444
10	10302,566	1,193202955	4824,0091	11481,31915	0,4923042	1659,1744	39507400	8,01074E-05	1,703E-05	6,308E-05
11	10730,123	1,242720877	5024,2054	11957,79389	0,5127349	1728,0302	227167549	1,45099E-05	2,961E-06	1,155E-05
12	11175,423	1,294293794	5232,71	12454,04234	0,5340134	1799,7434	1,306E+09	2,62818E-06	5,15E-07	2,113E-06
13	11639,203	1,348006986	5449,8674	12970,88509	0,5561749	1874,4328	7,511E+09	4,76044E-07	8,956E-08	3,865E-07
14	12122,23	1,403949276	5676,0369	13509,17683	0,5792562	1952,2217	4,319E+10	8,6226E-08	1,558E-08	7,065E-08
15	12625,303	1,462213171	5911,5925	14069,80766	0,6032953	2033,2389	2,483E+11	1,56182E-08	2,709E-09	1,291E-08
<b>TOTAL</b>								2573,614833	814,30385	

<b>RBC</b>	<b>3,160509243</b>
<b>Si es rentable</b>	

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se logró establecer una propuesta de la reconfiguración del alimentador mediante la aplicación del algoritmo ACO basado en la creación de grafos del alimentador, para crear una malla y encontrar el ramal troncal radial luego de haberse sometido algunas iteraciones en el programa. La utilización de este algoritmo de optimización basado en el comportamiento de sociedades de insectos en este caso las hormigas permiten dejar un rastro por medio de probabilidades según las características del conductor como la resistencia, distancia, se obtiene menor pérdidas eléctricas en la reconstrucción de la red.
- El análisis del sistema propuesto permite conocer el ramal troncal del alimentador 0500040V22 que con la correcta interacción del programa se hace posible el camino más corto, con la reconfiguración en pequeñas partes al camino designado por el administrador del programa.
- El programa fue diseñado en Excel para la facilidad de usuarios que en cualquier computadora puede encontrar Microsoft Office, así en cualquier lugar puede realizar avances en el estudio de la creación de la topología de alimentadores a instalar, ya que se puede analizar con factores básicos el algoritmo de colonia de hormigas y después se puede realizar cálculos correspondientes a flujos y caídas de tensión para analizar la razón costo beneficio y ver si es factible la reconfiguración con el cambio de conductor.
- El cálculo de caída de tensión en el ramal troncal más corto encontrado nos da la apreciación del camino más eficiente para una construcción o futura reconfiguración de la topología del alimentador. Para tener una correcta instalación del sistema se analizó los diferentes tipos de configuración que se puede tener el sistema y sus caídas de tensión de acuerdo como se encuentra las instalaciones a los usuarios.
- La caída de tensión presentada por los flujos después de 20 iteraciones se aprecia una considerable reducción de caída de tensión en la topología sugerida por el algoritmo en un ramal troncal del alimentador 0500040V22.
- Con los datos de flujos en los nodos finales se pudo realizar un análisis de Razón Beneficio Costo el que en ambas secciones del alimentador son mayores a 1 por lo que es rentable aplicar un cambio de topología con respecto al tiempo del crecimiento de demanda dentro de 15 años se mantiene rentable esta topología.

- El análisis se realizó con el mismo estructura posteriormente se puede realizar el análisis que el cambio de topología también se puede realizar un cambio de cable para mejorar la futura demanda futura del alimentador.
- Este documento deja planteada la posibilidad de realizar el estudio de ramales secundarios que proveerán mayor información a la hora de construir una topología par un alimentador parecido o mejorar la que se encuentra instalado.
- Este análisis sirve para encontrar específicamente el ramo troncal del sistema, se podrían hacer análisis y cálculos complementarios para conectar de los ramales secundarios al ramal troncal.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] V. M. and A. C. M. Dorigo, “Ant System: An Autocatalytic Optimizing Process,” *Tech. Rep. 91-016*, p. 21, 1991.
- [2] J. F. T. Peñuela, Cesar Augusto; Franco and Eliana M., “Colonia de hormigas aplicada a la programación óptima de horarios de clase,” *Sci. Tech.*, vol. 1, no. 38, Jun. 2008.
- [3] E. Enriquez, C. Coello, and E. Montes, “Uso de una Colonia de Hormigas para resolver Problemas de Programación de Horarios,” LABORATORIO NACIONAL DE INFORMATICA AVANZADA A. C., 2007.
- [4] M. Dorigo, “Ant colony optimization,” *Scholarpedia*, vol. 2, no. 3, p. 1461, 2007.
- [5] O. B. Suescún, R. B. Agudelo, and G. M. Delgadillo, “Análisis comparativo de colonia de hormigas vs. un enfoque combinado cuello de botella móvil/búsqueda tabú en la minimización de la tardanza ponderada total en sistemas de manufactura tipo taller,” *Rev. Colomb. Comput.*, vol. 8, no. 1, pp. 1–19, Jun. 2007.
- [6] D. Aparicio Guirao, “Aplicación de los algoritmos de hormigas para la resolución de un problema de equilibrado de líneas de montaje con robotizados,” Universitat Politècnica de Catalunya, 2012.
- [7] S. Carvajal, J. Lopez, and C. Lemoine, “Reconfiguración de sistemas de distribución de energía eléctrica usando un algoritmo de optimización basado en colonia de hormigas,” *Tecnura*, vol. 12, no. 24, pp. 14–22, Jan. 2009.
- [8] B. Crawford, R. Soto, F. Johnson, F. Paredes, and O. Suárez, “Sistemas de Hormigas Max-Min para resolver el Problema de Programación de Proyectos de Software Max-Min Ant System to solve the Software Project Scheduling Problem,” pp. 343–346, 2014.
- [9] B. Crawford, R. Soto, F. Johnson, F. Paredes, and M. O. Suarez, “Max-Min Ant System to solve the software project scheduling problem,” in *2014 9th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*, 2014, pp. 1–4.
- [10] R. Montalvo, Idel; Izquierdo, Joaquin; Herrera, Manuel; Pérez, “APLICACIÓN DE LA OPTIMIZACIÓN DE COLONIA DE HORMIGAS AL DISEÑO DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA,” in *VII SEREA*, 2007.
- [11] M. Dorigo and T. Stützle, *Ant colony optimization*. London, England: MIT Press, 2004.
- [12] T. Dorigo, Marco; Birattari, Mauro; Blum, Christian; Gambardella, Luca M.; Mondada,



- Francesco; Stützle, *Ant colony optimization and swarm intelligence : 4th international workshop, ANTS 2004, Brussels, Belgium, September 5-8, 2004 : proceedings*, 4th ed. Germany: Springer, 2004.
- [13] B. Barán and M. Almirón, “Colonia de Hormigas en un Ambiente Paralelo Asincrono,” San Lorenzo, Paraguay, 2002.
- [14] A. Del Rosso, Alberto, Ghia, “Reducción de Pérdidas en Sistemas de Transmisión y Distribución – Beneficios económicos y ambientales,” *Área Pensam. Estratégico*, p. 34, 2013.
- [15] J. Dolores and J. Cervantes, “Sistemas de distribución de energía eléctrica / José Dolores Juárez Cervantes.,” Mexico, 1995.
- [16] A. C. Avanzada and T. Emanuel, “Uso de una Colonia de Hormigas on de Horarios Resumen.”
- [17] L. C. Daniel, I. H. Khan, and S. Ravichandran, “Distribution Network Reconfiguration For Loss Reduction Using Ant Colony System Algorithm,” in *2005 Annual IEEE India Conference - Indicon*, pp. 619–622.
- [18] S. R. Castaño, “Redes de Distribución de Energía,” Colombia, 2004.
- [19] CONELEC, “BOLETÍN ESTADÍSTICO SECTOR ELÉCTRICO ECUATORIANO,” 2012.
- [20] ARCONEL, “TRANSACCIONES DEL SECTOR ELÉCTRICO ECUATORIANO.”
- [21] S. V. Mora Espinoza and E. R. Sempértegui Cañizares, “Proyección a corto plazo de la demanda eléctrica de los alimentadores de distribución de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A.,” 2017.
- [22] L. Pravos García, “Análisis de flujos de carga para el análisis de redes de distribución. Implementación del algoritmo ‘Fordward and Backward,’” 2017.
- [23] I. D. Oscar Miranda Urióstegui México, “MINIMIZACIÓN DE PÉRDIDAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN EMPLEANDO PROGRAMACIÓN DINÁMICA,” Mexico, 2009.
- [24] A. Morales Arce, *Interfaz para el cálculo de parámetros eléctricos de redes de distribución aéreas y subterráneas*. Costa Rica, 2012.
- [25] L. A. Lezama, Jesús María; Pareja, “Flujo de potencia óptimo usando el método del gradiente para reducción de pérdidas en sistemas de potencia.,” *EBSCOhost; Ingeniería y Ciencia; Vol 4*, 2008. [Online]. Available:

<https://web.a.ebscohost.com/abstract?direct=true&profile=ehost&scope=site&authtype=crawler&jrnl=17949165&AN=33959624&h=RD6pIaHai%2FA%2FqNqghKwEDaUw0NQZHCdLqdoWR7Jeh7WQ%2F%2FfwDgCod10ZxBRPGS3Qo8ey%2FxuQyom5whNfPVcpoQ%3D%3D&crl=c&resultNs=AdminWebAuth&resul>. [Accessed: 26-Sep-2018].

- [26] D. Fernando and P. Suarez, “Disenó optimo de sistemas de distribución,” Universidad Nacional de Colombia, 2014.
- [27] B. Barán and M. Almirón, “Colonia de Hormigas en un Ambiente Paralelo Asíncrono y.”

# ANEXOS

ALIMENTADOR 0500040V02

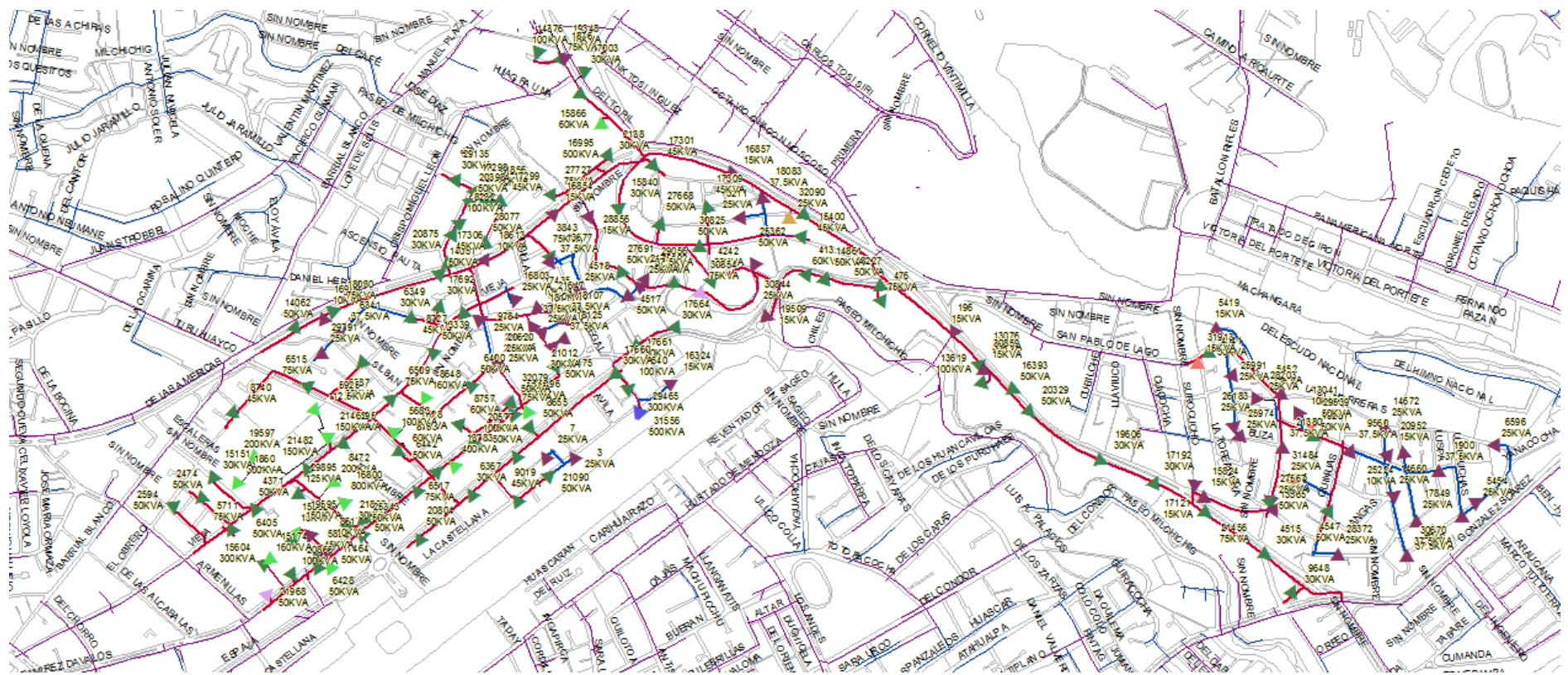


Figura 37. Imagen completa alimentador 0500040V22

### GRAFO PARTE1 SIN ACO Y CON ACO

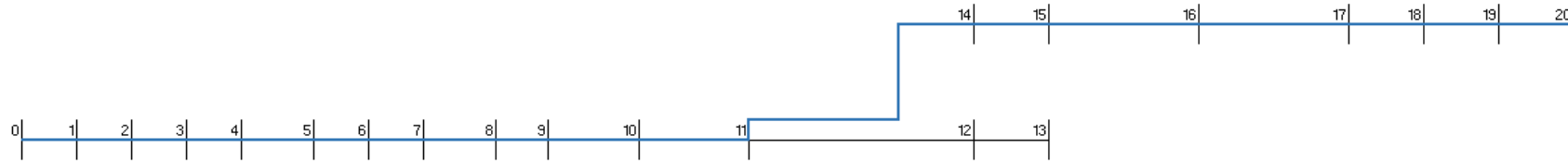


Figura 38. Camino troncal sin ACO hasta el nodo 20

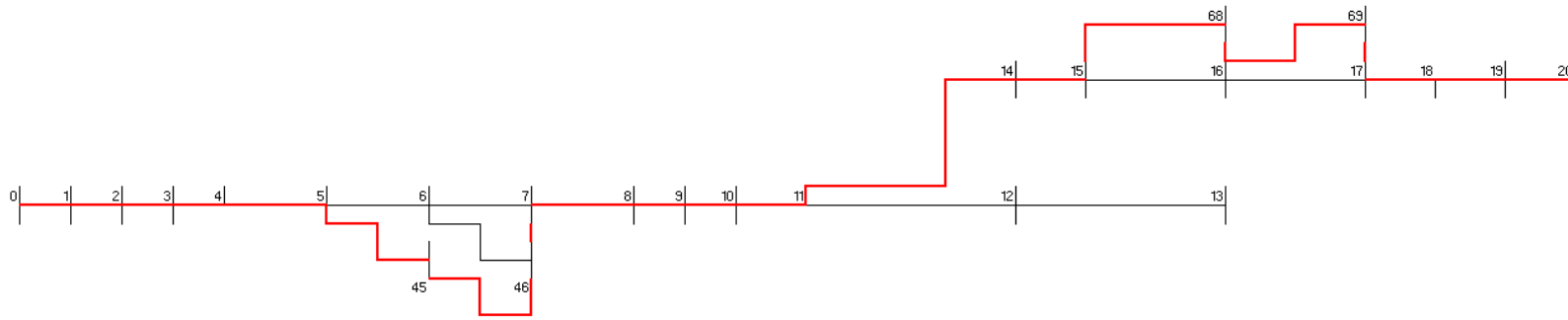


Figura 39. Camino troncal sin ACO hasta el nodo 20

### GRAFO PARTE 2 SIN ACO

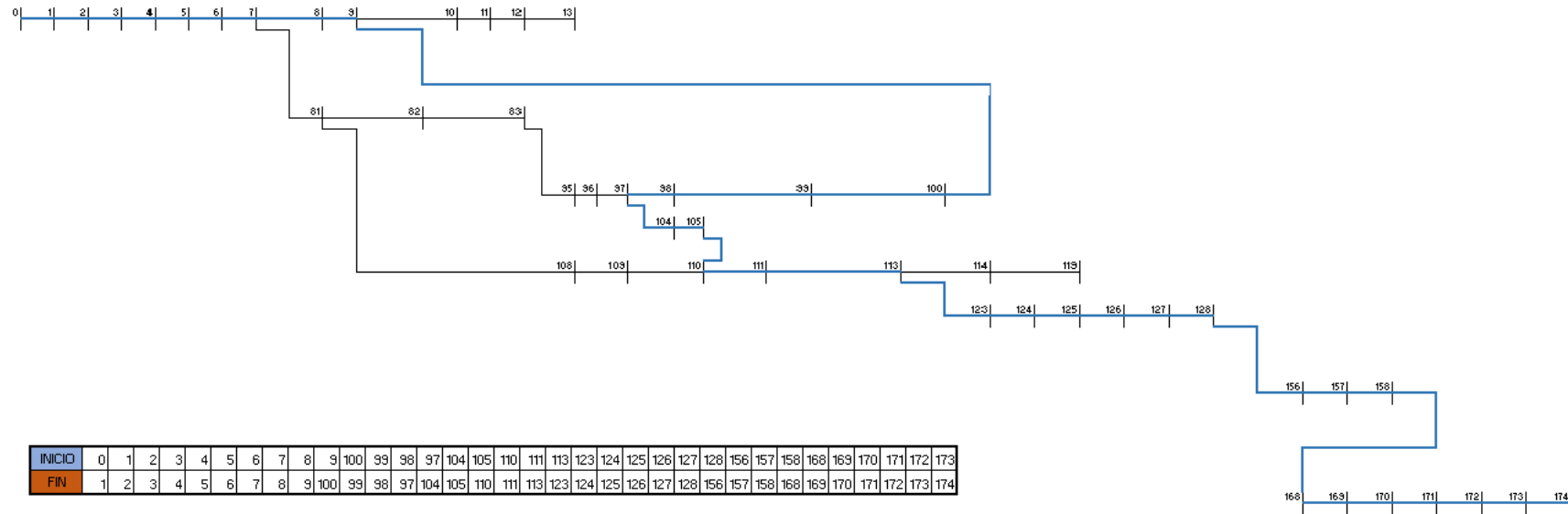
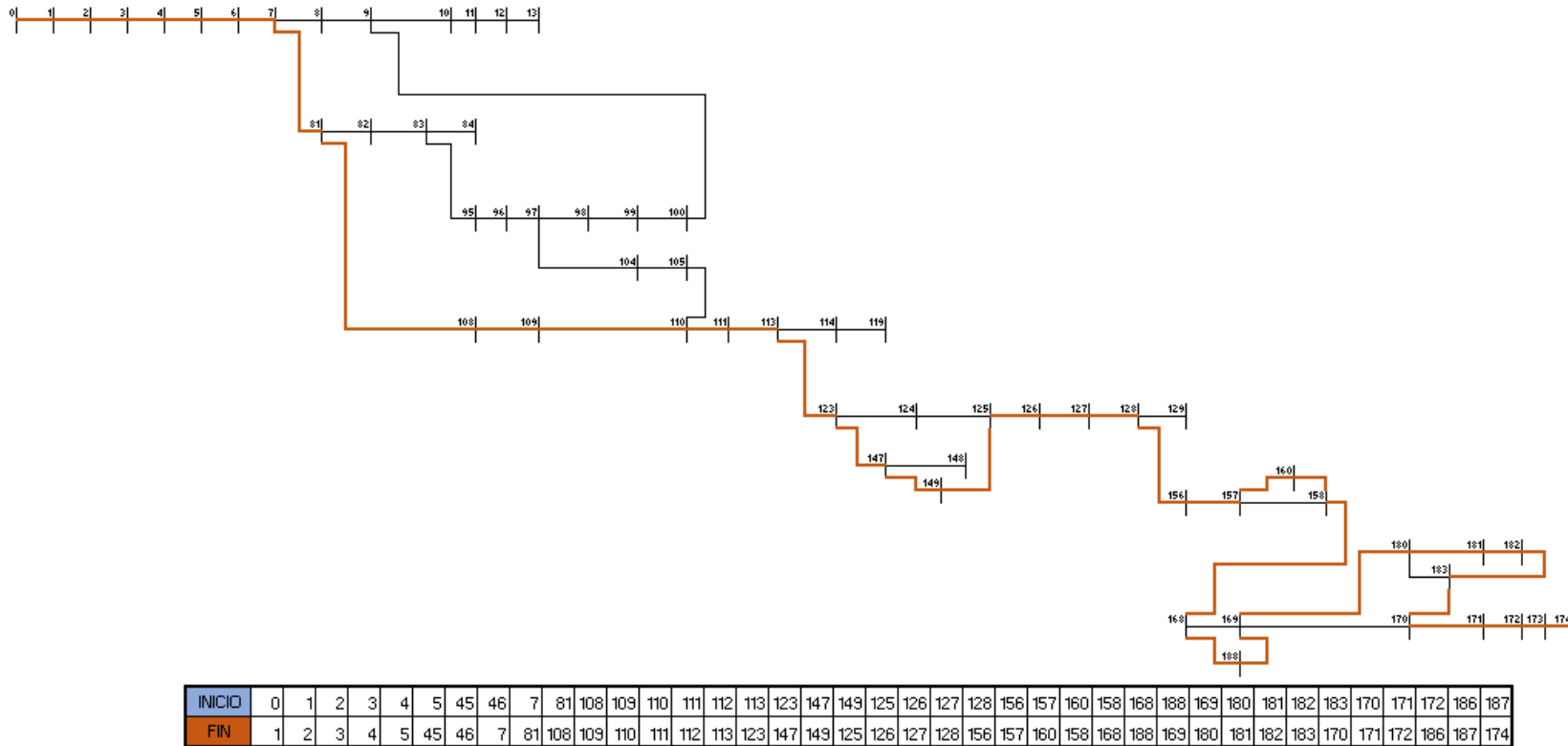


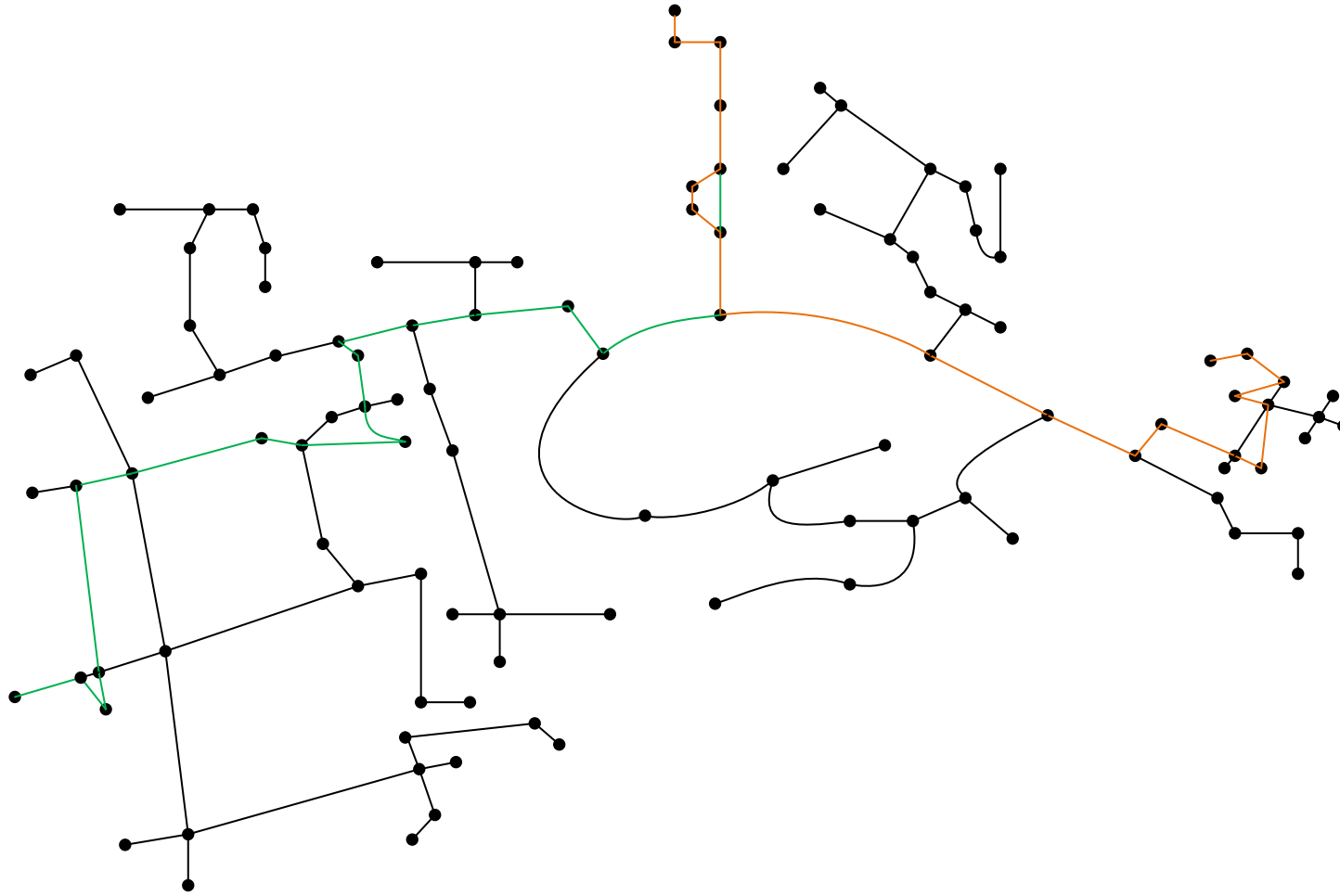
Figura 40. Camino troncal sin ACO hasta el nodo 174

## GRAFO PARTE 2 CON ACO



*Figura 41. Camino troncal con ACO hasta el nodo 174*

## GRAFO DEL ALIMENTADOR



*Figura 42. Modificaciones en los tramos del sistema*



Tabla 23 Primer iteración de flujos sin ACO hasta el nodo 20

PRIMERA ITERACION							
			Z1nj				
nj	Lij	Lj	R	X	$\Delta U_{nij}$	$\Delta U_{nj}$	$\Delta U_{nj}$
	[m]	[m]	[ohm/km]	[ohm/km]	[kV]	[kV]	[%]
1	2,197389	2,197389	0,00072078	0,00092982	1,2311E-06	1,2311E-06	0,000%
2	0,637257	2,834646	0,00092982	0,00119948	3,1762E-06	4,4072E-06	0,000%
3	21,22	24,054646	0,00789037	0,01017869	4,0429E-05	4,4836E-05	0,000%
4	63,8467	87,901346	0,02883327	0,03719535	0,00019698	0,00024182	0,001%
5	103,835	191,736346	0,06289307	0,081133	0,00053709	0,00077891	0,004%
6	486,119204	677,85555	0,22234917	0,28683374	0,00227857	0,00305748	0,014%
7	343,119204	1020,97475	0,33489862	0,43202421	0,00400394	0,00706142	0,032%
8	682,928	1703,90275	0,55891164	0,72100435	0,00763676	0,01469818	0,067%
9	114,24	1818,14275	0,59638448	0,76934486	0,01340513	0,02810331	0,128%
10	331,259	2149,40175	0,70504356	0,9095167	0,01820781	0,04631112	0,211%
11	663,083	2812,48475	0,92254706	1,19009945	0,02691332	0,07322444	0,333%
14	32,689132	2845,17389	0,9332697	1,20393182	0,0303505	0,10357494	0,471%
15	211,36	3056,53389	1,00259969	1,29336854	0,03596161	0,13953655	0,634%
16	644,259	3700,79289	1,21392857	1,56598594	0,04760558	0,18714213	0,851%
17	568,000877	4268,79376	1,40024337	1,80633481	0,07264594	0,25978807	1,181%
18	68,998729	4337,79249	1,42287623	1,83553154	0,08067971	0,34046778	1,548%
19	1148,08	5485,87249	1,79946772	2,32134018	0,11070822	0,451176	2,051%
20	105,717	5591,58949	1,83414485	2,36607419	0,12168391	0,57285991	2,604%

Tabla 24 Vigésima iteración de flujos sin ACO hasta el nodo 20

VIGESIMA ITERACION								
nj	S(t)nj	ΔPnj	ΔQnj	ΔUnij	ΔUnj	ΔUnj	ΔPnij	ΔQnij
	[KVA]	[KW]	[KVAR]	[kV]	[kV]	[%]	[Kwatt]	[KVAR]
1	149,53034	7,3169E-08	9,4389E-08	1,6231E-08	1,6231E-08	0,00000%	7,3169E-08	9,4389E-08
2	299,06068	4,8705E-07	6,283E-07	6,0723E-09	2,2304E-08	0,00000%	2,7373E-08	3,5312E-08
3	448,59102	7,8914E-05	0,0001018	1,7159E-06	1,7382E-06	0,00001%	7,7349E-06	9,9782E-06
4	598,12141	0,00187337	0,00241667	1,8866E-05	2,0604E-05	0,00009%	8,5044E-05	0,00010971
5	747,65194	0,0139271	0,01796617	6,6926E-05	8,753E-05	0,00040%	0,00030169	0,00038918
6	897,18532	0,2506638	0,32336004	0,00110777	0,0011953	0,00543%	0,00499355	0,00644175
7	1046,7189	0,77400386	0,99847651	0,00117769	0,00237298	0,01079%	0,00530873	0,00684834
8	1196,26	2,81574781	3,63235664	0,00391249	0,00628547	0,02857%	0,01763575	0,02275037
9	1405,6116	4,42628751	5,70997685	0,00097758	0,00726305	0,03301%	0,00616953	0,00795878
10	1614,9724	8,1661693	10,5344801	0,00335154	0,01061459	0,04825%	0,0211509	0,02728497
11	1824,354	17,8423304	23,0168721	0,00878098	0,01939558	0,08816%	0,05541002	0,07147975
14	2033,7036	22,6905966	29,2712078	0,00043773	0,01983331	0,09015%	0,00276254	0,00356372
15	2243,0631	31,8562323	41,0950144	0,00304092	0,02287422	0,10397%	0,01919069	0,02475628
16	2452,4542	55,8270084	72,0176727	0,01122786	0,03410208	0,15501%	0,0708475	0,09139433
17	2703,7385	90,2802386	116,462853	0,01370379	0,04780587	0,21730%	0,10376187	0,13385436
18	2954,9673	111,351454	143,645035	0,00169051	0,04949638	0,22498%	0,01280271	0,01651568
19	3206,3528	209,684833	270,49656	0,03563777	0,08513416	0,38697%	0,26974343	0,34797305
20	3457,5892	253,320504	326,787225	0,00333908	0,08847324	0,40215%	0,02528706	0,03262069

Tabla 25 Primera iteración de flujos con ACO hasta el nodo 20

PRIMERA ITERACION							
			Z1nj				
nj	Lij	Lj	R	X	ΔUnij	ΔUnj	ΔUnj
	[m]	[m]	[ohm/km]	[ohm/km]	[kV]	[kV]	[%]
1	2,197389	2,197389	0,00072078	0,00092982	1,2311E-06	1,2311E-06	0,000%
2	0,637257	2,834646	0,00092982	0,00119948	3,1762E-06	4,4072E-06	0,000%
3	21,22	24,054646	0,00789037	0,01017869	4,0429E-05	4,4836E-05	0,000%
4	63,8467	87,901346	0,02883327	0,03719535	0,00019698	0,00024182	0,001%
5	103,835	191,736346	0,06289307	0,081133	0,00053709	0,00077891	0,004%
6	26,366008	218,102354	0,07154161	0,09228974	0,00073314	0,00151205	0,007%
7	82,11427	300,216624	0,09847661	0,12703629	0,00117735	0,0026894	0,012%
8	151,514199	451,730823	0,14817607	0,19114934	0,00202462	0,00471403	0,021%
9	682,928	1134,65882	0,3721891	0,48012948	0,00836582	0,01307984	0,059%
10	114,24	1248,89882	0,40966193	0,52847	0,01057955	0,0236594	0,108%
11	331,259	1580,15782	0,51832101	0,66864183	0,0151209	0,0387803	0,176%
12	663,083	2243,24082	0,73582451	0,94922459	0,02392946	0,06270976	0,285%
13	32,689132	2275,92996	0,74654715	0,96305695	0,02677743	0,08948718	0,407%
14	211,36	2487,28996	0,81587714	1,05249368	0,03199554	0,12148272	0,552%
15	4,441336	2491,73129	0,81733399	1,05437302	0,04240405	0,16388678	0,745%
16	240,211741	2731,94303	0,89612788	1,15601832	0,05081211	0,21469888	0,976%
17	9,324298	2741,26733	0,89918643	1,15996389	0,05532043	0,27001932	1,227%
18	65,143568	2806,4109	0,92055472	1,18752931	0,06107298	0,3310923	1,505%
19	68,998729	2875,40963	0,94318758	1,21672604	0,06257453	0,3310923	1,505%
20	1148,08	4023,48963	1,31977907	1,70253467	0,08755899	0,3310923	1,505%
21	105,717	4129,20663	1,35445621	1,74726869	0,0898596	0,3310923	1,505%

Tabla 26 Vigésima iteración de flujos con ACO hasta el nodo 20

VIGESIMA ITERACION								
nj	S(t)nj	$\Delta P_{nj}$	$\Delta Q_{nj}$	$\Delta U_{nij}$	$\Delta U_{nj}$	$\Delta U_{nj}$	$\Delta P_{nij}$	$\Delta Q_{nij}$
	[KVA]	[KW]	[KVAR]	[kV]	[kV]	[%]	[Kwatt]	[KVAR]
1	149,53034	7,3169E-08	9,4389E-08	1,6231E-08	1,6231E-08	0,00000%	7,3169E-08	9,4389E-08
2	299,06068	4,8705E-07	6,283E-07	6,0723E-09	2,2304E-08	0,00000%	2,7373E-08	3,5312E-08
3	448,59102	7,8914E-05	0,0001018	1,7159E-06	1,7382E-06	0,00001%	7,7349E-06	9,9782E-06
4	598,12141	0,00187337	0,00241667	1,8866E-05	2,0604E-05	0,00009%	8,5044E-05	0,00010971
5	747,65194	0,0139271	0,01796617	6,6926E-05	8,753E-05	0,00040%	0,00030169	0,00038918
6	897,18233	0,02594987	0,03347571	1,9331E-05	0,00010686	0,00049%	8,714E-05	0,00011241
7	1046,7129	0,06692334	0,08633211	8,287E-05	0,00018973	0,00086%	0,00037357	0,0004819
8	1196,2439	0,19790278	0,25529753	0,00023008	0,00041981	0,00191%	0,00103717	0,00133796
9	1405,6058	1,72389431	2,22384935	0,0036476	0,00406741	0,01849%	0,02301911	0,02969499
10	1614,9562	2,75695071	3,5565075	0,0006715	0,0047389	0,02154%	0,00423786	0,0054669
11	1824,3135	5,63187343	7,26520065	0,00246381	0,00720271	0,03274%	0,01554882	0,02005821
12	2033,6884	14,1050163	18,1956812	0,00700306	0,01420577	0,06457%	0,0441922	0,0570086
13	2243,0376	17,662162	22,7844522	0,00035015	0,01455592	0,06616%	0,00220983	0,00285071
14	2452,3949	25,2166067	32,5297984	0,00247451	0,01703043	0,07741%	0,01561632	0,02014529
15	2703,6162	30,757108	39,6771276	6,2501E-05	0,01709293	0,07770%	0,00047335	0,00061063
16	2954,8544	44,1640035	56,9722226	0,00370699	0,02079992	0,09455%	0,02807308	0,03621469
17	3206,0761	52,3484004	67,5302166	0,00014436	0,02094427	0,09520%	0,00109329	0,00141036
18	3457,3019	63,8013848	82,3047372	0,00103256	0,02197684	0,09989%	0,00781995	0,01008786
19	3708,5281	77,0647141	99,4146296	0,00112056	0,0230974	0,10499%	0,0084864	0,01094759
20	3959,8697	172,03648	221,929622	0,02612452	0,04922192	0,22374%	0,19776827	0,25512401
21	4211,1021	204,916891	264,345844	0,00246569	0,0516876	0,23494%	0,01867307	0,02408854

Tabla 27 Primer iteración de flujos sin ACO hasta el nodo 174

PRIMERA ITERACION							
nj	Lij	Lj [m]	Z1nj	X [ohm/km]	ΔUnij [kV]	ΔUnj [kV]	ΔUnj [%]
	[m]		R [ohm/km]				
1	2,197389	2,197389	0,00072078	0,00092982	1,2311E-06	1,2311E-06	0,000%
2	2,834646	0,637257	0,00092982	0,00119948	3,1762E-06	4,4072E-06	0,000%
3	24,054646	21,22	0,00789037	0,01017869	4,0429E-05	4,4836E-05	0,000%
4	87,901346	63,8467	0,02883327	0,03719535	0,00019698	0,00024182	0,001%
5	191,736346	103,835	0,06289307	0,081133	0,00053709	0,00077891	0,004%
6	577,85555	386,119204	0,18954732	0,24451886	0,00194243	0,00272134	0,012%
7	920,974754	343,119204	0,30209677	0,38970933	0,00361177	0,00633311	0,029%
8	1603,90275	682,928	0,52610979	0,67868947	0,00718857	0,01352168	0,061%
9	1718,14275	114,24	0,56358263	0,72702999	0,01266783	0,02618951	0,119%
10	1772,40984	54,267083	0,58138323	0,74999304	0,01501427	0,04120378	0,187%
11	1979,88384	207,474	0,64943855	0,8377854	0,07473242	0,1159362	0,527%
12	2060,86048	80,976642	0,67600038	0,87205057	0,1003981	0,21633429	0,983%
13	2144,85508	83,9946	0,70355217	0,90759278	0,12802066	0,34435495	1,565%
14	2549,49908	404,644	0,83628289	1,07881739	0,18014264	0,52449759	2,384%
15	2694,65108	145,152	0,88389543	1,14023828	0,21996109	0,74445868	3,384%
16	2893,70508	199,054	0,94918883	1,22446773	0,05783723	0,80229591	3,647%
17	3064,37008	170,665	1,00517011	1,29668442	0,06314126	0,86543717	3,934%
18	3245,24108	180,871	1,06449914	1,37321976	0,06887273	0,93430989	4,247%
19	3345,15668	99,9156	1,09727331	1,41549892	0,07305956	1,00736945	4,579%
20	3455,85268	110,696	1,13358365	1,4623398	0,07761193	1,08498138	4,932%
21	3663,26168	207,409	1,20161764	1,55010466	0,08453279	1,16951418	5,316%
22	3773,60868	110,347	1,2378135	1,59679786	0,08941015	1,25892433	5,722%
23	3916,81968	143,211	1,28478936	1,65739741	0,09522281	1,35414714	6,155%
24	4064,53268	147,713	1,33324195	1,71990199	0,10132461	1,45547175	6,616%
25	4127,36931	62,836631	1,35385353	1,74649123	0,1054406	1,56091235	7,095%
26	4289,05431	161,685	1,4068892	1,81490804	0,11222053	1,67313288	7,605%
27	4300,86161	11,8073	1,41076222	1,81990428	0,11518616	1,78831904	8,129%
28	4312,66911	11,8075	1,4146353	1,82490061	0,11816639	1,90648543	8,666%
29	4417,33911	104,67	1,44896899	1,86919159	0,12376298	2,03024841	9,228%
30	4491,78411	74,445	1,47338833	1,9006929	0,12862339	2,1588718	9,813%
31	4533,28875	41,50464	1,48700262	1,91825554	0,13261216	2,29148396	10,416%
32	4562,24173	28,952977	1,49649973	1,93050696	0,13627728	2,42776124	11,035%
33	4615,21649	52,974761	1,51387644	1,95292316	0,14071056	2,5684718	11,675%
34	4646,01645	30,799964	1,52397939	1,96595613	0,14451951	2,71299131	12,332%

Tabla 28 Vigésima iteración de flujos sin ACO hasta el nodo 174

VIGESIMA ITERACCION								
nj	S(t)nj	ΔPnj	ΔQnj	ΔUnij	ΔUnj	ΔUnj	ΔPnij	ΔQnij
	[KVA]	[KW]	[KVAR]	[kV]	[kV]	[%]	[Kwatt]	[KVAR]
1	149,53034	7,3169E-08	9,4389E-08	1,6231E-08	1,6231E-08	0,00000%	7,3169E-08	9,4389E-08
2	299,06068	4,8705E-07	6,283E-07	6,0723E-09	2,2304E-08	0,00000%	2,7373E-08	3,5312E-08
3	448,59102	7,8914E-05	0,0001018	1,7159E-06	1,7382E-06	0,00001%	7,7349E-06	9,9782E-06
4	598,12141	0,00187337	0,00241667	1,8866E-05	2,0604E-05	0,00009%	8,5044E-05	0,00010971
5	747,65194	0,0139271	0,01796617	6,6926E-05	8,753E-05	0,00040%	0,00030169	0,00038918
6	897,18434	0,1821608	0,23499015	0,00075007	0,0008376	0,00381%	0,00338115	0,00436173
7	1046,7176	0,62980701	0,81246043	0,00106233	0,00189993	0,00864%	0,00478874	0,00617755
8	1196,2581	2,49493255	3,21850017	0,00368282	0,00558275	0,02538%	0,01660058	0,021415
9	1405,6095	3,95276349	5,09912381	0,00092381	0,00650656	0,02958%	0,00583018	0,00752102
10	1614,9591	5,55270159	7,1630678	0,00045268	0,00695924	0,03163%	0,00285692	0,00368547
11	2276,7316	13,7707025	17,7644115	0,00611249	0,01307173	0,05942%	0,1219197	0,15727823
12	2938,4601	24,8536258	32,0615477	0,00248279	0,01555452	0,07070%	0,04952459	0,06388746
13	3600,1909	40,411033	52,1308348	0,00268031	0,01823483	0,08289%	0,05346444	0,06896993
14	4262,0759	80,0212006	103,228541	0,01535877	0,03359361	0,15270%	0,30629927	0,39513063
15	4923,8449	119,307238	153,908115	0,00582014	0,03941375	0,17915%	0,11608909	0,14975665
16	5080,8639	146,499669	188,986757	0,0020334	0,04144714	0,18840%	0,0096246	0,01241588
17	5237,8824	174,601068	225,23798	0,0018462	0,04329334	0,19679%	0,00873857	0,01127288
18	5394,9015	207,737047	267,983887	0,00207211	0,04536545	0,20621%	0,00980785	0,01265228
19	5551,918	233,760973	301,555139	0,00117985	0,0465453	0,21157%	0,00558462	0,00720424
20	5708,9351	263,799298	340,305026	0,00135042	0,04789572	0,21771%	0,00639195	0,00824572
21	5865,9559	312,943883	403,702273	0,0026823	0,05057802	0,22990%	0,0126959	0,01637789
22	6022,9733	350,097163	451,630558	0,00146994	0,05204796	0,23658%	0,0069577	0,00897554
23	6179,9922	397,096441	512,260327	0,00198018	0,05402815	0,24558%	0,00937274	0,01209097
24	6337,0114	449,617502	580,013278	0,00211947	0,05614762	0,25522%	0,01003201	0,01294145
25	6494,0272	486,88664	628,091021	0,0009155	0,05706312	0,25938%	0,00433337	0,00559011
26	6651,0474	551,513525	711,460666	0,00244815	0,05951126	0,27051%	0,01158765	0,01494824
27	6808,0611	581,046394	749,558508	0,00017925	0,05969051	0,27132%	0,00084846	0,00109453
28	6965,0747	611,500512	788,844773	0,00017975	0,05987026	0,27214%	0,00085081	0,00109756
29	7122,0926	670,794817	865,33531	0,00163219	0,06150245	0,27956%	0,00772563	0,00996618
30	7279,1091	724,514692	934,63475	0,00118041	0,06268285	0,28492%	0,00558725	0,00720764
27	7436,1242	770,145922	993,499716	0,00066416	0,06334702	0,28794%	0,00314373	0,00405546
28	7593,1386	813,302737	1049,17265	0,00046626	0,06381328	0,29006%	0,00220701	0,00284707
29	7750,1543	867,077346	1118,5427	0,00086304	0,06467632	0,29398%	0,00408507	0,00526981
30	7907,1689	914,653297	1179,91638	0,00050512	0,06518144	0,29628%	0,00239091	0,00308431

Tabla 29 Primer iteración de flujos con ACO hasta el nodo 174

PRIMERA ITERACION							
nj	Lj [m]	Lij [metros]	Zlnj		ΔUnij [kV]	ΔUnj [kV]	ΔUnj [%]
			R [ohm/km]	X [ohm/km]			
1	2,197389	2,197389	0,00092982	3,9345E-07	1,1154E-06	1,1154E-06	0,000%
2	2,834646	0,637257	0,00119948	5,0756E-07	2,8777E-06	3,9931E-06	0,000%
3	24,054646	21,22	0,01017869	4,3071E-06	3,663E-05	4,0623E-05	0,000%
4	87,901346	63,8467	0,03719535	1,5739E-05	0,00017847	0,0002191	0,001%
5	191,736346	103,835	0,081133	3,4331E-05	0,00048662	0,00070572	0,003%
6	218,102354	26,366008	0,09228974	3,9052E-05	0,00066425	0,00136996	0,006%
7	300,216624	82,11427	0,12703629	5,3755E-05	0,00106672	0,00243668	0,011%
8	451,730823	151,514199	0,19114934	8,0885E-05	0,00183437	0,00427105	0,019%
9	468,37252	16,641697	0,19819125	8,3864E-05	0,0031288	0,00739985	0,034%
10	528,097023	59,724503	0,2234636	9,4558E-05	0,00405319	0,01145304	0,052%
11	562,04187	33,9448473	0,23782732	0,00010064	0,01922122	0,03067425	0,139%
12	666,788889	104,747019	0,2821509	0,00011939	0,02943121	0,06010546	0,273%
13	837,453889	170,665	0,35436758	0,00014995	0,04528829	0,10539375	0,479%
14	925,454989	88,0011	0,39160514	0,00016571	0,05924611	0,16463986	0,748%
15	1152,08331	226,62832	0,48750263	0,00020629	0,08520598	0,24984584	1,136%
16	1251,99891	99,9156	0,52978179	0,00022418	0,02267253	0,27251838	1,239%
17	1400,30291	148,304	0,59253645	0,00025073	0,02614188	0,29866026	1,358%
18	1515,45391	115,151	0,64126245	0,00027135	0,02913976	0,32780002	1,490%
19	1925,28912	409,835207	0,81468371	0,00034473	0,03809776	0,36589777	1,663%
20	2035,63612	110,347	0,86137691	0,00036449	0,04142059	0,40731837	1,851%
21	2178,84712	143,211	0,92197647	0,00039013	0,04555404	0,45287241	2,059%
22	2326,56012	147,713	0,98448104	0,00041658	0,04994444	0,50281685	2,286%
23	2389,39675	62,836631	1,01107029	0,00042783	0,05263063	0,55544748	2,525%
24	2551,08175	161,685	1,07948709	0,00045678	0,05761978	0,61306726	2,787%
25	2566,23364	15,151891	1,0858986	0,0004595	0,05939825	0,6724655	3,057%
26	2593,94644	27,7128	1,09762523	0,00046446	0,06149144	0,73395694	3,336%
27	2605,75394	11,8075	1,10262156	0,00046657	0,0632297	0,79718664	3,624%
28	2642,52664	36,7727	1,11818189	0,00047316	0,06560094	0,86278758	3,922%
29	2752,92116	110,394517	1,16489519	0,00049292	0,06988222	0,9326698	4,239%
30	2772,22491	19,303759	1,17306355	0,00049638	0,07192376	1,00459356	4,566%
31	2838,02271	65,7978	1,20090581	0,00050816	0,0752192	1,07981277	4,908%
32	2863,55219	25,529474	1,21170857	0,00051273	0,07749847	1,15731124	5,261%
33	2942,0821	78,529907	1,24493841	0,00052679	0,08127038	1,23858162	5,630%
34	2980,79383	38,711731	1,26131923	0,00053373	0,08400798	1,3225896	6,012%
35	3022,29847	41,50464	1,27888187	0,00054116	0,0868692	1,4094588	6,407%
36	3051,25144	28,952977	1,29113328	0,00054634	0,08940907	1,49886787	6,813%
37	3144,1055	92,854053	1,33042436	0,00056297	0,09388958	1,59275745	7,240%
38	3231,41704	87,311547	1,36737013	0,0005786	0,0983054	1,69106285	7,687%
39	3275,49708	44,080037	1,38602255	0,00058649	0,10147959	1,79254244	8,148%

Tabla 30 Vigésima iteración de flujos con ACO hasta el nodo 174

VIGESIMA ITERACION								
nj	S(tnj)	ΔPnj	ΔQnj	ΔUnij	ΔUnj	ΔUnj	ΔPnij	ΔQnij
	[KVA]	[KW]	[KVAR]	[kV]	[kV]	[%]	[Kwatt]	[KVAR]
1	149,53034	9,4389E-08	3,994E-11	1,4706E-08	1,4706E-08	0,00000%	9,4389E-08	3,994E-11
2	299,06068	6,283E-07	2,6586E-10	5,5017E-09	2,0208E-08	0,00000%	3,5312E-08	1,4942E-11
3	448,59103	0,0001018	4,3076E-08	1,5546E-06	1,5748E-06	0,00001%	9,9782E-06	4,2222E-09
4	598,12148	0,00241667	1,0226E-06	1,7093E-05	1,8668E-05	0,00008%	0,00010971	4,6423E-08
5	747,65223	0,01796619	7,6024E-06	6,0637E-05	7,9305E-05	0,00036%	0,00038919	1,6468E-07
6	897,18269	0,03347574	1,4165E-05	1,7514E-05	9,6819E-05	0,00044%	0,00011241	4,7567E-08
7	1046,7135	0,08633221	3,6531E-05	7,5083E-05	0,0001719	0,00078%	0,00048191	2,0392E-07
8	1196,2453	0,25529814	0,00010803	0,00020846	0,00038036	0,00173%	0,00133797	5,6616E-07
9	1405,5935	0,37892215	0,00016034	3,3236E-05	0,0004136	0,00188%	0,00029866	1,2638E-07
10	1614,9426	0,63590076	0,00026908	0,00013449	0,00054809	0,00249%	0,00120853	5,1139E-07
11	2276,6486	1,43145285	0,00060572	0,00025714	0,00080523	0,00366%	0,00730332	3,0904E-06
12	2938,3751	3,3561309	0,00142014	0,00094138	0,0017466	0,00794%	0,02673836	1,1314E-05
13	3600,1312	7,94705445	0,00336279	0,00192644	0,00367304	0,01670%	0,05472037	2,3155E-05
14	4261,8625	13,6005721	0,00575507	0,00109769	0,00477073	0,02169%	0,03117844	1,3193E-05
15	4923,6665	28,1314908	0,01190381	0,00351946	0,00829019	0,03768%	0,09997804	4,2306E-05
16	5080,6825	35,3752674	0,014969	0,00040007	0,00869026	0,03950%	0,00269633	1,1409E-06
17	5237,7004	47,029786	0,0199006	0,00066417	0,00935443	0,04252%	0,00447632	1,8941E-06
18	5394,7175	58,4346702	0,02472656	0,0005581	0,00991254	0,04506%	0,00376142	1,5916E-06
19	5551,7486	99,8847575	0,04226611	0,00252373	0,01243626	0,05653%	0,01701079	7,1981E-06
20	5708,7669	118,068116	0,04996038	0,0007184	0,01315466	0,05979%	0,00484182	2,0488E-06
21	5865,7872	142,808427	0,06042921	0,00099796	0,01415262	0,06433%	0,00672608	2,8461E-06
22	6022,8081	171,662065	0,07263859	0,00109912	0,01525174	0,06933%	0,00740792	3,1347E-06
23	6179,8247	190,623556	0,08066212	0,00048018	0,01573192	0,07151%	0,00323623	1,3694E-06
24	6336,8473	228,477241	0,09667986	0,0013192	0,01705111	0,07751%	0,00889131	3,7623E-06
25	6493,8613	242,798567	0,10273991	0,00012435	0,01717547	0,07807%	0,00083808	3,5463E-07
26	6650,8761	260,212068	0,11010842	0,0002299	0,01740537	0,07912%	0,00154942	6,5564E-07
27	6807,8899	275,131027	0,11642135	9,8398E-05	0,01750376	0,07956%	0,00066315	2,8061E-07
28	6964,9053	296,153514	0,12531699	0,00031077	0,01781454	0,08098%	0,00209448	8,8628E-07
29	7121,9253	336,07027	0,14220772	0,00097197	0,0187865	0,08539%	0,00655088	2,772E-06
30	7278,9397	355,992528	0,1506378	0,00017115	0,01895765	0,08617%	0,00115344	4,8808E-07
27	7435,9571	389,361673	0,16475791	0,00059721	0,01955486	0,08889%	0,00402504	1,7032E-06
28	7592,9719	413,315322	0,17489387	0,0002338	0,01978866	0,08995%	0,00157571	6,6676E-07
29	7749,9903	454,526918	0,1923325	0,00073892	0,02052758	0,09331%	0,00498011	2,1073E-06
30	7907,0061	485,663803	0,20550804	0,00036904	0,02089662	0,09498%	0,00248719	1,0525E-06
30	8064,0221	519,308981	0,21974495	0,00040117	0,02129779	0,09681%	0,00270377	1,1441E-06
27	8221,0372	550,119375	0,23278233	0,00028253	0,02158033	0,09809%	0,00190415	8,0574E-07
28	8378,057	606,636531	0,2566975	0,0009337	0,02251403	0,10234%	0,00629295	2,6629E-06
29	8535,0766	665,041251	0,28141138	0,00090235	0,02341637	0,10644%	0,00608163	2,5734E-06
30	8692,093	708,681149	0,29987755	0,00046176	0,02387813	0,10854%	0,00311213	1,3169E-06