



# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

---

---

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA  
SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

*“MINIMIZACION DE PERDIDAS EN REDES DE  
DISTRIBUCIÓN MEDIANTE RECONFIGURACION”.*

## TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:  
**MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA**

PRESENTA:

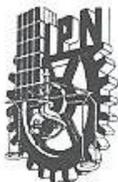
ING. JOSE RUBEN ADAN GUERRERO.

Dr. Ricardo O. Mota Palomino  
Director de Tesis.



MÉXICO D.F.

Junio del 2009



# INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL SECRETARIA DE INVESTIGACION Y POSGRADO

## ACTA DE REVISION DE TESIS

En la Ciudad de México, D. F. siendo las 17:00 horas del día 26 del mes de Junio del 2009 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de E.S.I.M.E. ZAC para examinar la tesis de grado titulada:

### “MINIMIZACIÓN DE PÉRDIDAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN MEDIANTE RECONFIGURACIÓN”

Presentada por el alumno:

<b>ADÁN</b> Apellido paterno	<b>GUERRERO</b> materno	<b>JOSÉ RUBÉN</b> nombre(s)
Con registro: <b>A 0 7 0 4 0 8</b>		

aspirante al grado de:

### MAESTRO EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN INGENIERÍA ELÉCTRICA

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACION DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

### LA COMISIÓN REVISORA

<b>Director de tesis</b>  <hr/> <b>DR. RICARDO OCTAVIO ARTURO MOTA PALOMINO</b>	<b>Presidente</b>  <hr/> <b>DR. DANIEL OLGUÍN SALINAS</b>
<b>Segundo Vocal</b>  <hr/> <b>DR. DAVID SEBASTIAN BALTAZAR</b>	<b>Tercer Vocal</b>  <hr/> <b>DR. GERMAN ROSAS ORTÍZ</b>
<b>Secretario</b>  <hr/> <b>DR. JAIME ROBLES GARCÍA</b>	<b>Suplente</b>  <hr/> <b>M. EN C. GILBERTO ENRÍQUEZ HARPER</b>

### EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

---

**DR. JAIME ROBLES GARCÍA**

## CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la ciudad de México, Distrito Federal, el día 26 del mes de Junio del año 2009, el (la) que suscribe JOSE RUBEN ADAN GUERRERO alumno(a) del Programa de Posgrado en Ingeniería Eléctrica con número de registro A070408, adscrito a la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la ESIME Unidad Zacatenco, manifiesta que es autor(a) intelectual del presente Trabajo de Tesis bajo la dirección del Dr. RICARDO O. MOTA PALOMINO y cede los derechos del trabajo titulado: "RECONFIGURACION DE REDES DE DISTRIBUCION", al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, graficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: jradan 3@hotmail.com y/o rmotap@ipn.mx.

Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

  
JOSE RUBEN ADAN GUERRERO  
Nombre y Firma

## **RESUMEN**

Las interrupciones forzadas o no programadas son ordinarias en las redes de distribución. La práctica común bajo estas circunstancias es primero aislar las porciones afectadas de la red mediante la apertura de todos los interruptores circundantes. Refiriéndonos como porción afectada a toda aquella parte de la red de distribución que ha experimentado una avería permanente o está bajo mantenimiento programado. El aislamiento de la falla dará lugar al aislamiento de algunas ramas de la red del área afectada. Por lo tanto el paso siguiente será restaurar el servicio a estas ramas o porciones por medio de la reconfiguración del alimentador.

La reconfiguración ante una falla o bajo condiciones normales de operación implica el uso de interruptores normalmente abiertos entre las ramas aisladas y las redes adyacentes. Para el caso de reconfiguración ante una falla una vez que la fuente de la interrupción se quite, se puede restaurar el servicio a la red entera, probablemente reinstalando la configuración original de la red, mientras que en la reconfiguración bajo condiciones normales de operación se busca únicamente la mejora del sistema, que en la mayoría de los casos es por medio de la reducción de pérdidas resistivas en la línea.

Esta tesis se enfoca a la reconfiguración de redes de distribución bajo condiciones normales de operación, este tipo de reconfiguración bajo condiciones normales de operación está enfocada a reducir pérdidas resistivas en la línea, lo cual se propone mediante la implementación de la metodología [1].

## **ABSTRACT**

The forced or unscheduled interruptions are normal in distribution networks. The common practice under these circumstances is the first to isolate portions of the network affected by opening all switches around. As referring to all those affected portion of the distribution network that has a permanent failure or under scheduled maintenance. The isolation of the fault will lead to the isolation of some branches of the network of the affected area. Therefore the next step will be to restore service to these branches or portions thereof through the reconfiguration of the feeder.

The reconfiguration to a fault or normal operation involves the use of normally open switches between the isolated segments and adjacent networks. In the case of a failure to reconfigure once the source of the disruption is removed, you can restore service to the entire network, presumably by reinstalling the original configuration of the network, while the reconfiguration under normal operation is to only improving the system, which in most cases is through the reduction of resistive losses in the line.

This thesis focuses on the reconfiguration of distribution networks under normal operating conditions, this type of reconfiguration under normal operation is aimed at reducing resistive losses in the line, which is proposed by implementing the methodology [1].

## **INDICE GENERAL**

RESUMEN	4
ABSTRACT	5
INDICE GENERAL	6-7
INDICE DE FIGURAS	8-10
INDICE DE TABLAS	11-13
OBJETIVO	14
JUTIFICACION	14
ANTECEDENTES	15
ESTADO DEL ARTE	15-22

### **CAPITULO 1**

INTRODUCCION	
TOPOLOGIA DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCION	23-26
ESTADOS DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCION	27-28
TRANSICIONES DE ESTADO	28-29
RECONFIGURACION	29
CRITERIOS DE LA RECONFIGURACION	29-30
RESTAURACION	30-32
FACTORES DE LA RESTAURACION	32-33

## **CAPITULO 2**

FORMULACION DEL PROBLEMA	<b>34-35</b>
JUSTIFICACION DEL METODO SELECCIONADO	<b>35</b>

## **CAPITULO 3**

METODOLOGIA DE SOLUCION	<b>36-39</b>
DESCRIPCION DEL SISTEMA DE PRUEBA	<b>39-50</b>
RESULTADOS DEL SISTEMA RECONFIGURADO POR MEDIO DE CYMDIST	<b>51-58</b>
RESULTADOS DE MANIOBRAS DEL SISTEMA RECONFIGURADO	<b>58-60</b>

## **CAPITULO 4**

PRUEBAS Y DISCUSION DE RESULTADOS	
FLUJOS DE POTENCIA (CASO BASE)	<b>61-67</b>
IMPLEMENTACION DE LA METODOLOGIA	<b>67-134</b>

## **CAPITULO 5**

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	<b>135</b>
REFERENCIAS	<b>136-137</b>

# **INDICE DE FIGURAS**

Figura 1.1. Estados de operación de un sistema de distribución.	<b>20</b>
Figura 1.2. Etapas de la restauración.	<b>25</b>
<b>FIGURA 3.1: DIAGRAMA DE FLUJO DE LA METODOLOGIA</b>	<b>30</b>
Figura 3.2. Alimentador primario de distribución de 123 Nodos del IEEE	<b>33</b>
FIGURA 3.3: Sistema de 123 nodos de IEEE modificado para reconfiguración.	<b>42</b>
FIGURA 3.4: Dibujo del sistema reconfigurado.	<b>44</b>
FIGURA 3.5: Dibujo del sistema reconfigurado.	<b>52-53</b>
FIGURA 4.1. Red de 123 nodos de IEEE modificada con interruptores normalmente abiertos en posición cerrada.	<b>62</b>
FIGURA 4.2. Red de 123 nodos de IEEE modificada con únicamente el interruptor 12 abierto.	<b>69</b>
FIGURA 4.3 Red de 123 nodos de IEEE modificada con únicamente el interruptor 8 abierto.	<b>70</b>
FIGURA 4.4. Red de 123 nodos de IEEE modificada con únicamente el interruptor 8 abierto y una vez corrido flujos de potencia.	<b>71</b>
FIGURA 4.5. Red de 123 nodos de IEEE con todos los interruptores en posición cerrada.	<b>78</b>
FIGURA 4.6. Red de 123 nodos de IEEE con interruptor 8 en posición abierta.	<b>79</b>
FIGURA 4.7. Red de 123 nodos de IEEE con interruptor 6 en posición abierta.	<b>80</b>
FIGURA 4.8. Red de 123 nodos de IEEE con interruptor 6 en posición abierta y después de correr flujos de potencia.	<b>81</b>
FIGURA 4.9 Red de 123 nodos de IEEE con interruptor 6 en posición abierta.	<b>88</b>
FIGURA 4.10 Red de 123 nodos de IEEE con interruptor 7 en	

posición abierta.	<b>89</b>
FIGURA 4.11 Red de 123 nodos de IEEE con interruptor 11 en posición abierta.	<b>90</b>
FIGURA 4.12 Red de 123 nodos de IEEE con interruptor 11 en posición abierta y flujos de potencia ya corridos	<b>91</b>
FIGURA 4.13. Red de 123 nodos de IEEE con interruptor 11 en posición abierta.	<b>97</b>
FIGURA 4.14. Red de 123 nodos de IEEE con interruptor 15 en posición abierta.	<b>98</b>
FIGURA 4.15 Red de 123 nodos de IEEE con interruptor 15 en posición abierta y flujos ya corrido.	<b>99</b>
FIGURA 4.16. Red de 123 nodos de IEEE con interruptor 17 en posición abierta.	<b>100</b>
FIGURA 4.17 Red de 123 nodos de IEEE con interruptor 17 en posición abierta y flujos ya corrido.	<b>101</b>
FIGURA 4.18 Red de 123 nodos de IEEE con interruptor 17 en posición abierta.	<b>107</b>
FIGURA 4.19 Red de 123 nodos de IEEE con interruptor 16 en posición abierta.	<b>108</b>
FIGURA 4.20 Red de 123 nodos de IEEE con interruptor 3 en posición abierta.	<b>109</b>
FIGURA 4.21 Red de 123 nodos de IEEE con interruptor 3 en posición abierta después de correr flujos de potencia.	<b>110</b>
FIGURA 4.22 Red de 123 nodos de IEEE con interruptor 5 en posición abierta.	<b>111</b>
FIGURA 4.23 Red de 123 nodos de IEEE con interruptor 14 en posición abierta.	<b>112</b>
FIGURA 4.24. Red de 123 nodos de IEEE con interruptor 14 en posición abierta.	<b>117</b>
FIGURA 4.25 Red de 123 nodos de IEEE con interruptor 13 en posición abierta.	<b>118</b>
FIGURA 4.26 Red de 123 nodos de IEEE con interruptor 9	

en posición abierta.	<b>119</b>
FIGURA 4.27 Red de 123 nodos de IEEE con interruptor 2 en posición abierta.	<b>120</b>
FIGURA 4.28 Red de 123 nodos de IEEE con interruptor 2 en posición abierta	<b>126</b>

## **INDICE DE TABLAS**

Tabla 1.1 Clasificación de causas que ocasionan fallas	<b>16-17</b>
Tabla 3.1. Datos de Configuración de Líneas Aéreas	<b>33-34</b>
Tabla 3.2. Datos de Configuración de Cables Subterráneos	<b>34</b>
Tabla 3.3 Datos de Transformadores	<b>34</b>
Tabla 3.4. Datos de Segmentos de Línea	<b>34-37</b>
Tabla 3.5. Datos de interruptores trifásicos	<b>37</b>
Tabla 3.6. Datos de Capacitores	<b>38</b>
Tabla 3.7. Datos de Reguladores de Voltaje	<b>38-39</b>
Tabla 3.8. Datos de Carga Puntuales	<b>39-41</b>
Tabla 3.9. Datos de interruptores trifásicos agregados	<b>43</b>
Tabla 3.10. Datos de segmentos de línea agregados	<b>43</b>
TABLA 3.11: Reporte de datos de cables del sistema del sistema reconfigurado.	<b>45</b>
TABLA 3.12: Reporte de flujos por tramos del sistema reconfigurado.	<b>45-48</b>
TABLA 3.13: Resultados de carga del sistema del sistema reconfigurado	<b>49</b>
TABLA 3.14: Datos de reguladores del sistema reconfigurado.	<b>49</b>
TABLA 3.15: Datos de interruptores del sistema reconfigurado.	<b>50-51</b>
TABLA 3.16: Tabla de maniobras de conmutación para la reconfiguración del sistema.	<b>51</b>
TABLA 4.1: Reporte de datos de cables del sistema	<b>54</b>
TABLA 4.2: Reporte de flujos por tramos del sistema	<b>54-58</b>
TABLA 4.3: Resumen de carga del sistema.	<b>58</b>

TABLA 4.4: Datos de reguladores del sistema de prueba en condiciones normales de operación	<b>59</b>
TABLA 4.5: Datos de capacitores del sistema de prueba en condiciones normales de operación	<b>59</b>
TABLA 4.6: Datos de interruptores del sistema en condiciones normales de operación.	<b>59</b>
TABLA 4.7: Relación de interruptores.	<b>61</b>
TABLA 4.8. Reporte de datos de cables del sistema con todos los interruptores cerrados.	<b>62</b>
TABLA 4.9. Resultados de flujos de potencia para la red con todos los interruptores cerrados	<b>63-66</b>
TABLA 4.10: Resultados de carga del sistema.	<b>66-67</b>
TABLA 4.11: Datos de reguladores del sistema con todos los interruptores cerrados.	<b>67</b>
TABLA 4.12: Tabla del patrón optimo de flujos de la red.	<b>68</b>
TABLA 4.13: Tabla de resultados de flujos con el interruptor 8 abierto.	<b>72-75</b>
TABLA 4.14: Tabla de resumen de condiciones anormales por la apertura del interruptor 8.	<b>76</b>
TABLA 4.15: Datos de reguladores del sistema con el interruptor 8 en posición abierta.	<b>76</b>
TABLA 4.16: Datos de interruptores del sistema con apertura únicamente del interruptor 8.	<b>77</b>
TABLA 4.17: Tabla de resultados de flujos con el interruptor 6 abierto.	<b>82-85</b>
TABLA 4.18 Tabla de resumen de condiciones anormales por la apertura del interruptor 6.	<b>85-86</b>
TABLA 4.19: Datos de reguladores del sistema con el interruptor 6 en posición abierta.	<b>86</b>
TABLA 4.20: Datos de interruptores del sistema con apertura únicamente del interruptor 6.	<b>86-87</b>
TABLA 4.21: Tabla de resultados de flujos con el interruptor 11 abierto.	<b>91-95</b>

TABLA 4.22: Tabla de resumen de condiciones anormales por la apertura del interruptor 11.	<b>95</b>
TABLA 4.23 Datos de reguladores del sistema con el interruptor 11 en posición abierta.	<b>96</b>
TABLA 4.24: Datos de interruptores del sistema con apertura únicamente del interruptor 11.	<b>96</b>
TABLA 4.25: Tabla de resultados de flujos con el interruptor 17 abierto.	<b>101-105</b>
TABLA 4.26 Tabla de resumen de condiciones anormales por la apertura del interruptor 17.	<b>105</b>
TABLA 4.27 Datos de reguladores del sistema con el interruptor 17 en posición abierta.	<b>106</b>
TABLA 4.28: Datos de interruptores del sistema con apertura únicamente del interruptor 11.	<b>106</b>
TABLA 4.29: Tabla de resultados de flujos con el interruptor 14 abierto.	<b>112-116</b>
TABLA 4.30: Tabla de resultados de flujos con el interruptor 2 abierto.	<b>121-124</b>
TABLA 4.31: Tabla de resumen de condiciones anormales por la apertura del interruptor 2.	<b>124</b>
TABLA 4.32: Datos de reguladores del sistema con el interruptor 2 en posición abierta.	<b>125</b>
TABLA 4.33: Datos de interruptores del sistema con apertura únicamente del interruptor 2.	<b>125-126</b>
Tabla 4.34 resumen de carga con el sistema ya reconfigurado	<b>127</b>

## **OBJETIVO**

Analizar y plantear el problema de reconfiguración de redes de distribución bajo condiciones normales de operación de un sistema eléctrico de distribución con el fin de proponer un método heurístico eficiente que determine el número mínimo de operaciones de interrupción para el mejoramiento de una red de distribución, considerando aspectos relacionados principalmente con la reducción de pérdidas resistivas en la línea.

## **JUSTIFICACION**

En la actualidad con frecuencia se presentan problemas en las redes de distribución como son sobrecargas en alimentadores, perfiles bajos de voltaje, poca confiabilidad en el suministro, pérdidas eléctricas excesivas, interrupciones en el servicio debidas a fallas inesperadas o mantenimiento programado, el estudio de estos aspectos requiere del análisis de diferentes técnicas para la implementación de un método que permita un mejoramiento o una restauración rápida de la red de distribución , para de esta manera obtener una red de distribución con suministro eficiente que nos permita reducir costos de energía debido a las pérdidas resistivas en las líneas.

Por este motivo este trabajo presenta una metodología de solución para la reconfiguración de sistemas eléctricos de distribución, con el fin de reducir pérdidas resistivas en la línea, facilitando la decisión de una solución para la reconfiguración de redes de distribución considerando los problemas relacionados (perfiles bajos de voltaje, poca confiabilidad en el suministro, pérdidas eléctricas excesivas, ampacidad) en la actualidad en las redes de distribución.

Con la metodología propuesta en esta tesis se pretende contribuir a la mejora de operación de los sistemas eléctricos de distribución para que gran parte de la energía sin entregar debido a las pérdidas resistivas en la línea, se pueda evitar al

aplicar esta metodología y por ende de esta manera reducir los costos de energía ocasionados por las pérdidas en las líneas.

## **ANTECEDENTES**

El marco regulatorio del sector energético imperante en nuestro país, impulsa un mercado futuro altamente competitivo, exigiendo a las empresas a cargo de la distribución de la energía eléctrica a implementar métodos tendientes a lograr mayor eficiencia en la prestación del servicio.

El estudio de la reconfiguración de redes de distribución fue desarrollado especialmente para optimizar la operación de redes de distribución y de esta manera hacer más eficiente el suministro de energía eléctrica a los consumidores. Diversos estudios se han realizado con el paso de los años, los cuales involucran tanto aspectos eléctricos como computacionales [1.]

Los aspectos computacionales consisten en desarrollar una aplicación con tecnologías de programación, mientras que los aspectos eléctricos toman en cuenta las características de la red de distribución así como sus restricciones.

## **ESTADO DEL ARTE**

Para este capítulo se procedió a la búsqueda de métodos de reconfiguración existentes en el medio, así como un análisis y recopilación de los métodos que se consideraron más importantes, siendo que entre unos de estos métodos será seleccionado el método de reconfiguración a aplicar en esta tesis.

A continuación se presenta un breve resumen con las características más importantes de los artículos que se consideraron más importantes en el tema de reconfiguración de redes de distribución, con el fin de poder seleccionar el método a aplicar en esta tesis.

## ***RECOPIACION BIBLIOGRAFICA DE METODOS DE RECONFIGURACION DE REDES DE DISTRIBUCION.***

A fin de conocer y familiarizarse con los métodos y técnicas aplicadas para la reconfiguración de redes de distribución y su desarrollo y con fines de establecer un método a utilizar en la reconfiguración de redes de distribución, a continuación se presentan los aspectos más sobresalientes de los 4 artículos más importantes a mí consideración después de haber concluido la recopilación y lectura bibliográfica concerniente a el tema de tesis.

En dichos artículos se menciona el método utilizado para la reconfiguración de redes de distribución así como las técnicas aplicadas para el desarrollo de dicho método.

### **“DISTRIBUTION FEEDER RECONFIGURATION FOR SERVICE RESTORATION AND LOAD BALANCING”**

**AUTORES:** Qin Zhiou  
Dariush Shirmohammadi  
W. H. Edwin Liu

#### **OBJETIVO:**

En este artículo se presentan dos artículos con el propósito de restauración de servicio y balanceo de carga ambos en tiempo real de operación, combinando técnicas de optimización con reglas heurísticas y lógica difusa que los lleve a una ejecución eficiente y robusta.

#### **DESARROLLO:**

Dichos algoritmos tienen como funciones las siguientes:

1.-Restauración de servicio en respuesta a una falla por:

- Aislamiento de áreas falladas
- Suministro de energía a áreas no falladas o fuera de servicio
- Minimizar el inevitable tiro de carga

2.-Balanceo de cargas en orden, para relevar las sobrecargas en el sistema de distribución.

## SERVICIO DE RESTAURACION

Para el algoritmo de restauración de servicio se desarrolla una técnica de integración no lineal la cual deberá garantizar en su solución el menor número de operaciones interruptivas para la restauración de servicio, este método deberá de contar con múltiples soluciones que permitan al operador seleccionar la mejor posible en base a sus conocimientos y experiencia en los sistemas de distribución.

A fin de contar para todos los asuntos que prevalecen en el tiempo real de operación, se proponen las siguientes estrategias en el desarrollo:

- Combinar las técnicas de optimización con las reglas heurísticas y la lógica difusa a fin de acercarse a encontrar una solución optima la cual pueda restablecer el servicio o relevar las sobrecargas en un periodo corto de tiempo con el mínimo número de operaciones interruptivas posibles.
- Tomar en cuenta todas las restricciones de operación.
- Primero se deberán considerar los interruptores a control remoto y ver una solución usando solo estos interruptores. Si los interruptores a control remoto solos no pueden restablecer totalmente el servicio o relevar las sobrecargas, se deberá considerar todos los interruptores.
- Relevar primero las sobrecargas de las secciones de línea más lejanas a la subestación (para una función de balanceo de cargas). Relevar la sobrecarga sobre esta sección de línea debe automáticamente relevar algunas o nivelar todas las sobrecargas en secciones de línea cercanas a la subestación.
- Si los alimentadores adyacentes no pueden tomar las cargas que restablecerán el servicio o relevar las sobrecargas, se intentara transferir carga a alimentadores secundarios para incrementar la capacidad de tomar carga de los alimentadores adyacentes.
- La solución debe ser verificada para requerimientos de protección por medio de un programa de coordinación de protecciones.
- Si no puede ser encontrada una solución factible, se debe de proveer la solución que minimice el inevitable tiro de carga.

A fin de acelerar la búsqueda de la solución factible se recomienda el uso de las siguientes reglas heurísticas:

- Usar el total de cargas en el área fallada o fuera de servicio para estimar el número mínimo número de interruptores frontera necesarios.
- Ignorar todos los interruptores cerrados que no tienen interruptores frontera rió abajo y todos los interruptores frontera que no puedan tomar una carga equivalente debido a su límite de capacidad.
- Ignorar todos los interruptores cerrados que no puedan separar un área fallada o fuera de servicio aislada donde una de las sub áreas no pueden ser tomadas por un interruptor frontera adyacente.

De acuerdo a las anteriores estrategias y reglas heurísticas mencionadas anteriormente se realiza la siguiente estructura de solución para la restauración de servicio.

- Identificar y aislar el área fallada usando solo interruptores controlados remotamente.
- Considerando solo interruptores controlados remotamente usar el método de restauración de servicio (ILP) para buscar la solución con el mínimo número de operaciones de interrupción. Si no es factible la solución existente, entonces encontrar la mejor solución posible para tomar la mayor carga posible.
- Incluyendo todos los interruptores y si es posible los más lejanos, reducir el tamaño del área fallada que se encuentra aislada.
- Considerar todos los interruptores y buscar soluciones con el mismo número de operaciones interruptivas.
- Si no ha sido encontrada una solución factible, usar el método heurístico para transferir carga de alimentadores adyacentes a alimentadores secundarios para incrementar la capacidad de tomar carga de los alimentadores adyacentes.
- Si la solución que se considera factible es aun no viable después del paso anterior, entonces se deberá tomar una solución la cual pueda restablecer la máxima cantidad de cargas posibles para que le inevitable tiro de carga sea mínimo.

#### BALANCEO DE CARGA:

Para el algoritmo de balanceo de carga se presenta un desarrollo que puede ser resumido de la siguiente forma:

- Asignar capas a cada sección de línea por referencia [5].
- Empezar con las secciones de línea (o equipos de distribución) en las capas más lejanas de la subestación e identificar las secciones de línea sobrecargadas.
- Determinar las operaciones de interrupción que releve las sobrecargas en todas las secciones de línea dentro de una capa usando el método ILP desarrollado anteriormente.
- Usar lógica difusa para seleccionar la mejor solución relevando las sobrecargas a cada capa. La mejor solución debe mostrar la más baja sobrecarga para el resto de las secciones de línea sobrecargada en las capas superiores y mientras tanto resulta el mínimo número de operaciones de interrupción.

El método ILP para la restauración de servicio puede ser aplicado para el balanceo de carga con la única diferencia que ahora el objetivo es remover carga en vez de restaurar servicio.

En el paso 3 del algoritmo heurístico mencionado arriba, muchas soluciones pueden ser encontradas para relevar las sobrecargas en las secciones de línea de una capa específica. Moviéndonos a secciones de línea en las capas superiores requiere que una de las soluciones estén referidas y otras sean descartadas. Con el fin de encontrar la mejor solución y llevar por encima al siguiente paso se propone el siguiente método de lógica difusa el cual propone el siguiente criterio:

- 1.-El numero de operaciones interruptivas
- 2.-La cantidad de sobrecargas siendo relevadas
- 3.-El margen de capacidad de los interruptores frontera.

### “DISTRIBUTION FEEDER RECONFIGURATION FOR OPERATION COST REDUCTION”

**AUTORES:** Qin Zhiou  
Dariush Shirmohammadi  
W. H. Edwin Liu

#### **OBJETIVO:**

Desarrollar un método para la reconfiguración de redes de distribución por medio de redes neuronales artificiales en combinación con algoritmos genéticos con el fin de reducir los costos de operación del sistema de distribución en un tiempo específico de tiempo.

#### **DESARROLLO:**

Para el desarrollo que se propondrá, primeramente es necesario tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- Solo contempla la operación de de interruptores controlados remotamente.
- Considerar un límite de operaciones de interrupción.
- El objetivo es reducir el costo de operación del sistema en un periodo de tiempo específico, más que minimizar las perdidas resistivas para un punto de operación fijo.
- Verificar la solución con un programa de coordinación de protecciones en tiempo real para asegurar la adecuada protección para la nueva configuración del sistema.

#### **ESTRUCTURA DEL METODO:**

Tomando en cuenta que un alimentador de un sistema de distribución consiste en interruptores normalmente cerrados e interruptores normalmente abiertos.

1. Checar el límite del número de operaciones interruptivas para cada interruptor, si el interruptor analizado ah llegado al límite de operaciones interruptivas se debe descartar para consideraciones futuras.
2. Efectuar algunos procesos topológicos:
  - Identificar interruptores normalmente cerrados correlacionados a cada interruptor normalmente abierto (refiriéndose como correlacionado a que los interruptores cerrados son el lazo formado por el cierre de un interruptor normalmente abierto).
  - Determinar el margen de capacidad para cada interruptor normalmente abierto.
3. Seleccionar una operación interruptiva de apertura/cierre candidata.

La selección de dicha operación interruptiva involucra los siguientes 4 pasos:

- Identificar los interruptores normalmente abiertos para cerrar.
  - Por cada interruptor candidato abierto, eliminamos los interruptores cerrados indeseables de consideraciones:
  - Identificar y enumerar todas las opciones apertura/cierre restantes.
  - Seleccionar las opciones interruptivas de apertura/cierre con el costo de reducción máximo.
4. Se deberá correr un programa de flujos de potencia para la nueva configuración del sistema para checar que ninguna restricción de operación ah sido violada, en caso de existir operaciones violadas ir al paso 6.
  5. Checar el límite total de operaciones interruptivas.
  6. Descartar las opciones interruptivas seleccionadas y volver al paso 3 para tomar opciones interruptivas de apertura/cierre correspondiente al más alto costo de reducción.
  7. La solución óptima es encontrada.

## “RECONFIGURATION OF ELECTRIC DISTRIBUTION NETWORKS FOR RESISTIVE LINE LOSSES REDUCTION”

**AUTORES:** Dariush Shirmohammadi  
H. Wayne Hong

### OBJETIVO:

El objetivo de la metodología planteada en el artículo es reconfigurar la red de distribución por medio de operaciones de cambio de interruptores para minimizar las perdidas resistivas en las líneas por medio de técnicas heurísticas de optimización.

## DESARROLLO:

Este método toma como consideraciones principales que la reconfiguración final del sistema debe quedar en forma radial y todas las cargas deben de ser conectadas.

El algoritmo utilizado para el método primero deberá cerrar todos los interruptores de la red con el fin de convertir la red de radial a una red mallada. Entonces se procede a realizar una corrida de flujos de potencia AC para la red mallada y las cargas de la red son convertidas a inyecciones de corriente nodal, usando los valores de voltaje de nodo.

Ahora asumimos que los interruptores cerrados son fuentes de corriente totalmente ajustables que pueden ser utilizadas para modificar los flujos de rama.

NOTA: Debido a KCL y con las inyecciones de corriente representadas como cargas , solo corrientes en las fuentes de corriente ficticias que son situadas en un lazo de la red son ajustables.

Bajo las circunstancias descritas anteriormente, el diseño óptimo de nuestro programa de flujos de rama que deberá minimizar las perdidas resistivas en la línea debe ser alcanzado por el ajuste de corrientes ficticias.

Una vez que conocemos los resultados de nuestro programa optimo de flujos de potencia, los valores de las fuentes de corriente ficticias (representando interruptores de red) pueden ser calculados. Teniendo dicha información, el interruptor que tenga el valor más bajo de corriente en nuestro programa óptimo de flujos deberá ser abierto, eliminando uno de los lazos de la red.

Ventajas que se pueden mencionar del método descrito en este artículo es que es un método eficiente y robusto para ser aplicado en condiciones normales de operación, obteniendo una configuración final de la red independiente de la configuración inicial de los interruptores, conduciéndonos a una solución óptima o cercana de la óptima.

## “SERVICE RESTORATION IN DISTRIBUTION NETWORKS VIA NETWORK RECONFIGURATION”

**AUTOR:** Dariush Shirmohammadi

### OBJETIVO:

La metodología pretende determinar el número mínimo posible de operaciones interruptivas necesarias para el restablecimiento de las ramas de la red que son aisladas debido a fueros de servicio imprevistas o programas.

## DESARROLLO:

La metodología propuesta es aplicable tanto para alimentadores conectados a un solo transformador como para alimentadores que están conectados a más de una fuente.

El algoritmo aplicado garantiza que restricciones como las siguientes no sean violadas con la nueva configuración de la red.

- Los alimentadores resultantes deben de quedar conectados de forma radial.
- El servicio es restablecido a todas las ramas aguas abajo que hayan sido aisladas del área afectada.
- El número de operaciones interruptivas se encuentra dentro del límite especificado por el operador.
- Los límites de ampacidad de las líneas y capacidad de los alimentadores no son sobrepasados.

Siendo las restricciones principales la 1, 2 y 3 y tomando en cuenta que el tamaño de la carga a ser restaurada es muy grande y el límite especificado por el operador acerca del número de maniobras interruptivas es muy pequeño, el límite de ampacidad de algunas ramas es violado. Bajo estas circunstancias el algoritmo garantiza que tales violaciones son limitadas a ramas cortas en la red. Los límites de voltaje pueden ser violados bajo estas mismas circunstancias, dichas violaciones de voltaje pueden ser eliminadas o minimizadas a través del uso de reguladores de voltaje y capacitores en derivación.

Este algoritmo ignora estos mecanismos y sus semejantes por lo que sería mejor la aplicación de este algoritmo en conjunto con otro algoritmo que solucione el control de voltaje o nos garantice un buen perfil.

## **INTRODUCCION**

### ***TOPOLOGIA DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCION***

La topología de un sistema de distribución es descrita por la conexión de nodos y ramas del sistema. Los componentes principales de un sistema de distribución son transformadores de potencia, líneas, cables, barras, interruptores de circuito, restauradores, transformadores de instrumento, seccionalizadores, reguladores de voltaje y aisladores. Aunque los componentes sean conectados de tal manera que formen lazos cerrados, normalmente se pretende que los sistemas de distribución operen en forma radial a fin de simplificar su operación y protección.

Un sistema de distribución práctico se divide en un subsistema primario o de mediana tensión, que consiste de puntos de suministro del sistema y en varios subsistemas secundarios o de baja tensión. Aún cuando un sistema de distribución esté bien planeado y opere bajo criterios estrictos de confiabilidad, siempre estará sujeto a fallas, debido a que hay algunas que no son inherentes al mal funcionamiento del propio sistema, sino a causas externas, tal como se muestra en la Tabla 1.1

**Tabla 1.1 Clasificación de causas que ocasionan fallas.**

<b>CLIMA</b>	<b>VARIOS</b>	<b>ELEMENTOS DEL SISTEMA</b>	<b>OPERACIÓN DEL SISTEMA</b>
Nieve/Viento	Helicópteros	Eléctricos y Mecánicos:	Condiciones del Sistema:
Frío	Animales, Aves	Suministro de Combustible	Estabilidad
Calor	Transportes terrestres	Falla en unidad de generación	Alto / bajo voltaje
Inundación	Fuego	Falla en transformadores	Alta / baja frecuencia
Huracanes	Explosiones	Falla en restauradores	Línea sobrecargada Transformador sobrecargado
Hielo	Sabotaje y vandalismo	Fallas en el conductor	Cargas desbalanceadas
Relámpagos	Ramas y árboles	Fallas en el aislamiento:	Reducción de voltaje:
Lluvia	Otros	Línea de transmisión	Voltaje reducido de 0-2%.

Tornado		Subestación	Servicio del personal:
Viento		Fallas del cable	Error en el mantenimiento
Otros		Equipo de control de voltaje:	Errores en la operación de la planta de generación
		Regulador de voltaje	Errores en sistemas de control por parte de los operadores
		Cambiador automático de derivación.	
		Capacitor	
		Reactor	
		Protección y control:	
		Fallas en relevadores	
		Error en señales de comunicación	
		Error en control supervisorio	

Para asegurar la operación confiable de un sistema de distribución, es importante restaurar rápidamente el servicio eléctrico para todos los consumidores, ante la presencia de una falla o una anomalía en una cierta sección del sistema.

Siempre que ocurre una falla en alguna sección del sistema, se requiere tomar las siguientes acciones:

- Localización de la falla
- Aislamiento de la falla.
- Restauración del servicio.
- Reparación de la falla.
- Restauración del sistema ha estado normal.

**Localización de falla.** La localización de la falla se puede realizar por diferentes algoritmos como son algoritmos en el dominio de la frecuencia y del tiempo, localización automática, sistemas expertos y redes neuronales).

**Aislamiento de falla.** Se realiza por medio de la apertura apropiada de interruptores del circuito, será aislada del resto del sistema de distribución lo más rápidamente posible.

**Restauración de servicio.** Debido al aislamiento de la sección fallada, algunas secciones considerables pueden ser desconectadas y quedar sin servicio. El servicio será restaurado para estas secciones afectadas por el cierre y/o apertura de ciertos interruptores en el sistema, para que varios puntos de cargas sean suministrados a través circuitos alternos, conservando la estructura radial del sistema.

**Reparación de la falla.** La sección fallada será reparada y el tiempo de reparación dependerá de varios factores como el tipo y localización de la falla, disponibilidad del personal de reparación, entre otros.

**Restauración ha estado normal.** Una vez que la falla es reparada, el elemento es incorporado al sistema, el cual vuelve a su estado normal de operación.

Desde un punto de vista de automatización, las redes de distribución eléctrica deben a través de un centro de control automatizado o semi-automatizado, de modo que se realice una supervisión del comportamiento del sistema de distribución. El manejo de las redes por medio de estos centros de control facilitara la detección de la falla, su aislamiento y restauración del sistema desde el mismo centro de control, reduciendo así el tiempo de interrupción del servicio a los consumidores, lo cual viene a incrementar la calidad en el suministro de energía.

Dicho centros deberán contar con una infraestructura de adquisición y procesamiento de información relacionado con la topología del sistema de distribución (elementos del sistema y estado de interruptores), además de voltajes nodales y niveles de carga en alimentadores, entre otros datos. De esta manera el operador del sistema tendrá una mayor capacidad de toma de decisiones y un facilidad del envío de señales de apertura o cierre de interruptores para la restauración del servicio desde el centro de control.

Lo mencionado anteriormente muestra la gran importancia que representa la instalación de centros de control en las redes de distribución, que permitan ejecutar acciones de control remoto ante la presencia de contingencias inesperadas principalmente en las redes de distribución, siendo el principal propósito de los centros de control la restauración de cargas ante una contingencia.

Dichos centros de control ante la ocurrencia de una falla en la red de distribución, se encargaran de que todas las secciones de carga, las cuales están rodeadas por interruptores seccionadores, incluyendo el punto de falla, sean aisladas por medio del siguiente procedimiento:

- Un relevador de protección detecta la falla y activa el interruptor de circuito
- La sección de falla es detectada por el recierre del interruptor seccionador
- Las secciones de carga entre la barra colectora y la sección de falla son energizados nuevamente, a fin de restablecer el servicio de suministro.

A la acción de restablecer el servicio de suministro, ante la ocurrencia de una falla permanente, se le conoce como reconfiguración del sistema de distribución.

En términos generales, los criterios que determinan una reconfiguración del sistema de distribución, son, entre otros, los siguientes:

- Sobrecargas en subestaciones y alimentadores.
- Voltajes bajos.
- Reducción de pérdidas eléctricas.
- Tiempo de operación de la red reconfigurada.
- Tiempo y número de ejecución de maniobras.
- Comportamiento de la demanda.
- Confiabilidad de la estructura final del sistema.

## ESTADOS DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCION

En términos generales, un sistema de distribución puede presentar varios estados de operación, los cuales pueden clasificarse y experimentar transiciones de un estado a otro, de acuerdo a lo mostrado en la Figura 1.1

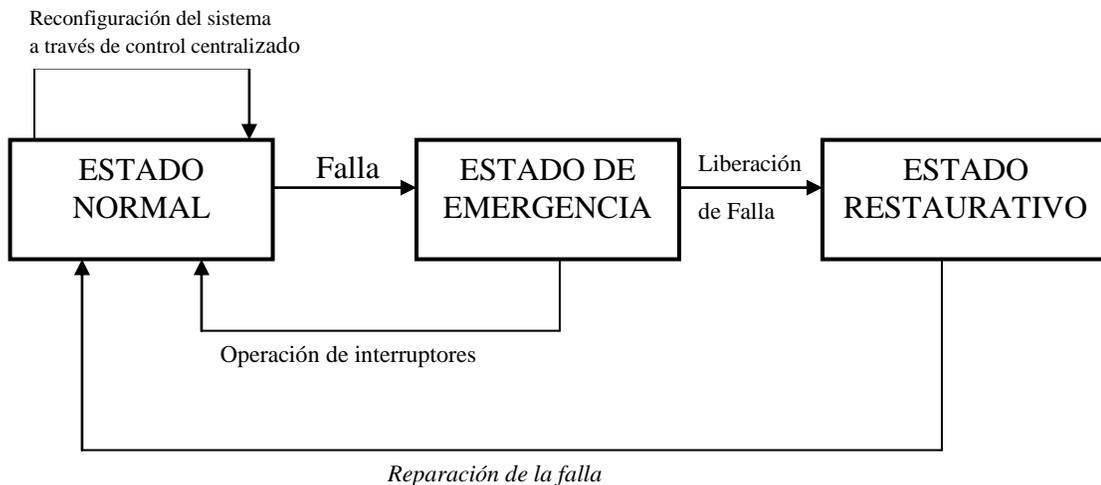


Figura 1.1. Estados de operación de un sistema de distribución.

De acuerdo a la Figura 1.1, los estados de operación de un sistema de distribución están definidos como sigue:

**Estado Normal.** Un sistema de distribución está en estado normal si existe un balance entre la carga y la energía suministrada por el sistema, dentro de los límites de operación establecidos para cada uno de sus componentes. Se supone que la red asociada a este estado es la configuración más adecuada, la cual fue diseñada en una etapa de planeación.

**Estado de Emergencia.** Se dice que un sistema está en estado de emergencia si los límites de operación son sobrepasados, debido a la presencia de una falla o a evoluciones de la demanda no previstas.

**Estado Restaurativo.** El sistema está en estado restaurativo si se presenta una interrupción en el servicio eléctrico (parte del alimentador primario es desconectado para liberar la falla).

Cabe mencionar que entre el estado de emergencia y el estado restaurativo existe un periodo de tiempo que es denominado “tiempo de restauración”, que es definido como el tiempo necesario para la realización de maniobras que nos llevan a una reconfiguración del sistema en falla.

### **TRANSICIONES DE ESTADO**

Entendemos como transición de estado al periodo de tiempo que toma el pasar de un estado de operación a otro estado de operación. La Figura 1.1 presenta algunas transiciones de estado. Parte de estas transiciones son involuntarias, mientras que otras son voluntarias en el sentido que son comandadas por el centro de control. Entre los estados de operación descritos en esta sección, se tiene lo que se conoce como transiciones de estado, las cuales son definidas a continuación.

**Normal→Normal:** El sistema está en estado normal y toda la carga es suministrada por el sistema sin sobrepasar los límites de operación, este se presenta cuando se intenta mejorar las condiciones de operación del sistema; por ejemplo, minimizar pérdidas eléctricas o transferir carga entre alimentadores.

**Normal→Emergencia:** Una transición de estado de este tipo se presenta cuando ocurre una falla o corto circuito en uno de los alimentadores primarios, produciendo una corriente de falla de gran magnitud, la cual es liberada rápidamente por el sistema de protección para evitar el daño de equipos.

**Emergencia→Normal:** Se presenta cuando la falla es temporal y el recierre de interruptores vuelve al sistema de distribución al estado normal.

**Emergencia→Restaurativo:** Cuando se presenta una falla permanente, la cual provoca que los seccionalizadores realicen una acción de liberación, desconectando las cargas dependientes de la sección fallada, dejando al sistema en estado restaurativo.

**Restaurativo→Normal:** Cuando el sistema puede ser regresado al estado normal, debido a que la falla ha sido reparada y el sistema es energizado nuevamente.

**Restaurativo→Restaurativo:** Después de liberar la falla, es necesario identificar y aislar la zona afectada; el restablecimiento del servicio es realizado por el recierre de interruptores, los cuales abastecen la carga por medio de otro alimentador. Mientras la zona no sea reparada, el sistema sigue en estado restaurativo.

## **RECONFIGURACION**

El principal objetivo de la reconfiguración de sistemas de distribución, es restaurar el mayor número de áreas que hayan quedado sin servicio a causa de fallas permanentes ocurridas en la red (o simplemente mejorar el trabajo de la red de distribución), para lo cual es necesario identificar las diferentes opciones de reconfiguración, a fin de seleccionar alguna o algunas, dependiendo de las zonas afectadas. Para la restauración del servicio en una zona, normalmente todas las opciones posibles podrán formar un conjunto relativamente grande, el cual se reduce al considerar una serie de factores o condiciones para definir las reconfiguración, a través de la cual se restablezca el servicio de suministro.

## **CRITERIOS EN LA RECONFIGURACIÓN**

Para llevar a cabo una reconfiguración de los sistemas de distribución, se observa la importancia de que los siguientes aspectos o criterios sean considerados por los operadores de sistemas:

1. Sobrecargas en alimentadores.
2. Voltajes bajos.
3. Pérdidas eléctricas mínimas.
4. Número de maniobras.
5. Evolución de la demanda en alimentadores.
6. Consideración de cargas prioritarias.

Sin embargo, para estos esquemas aplicados en un entorno de operación, adicionalmente debe considerarse aspectos como los siguientes:

7. Tiempo para ejecutar las acciones de restauración.
8. Especificación del tiempo en que operará el sistema reconfigurado.
9. La confiabilidad del sistema reconfigurado.
10. La importancia que se debe dar a los criterios 1-6 para definir una opción en función de los criterios 7-9.

Resulta obvio que la consideración de estos criterios adicionales hará que el trabajo para definir una reconfiguración sea mucho más complicado. Esto da lugar a que se diseñe varios esquemas de reconfiguración, de acuerdo a los intereses de cada empresa distribuidora y el entorno para el cual debe operar.

## ***RESTAURACIÓN***

La restauración de servicio se define como el retorno de energía eléctrica a los consumidores después de una interrupción, ya sea debido a una falla, al restablecimiento de un elemento en fuera de servicio que ocasionaba la interrupción o al recierre de una fuente suministradora.

Cuando ocurre un evento que afecta una zona del sistema eléctrico de distribución, el objetivo principal es reintegrar las zonas afectadas al sistema, más que reconectar las cargas de inmediato, de esta manera el resultado final será una

recuperación más ágil de la carga afectada y con un suministro de mayor calidad. Por tanto, es necesario contar con un plan o procedimiento diseñado con anticipación para la restauración del servicio eléctrico.

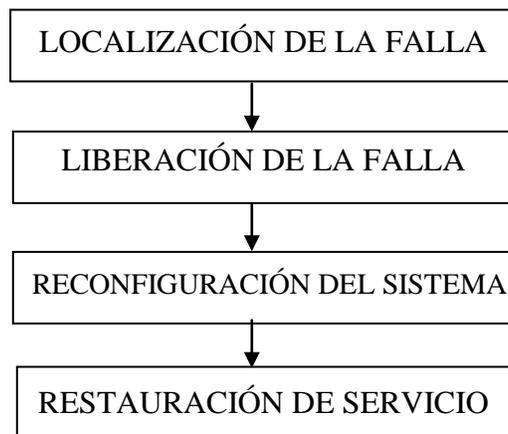
Para la restauración del servicio, los operadores de los sistemas de distribución deben efectuar maniobras lo más rápido posible a fin de que el servicio vuelva a ser utilizado por consumidores afectados en ciertas condiciones de fallas presentadas en el sistema de distribución, considerando siempre las operaciones del sistema y las constantes que éste involucra, de manera que la red funcione en condiciones óptimas posibles mientras que la falla es reparada y el servicio vuelva a la normalidad.

El problema de la restauración involucra razonamiento lógico no trivial y razonamiento humano, ya que va de la mano con el concepto de reconfiguración; debido a las diferentes caminos o trayectorias para llevar a cabo la restauración del servicio. La restauración del servicio, como se mencionó anteriormente, depende de la reconfiguración del sistema, así como también las condiciones de operación del sistema después de una falla dependerán del esquema con que se realiza dicha reconfiguración.

El problema de la restauración contiene las siguientes características:

1. La restauración trata del agrupamiento de usuarios y de la búsqueda de alimentadores vecinos que permitan la liberación de la falla.
2. El problema trata más razonamiento lógico que cálculo numérico.
3. El agrupamiento requiere de la consideración de los operadores y de la capacidad del sistema.
4. Es difícil formular la configuración de la restauración como un problema de programación matemática, debido a su naturaleza combinatoria.
5. La reconfiguración es analizada principalmente con reglas heurísticas, basadas en la experiencia de los operadores del sistema.

La restauración de servicio se basa en acciones necesarias de interruptores para reanudar el servicio a usuarios en un corte o pérdida de energía, considerando que la falla ha sido localizada plenamente y que los estados de los interruptores son conocidos y están a disposición de los operadores de sistemas. A continuación, la Figura 1.3, presenta un diagrama en el cual se muestra las etapas para llevar a cabo una restauración de servicio producida por un corte de energía.



**Figura 1.2. Etapas de la restauración.**

### ***FACTORES DE RESTAURACIÓN***

Aunque las etapas de restauración mostradas en la Figura 1.3 son relativamente pocas, hay varios factores a considerar, a fin de ejecutar un proceso de reconfiguración adecuado para la restauración del servicio, los cuales se enumeran a continuación:

- i) Comportamiento de la demanda a corto plazo.
- ii) Pérdidas eléctricas del sistema.
- iii) Tiempo de restauración.
- iv) Confiabilidad.
- v) Restricciones por cargas prioritarias.

Es importante tomar en cuenta que, aunque se trate con un sistema automatizado o semiautomatizado, no se descarta la intervención del elemento humano en cuanto a operación de maniobras se refiere y en cuanto a la reparación de la falla y al tiempo de reparación relacionado, el cual dependerá del tipo de falla que se trate.

**Pérdidas Eléctricas del Sistema.** Se requiere que un esquema de reconfiguración del sistema presente un incremento moderado en pérdidas eléctricas durante su operación, con respecto a la configuración original del sistema, la cual se supone presenta la menor cantidad de pérdidas eléctricas.

**Tiempo de Restauración.** Se refiere a que el retorno de servicio eléctrico a los consumidores se realice en el menor tiempo posible durante el proceso de reconfiguración.

**Confiabilidad.** Se refiere a que en una situación de restauración de servicio, la reconfiguración asociada resultante mantenga al sistema dentro de índices de confiabilidad aceptables.

**Número de Maniobras.** Este factor requiere que el esquema de reconfiguración seleccionado se realice con el menor número de maniobras posibles en el sistema.

A pesar de que estos son los factores a considerar en un proceso de reconfiguración y restauración de servicio, es importante mencionar que difícilmente es posible satisfacer o cumplir con todos ellos en dicho proceso; entonces para una esquema de reconfiguración es necesario establecer un compromiso entre tales factores, a fin de que el servicio sea restaurado de la mejor manera posible.

### **FORMULACION DEL PROBLEMA**

Los esquemas de reconfiguración de sistemas de distribución, son opciones o trayectorias de posibles alternativas para la restauración de servicio en caso de falla o reducción de pérdidas en condiciones normales de operación, de manera que el sistema opere lo más adecuadamente posible, sin presentar sobrecargas ni voltajes bajos.

Una de las formas más sencillas y rápida de alimentar una zona en la cual se ha quedado fuera de servicio a causa de una falla permanente, es la de restaurar el servicio con el menor número de maniobras realizadas de manera automática. Sin embargo, el problema de reconfiguración, normalmente, se basa en la toma de decisiones de acuerdo a un conjunto de criterios que se desea satisfacer. Este punto es un problema de conciliación de intereses; por ejemplo, establecer si el criterio de pérdidas mínimas, es más importante que el tiempo de restauración, o la confiabilidad del sistema tenga mayor ponderación en importancia con respecto al número de maniobras.

Contemplando los aspectos anteriores, se puede definir un esquema de reconfiguración básico para cualquier compañía distribuidora, el cual consiste de las siguientes tareas:

*Definición del número de trayectorias posibles.* Se refiere a la cantidad de diferentes trayectorias posibles para llevar a cabo la reconfiguración en un sistema de distribución.

*Identificación de trayectorias factibles.* Es el conjunto de trayectorias que cumplan con los criterios básicos consistentes en observar sobrecargas y perfiles de voltaje bajos.

*Selección de la mejor opción.* Se realiza mediante la aplicación de algún o algunos criterios adicionales a los básicos.

Estas tareas se aplican dependiendo de las condiciones operativas y recursos de cada sistema de distribución en particular.

De acuerdo a la información mostrada en el estado del arte de esta tesis, se selecciono la metodología de reconfiguración de redes de distribución para reducir pérdidas resistivas en la línea.

A continuación se presenta la justificación del porque de la metodología seleccionada:

## **JUSTIFICACION DEL METODO SELECCIONADO**

Para la realización de esta tesis con tema de reconfiguración de redes de distribución se selecciono el método de reconfiguración de redes de distribución para reducir pérdidas resistivas en la línea como método de realización en dicha tesis.

Se decidió la selección de reconfiguración de redes de distribución para reducir pérdidas resistivas en la línea ya que es un método eficiente y robusto para su aplicación en tiempo real y bajo condiciones normales de operación, además de que toma en consideración dos aspectos muy importantes de las redes de distribución como son:

- La configuración final de la red debe quedar en forma radial.
- Todas las cargas deben de quedar conectadas una vez hecha la reconfiguración final.
- La configuración final de la red es independiente de la inicial.
- Garantiza una solución óptima o cerca de la optima.

Por estos aspectos mencionados anteriormente se decidió trabajar con este método para la realización de esta tesis, además de que la configuración final de la red es totalmente independiente a la configuración inicial de los interruptores, conduciéndonos a una solución óptima o cercana de la óptima.

## **CAPITULO 3**

### **METODOLOGIA DE SOLUCION Y DESCRIPCION DEL SISTEMA DE PRUEBA.**

#### **DESCRIPCION DEL ALGORITMO DE RECONFIGURACION DE REDES DE DISTRIBUCION PARA REDUCIR PÉRDIDAS RESISTIVAS EN LA LINEA.**

A continuación se describe la metodología de reconfiguración de redes de distribución para reducir pérdidas resistivas en la línea, la cual es propuesta en esta tesis.

La manera en que se describe esta metodología es por etapas las cuales son señaladas por medio de los bloques que se muestran en el diagrama de flujo de la figura 3.1

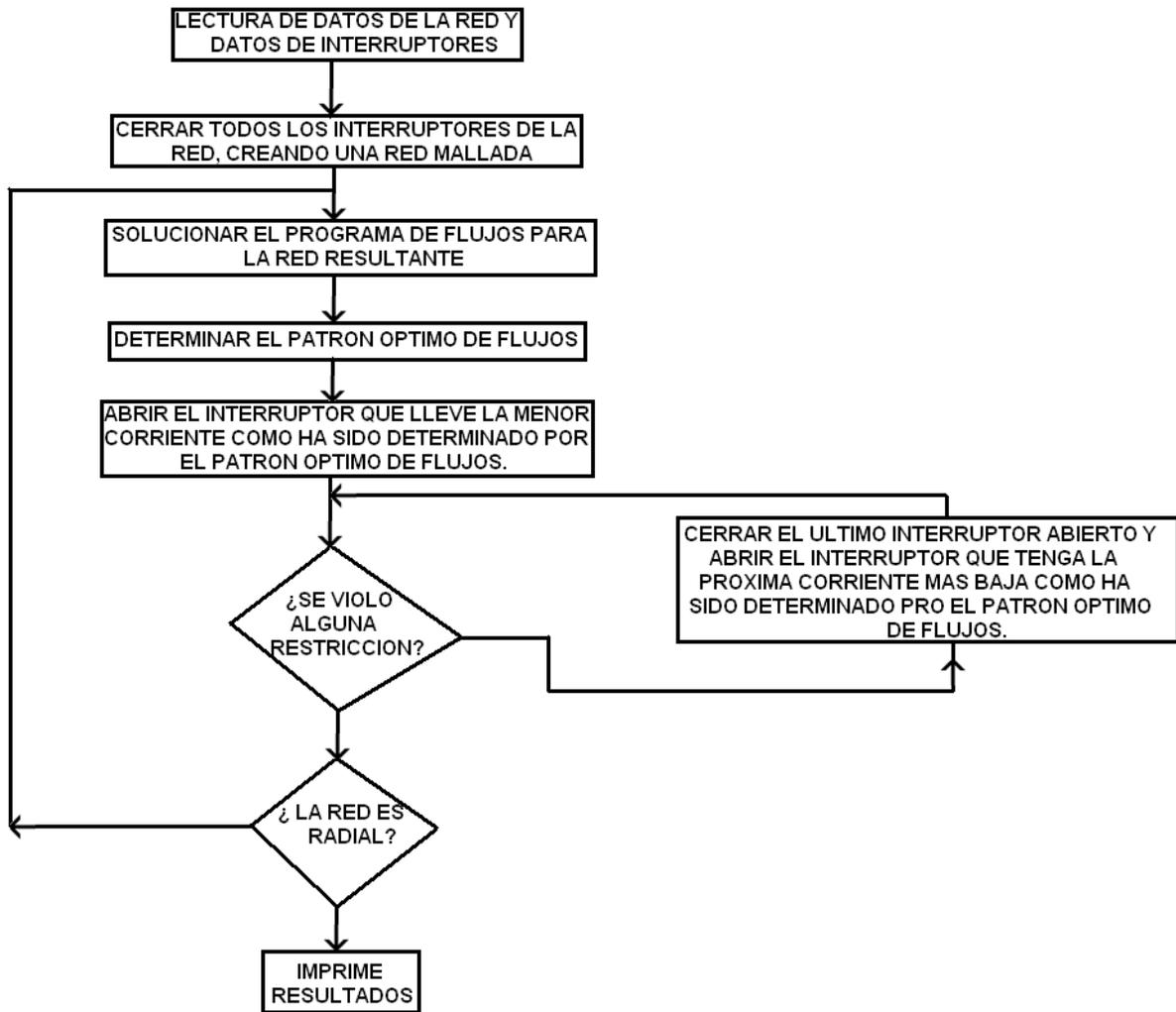


FIGURA 3.1: DIAGRAMA DE FLUJO DE LA METODOLOGIA

De acuerdo al diagrama de flujo mostrado anteriormente, ahora se muestra la descripción por bloques o etapas de la metodología propuesta:

***Etapas 1: Lectura de datos de la red y datos de interruptores:***

En este paso se deberán ingresar los datos de la red a reconfigurar así como los datos de los interruptores (status de los interruptores), además de realizar una corrida de flujos de potencia para constatar que el sistema este operando favorablemente bajo condiciones normales de operación y poder verificar las pérdidas que presenta el sistema bajo estas condiciones.

**Nota:** Para las corridas de flujos de potencia se utilizo como herramienta de apoyo el simulador canadiense CYMDIST.

***Etapas 2: Cerrar todos los interruptores de la red, creando una red mallada:***

Como lo indica el algoritmo, en este paso se deberán cerrar todos los interruptores de la red, creando con dicha acción una red débilmente mallada.

Debido a que el simulador CYMDIST utilizado como herramienta de apoyo para flujos de potencia, tiene la capacidad de correr flujos de potencia para redes malladas, no se tuvo la necesidad de modelar los interruptores ya que el modelado de interruptores mostrado en el apéndice A solo se efectúa para poder correr flujos de potencia de una red mallada, en un programa de flujos de potencia para redes radiales.

***Etapas 3: Solucionar el programa de flujos de potencia para la red resultante - Convertir las cargas a inyecciones de corriente nodal:***

Una vez cerrados los interruptores normalmente abiertos, señalados en el paso anterior, se procede a correr un programa de flujos de potencia para la red débilmente mallada obtenido con el paso anterior.

***Etapas 4: Determinar el patrón óptimo de flujos de la red:***

El patrón óptimo de flujos en una red mallada es el sistema de flujos de corriente en las ramas de la red que resulta con un mínimo de pérdidas resistivas en la línea.

Para esta etapa 4 de la corrida de flujos obtenida por el sistema de prueba con todos los interruptores en posición cerrada, se deberá realizar un ordenamiento de las corrientes que atraviesan a estos interruptores de menor a mayor y a esta tabla es a la cual llamaremos patrón optimo de flujos.

***Etapa 5: Abrir el interruptor que lleve la menor corriente como ha sido determinado por el patrón óptimo de flujos:***

Una vez teniendo los resultados de patrón óptimo de flujos, se procederá a abrir el interruptor que lleve la menor corriente de acuerdo a los resultados arrojados.

***Etapa 6: ¿Se violo alguna restricción?***

En este paso se preguntara si la red resultante por la apertura del interruptor, propuesto por el patrón óptimo de flujo cumple con las restricciones planteadas por el operador como, limites de ampacidad de conductores y perfil de voltaje, entre otros.

***Etapa 7: Cerrar el último interruptor abierto-abrir el interruptor que tenga la próxima corriente más baja como ah sido determinado por el patrón óptimo de flujos:***

Se llegará hasta este paso si el interruptor abierto anteriormente ha violado alguna de las restricciones propuestas por el operador del sistema. En caso de suceder esto se deberá cerrar el interruptor que causo alguna violación en las restricciones y se deberá abrir el siguiente interruptor que tenga la menor corriente, lo cual ha sido determinado por el patrón optimo de flujos.

***Etapa 8: ¿La red es radial?***

En esta etapa una vez hechas las maniobras de interruptores se pregunta si la red resultante ha quedado en forma radial, ya que es un objetivo del algoritmo que la red resultante quede en forma radial.

En caso de no obtener una red radial, se deberá regresar a la etapa 3 donde se volverá a correr flujos de potencia para la red obtenida.

***Etapa 9: ¿Imprime resultados?***

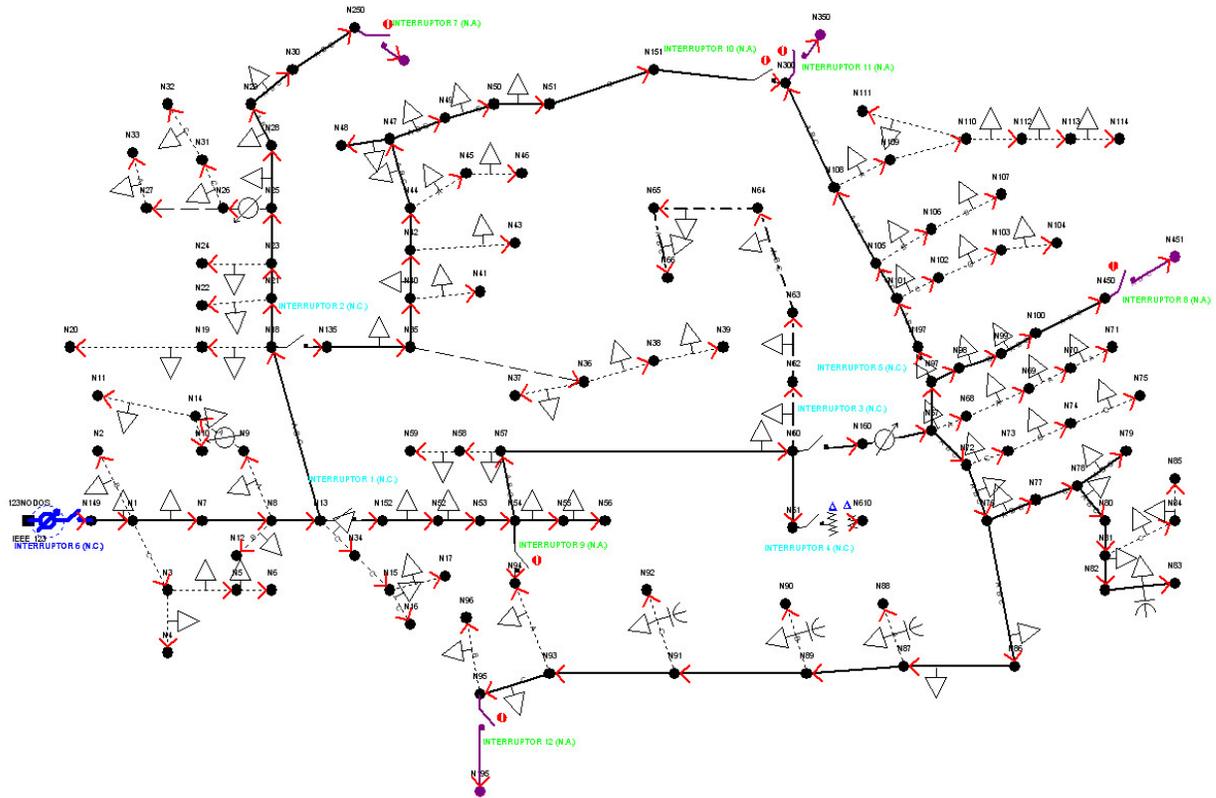
Este paso nos quiere decir que se ha llegado a la reconfiguración esperada, para la reducción de pérdidas resistivas en la línea, por lo cual se deberán imprimir las características obtenidas de la red resultante de la reconfiguración obtenida.

## **DESCRIPCION DEL SISTEMA DE PRUEBA**

Para la etapa de pruebas, se ha decidido trabajar con el sistema de prueba de 123 nodos de IEEE, ya que es un sistema completo por la cantidad de elementos que maneja, además de que es el único sistema de IEEE que nos permite un mayor manejo de interruptores, lo cual es importante para una reconfiguración satisfactoria del sistema.

El sistema analizado consta de 123 nodos, de los cuales, 85 son nodos de carga y un nodo de alimentación, contiene además 118 segmentos de línea entre aéreas y subterráneas, un transformador, 4 reguladores de voltaje, 4 capacitores y 12 interruptores.

En la Figura 3.2 se muestra el diagrama unifilar del alimentador primario de distribución de 123 Nodos del IEEE.



**Figura 3.2.** Alimentador primario de distribución de 123 Nodos del IEEE

En la **Tabla 3.1** se presentan los datos de las configuraciones de las de Líneas Aéreas de Distribución del sistema de prueba de 123 Nodos del IEEE.

**Tabla 3.1.** Datos de Configuración de Líneas Aéreas

Configuración	Faseo	Fase	Neutro	Espaciamiento
ID		ACSR	ACSR	ID
1	A B C N	336,400 26/7	4/0 6/1	500
2	C A B N	336,400 26/7	4/0 6/1	500
3	B C A N	336,400 26/7	4/0 6/1	500
4	C B A N	336,400 26/7	4/0 6/1	500

5	B A C N	336,400 26/7	4/0 6/1	500
6	A B C N	336,400 26/7	4/0 6/1	500
7	A C N	336,400 26/7	4/0 6/1	505
8	A B N	336,400 26/7	4/0 6/1	505
9	A N	1/0	1/0	510
10	B N	1/0	1/0	510
11	C N	1/0	1/0	510

En la **Tabla 3.2** se presentan los datos de las Configuraciones de Cables Subterráneos del sistema de prueba de 123 Nodos del IEEE.

**Tabla 3.2. Datos de Configuración de Cables Subterráneos**

Configuración	Disposición de Conductores	Cable	Space ID
12	A B C	1/0 AA, CN	515

En la **Tabla 3.3** se presentan los datos de los Transformadores del Sistema de Prueba de 123 Nodos del IEEE.

**Tabla 3.3 Datos de Transformadores**

	kVA	kV-high	kV-low	R - %	X - %
Subestación:	5,000	115 - D	4.16 Gr. Y	1	8
XFM -1	150	4.16 - D	0.480 - D	1.27	2.72

En la **Tabla 3.4** se presentan los Datos de los Segmentos de Línea del Sistema de Prueba de 123 Nodos del IEEE.

**Tabla 3.4. Datos de Segmentos de Línea**

Nodo A	Nodo B	Longitud (ft.)	ID Configuración
1	2	175	10
1	3	250	11
1	7	300	1
3	4	200	11
3	5	325	11
5	6	250	11
7	8	200	1
8	12	225	10
8	9	225	9
8	13	300	1
9	14	425	9

13	34	150	11
13	18	825	2
14	11	250	9
14	10	250	9
15	16	375	11
15	17	350	11
18	19	250	9
18	21	300	2
19	20	325	9
21	22	525	10
21	23	250	2
23	24	550	11
23	25	275	2
25	26	350	7
25	28	200	2
26	27	275	7
26	31	225	11
27	33	500	9
28	29	300	2
29	30	350	2
30	250	200	2
31	32	300	11
34	15	100	11
35	36	650	8
35	40	250	1
36	37	300	9
36	38	250	10
38	39	325	10
40	41	325	11
40	42	250	1
42	43	500	10
42	44	200	1
42	44	200	1
44	45	200	9
44	47	250	1
45	46	300	9
47	48	150	4
47	49	250	4
49	50	250	4
50	51	250	4
52	53	200	1
53	54	125	1

54	55	275	1
54	57	350	3
55	56	275	1
57	58	250	10
57	60	750	3
58	59	250	10
60	61	550	5
60	62	250	12
62	63	175	12
63	64	350	12
64	65	425	12
65	66	325	12
67	68	200	9
67	72	275	3
67	97	250	3
68	69	275	9
69	70	325	9
70	71	275	9
72	73	275	11
72	76	200	3
73	74	350	11
74	75	400	11
76	77	400	6
76	86	700	3
77	78	100	6
78	79	225	6
78	80	475	6
80	81	475	6
81	82	250	6
81	84	675	11
82	83	250	6
84	85	475	11
86	87	450	6
87	88	175	9
87	89	275	6
89	90	225	10
89	91	225	6
91	92	300	11
91	93	225	6
93	94	275	9
93	95	300	6
95	96	200	10

97	98	275	3
98	99	550	3
99	100	300	3
100	450	800	3
101	102	225	11
101	105	275	3
102	103	325	11
103	104	700	11
105	106	225	10
105	108	325	3
106	107	575	10
108	109	450	9
108	300	1000	3
109	110	300	9
110	111	575	9
110	112	125	9
112	113	525	9
113	114	325	9
135	35	375	4
149	1	400	1
152	52	400	1
160	67	350	6
197	101	250	3

En la **Tabla 3.5** se muestra los datos de los interruptores instalados en el sistema de 123 Nodos del IEEE.

**Tabla 3.5. Datos de interruptores trifásicos**

# int.	Node A	Node B	Normal
10	13	152	Cerrado
7	18	135	Cerrado
13	60	160	Cerrado
12	61	610	Cerrado
116	97	197	Cerrado
1	150	149	Cerrado
5	250	251	Abierto
3	450	451	Abierto
11	54	94	Abierto
9	151	300	Abierto
4	300	350	Abierto
2	95	195	Abierto

En la **Tabla 3.6** se presentan los Datos de los Bancos de Capacitores instalados en el Sistema de 123 Nodos del IEEE.

**Tabla 3.6. Datos de Capacitores**

Node	Ph-A	Ph-B	Ph-C
	kVAr	kVAr	kVAr
83	200	200	200
88	50		
90		50	
92			50
Total	250	250	250

La **Tabla 3.7** muestra los Datos de los Reguladores de Voltaje del Sistema de Prueba de 123 Nodos del IEEE.

**Tabla 3.7. Datos de Reguladores de Voltaje**

<b>Regulator ID:</b>	<b>1</b>		
Segmento de Línea:	150 -149		
Localización:	150		
Fases:	A - B - C		
Conección:	3-Ph, Wye		
Monitoreo de Fases:	A		
Tolerancia:	2.0 volts		
Relación de TP:	20		
Relación del Primario del TC:	700		
Configuración del Compensator:	Ph-A		
R - Posición:	3		
X - Posición:	7.5		
Nivel de Voltaje:	120		

<b>Regulator ID:</b>	<b>2</b>		
Segmento de Línea:	9-14		
Localización:	9		
Fases:	A		
Conección:	1-Ph, LG		
Monitoreo de Fases:	A		
Tolerancia:	2.0 volts		
Relación de TP:	20		
Relación del Primario del TC:	50		
Configuración del Compensator:	Ph-A		
R - Posición:	0.4		

X - Posición:	0.4		
Nivel de Voltaje:	120		

<b>Regulator ID:</b>	<b>3</b>		
Segmento de Línea:	25 - 26		
Localización:	25		
Fases:	A - C		
Conección:	2-Ph, LG		
Monitoreo de Fases:	A & C		
Tolerancia:	1.0 volts		
Relación de TP:	20		
Relación del Primario del TC:	50		
Configuración del Compensador:	Ph-A	Ph-B	
R - Posición:	0.4	0.4	
X - Posición:	0.4	0.4	
Nivel de Voltaje:	120	120	

<b>Regulator ID:</b>	<b>4</b>		
Segmento de Línea:	160 - 67		
Localización:	160		
Fases:	A - B - C		
Conección:	3-Ph, LG		
Monitoreo de Fases:	A - B - C		
Tolerancia:	2.0 volts		
Relación de TP:	20		
Relación del Primario del TC:	300		
Configuración del Compensador:	Ph-A	Ph-B	Ph-C
R - Posición:	0.6	1.4	0.2
X - Posición:	1.3	2.6	1.4
Nivel de Voltaje:	124	124	124

La **Tabla 3.8** presenta los Datos de las Carga Puntuales del Sistema de Prueba de 123 Nodos del IEEE.

**Tabla 3.8. Datos de Carga Puntuales**

Node	Carga Modelo	Ph-1	Ph-1	Ph-2	Ph-2	Ph-3	Ph-3
		kW	kVAr	kW	kVAr	kW	kVAr
1	Y-PQ	40	20	0	0	0	0
2	Y-PQ	0	0	20	10	0	0
4	Y-PQ	0	0	0	0	40	20

5	Y-I	0	0	0	0	20	10
6	Y-Z	0	0	0	0	40	20
7	Y-PQ	20	10	0	0	0	0
9	Y-PQ	40	20	0	0	0	0
10	Y-I	20	10	0	0	0	0
11	Y-Z	40	20	0	0	0	0
12	Y-PQ	0	0	20	10	0	0
16	Y-PQ	0	0	0	0	40	20
17	Y-PQ	0	0	0	0	20	10
19	Y-PQ	40	20	0	0	0	0
20	Y-I	40	20	0	0	0	0
22	Y-Z	0	0	40	20	0	0
24	Y-PQ	0	0	0	0	40	20
28	Y-I	40	20	0	0	0	0
29	Y-Z	40	20	0	0	0	0
30	Y-PQ	0	0	0	0	40	20
31	Y-PQ	0	0	0	0	20	10
32	Y-PQ	0	0	0	0	20	10
33	Y-I	40	20	0	0		
34	Y-Z	0	0	0	0	40	20
35	D-PQ	40	20	0	0	0	0
37	Y-Z	40	20	0	0	0	0
38	Y-I	0	0	20	10	0	0
39	Y-PQ	0	0	20	10	0	0
41	Y-PQ	0	0	0	0	20	10
42	Y-PQ	20	10	0	0	0	0
43	Y-Z	0	0	40	20	0	0
45	Y-I	20	10	0	0	0	0
46	Y-PQ	20	10	0	0	0	0
47	Y-I	35	25	35	25	35	25
48	Y-Z	70	50	70	50	70	50
49	Y-PQ	35	25	70	50	35	25
50	Y-PQ	0	0	0	0	40	20
51	Y-PQ	20	10	0	0	0	0
52	Y-PQ	40	20	0	0	0	0
53	Y-PQ	40	20	0	0	0	0
55	Y-Z	20	10	0	0	0	0
56	Y-PQ	0	0	20	10	0	0
58	Y-I	0	0	20	10	0	0
59	Y-PQ	0	0	20	10	0	0
60	Y-PQ	20	10	0	0	0	0
62	Y-Z	0	0	0	0	40	20

63	Y-PQ	40	20	0	0	0	0
64	Y-I	0	0	75	35	0	0
65	D-Z	35	25	35	25	70	50
66	Y-PQ	0	0	0	0	75	35
68	Y-PQ	20	10	0	0	0	0
69	Y-PQ	40	20	0	0	0	0
70	Y-PQ	20	10	0	0	0	0
71	Y-PQ	40	20	0	0	0	0
73	Y-PQ	0	0	0	0	40	20
74	Y-Z	0	0	0	0	40	20
75	Y-PQ	0	0	0	0	40	20
76	D-I	105	80	70	50	70	50
77	Y-PQ	0	0	40	20	0	0
79	Y-Z	40	20	0	0	0	0
80	Y-PQ	0	0	40	20	0	0
82	Y-PQ	40	20	0	0	0	0
83	Y-PQ	0	0	0	0	20	10
84	Y-PQ	0	0	0	0	20	10
85	Y-PQ	0	0	0	0	40	20
86	Y-PQ	0	0	20	10	0	0
87	Y-PQ	0	0	40	20	0	0
88	Y-PQ	40	20	0	0	0	0
90	Y-I	0	0	40	20	0	0
92	Y-PQ	0	0	0	0	40	20
94	Y-PQ	40	20	0	0	0	0
95	Y-PQ	0	0	20	10	0	0
96	Y-PQ	0	0	20	10	0	0
98	Y-PQ	40	20	0	0	0	0
99	Y-PQ	0	0	40	20	0	0
100	Y-Z	0	0	0	0	40	20
102	Y-PQ	0	0	0	0	20	10
103	Y-PQ	0	0	0	0	40	20
104	Y-PQ	0	0	0	0	40	20
106	Y-PQ	0	0	40	20	0	0
107	Y-PQ	0	0	40	20	0	0
109	Y-PQ	40	20	0	0	0	0
111	Y-PQ	20	10	0	0	0	0
112	Y-I	20	10	0	0	0	0
113	Y-Z	40	20	0	0	0	0
114	Y-PQ	20	10	0	0	0	0
	TOTAL	1420	775	915	515	1155	635

Con el fin de verificar las posibilidades de reconfiguración que puede permitir este sistema, se realizó una corrida de reconfiguración óptima por medio del simulador CYMDIST, obteniendo como resultado, que el sistema de prueba con los elementos que contiene (interruptores y segmentos de línea principalmente), no permite realizar ninguna maniobra de reconfiguración con el objetivo de reducir pérdidas, ya que cuenta con pocos interruptores y trayectorias de líneas que permitan una reconfiguración exitosa.

Por este motivo se decidió modificar el sistema antes mostrado, mediante el incremento de 5 interruptores seccionadores y 10 segmentos de línea, ya que mediante esta modificación tendremos más posibilidades de reconfiguración en nuestro sistema con el fin de reducir pérdidas en la línea.

A continuación se muestra en la figura 3.3 el dibujo del sistema de 123 nodos de IEEE ya modificado, donde se señalan los nuevos interruptores y segmentos de línea agregados:

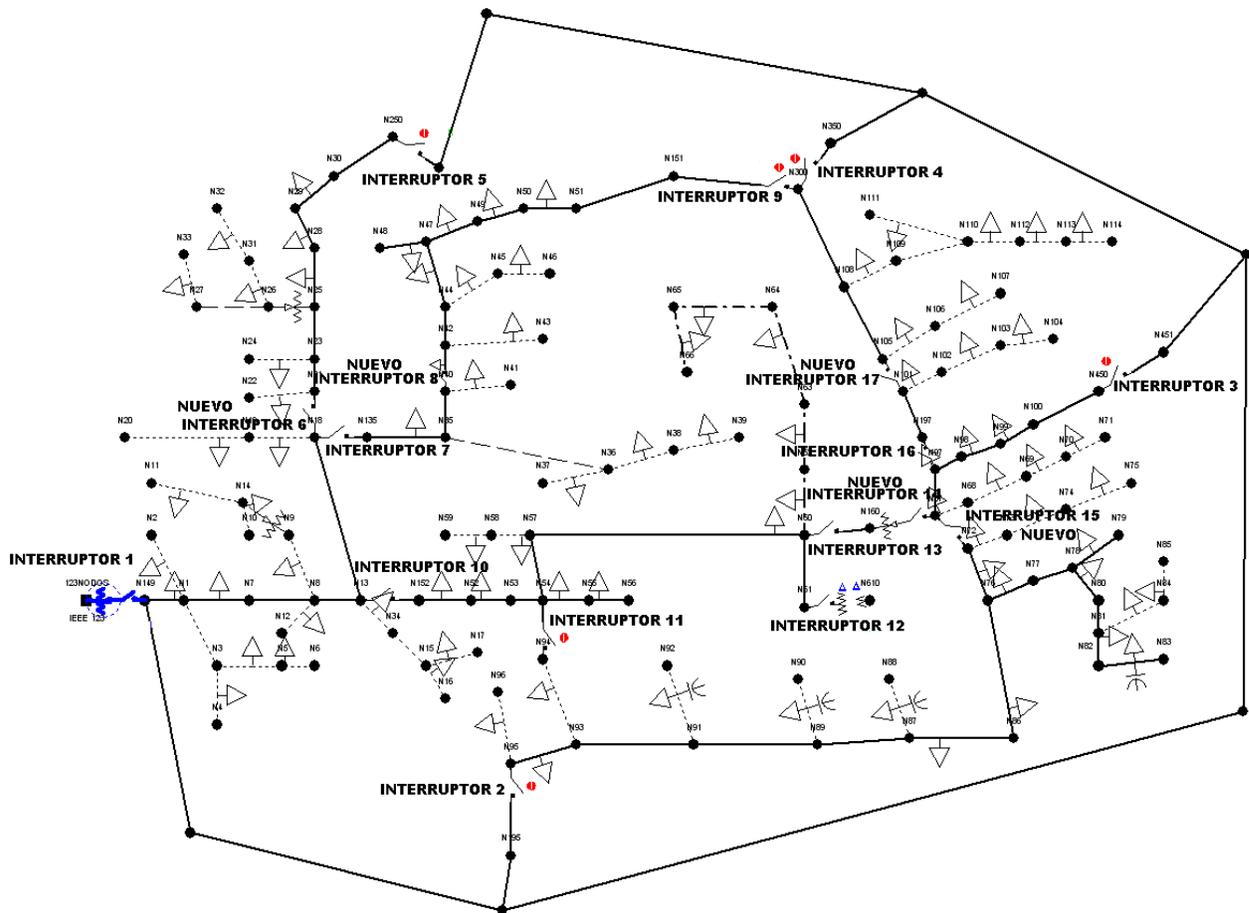


FIGURA 3.3: Sistema de 123 nodos de IEEE modificado para reconfiguración.

Como antes se menciona únicamente se agregaron 5 interruptores, colocados de manera que nos permitan tener más opciones de conexión de ramas de la red y 10 segmentos de línea localizados en la periferia del sistema con el fin de tener más posibilidades de conexiones desde la fuente a otras partes del sistema, lo cual nos permitirá aumentar las posibilidades de reconfiguración.

Los datos de los interruptores y segmentos de línea agregados se muestran a continuación en la tabla 3.9 y 3.10 respectivamente:

**Tabla 3.9. Datos de interruptores trifásicos agregados**

Node A	Node B	INT. #	Normal
18	21	6	Cerrado
40	42	8	Cerrado
160	67	14	Cerrado
67	72	15	Cerrado
101	105	17	Cerrado

**Tabla 3.10. Datos de segmentos de línea agregados**

Nodo A	Nodo B	Longitud (ft.)	ID Configuración
149	200	200	1
200	201	200	1
201	95	200	1
201	202	200	1
202	203	200	1
203	451	200	1
203	204	200	1
204	350	200	1
204	205	200	1
205	13	200	1

Todos los segmentos presentan una misma configuración y una misma longitud de 200 ft cada uno.

Una modificado nuestro sistema de prueba y bajo condiciones acatables para proponer una reconfiguración que nos permita reducir perdidas resistivas en la línea, se procedió a realizar la reconfiguración del sistema modificado en el simulador con el fin de poder comparar los resultados obtenidos por el simulador una vez realizada la reconfiguración por este medio, con los resultados obtenidos al aplicar la metodología propuesta en esta tesis.

## RESULTADOS DEL SISTEMA RECONFIGURADO POR MEDIO DE CYMDIST

A continuación se presenta los dibujos y tablas obtenidos por la reconfiguración del sistema de prueba (original de IEEE), efectuada por el simulador, así como una breve descripción de cada una de estas tablas y dibujos.

En la figura 3.4 se muestra la estructura del sistema de prueba una vez realizada la reconfiguración por medio del simulador:

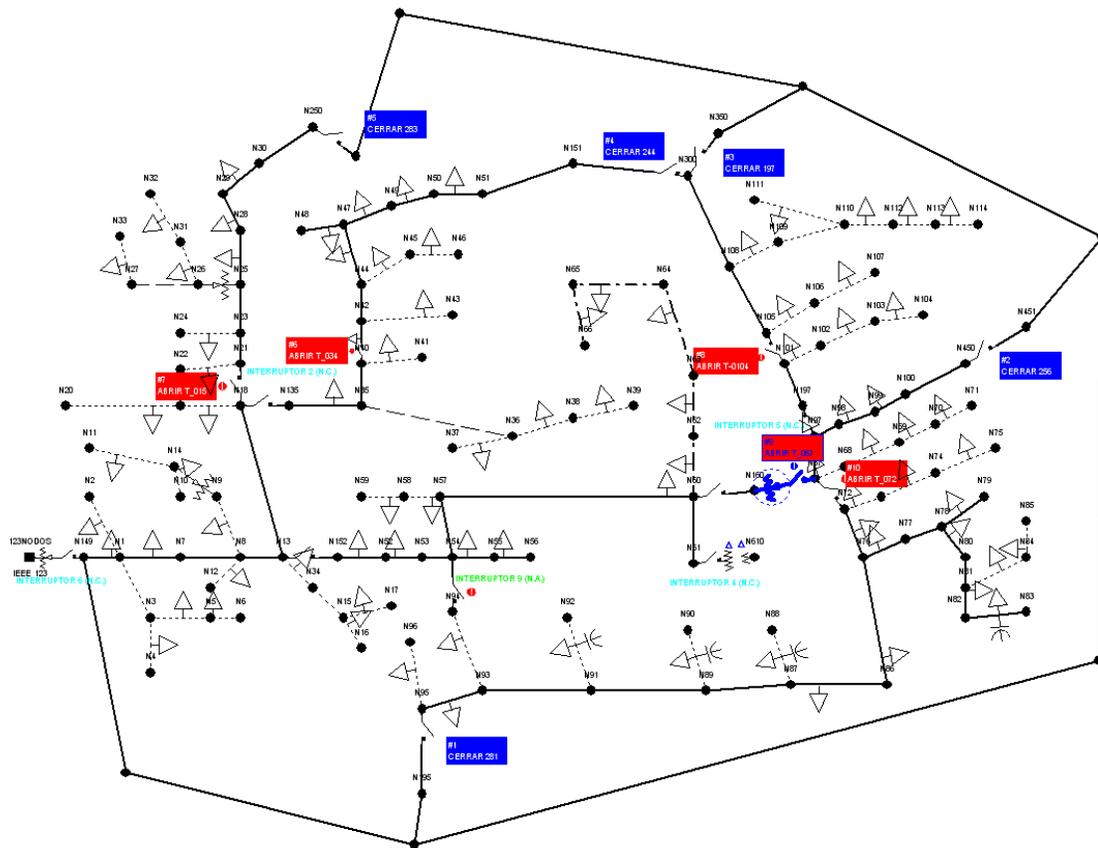


FIGURA 3.4: Dibujo del sistema reconfigurado.

En la tabla 3.11 se muestra el perfil de voltaje de los cables del sistema, como se puede observar los perfiles de estos cables aumentan con el nuevo sistema reconfiguración ya que en comparación con el sistema en estado normal, el perfil del sistema reconfigurado es un poco mayor pero sin sobrepasar los límites de la red lo cual nos permite un mejor funcionamiento de nuestra sistema.

**TABLA 3.11: Reporte de datos de cables del sistema del sistema reconfigurado.**

ALIMENTADOR	TRAMO	FASES	CONFIGURACION	LONGITUD	PERFIL DE V.
IEEE_123	T_0122	ABC	12	250	101.16
IEEE_123	T_0123	ABC	12	175	100.59
IEEE_123	T_0124	ABC	12	350	100.25
IEEE_123	T-0125	ABC	12	425	99.62
IEEE_123	T_0126	ABC	12	325	99.06

En la tabla siguiente se muestran los resultados de los perfiles de tensión, voltajes y corrientes de fase así como perdidas aguas abajo, dichos valores son referenciados a cada tramo del sistema, como lo indica la numeración de la tabla.

Los recuadros en color rojo muestran los valores más altos de perfil de voltaje y las perdidas aguas abajo vistas desde el alimentador principal, lo que esto equivale a las perdidas en todo el sistema, con lo cual podemos constatar que dichas pérdidas son mucho menores a las perdidas del sistema en estado normal, mientras que el recuadro verde muestra el valor más bajo de perfil de voltaje para el tramo indicado.

Por lo que se observa, ninguno de estos valores sobrepasa el límite del sistema de ( $\pm 5\%$ ).

**TABLA 3.12: Reporte de flujos por tramos del sistema reconfigurado.**

TRAMO	PERFIL DE V.	VA L-N	VB L-N	VC L-N	IA	IB	IC	PERDIDAS(KW)
T_0	102.66	4.3	4.3	4.3	616.4	405.8	496.7	36.05
328	102.66	4.3	4.3	4.3	382.4	284.2	316.8	18.63
331	102.53	4.3	4.3	4.3	382.4	284.2	316.8	16.38
317	102.4	4.3	4.3	4.3	119	126.4	133	6.96
T_096	102.39	4.3	4.3	4.3	119	126.4	133	6.81
T_095	102.39	4.3	4.3	4.3	119	119.8	133	6.81
T_093	102.41	4.3	4.3	4.3	109.1	113.5	133	6.02
T_091	102.42	4.3	4.3	4.3	109.1	113.5	114.1	5.44
T_089	102.44	4.3	4.3	4.3	109.1	93.4	114.1	4.94
T_087	102.45	4.3	4.3	4.3	88.2	93.4	114.1	4.38
T_086	102.47	4.3	4.3	4.3	88.2	81.4	114.1	3.63
T_076	102.52	4.3	4.3	4.3	46.1	45.4	90.9	0.17
T_072	102.51	4.2	4.3	4.2	0	0	0	0
T_068	101.09	4.2			54.8			0.13
T_069	101	4.2			45.7			0.08
T_070	100.9	4.2			27.4			0.03
T_071	100.83	4.2			18.3			0.01
T_073	101.8			4.3			55.4	0.12
T_074	101.68			4.3			37.3	0.05

T_075	101.58			4.3			18.2	0.01
T_077	102.52	4.3	4.3	4.3	78.7	78.3	77.4	2.33
T_078	102.69	4.3	4.3	4.3	78.7	81	77.4	1.9
T_079	102.74	4.3	4.3	4.3	19.4	0	0	0.01
T_080	102.74	4.4	4.3	4.3	81.4	81	77.4	1.79
T_081	102.98	4.4	4.3	4.3	81.4	87.3	77.4	1.25
T_082	102.42			4.3			27	0.05
T_083	102.27			4.3			18	0.01
T_084	103.23	4.4	4.4	4.3	81.4	87.3	82.9	0.63
T_085	103.38	4.4	4.4	4.3	87.8	87.3	82.9	0.32
T_088	102.67	4.3			21			0.01
T_090	102.53		4.3			21.3		0
T_092	102.26			4.3			21	0.01
T_094	102.38	4.3			18			0.01
T_097	102.56		4.3			9		0
330	102.4	4.3	4.3	4.3	302.1	181.4	208.9	7.31
332	102.4	4.3	4.3	4.3	302.1	181.4	208.9	7.29
321	102.16	4.3	4.3	4.3	73	18	64.8	1.42
T_0119	102.15	4.3	4.3	4.3	73	18	64.8	1.38
T_0118	102.15	4.3	4.3	4.3	73	18	64.8	1.38
T_0117	101.93	4.3	4.3	4.3	73	18	64.8	0.87
T_0116	101.85	4.3	4.3	4.3	73	18	45.7	0.72
T_0115	101.73	4.3	4.3	4.2	73	0	45.7	0.43
T_099	101.68	4.3	4.3	4.2	0	0	45.7	0.14
T_0100	101.68	4.3	4.3	4.2	0	0	45.7	0.14
T_0101	101.04			4.2			45.7	0.09
T_0102	100.95			4.2			36.6	0.06
T_0103	100.86			4.2			18.3	0.02
T_98	101.68	4.2	4.3	4.2	54.8	0	0	0.19
333	102.16	4.3	4.3	4.3	229.2	163.5	144.2	3.6
318	102.02	4.3	4.3	4.3	172.9	144.3	90	2.04
T_046	102	4.3	4.3	4.3	172.9	144.3	90	1.96
T_0114	102	4.2	4.3	4.3	64.8	36.1	0	0.7
T_0107	101.82	4.2	4.3	4.3	0	36.1	0	0.04
T-0104	101.8	4.3	4.3	4.2	0	0	0	0
T_0105	102.24		4.3				36.1	0.01
T_0106	102.24		4.3				18	0.01
T_0108	101.12	4.2			64.8			0.27
T_0109	100.89	4.2			46.5			0.11
T-0111	100.78	4.2			37.4			0.05
T_0112	100.74	4.2			28.1			0.04
T_0113	100.62	4.2			9.2			0
T_0110	100.78	4.2			9.1			0
T_045	102	4.3	4.3	4.3	108.3	108.5	90	1.26
T_044	101.99	4.3	4.3	4.3	108.3	108.5	90	1.18

T_043	101.97	4.3	4.3	4.3	108.3	108.5	90	1.12
T_042	101.82	4.3	4.3	4.3	99.3	108.5	90	0.69
T_041	101.68	4.3	4.3	4.3	99.3	108.5	72.1	0.29
T_039	101.58	4.2	4.3	4.3	45.3	37	17.9	0.04
T_036	101.56	4.2	4.3	4.3	9.1	19.2	0	0.01
T_034	101.55	4.2	4.3	4.3	0	0	0	0
T_033	101.57			4.3			9.1	0
T_035	101.88		4.3			19.2		0
T_037	101.11	4.2			18.4			0.01
T_038	101.08	4.2			9.1			0
T_040	101.58	4.2	4.3	4.3	36.6	36.9	36.8	0.04
334	102.02	4.3	4.3	4.3	56.3	19.2	54.5	0.48
322	101.98	4.3	4.3	4.3	56.3	19.2	54.5	0.39
T_029	101.96	4.3	4.3	4.3	56.3	19.2	54.5	0.36
T_028	101.96	4.3	4.3	4.3	56.3	19.2	54.5	0.36
T_027	101.91	4.3	4.3	4.3	56.3	19.2	54.5	0.28
T_026	101.84	4.3	4.3	4.3	56.3	19.2	36.3	0.17
T_025	101.79	4.3	4.3	4.3	37.2	19.2	36.3	0.12
T_019	101.77	4.3	4.3	4.3	0	19.2	18.2	0.04
T_017	101.75	4.3	4.3	4.3	0	19.2	0	0.01
T_015	101.74	4.2	4.3	4.3	0	0	0	0
T_013	101.06	4.2			36.9			0.03
T_014	100.99	4.2			18.6			0
T_030	101.67	4.2	4.3	4.3	29	28.4	9.1	0.06
T_031	101.67	4.2	4.3	4.3	29	28.4	9.1	0.06
T_032	101.63	4.2	4.3	4.3	0	0	9.1	0
T_047	101.65	4.2	4.3		19	18.3		0.02
T_048	100.89	4.2			19			0.01
T_049	102.34		4.3			18.3		0
T_050	102.34		4.3			9		0
T_016	102.26		4.3			19.2		0.01
T_018	101.52			4.3			18.2	0.02
T_020	101.16	4.3		4.2	18.6		18.3	0.05
T_021	101.11	4.3		4.2	18.6		0	0.02
T_022	101.34	4.3			18.6			0.01
T_023	100.85			4.2			18.3	0.01
T_024	100.82			4.2			9.1	0
T_02	102.66	4.3	4.3	4.3	237.9	125.5	183.1	17.42
T_03	102.6		4.3			9		0
T_04	102.22			4.3			46.6	0.08
T_05	102.13			4.3			18.1	0.01
T_06	102.13			4.3			28.5	0.03
T_07	102.05			4.3			19.2	0.01
T_08	102.35	4.3	4.3	4.3	220	116.6	136.5	15.01
T_09	102.14	4.3	4.3	4.3	210.9	116.6	136.5	13.54

T_010	102.49		4.3			9		0
T_011	102.01	4.3	4.3	4.3	164.7	107.6	136.5	12.54
T_012	101.83	4.2	4.3	4.3	65.6	28.4	9.1	0.38
T_051	101.66			4.3			46.3	0.05
T_052	101.6			4.3			27.2	0.02
T_053	101.58			4.3			18.2	0.01
T_054	101.58			4.3			9.1	0
T_055	101.82	4.3	4.3	4.3	99.7	79.5	81.1	11.11
T_056	101.82	4.3	4.3	4.3	99.7	79.5	81.1	11.08
T_057	101.66	4.2	4.3	4.3	81.6	79.5	81.1	10.55
T_058	101.59	4.2	4.3	4.3	63.5	79.5	81.1	10.32
T_059	102.23	4.3	0	0	0	0	0	0
T_060	101.55	4.2	4.3	4.3	9.5	9	0	0.01
T_061	101.54	4.2	4.3	4.3	0	9	0	0
T_062	101.55	4.2	4.3	4.3	54.1	70.5	81.1	10.19
T_063	101.96		4.3			18.3		0
T_064	101.96		4.3			9		0
T_065	101.42	4.2	4.3	4.2	54.1	52.2	81.1	9.89
T_0120	101.16	4.2	4.3	4.2	0	0	0	0
T_0121	0	0.5	0.5	0.5	0	0	0	0
T_0122	101.16	4.2	4.3	4.2	45.1	52.2	81.1	9.35
T_0123	100.59	4.2	4.2	4.2	45.1	52.2	62.3	6.57
T_0124	100.25	4.2	4.2	4.2	27.3	52.2	62.3	5.09
T_0125	99.62	4.2	4.2	4.1	27.3	17.9	62.3	2.54
T_0126	99.06	4.2	4.2	4.1	0	0	35.1	0.43
T_066	101.16	4.2	4.3	4.2	0	0	0	0
T_067	102.43	4.2	4.3	4.2	0	0	0	0
T_127	101.66	4.3			46.2			0.08
T_128	100.94	4.2			28.3			0.04
T_129	100.85	4.2			9.3			0
T_130	100.85	4.2			19			0.01

En la tabla de resultados anteriores se puede observar que el perfil de voltaje más bajo es de 99.06% el cual se encuentra en el tramo T\_126 que es mucho mejor al perfil de voltaje que teníamos en condiciones normales de operación en ese tramo el cual era de 96.68%, además que en un 95 % de los tramos se mantienen perfiles de voltaje ligeramente arriba del ideal lo cual es de suma importancia para nuestra red.

Observando el principal aspecto importante para esta tesis que son las pérdidas en KW, en este caso en el tramo 0 que es el alimentador principal son de 36.05 kw que son mucho menores a las que teníamos en el caso base que eran de 101.11kw, con dichos resultados obtenidos por medio del simulador se puede concluir que la reconfiguración efectuada por el simulador es correcta ya que mantiene los perfiles de voltaje de las líneas dentro de valores aceptables ( ±5% )

además de cumplir con el objetivo principal de la metodología a implementar, el cual es reducir pérdidas resistivas en la línea.

En la tabla 3.13 se muestra un resumen de carga del sistema, en donde podremos observar lo principalmente importante para nosotros que son las pérdidas totales en kw del sistema:

**TABLA 3.13: Resultados de carga del sistema del sistema reconfigurado**

<b>Resumen de carga</b>				
	<b>Carga total</b>			
	<b>kW</b>	<b>kVAR</b>	<b>kVA</b>	<b>FP(%)</b>
Potencia desde las fuentes	3585.26	1210.55	3784.12	94.75
Carga leída (no regulada)	3490	1925	3985.69	87.56
Carga utilizada (regulada)	3547.72	1958.81	4052.56	87.54
Condensadores shunt (regulados)		818.26		
Reactancias shunt(reguladas)		0		
Motores de inducción	0	0	0	0
Motores síncronos	0	0	0	0
Generadores síncronos	0	0	0	0
Generadores de inducción	0	0	0	0
Generadores con acoplamiento electrónico	0	0	0	0
Potencia a otras redes	0	0	0	0
Capacitancia del conductor		1.2		
Pérdidas	37.54	71.2	80.49	46.64

Como se observo en la tabla anterior las pérdidas totales del sistema se redujeron considerablemente de 102.65kw que eran las pérdidas totales del sistema bajo condiciones normales de operación a 37.54kw que son las pérdidas totales del sistema ya reconfigurado.

A continuación se presenta la tabla 3.14 que contiene los reguladores del sistema, donde se observa que la disposición de los taps de los reguladores fue modificada en el regulador 3, esta maniobra de control del regulador 3 fue necesaria ya que el simulador no nos permitía hacer ninguna maniobra de reconfiguración si no tenias facilidad de maniobra en cuanto los taps de este regulador.

**TABLA 3.14: Datos de reguladores del sistema reconfigurado.**

<b># REG.</b>	<b>TRAMO</b>	<b>FASES</b>	<b>CONTROL</b>	<b>TAP. A</b>	<b>TAP. B</b>	<b>TAP. C</b>
REG.1	T_0	ABC	Toma fija	6	6	6
REG. 2	T_020	AC	Toma fija	0		-1

REG. 3	T_067	ABC	Ajustes R&X	2	2	2
REG. 4	T_128	A	Toma fija	-1		

No se considero relevante mostrar la tabla de los capacitores ya que estos bajo cualquier maniobra de reconfiguración o flujos de potencia se mantienen en la misma posición.

En la tabla 3.15 se muestra los datos de interruptores del sistema reconfigurado, donde es de suma importancia el observar las maniobra interruptivas que realizo el simulado al cambiar la posición (abierto-cerrado o cerrado-abierto) de algunos de los interruptores.

Los interruptores que cambiaron de posición los cuales fueron únicamente 5 interruptores, estos son indicados por los recuadros en verde:

**TABLA 3.15: Datos de interruptores del sistema reconfigurado.**

# INTERRUPTOR	TRAMO	FASES	I NOM.(AMP.)	V NOM.(KV)	TIPO	POSICION
INT. 1	T_0	ABC	700	4.16	Interruptor secciona	Cerrado
INT. 2	T_096	ABC	500	4.16	Interruptor secciona	Cerrado
INT. 3	T_072	ABC	500	4.16	Interruptor secciona	Abierto
INT. 4	T_0119	ABC	500	4.16	Interruptor secciona	Cerrado
INT. 5	T_099	ABC	500	4.16	Interruptor secciona	Cerrado
INT. 6	T_046	ABC	500	4.16	Interruptor secciona	Cerrado
INT. 7	T-0104	ABC	500	4.16	Interruptor secciona	Abierto
INT. 8	T_045	ABC	500	4.16	Interruptor secciona	Cerrado
INT. 9	T_034	ABC	500	4.16	Interruptor secciona	Abierto
INT. 10	T_029	ABC	500	4.16	Interruptor secciona	Cerrado
INT. 11	T_015	ABC	500	4.16	Interruptor secciona	Abierto
INT. 12	T_030	ABC	500	4.16	Interruptor secciona	Cerrado
INT. 13	T_055	ABC	500	4.16	Interruptor secciona	Cerrado

INT. 14	T_059	ABC	500	4.16	Interruptor secciona	Abierto
INT. 15	T_0121	ABC	500	4.16	Interruptor secciona	Cerrado
INT. 16	T_066	ABC	500	4.16	Interruptor secciona	Cerrado
INT. 17	T_067	ABC	500	4.16	Interruptor secciona	Abierto

En la tabla anterior se pudo observar que algunos interruptores del sistema ya reconfigurado, algunos de los interruptores cambiaron de posición a comparación de cómo estaban bajo condiciones normales de operación, ya que es una maniobra necesaria (apertura o cierre de interruptores) para la reconfiguración de la red.

A continuación se muestra una breve descripción de las maniobras realizadas por el simulador para llevar a cabo la reconfiguración de la red.

## RESULTADOS DE MANIOBRAS DEL SISTEMA RECONFIGURADO

A continuación en la tabla 3.16 se muestran las maniobras de conmutación realizadas por el simulador con el fin de efectuar la reconfiguración del sistema para reducir pérdidas.

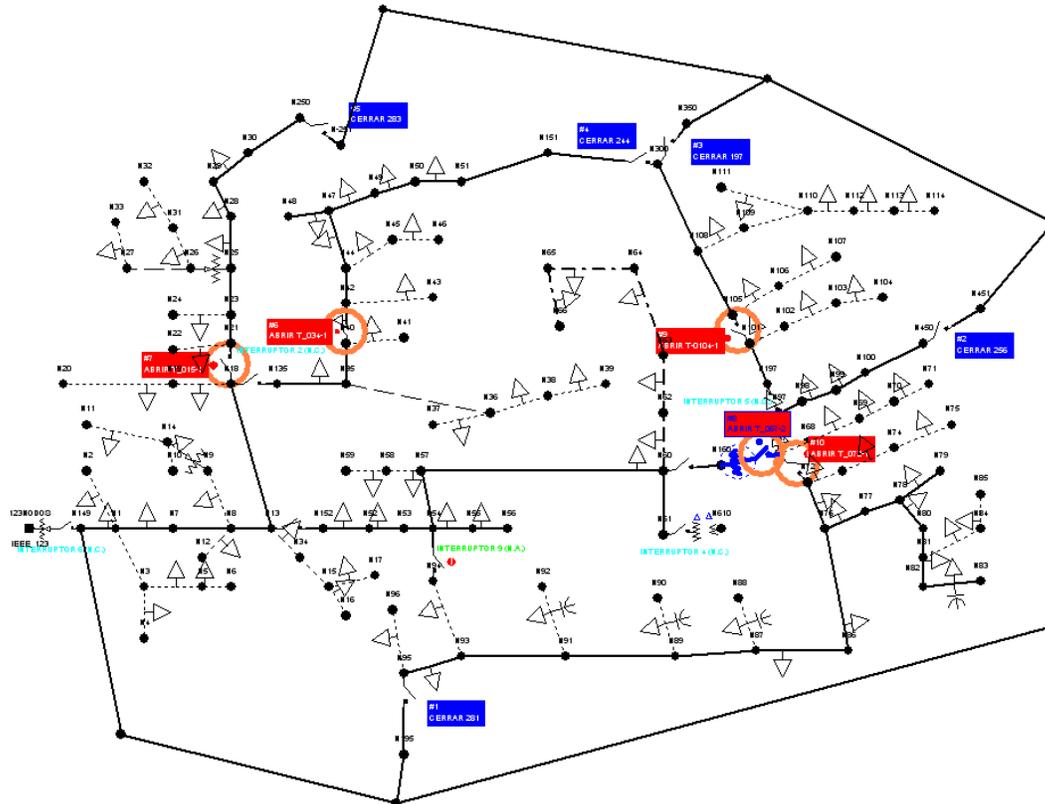
**TABLA 3.16: Tabla de maniobras de conmutación para la reconfiguración del sistema.**

Maniobras de conmutación (* significa nueva ubicación)		
Nombre del tramo	Acción	# del interruptor seccionador
T_096	Cerrar	Interruptor # 2
T_0119	Cerrar	Interruptor # 3
T_046	Cerrar	Interruptor # 4
T_045	Cerrar	Interruptor # 9
T_029	Cerrar	Interruptor # 5
T_034 *	Abrir	Interruptor # 8
T_015 *	Abrir	Interruptor # 6
T_067 *	Abrir	Interruptor # 14
T-0104 *	Abrir	Interruptor # 17
T_072 *	Abrir	Interruptor # 15

En el siguiente dibujo de la red se muestran las maniobras indicadas en la tabla anterior, estas son mostradas por recuadros azules como maniobras de cierre de

interruptores, por recuadros rojos son maniobras de apertura de interruptores y por último los círculos son maniobras de colocación de un nuevo interruptor en ese tramo de línea, lo cual se realizó al inicio de la realización de pruebas ya que como se encontraba el sistema normalmente no se podía realizar ninguna reconfiguración.

Con la realización en conjunto de estas 5 maniobras de apertura y 5 maniobras de cierre, además de 5 maniobras de aumento de nuevos interruptores es como el simulador lleva a cabo la reconfiguración del sistema de prueba cumpliendo el objetivo de reducir perdidas en kw en la línea.



**FIGURA 3.5:** Dibujo del sistema reconfigurado.

En la tabla 3.17 se muestran los resultados de la red obtenidos por el simulador al efectuar la reconfiguración del sistema. En dicha tabla será importante observar la reducción de pérdidas una vez realizada la reconfiguración del sistema.

**TABLA 3.17:** Tabla de resumen de la red para el sistema reconfigurado.

Resumen de la red							
	Capacidad	Carga inicial		Carga final		Pérdidas iniciales	Pérdidas finales
Nombre del	kVA	kVA	%	kVA	%	kW	kW

alimentador							
IEEE_123	4803.6	3841.6	79.9	3781.4	78.7	97.27	33.63
<b>Pérdidas en el sistema</b>							
Pérdidas iniciales	Pérdidas finales		Economías				
(kW)	(kW)		(kW)		(%)		(\$/año)
97.27	33.63		63.65		65.43		5575570

En conclusión se pudo observar que las pérdidas se redujeron notablemente de 97.27kw a 33.63kw quedando todas las cargas conectadas y sin violar los límites del sistema (ampacidad y tensión), además de algo muy importante es mencionar que el sistema reconfigurado es totalmente radial.

## CAPITULO 4

### PRUEBAS Y DISCUSION DE RESULTADOS

#### FLUJOS DE POTENCIA (caso base).

Para la etapa de flujos de potencia se utilizo como herramienta de apoyo, el simulador canadiense CYMDIST, además de que también nos permite validar la metodología de reconfiguración de redes de distribución propuesta en esta tesis.

Con el fin de futuras comparaciones que se puedan necesitar en la implementación de la metodología de reconfiguración, a continuación se presenta el reporte de datos arrojados por la corrida de flujos de potencia de nuestro sistema de prueba ya antes mencionado y que se muestra en la fig. 3.3 del capítulo anterior.

Los resultados de flujos de potencia son bajo condiciones normales de operación (caso base), estos reportes de datos son mostrados por medio de las siguientes tablas.

**TABLA 4.1: Reporte de datos de cables del sistema**

ALIMENTADOR	TRAMO	FASES	CONFIGURACION	LONGITUD	PERFIL DE V.
IEEE_123	T_0122	ABC	12	250	98.78
IEEE_123	T_0123	ABC	12	175	98.21
IEEE_123	T_0124	ABC	12	350	97.86
IEEE_123	T-0125	ABC	12	425	97.25
IEEE_123	T_0126	ABC	12	325	96.68

**NOTA:** Todos los tramos restantes del sistema son líneas aéreas.

**TABLA 4.2: Reporte de flujos por tramos del sistema**

TRAMO	PERFIL DE V	VA L-N	VB L-N	VC L-N	IA	IB	IC	PERDIDAS(KW)
T_0	102.66	4.3	4.3	4.3	628.8	409.3	505.1	101.11
328	102.66	4.3	4.3	4.3	0	0	0	0
331	102.66	4.3	4.3	4.3	0	0	0	0
317	102.66	4.3	4.3	4.3	0	0	0	0
T_096	102.67	4.3	4.2	4.3	0	0	0	0
T_097	100.64		4.2			9.2		0
330	102.66	4.3	4.3	4.3	0	0	0	0

332	102.66	4.3	4.3	4.3	0	0	0	0
321	102.66	4.3	4.3	4.3	0	0	0	0
T_0119	102.67	4.3	4.2	4.2	0	0	0	0
333	102.66	4.3	4.3	4.3	0	0	0	0
318	102.66	4.3	4.3	4.3	0	0	0	0
T_046	102.67	4.2	4.2	4.2	0	0	0	0
334	102.66	4.3	4.3	4.3	0	0	0	0
322	102.66	4.3	4.3	4.3	0	0	0	0
T_029	102.69	4.1	4.2	4.2	0	0	0	0
T_02	102.66	4.3	4.3	4.3	628.8	409.3	505.1	101.11
T_03	102.31		4.3			9		0
T_04	101.69			4.3			46.5	0.08
T_05	101.6			4.3			18.1	0.01
T_06	101.6			4.3			28.4	0.03
T_07	101.53			4.3			19.1	0.01
T_08	101.86	4.2	4.3	4.2	610.9	400.4	459.1	82.29
T_09	101.29	4.2	4.3	4.2	601.8	400.4	459.1	69.1
T_010	101.83		4.3			9.1		0
T_011	100.91	4.2	4.3	4.2	555.9	391.4	459.1	60.37
T_012	100.38	4.1	4.2	4.2	228.8	155.2	155	8.13
T_013	98.33	4.1			37.4			0.03
T_014	98.25	4.1			18.6			0
T_015	99.52	4.1	4.2	4.2	55.7	19	56	0.44
T_016	100.95		4.2			19		0.01
T_017	99.45	4.1	4.2	4.2	55.7	0	56	0.31
T_018	99.01			4.2			18.6	0.02
T_019	99.4	4.1	4.2	4.2	55.7	0	37.3	0.18
T_020	98.2	4.1		4.1	18.6		18.8	0.05
T_021	98.16	4.1		4.1	18.6		0	0.02
T_022	98.04	4.1			18.6			0.01
T_023	98.23			4.1			18.8	0.01
T_024	98.2			4.1			9.4	0
T_025	99.35	4.1	4.2	4.2	37.1	0	18.7	0.05
T_026	99.33	4.1	4.2	4.2	18.4	0	18.7	0.02
T_027	99.31	4.1	4.2	4.2	0	0	18.7	0.01
T_028	99.3	4.1	4.2	4.2	0	0	0	0
T_030	99.52	4.1	4.2	4.2	135.8	136.5	99.3	2.77
T_031	99.51	4.1	4.2	4.2	135.8	136.5	99.3	2.72
T_032	99.24	4.1	4.2	4.2	108.7	108.2	99.3	1.68
T_033	98.96			4.2			9.3	0
T_034	99.11	4.1	4.2	4.2	108.7	108.2	90.1	1.19

T_035	100.39		4.2			18.9		0
T_036	98.99	4.1	4.2	4.2	99.3	89.6	90.1	0.73
T_037	97.62	4.1			18.8			0.01
T_038	97.59	4.1			9.4			0
T_039	98.9	4.1	4.2	4.1	80.7	89.6	90.1	0.42
T_040	98.8	4.1	4.2	4.1	35.3	36.2	35.7	0.03
T_041	98.8	4.1	4.2	4.1	27.6	35.4	36.6	0.06
T_042	98.75	4.1	4.2	4.1	9.5	0	18.7	0.01
T_043	98.74	4.1	4.2	4.1	9.5	0	0	0
T_044	98.73	4.1	4.2	4.1	0	0	0	0
T_045	98.71	4.2	4.2	4.2	0	0	0	0
T_047	99.32	4.1	4.2		18.4	18.5		0.02
T_048	97.88	4.1			18.4			0.01
T_049	100.68		4.2			18.5		0
T_050	100.68		4.2			9.2		0
T_051	100.09			4.2			46.5	0.05
T_052	100.03			4.2			27.7	0.02
T_053	100.01			4.2			18.4	0.01
T_054	100.01			4.2			9.2	0
T_055	100.37	4.2	4.3	4.2	332.3	245.5	266.6	40.35
T_056	100.36	4.2	4.3	4.2	332.3	245.5	266.6	40.09
T_057	100	4.1	4.3	4.2	314.2	245.5	266.6	34.43
T_058	99.82	4.1	4.2	4.2	296.2	245.5	266.6	31.75
T_059	100.38	4.3	0	0	0	0	0	0
T_060	99.72	4.1	4.2	4.2	9.3	9.1	0	0.01
T_061	99.71	4.1	4.2	4.2	0	9.1	0	0
T_062	99.72	4.1	4.2	4.2	287.3	236.8	266.6	30.15
T_063	100.89		4.2			18.4		0
T_064	100.89		4.2			9.1		0
T_065	99.41	4.1	4.2	4.1	287.3	219.5	266.6	25.89
T_0120	98.77	4.1	4.2	4.1	0	0	0	0
T_0121	0	0.5	0.5	0.5	0	0	0	0
T_0122	98.78	4.1	4.2	4.1	45	51.8	81	9.35
T_0123	98.21	4.1	4.2	4.1	45	51.8	62.7	6.58
T_0124	97.86	4.1	4.2	4	26.6	51.8	62.7	5.1
T-0125	97.25	4	4.1	4	26.6	17.5	62.7	2.56
T_0126	96.68	4.1	4.1	4	0	0	36.1	0.45
T_066	98.77	4.1	4.2	4.1	239.9	173	191.8	7.72
T_067	101.25	4.3	4.2	4.3	229.9	171.9	186	5.17
T_068	101.47	4.3			54.6			0.12
T_069	101.38	4.3			45.5			0.08

T_070	101.28	4.3			27.3			0.03
T_071	101.21	4.3			18.2			0.01
T_072	101.25	4.3	4.2	4.3	118.8	126.5	133.1	4.07
T_073	101.21			4.2			55.5	0.12
T_074	101.09			4.2			37.3	0.05
T_075	100.98			4.2			18.3	0.01
T_076	101.25	4.3	4.2	4.3	118.8	126.5	99.7	3.18
T_077	101.27	4.3	4.3	4.3	77.4	77	76.9	2.27
T_078	101.45	4.3	4.3	4.3	77.4	79.6	76.9	1.86
T_079	101.49	4.3	4.3	4.3	19.1	0	0	0.01
T_080	101.49	4.3	4.3	4.3	80	79.6	76.9	1.74
T_081	101.72	4.3	4.3	4.3	80	86	76.9	1.22
T_082	101.82			4.3			27.2	0.05
T_083	101.67			4.3			18.1	0.01
T_084	101.98	4.3	4.3	4.3	80	86	82.4	0.61
T_085	102.12	4.3	4.3	4.3	86.4	86	82.4	0.31
T_086	101.28	4.3	4.2	4.3	32.9	58.1	21	0.44
T_087	101.23	4.3	4.2	4.3	32.9	49.5	21	0.22
T_088	101.36	4.3			21			0.01
T_089	101.21	4.3	4.2	4.3	18.2	33.4	21	0.09
T_090	100.73		4.2			21.1		0
T_091	101.21	4.3	4.2	4.3	18.2	18.3	21	0.05
T_092	101.61			4.3			21	0.01
T_093	101.19	4.3	4.2	4.3	18.2	18.3	0	0.03
T_094	101.24	4.3			18.2			0.01
T_095	101.18	4.3	4.2	4.3	0	18.3	0	0.01
T_98	101.26	4.3	4.2	4.2	83	54.8	64.7	0.97
T_0115	101.16	4.3	4.2	4.2	18.2	18.3	19	0.05
T_0116	101.14	4.3	4.2	4.2	0	18.3	19	0.04
T_0117	101.1	4.3	4.2	4.2	0	0	19	0.01
T_0118	101.09	4.3	4.2	4.2	0	0	0	0
T_099	101.16	4.3	4.2	4.2	64.8	36.5	45.7	0.71
T_0100	101.16	4.3	4.2	4.2	64.8	36.5	45.7	0.71
T-0104	101.1	4.2	4.2	4.2	64.8	36.5	0	0.5
T_0105	100.99		4.2			36.5		0.01
T_0106	100.99		4.2			18.3		0.01
T_0107	101.05	4.2	4.2	4.2	64.8	0	0	0.38
T_0108	100.92	4.2			64.9			0.27
T_0109	100.69	4.2			46.5			0.11
T-0111	100.58	4.2			37.4			0.05
T_0112	100.54	4.2			28.1			0.04

T_0113	100.42	4.2			9.2			0
T_0110	100.58	4.2			9.2			0
T_0114	101.01	4.2	4.2	4.2	0	0	0	0
T_0101	101.04			4.2			45.7	0.09
T_0102	100.96			4.2			36.6	0.06
T_0103	100.87			4.2			18.3	0.02
T_127	100.2	4.2			46.2			0.08
T_128	99.5	4.2			28			0.04
T_129	99.4	4.2			9.3			0
T_130	99.4	4.2			18.7			0.01

En la tabla 4.3 se muestran los resultados de flujos de potencia de carga del sistema, con el fin de identificar las pérdidas en kw que presenta el sistema bajo condiciones normales de operación, ya que el objetivo de la metodología de reconfiguración a implementar, es el reducir pérdidas, las cuales como se puede observar en la tabla son de 102.19 kw.

**TABLA 4.3: Resumen de carga del sistema.**

<b>Resumen de carga</b>				
	Carga total			
	kW	kVAR	kVA	FP(%)
Potencia desde las fuentes	3600.14	1348.94	3844.56	93.64
Carga leída (no regulada)	3490	1925	3985.69	87.56
Carga utilizada (regulada)	3497.49	1928.27	3993.83	87.57
Condensadores shunt (regulados)		798.41		
Reactancias shunt(reguladas)		0		
Motores de inducción	0	0	0	0
Motores síncronos	0	0	0	0
Generadores síncronos	0	0	0	0
Generadores de inducción	0	0	0	0
Generadores con acoplamiento electrónico	0	0	0	0
Potencia a otras redes	0	0	0	0
Capacitancia del conductor		1.15		
Pérdidas	102.65	220.23	242.98	42.25

En la tabla 4.4 se muestra la ubicación y disposición de taps de los reguladores, así como sus fases:

**TABLA 4.4: Datos de reguladores del sistema de prueba en condiciones normales de operación**

# REG.	TRAMO	FASES	CONTROL	TAP. A	TAP. B	TAP. C
REG.1	T_0	ABC	Toma fija	6	6	6
REG. 2	T_020	AC	Toma fija	0		-1
REG. 3	T_067	ABC	Toma fija	7	1	5
REG. 4	T_128	A	Toma fija	-1		

A continuación se muestra la tabla 4.5 de los capacitores del sistema de prueba después de la corrida de flujos de potencia:

**TABLA 4.5: Datos de capacitores del sistema de prueba en condiciones normales de operación**

TRAMO	FASES	KVL-N	FASE C	FASE B	FASE C	MODO
T_085	ABC	2.4	200	200	200	Manual
T_088	A	2.4	50			Manual
T_090	B	2.4		50		Manual
T_092	C	2.4			50	Manual

En la tabla 4.6 se muestran los datos de los interruptores del sistema de prueba, así como su tramo de ubicación y posición del interruptor la cual es importante observar ya que estas posiciones a lo largo de la implementación de la metodología pueden ir variando para cumplir el propósito de reconfiguración.

**TABLA 4.6: Datos de interruptores del sistema en condiciones normales de operación.**

# INTERRUPTOR	TRAMO	FASES	I NOM (AMP.)	V NOMI. (KV.)	TIPO	POSICION
INT. 1	T_0	ABC	700	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 2	T_096	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Abierto
INT. 3	T_0119	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Abierto
INT. 4	T_046	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Abierto
INT. 5	T_029	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Abierto
INT. 6	T_015	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 7	T_030	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 8	T_032	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 9	T_045	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Abierto
INT. 10	T_055	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 11	T_059	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Abierto
INT. 12	T_0121	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 13	T_066	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 14	T_067	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 15	T_072	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 16	T_099	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 17	T_0100	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado

Hasta aquí fueron mostrados los resultados obtenidos por el simulador después de realizar la corrida de flujos de potencia del sistema de prueba en condiciones normales de operación, es importante el observar las pérdidas de este sistema ya que no se debe olvidar que el objetivo de esta tesis es reducir las pérdidas resistivas en la línea, para posteriormente al implementar la metodología propuesta en esta tesis se puedan comparar las perdidas bajo condiciones normales de operación del sistema de prueba, contra las perdidas resultantes con el sistema obtenido después de haber implementado la metodología propuesta a fin de verificar si estas se redujeron al aplicar la metodología.

## **IMPLEMENTACION DE METODOLOGIA**

Una vez realizada la corrida de flujos de potencia del sistema de prueba bajo condiciones normales de operación y obtenidos y observados los resultados de flujos de potencia de la red, procederemos a aplicar la metodología de reconfiguración propuesta con el fin de reducir las pérdidas del sistema.

Como se menciona anteriormente, la metodología para la reconfiguración de redes de distribución consta de 9 etapas, las cuales fueron descritas y ejemplificadas etapa por etapa además de mostrar un diagrama de flujo para su mejor comprensión.

Tomando en cuenta las etapas de dicha metodología, a continuación se implementa la metodología paso a paso por etapa, describiendo cada una de estas etapas pero ahora implementadas en el sistema de prueba seleccionado

### **ETAPA 1: LECTURA DE DATOS DE LA RED Y DATOS DE INTERRUPTORES**

En la realización de la etapa 1 (*“Lectura de datos de la red y datos de interruptores”*) se realizó una base de datos con todos los elementos de la red de prueba de 123 nodos de IEEE.

La base de datos fue desarrollada dentro del simulador canadiense CYMDIST el cual es una herramienta de apoyo utilizada para la obtención de flujos de la red, los datos capturados son los especificados anteriormente en la descripción del sistema de prueba (123 nodos IEEE).

### **ETAPA 2: CERRAR TODOS LOS INTERRUPTORES DE LA RED, CREANDO UNA RED MALLADA**

En este paso es importante conocer el estatus de los interruptores existentes en la red de prueba, dicho estatus ha sido mostrado en la tabla 15.

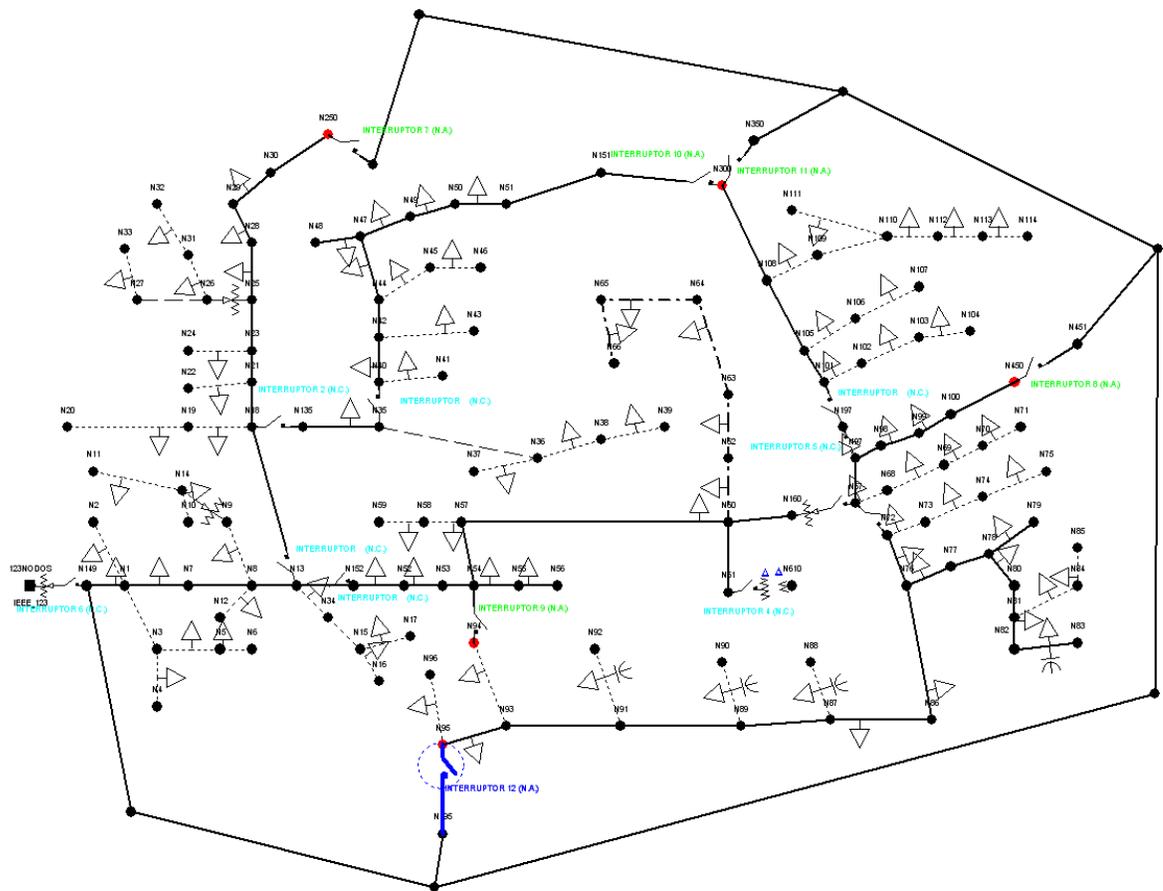
Además de la importancia del conocimiento del status de los interruptores, es igual de importante la realización de una tabla que relacione, los interruptores normalmente cerrados a todos los interruptores normalmente abiertos, que están conectados a algunas otras ramas. El fin de esta tabla es poder identificar rápidamente que interruptores normalmente abiertos (columna del lado derecho) pueden conectar la carga fuera de servicio por la apertura de un interruptor normalmente cerrado (columna del lado izquierdo). Es decir la apertura de un interruptor normalmente cerrado requerirá que un interruptor normalmente abierto el cual se encuentra en posición cerrada llegue a ser interruptor normalmente cerrado, con el propósito de que no quede carga sin conectar.

A continuación se muestra la tabla 4.7 la cual relaciona los interruptores normalmente cerrados con los interruptores normalmente abiertos:

**TABLA 4.7: Relación de interruptores.**

INTERRUPTORES NORMALMENTE CERRADOS	INTERRUPTORES NORMALMENTE ABIERTOS EN POSICION CERRADA
INT. 1	NINGUNO
INT. 6	INT. 5
INT. 7	INT. 9
INT. 8	INT. 9
INT. 10	INT. 2,3,4 Y 9
INT. 12	NINGUNO
INT. 13	INT. 11,2,3,4 Y 9
INT. 14	INT. 11,2,3,4 Y 9
INT. 15	INT. 11 Y 2
INT. 16	INT. 4 Y 9
INT. 17	INT. 4 Y 9

Una vez que se conoce el status de los interruptores de la red, procedemos a cerrar todos los interruptores normalmente abiertos que se encuentran en la red mostrada en la figura 2, obteniendo como resultado la red mostrada en la figura 4.1, se puede identificar que los interruptores normalmente abiertos se encuentran en posición cerrada, por medio de la desaparición del círculo que se encuentra a un costado de un interruptor normalmente abierto ya que cuando está presente el círculo, indica que el interruptor se encuentra en posición abierta .



**FIGURA 4.1.** Red de 123 nodos de IEEE modificada con interruptores normalmente abiertos en posición cerrada.

**ETAPA 3: RESOLVER FLUJOS DE POTENCIA PARA LA RED RESULTANTE-  
CONVERTIR CARGAS A INYECCIONES DE CORRIENTE NODAL.**

En este paso de deberá realizar una corrida de flujos de potencia para la red mostrada en la figura 4.1.

Los resultados se muestran en las tablas siguientes:

**TABLA 4.8.** Reporte de datos de cables del sistema con todos los interruptores cerrados.

TRAMO	FASES	CONFIGURACION	LONGITUD	PERFIL DE V.
T_0122	ABC	12	250	100.08
T_0123	ABC	12	175	99.51
T_0124	ABC	12	350	99.16
T-0125	ABC	12	425	98.54
T_0126	ABC	12	325	97.98

**NOTA:** Los segmentos de línea restantes son líneas aéreas.

En la tabla 4.9 muestra los resultados de la corrida de flujos para el sistema que contiene todos los interruptores cerrados, los resultados se encuentran por tramos de la red.

**TABLA 4.9. Resultados de flujos de potencia para la red con todos los interruptores cerrados**

TRAMO	PERFIL DE V.	VA L-N	VB L-N	VC L-N	IA	IB	IC	PERDIDAS(KW)
T_0	102.66	4.3	4.3	4.3	618.1	405.8	496.6	40.32
328	102.66	4.3	4.3	4.3	399.7	255.4	278.2	7.36
331	102.54	4.3	4.3	4.3	399.7	255.4	278.2	5.26
317	102.43	4.3	4.3	4.3	153.4	86.8	79.6	0.14
T_096	102.42	4.3	4.3	4.3	153.4	86.8	79.6	0
T_097	102.66		4.3			9		0
330	102.43	4.3	4.3	4.3	246.9	175.9	213.6	3.14
332	102.43	4.3	4.3	4.3	246.9	175.9	213.6	3.13
321	102.26	4.3	4.3	4.3	52.3	39.7	51.3	0.03
T_0119	102.26	4.3	4.3	4.3	52.3	39.7	51.3	0
333	102.26	4.3	4.3	4.3	212.7	148.3	174.5	1.27
318	102.13	4.3	4.3	4.3	150.9	118.3	117.3	0.07
T_046	102.12	4.3	4.3	4.3	150.9	118.3	117.3	0
334	102.13	4.3	4.3	4.3	64.8	32.8	60.3	0.16
322	102.07	4.3	4.3	4.3	64.8	32.9	60.3	0.04
T_029	102.05	4.3	4.3	4.3	64.8	32.9	60.3	0
T_02	102.66	4.3	4.3	4.3	224	160	233.2	32.96
T_03	102.48		4.3			9		0
T_04	102.08			4.3			46.5	0.08
T_05	101.99			4.3			18.1	0.01
T_06	101.99			4.3			28.5	0.03
T_07	101.91			4.3			19.2	0.01
T_08	102.29	4.3	4.3	4.3	206	151.1	186.9	29.98
T_09	102.04	4.3	4.3	4.3	197	151.1	186.9	28.21
T_010	102.21		4.3			9		0
T_011	101.87	4.3	4.3	4.3	150.9	142.1	186.9	27
T_012	101.64	4.3	4.3	4.3	60.6	29.9	26.3	2.24
T_013	101.39	4.3			36.8			0.03
T_014	101.31	4.3			18.6			0
T_015	101.62	4.3	4.3	4.3	-12.8	-16.8	15.1	0.53
T_016	102.12		4.3			19.2		0.01
T_017	101.66	4.3	4.3	4.3	-12.8	-32.9	15	0.52
T_018	101.44			4.3			18.2	0.02
T_019	101.69	4.3	4.3	4.3	-12.8	-32.9	-26.6	0.48

T_020	101.16	4.3		4.2	18.6		18.3	0.05
T_021	101.11	4.3		4.2	18.6		0	0.02
T_022	101.4	4.3			18.6			0.01
T_023	100.79			4.2			18.3	0.01
T_024	100.76			4.2			9.1	0
T_025	101.74	4.3	4.3	4.3	-28.2	-32.9	-43	0.4
T_026	101.79	4.3	4.3	4.3	-46	-32.9	-43	0.35
T_027	101.87	4.3	4.3	4.3	-64.8	-32.9	-42.9	0.26
T_028	101.98	4.3	4.3	4.3	-64.8	-32.9	-60.3	0.11
T_030	101.62	4.3	4.3	4.3	29.7	36.2	11.8	1.38
T_031	101.62	4.3	4.3	4.3	29.7	36.2	11.8	1.38
T_032	101.6	4.3	4.3	4.3	6.2	12.8	11.8	1.3
T_033	101.48			4.3			9.1	0
T_034	101.6	4.3	4.3	4.3	6.2	12.8	-13.9	1.29
T_035	101.99		4.3			19.2		0
T_036	101.61	4.3	4.3	4.3	-12	-14.9	-13.9	1.28
T_037	101.33	4.3			18.4			0.01
T_038	101.31	4.3			9.1			0
T_039	101.62	4.3	4.3	4.3	-29.3	-14.9	-13.9	1.27
T_040	101.65	4.3	4.3	4.3	36.7	36.9	36.7	0.04
T_041	101.65	4.3	4.3	4.3	-83.9	-67.8	-64.6	1.21
T_042	101.77	4.3	4.3	4.3	-101.3	-102.4	-81.9	0.98
T_043	101.92	4.3	4.3	4.3	-101.3	-102.4	-99.4	0.58
T_044	102.08	4.3	4.3	4.3	-110.3	-102.4	-99.4	0.14
T_045	102.12	4.3	4.3	4.3	-110.3	-102.4	-99.4	0
T_047	101.67	4.3	4.3		19	18.3		0.02
T_048	101.21	4.3			19			0.01
T_049	102.05		4.3			18.3		0
T_050	102.05		4.3			9		0
T_051	101.24			4.3			46.4	0.05
T_052	101.19			4.3			27.3	0.02
T_053	101.16			4.2			18.2	0.01
T_054	101.16			4.2			9.1	0
T_055	101.64	4.3	4.3	4.3	99.9	121.5	150.1	23.34
T_056	101.64	4.3	4.3	4.2	99.9	121.5	150.1	23.29
T_057	101.38	4.3	4.3	4.2	83	121.5	150.1	22.18
T_058	101.26	4.3	4.3	4.2	66.9	121.5	150.1	21.65
T_059	101.18	4.3	4.3	4.2	-117.4	0	0	0
T_060	101.18	4.3	4.3	4.2	9.5	9.1	0	0.01
T_061	101.17	4.3	4.3	4.2	0	9.1	0	0
T_062	101.19	4.2	4.3	4.2	175.9	112.9	150.1	21.3

T_063	101.27		4.3			18.4		0
T_064	101.27		4.3			9.1		0
T_065	100.83	4.2	4.2	4.2	175.9	95.6	150.1	19.94
T_0120	100.07	4.2	4.2	4.2	0	0	0	0
T_0121	0	0.5	0.5	0.5	0	0	0	0
T_0122	100.08	4.2	4.2	4.1	45	52	81.1	9.36
T_0123	99.51	4.2	4.2	4.1	45	52	62.5	6.58
T_0124	99.16	4.2	4.2	4.1	27	52	62.5	5.1
T_0125	98.54	4.1	4.2	4	27	17.8	62.5	2.55
T_0126	97.98	4.2	4.2	4	0	0	35.7	0.44
T_066	100.07	4.2	4.2	4.2	126.5	50.1	79.9	7.82
T_067	102.55	4.3	4.3	4.3	122.6	49.2	77.5	7.26
T_068	102.59	4.3			54			0.12
T_069	102.5	4.3			45			0.07
T_070	102.4	4.3			27			0.03
T_071	102.33	4.3			18			0.01
T_072	102.55	4.3	4.3	4.3	31.6	40.1	55.9	5
T_073	102.27			4.3			55.3	0.12
T_074	102.15			4.3			37.3	0.05
T_075	102.04			4.3			18.1	0.01
T_076	102.54	4.3	4.3	4.3	31.6	40.1	28.9	4.78
T_077	102.55	4.3	4.3	4.3	78.2	78.4	77.8	2.33
T_078	102.73	4.3	4.3	4.3	78.2	81.2	77.8	1.9
T_079	102.77	4.3	4.3	4.3	19.3	0	0	0.01
T_080	102.77	4.3	4.3	4.3	80.9	81.2	77.8	1.79
T_081	103.01	4.3	4.4	4.3	80.9	87.5	77.8	1.25
T_082	102.87			4.3			26.9	0.05
T_083	102.72			4.3			18	0.01
T_084	103.27	4.3	4.4	4.3	80.9	87.5	83.3	0.63
T_085	103.41	4.4	4.4	4.3	87.3	87.5	83.3	0.32
T_086	102.55	4.3	4.3	4.3	-60.1	-37.1	-59.4	2.41
T_087	102.48	4.3	4.3	4.3	-60.1	-41.4	-59.4	2.03
T_088	102.14	4.3			21			0.01
T_089	102.43	4.3	4.3	4.3	-81.1	-53.7	-59.4	1.78
T_090	102.75		4.3			21.3		0
T_091	102.41	4.3	4.3	4.3	-81.1	-73.5	-59.4	1.56
T_092	102.46			4.3			21	0.01
T_093	102.39	4.3	4.3	4.3	-81.1	-73.5	-79.6	1.34
T_094	101.87	4.3			133.9			0.41
T_095	102.36	4.3	4.3	4.3	-153.4	-73.5	-79.6	0.69
T_98	102.55	4.3	4.3	4.3	-95.3	-65.1	-78.9	2.15

T_0115	102.43	4.3	4.3	4.3	-46	-31.4	-40.6	0.69
T_0116	102.39	4.3	4.3	4.3	-52.3	-31.4	-40.6	0.61
T_0117	102.32	4.3	4.3	4.3	-52.3	-39.7	-40.6	0.43
T_0118	102.3	4.3	4.3	4.3	-52.3	-39.7	-51.3	0.33
T_099	102.43	4.3	4.3	4.3	54.8	38	48.6	1.17
T_0100	102.43	4.3	4.3	4.3	54.8	38	48.6	1.16
T-0104	102.34	4.3	4.3	4.3	54.8	38	-45.1	0.97
T_0105	102.56		4.3			35.9		0.01
T_0106	102.56		4.3			18		0.01
T_0107	102.27	4.3	4.3	4.3	54.8	-38.4	-45.1	0.84
T_0108	101.94	4.3			64.7			0.27
T_0109	101.71	4.3			46.6			0.11
T-0111	101.6	4.3			37.5			0.05
T_0112	101.56	4.3			28.2			0.04
T_0113	101.45	4.3			9.1			0
T_0110	101.6	4.3			9.1			0
T_0114	102.2	4.3	4.3	4.3	-61.8	-38.4	-45.1	0.43
T_0101	102.11			4.3			45.2	0.09
T_0102	102.02			4.3			36.2	0.05
T_0103	101.93			4.3			18.1	0.02
T_127	101.84	4.3			46.2			0.08
T_128	101.13	4.2			28.3			0.04
T_129	101.03	4.2			9.3			0
T_130	101.03	4.2			19			0.01

En la tabla 4.10 se muestran un reporte de carga del sistema, en el cual podemos checar que pasa con las pérdidas totales del sistema al cerrar todos los interruptores.

**TABLA 4.10: Resultados de carga del sistema.**

Resumen de carga				
	Carga total			
	kW	kVAR	kVA	FP(%)
Potencia desde las fuentes	3586.56	1219.3	3788.15	94.68
Carga leída (no regulada)	3490	1925	3985.69	87.56
Carga utilizada (regulada)	3544.74	1956.74	4048.95	87.55
Condensadores shunt (regulados)		818.55		
Reactancias shunt(reguladas)		0		
Motores de inducción	0	0	0	0
Motores síncronos	0	0	0	0
Generadores síncronos	0	0	0	0

Generadores de inducción	0	0	0	0
Generadores con acoplamiento electrónico	0	0	0	0
Potencia a otras redes	0	0	0	-84.23
Capacitancia del conductor		1.19		
Pérdidas totales	41.82	82.3	92.32	45.3

A continuación se muestra la tabla 4.11 de reguladores con el sistema con todos los interruptores cerrados, cabe mencionar que para que el simulador permitiera correr flujos de potencia se vio en la necesidad de cambiar el control del regulador 4 a ajustes en R&X para que de esta manera el simulador pudiera manejar el control de los reguladores a su conveniencia.

**TABLA 4.11: Datos de reguladores del sistema con todos los interruptores cerrados.**

# REG.	TRAMO	FASES	CONTROL	TAP. A	TAP. B	TAP. C
REG.1	T_0	ABC	Toma fija	6	6	6
REG. 2	T_020	AC	Toma fija	0		-1
REG. 3	T_067	ABC	Toma fija	5	3	5
REG. 4	T_128	A	Ajustes R&X	-1		

#### **ETAPA 4: DETERMINAR EL PATRON ÓPTIMO DE FLUJOS PARA LA RED.**

Para esta etapa se deberá como su nombre lo dice determinar el patrón óptimo de flujos de la red obtenida por el cierre de todos los interruptores.

El patrón óptimo de flujos de una red débilmente mallada como se menciono anteriormente no es más que el sistema de flujos de corriente de las ramas de la red que resulta en una pérdida resistiva mínima en la línea.

Teniendo en claro cual es el objetivo del patrón óptimo de flujos se procedió a realizar nuestra corrida de flujos de potencia para la red resultante de cerrar todos los interruptores existentes.

Una vez obtenidos los resultados de flujos de la red se realizo el análisis de corrientes que atraviesan a todos los interruptores existentes en la red, estos interruptores son resaltados por medio de líneas azules en la tabla número 18 mostrada anteriormente que es el resultado de flujos del sistema con todos los interruptores cerrados. Una vez analizadas las corrientes de la tabla mencionada para que de esta manera se procediera a ordenar los interruptores de forma que el interruptor por el que pase la menor corriente estará en la posición uno y así sucesivamente hasta haber formado la tabla 4.12 que se muestra a continuación.

**NOTA:** es importante mencionar que el orden de los interruptores en la siguiente tabla es de menor a mayor corriente y dicha corriente es obtenida por la suma de sus fases.

**TABLA 4.12: Tabla del patrón óptimo de flujos de la red.**

INTERRUPTOR #	TRAMO	CORRIENTE DE RAMA
INT. # 12	T_0121	0 AMPERS
INT. # 8	T_034	32.9 AMPERS
INT. # 6	T_015	44.7 AMPERS
INT. # 7	T_030	77.7 AMPERS
INT. # 11	T_059	117.4 AMPERS
INT. # 15	T_072	127.6 AMPERS
INT. # 17	T_0104	137.9 AMPERS
INT. # 16	T_099	141.4 AMPERS
INT. # 3	T_0119	143.4 AMPERS
INT. # 5	T_029	158 AMPERS
INT. # 14	T_067	249.3 AMPERS
INT. # 13	T_066	256.5 AMPERS
INT. # 9	T_045	312.1 AMPERS
INT. # 2	T_096	319.8 AMPERS
INT. # 10	T_055	371.5 AMPERS
INT. # 4	T_046	386.5 AMPERS
INT. # 1	T_0	1520.5 AMPERS

Una vez obtenido el patrón óptimo de flujos de la red se realiza el siguiente paso o etapa señalada en la descripción de la metodología.

**ETAPA 5: ABRIR EL INTERRUPTOR QUE LLEVE LA MENOR CORRIENTE COMO HA SIDO DETERMINADO POR EL PATRON OPTIMO DE FLUJOS DE LA RED.**

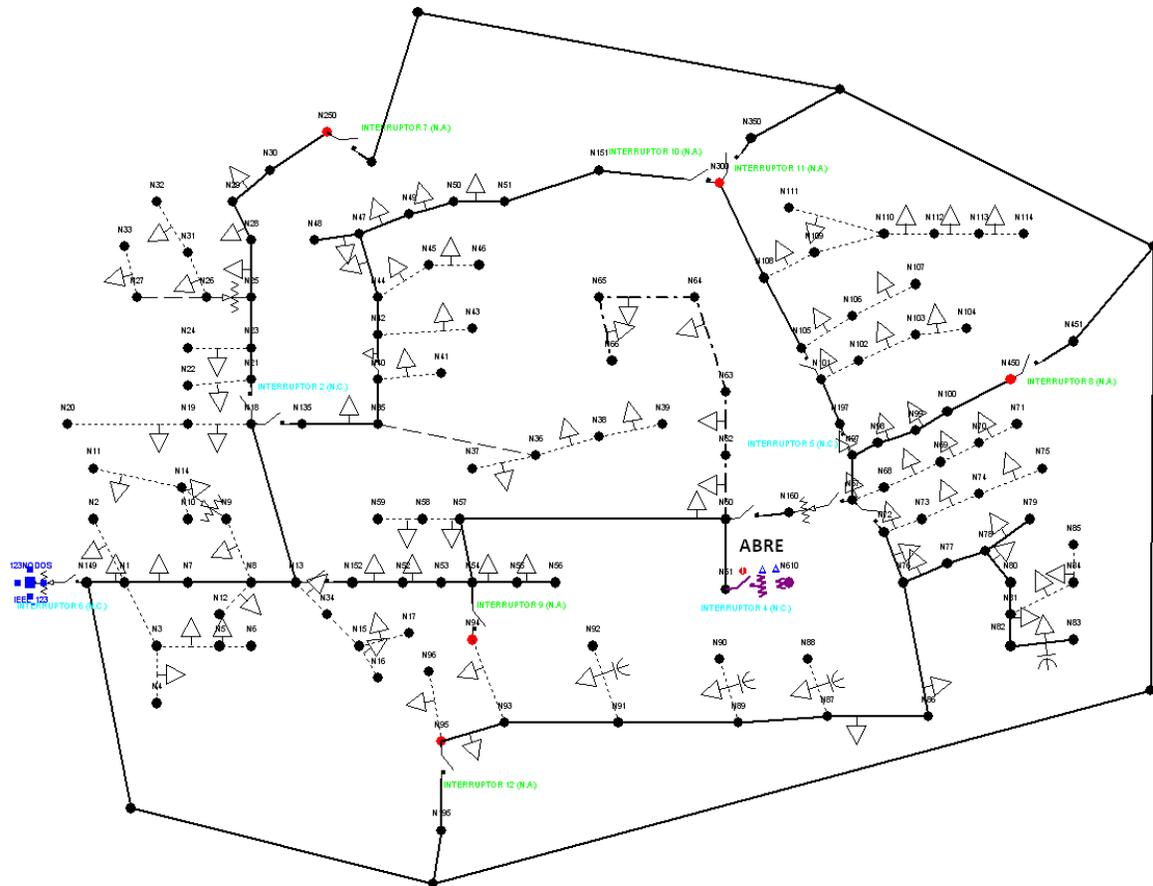
Con la tabla anterior del patrón óptimo de flujos, se procedió en esta nueva etapa a abrir el interruptor que lleve la menor corriente como ha sido determinado por el patrón óptimo de flujos.

De acuerdo a la tabla numero 4.12 el interruptor que lleva la menor corriente es el número 12 que se encuentra localizado en el tramo numero T\_0121, por consiguiente como lo dice esta etapa se procede a abrir el interruptor numero 12.

**ETAPA 6: ¿SE VIOLO ALGUNA REESTRICCION?**

Esta etapa es la encargada de verificar por medio de una corrida de flujos de potencia que ninguna restricción haya sido violada por la apertura del interruptor anterior, por lo que se procedió a realizar nuevamente una corrida de flujos con el fin de verificar los perfiles de voltaje y ampacidad de los conductores y carga desconectada(restricciones).

La figura 4.2 muestra la estructura del sistema después de la apertura del interruptor numero 12.



**FIGURA 4.2.** Red de 123 nodos de IEEE modificada con únicamente el interruptor 12 abierto.

Como se puede observar en el sistema, una vez realizada la acción de apertura del interruptor numero 12, parte del sistema el cual se encuentra de color morado, el cual nos indica desconexión o sin alimentación de esa parte coloreada.

En este caso queda fuera de servicio el transformador (color morado) que se muestra en la figura numero 4.2.

Al abrir el interruptor 12 y dejar fuera de servicio el transformador mencionado, por lo cual tenemos que ha sido violada una de la restricciones del sistema por lo tanto no es necesario realizar una corrida de flujos de potencia ya que el sistema ha presentado restricciones violadas que son desconexión de parte del sistema y por consiguiente se procede al paso o etapa 7 que a continuación se describe.

## ETAPA 7: CERRAR EL ULTIMO INTERRUPTOR ABIERTO – ABRIR EL INTERRUPTOR QUE TENGA LA PROXIMA CORRIENTE MAS BAJA COMO HA SIDO DETERMINADO POR EL PATRON OPTIMO DE FLUJOS.

Al ser violada alguna restricción en la etapa de apertura de un interruptor se llega a este paso, el cual en este caso procedió a cerrar el interruptor número 12 antes abierto ya que este presentó violación de desconexión de carga.

Una vez cerrado el interruptor 12 se procedió a abrir el próximo interruptor con la corriente más baja el cual es el interruptor número 8.

Ya realizadas las maniobras de cierre y apertura de interruptores se regresa a la etapa de violación de restricciones.

## ETAPA 6 ¿SE VIOLÓ ALGUNA REESTRICCION?

Ahora para esta etapa analizaremos si la apertura del interruptor número 8 presenta alguna violación de restricciones en nuestra red.

A continuación se muestra en la figura 4.3 la estructura de la red una vez abierto el interruptor número 8.

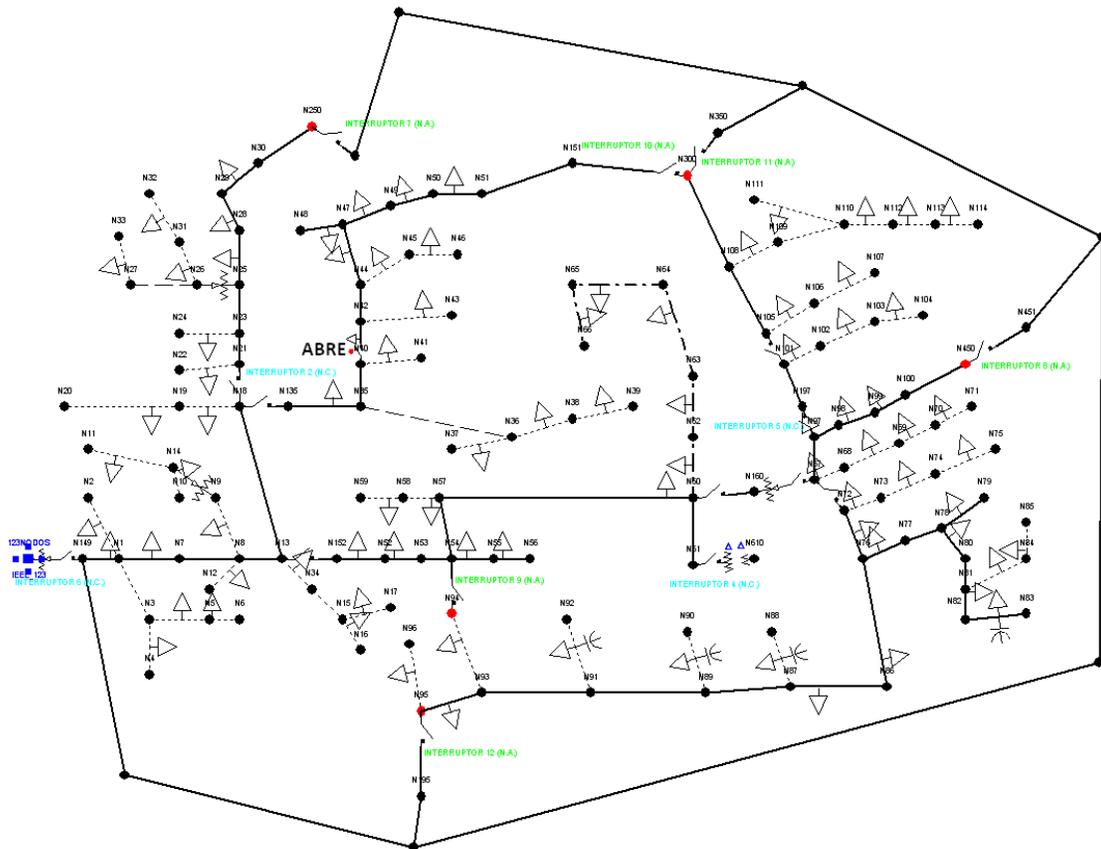
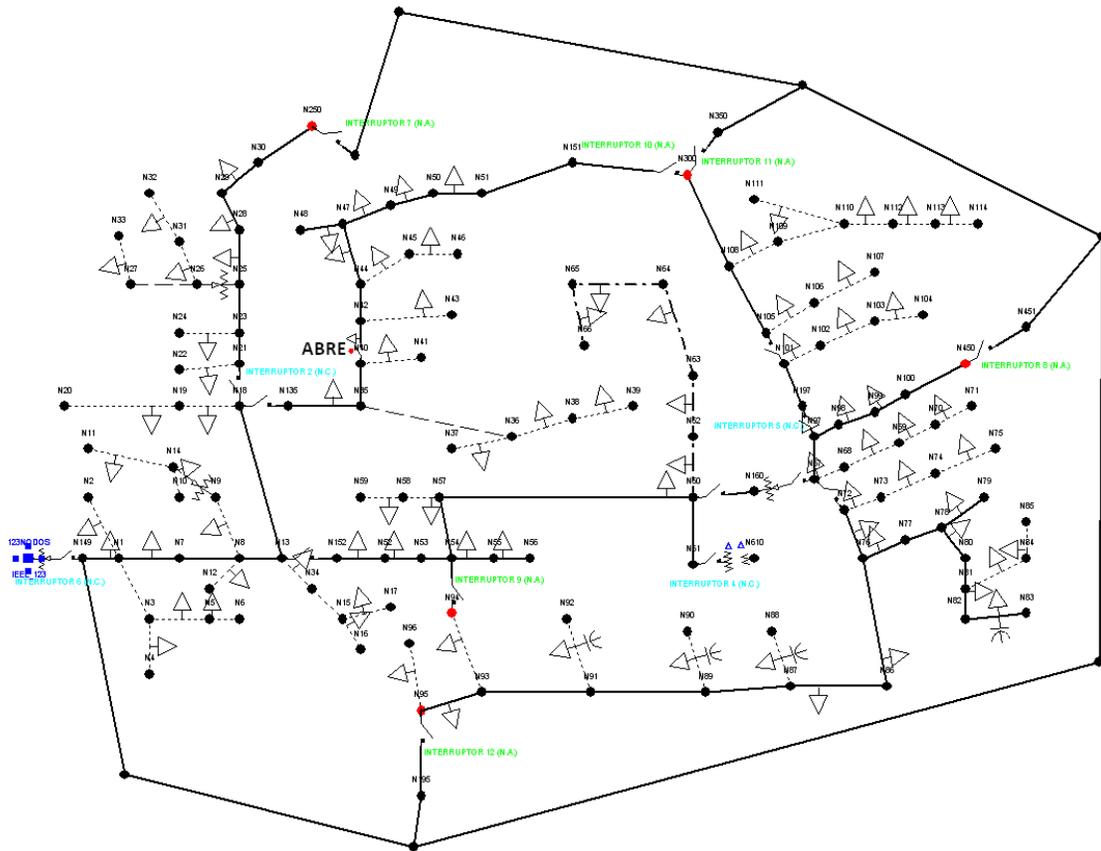


FIGURA 4.3 Red de 123 nodos de IEEE modificada con únicamente el interruptor 8 abierto.

Como primer paso se observo que ante la apertura del interruptor número 8 no se deja carga desconectada y por consiguiente se realiza una corrida de flujo para verificar los límites de tensión y sobrecarga no hayan sido sobrepasados.

Por este motivo a continuación se presenta la figura 4.4 del sistema analizado una vez abierto el interruptor número 8 con el fin de observar que no se ha violado ninguna restricción.



**FIGURA 4.4.** Red de 123 nodos de IEEE modificada con únicamente el interruptor 8 abierto y una vez corrido flujos de potencia.

Como se observa en la figura anterior el sistema no presenta ningún tipo de restricción violada debido a que la red no presenta coloreo de secciones que nos indiquen alguna violación.

Con el fin de corroborar que ante la apertura del interruptor número 8 no se presentan violaciones a continuación mostramos los resultados de flujos del sistema con la apertura de interruptor mencionado.

Para dicha corrida de flujos de potencia se considera importante el solo observar 4 aspectos sobresalientes en nuestro sistema los cuales con perfiles de tensión y corriente, posición de los reguladores, posición de interruptores y un resumen que se muestra para detalles del sistema.

A continuación se muestra la tabla 4.13 la cual nos muestra los perfiles de voltaje y corriente del sistema así como las perdidas aguas debajo de cada tramo del sistema:

**TABLA 4.13: Tabla de resultados de flujos con el interruptor 8 abierto.**

TRAMO	PERFIL DE V.	VA L-N	VB L-N	VC L-N	IA	IB	IC	PERDIDAS(KW)
T_0	102.66	4.3	4.3	4.3	617.4	405.8	496.1	38
328	102.66	4.3	4.3	4.3	401.7	261.1	285.9	8.81
331	102.54	4.3	4.3	4.3	401.7	261.1	285.9	6.65
317	102.43	4.3	4.3	4.3	150	86.9	80.3	0.13
T_096	102.41	4.3	4.3	4.3	150	86.9	80.3	0
T_097	102.66		4.3			9		0
330	102.43	4.3	4.3	4.3	251.9	180.8	217.4	4.48
332	102.43	4.3	4.3	4.3	251.9	180.8	217.4	4.47
321	102.25	4.3	4.3	4.3	49.4	39.1	52.9	0.03
T_0119	102.25	4.3	4.3	4.3	49.4	39.1	52.9	0
333	102.25	4.3	4.3	4.3	215	152	172.4	2.54
318	102.12	4.3	4.3	4.3	154.2	127.5	117.5	1.33
T_046	102.1	4.3	4.3	4.3	154.2	127.5	117.5	1.26
T_045	102.1	4.3	4.3	4.3	108.3	108.5	90	1.26
T_044	102.09	4.3	4.3	4.3	108.3	108.5	90	1.18
T_043	102.07	4.3	4.3	4.3	108.3	108.5	90	1.12
T_042	101.92	4.3	4.3	4.3	99.3	108.5	90	0.69
T_041	101.78	4.3	4.3	4.3	99.3	108.5	72.1	0.29
T_039	101.68	4.3	4.3	4.3	45.3	37	17.9	0.04
T_036	101.66	4.3	4.3	4.3	9.1	19.2	0	0.01
T_034	101.65	4.3	4.3	4.3	0	0	0	0
T_033	101.32			4.3			9.1	0
T_035	101.95		4.3			19.2		0
T_037	101.29	4.3			18.4			0.01
T_038	101.26	4.3			9.1			0
T_040	101.68	4.3	4.3	4.3	36.7	36.9	36.8	0.04
334	102.12	4.3	4.3	4.3	63.6	30.3	59.7	0.16
322	102.06	4.3	4.3	4.3	63.6	30.3	59.7	0.04
T_029	102.04	4.3	4.3	4.3	63.6	30.3	59.7	0
T_02	102.66	4.3	4.3	4.3	220	154.8	223.1	29.18
T_03	102.49		4.3			9		0

T_04	102.1			4.3			46.5	0.08
T_05	102.01			4.3			18.1	0.01
T_06	102.01			4.3			28.5	0.03
T_07	101.93			4.3			19.2	0.01
T_08	102.3	4.3	4.3	4.3	202	145.9	176.8	26.39
T_09	102.06	4.3	4.3	4.3	193	145.9	176.8	24.73
T_010	102.22		4.3			9		0
T_011	101.9	4.3	4.3	4.3	146.8	137	176.8	23.6
T_012	101.69	4.3	4.3	4.3	60.8	23.8	17.7	0.86
T_013	101.41	4.3			36.8			0.03
T_014	101.34	4.3			18.6			0
T_015	101.62	4.3	4.3	4.3	-11.6	17.3	16.8	0.52
T_016	102.14		4.3			19.2		0.01
T_017	101.65	4.3	4.3	4.3	-11.6	-30.3	16.8	0.5
T_018	101.39			4.3			18.2	0.02
T_019	101.69	4.3	4.3	4.3	-11.6	-30.3	-26.8	0.46
T_020	101.14	4.3		4.2	18.6		18.3	0.05
T_021	101.1	4.3		4.2	18.6		0	0.02
T_022	101.4	4.3			18.6			0.01
T_023	100.76			4.2			18.3	0.01
T_024	100.72			4.2			9.2	0
T_025	101.73	4.3	4.3	4.3	-26.9	-30.3	-42.6	0.38
T_026	101.78	4.3	4.3	4.3	-44.8	-30.3	-42.6	0.34
T_027	101.86	4.3	4.3	4.3	-63.6	-30.3	-42.6	0.25
T_028	101.97	4.3	4.3	4.3	-63.6	-30.3	-59.7	0.11
T_030	101.62	4.3	4.3	4.3	29.1	28.4	9.1	0.07
T_031	101.62	4.3	4.3	4.3	29.1	28.4	9.1	0.06
T_032	101.57	4.3	4.3	4.3	0	0	9.1	0
T_047	101.69	4.3	4.3		19	18.3		0.02
T_048	101.24	4.3			19			0.01
T_049	102.08		4.3			18.3		0
T_050	102.08		4.3			9		0
T_051	101.3			4.3			46.4	0.05
T_052	101.25			4.3			27.3	0.02
T_053	101.23			4.3			18.2	0.01
T_054	101.23			4.3			9.1	0
T_055	101.69	4.3	4.3	4.3	90.6	118.2	128.5	21.43
T_056	101.68	4.3	4.3	4.2	90.6	118.2	128.5	21.39
T_057	101.45	4.3	4.3	4.2	73.2	118.2	128.5	20.48
T_058	101.34	4.3	4.3	4.2	56.2	118.2	128.5	20.05
T_059	101.28	4.3	4.3	4.2	-103.8	0	0	0

T_060	101.28	4.3	4.3	4.2	9.5	9.1	0	0.01
T_061	101.27	4.3	4.3	4.2	0	9.1	0	0
T_062	101.28	4.2	4.3	4.2	151.3	109.5	128.5	19.76
T_063	101.28		4.3			18.4		0
T_064	101.28		4.3			9.1		0
T_065	100.97	4.2	4.2	4.2	151.3	92	128.5	18.71
T_0120	100.32	4.2	4.2	4.2	0	0	0	0
T_0121	0	0.5	0.5	0.5	0	0	0	0
T_0122	100.32	4.2	4.2	4.2	45	52	81.1	9.35
T_0123	99.76	4.2	4.2	4.1	45	52	62.5	6.58
T_0124	99.41	4.2	4.2	4.1	27.1	52	62.5	5.1
T_0125	98.79	4.2	4.2	4.1	27.1	17.8	62.5	2.55
T_0126	98.22	4.2	4.2	4	0	0	35.5	0.44
T_066	100.32	4.2	4.2	4.2	100.3	45.5	57.5	7.25
T_067	102.43	4.3	4.3	4.3	97.9	44.7	56.1	6.9
T_068	102.39	4.3			54.1			0.12
T_069	102.31	4.3			45.1			0.07
T_070	102.21	4.3			27.1			0.03
T_071	102.14	4.3			18.1			0.01
T_072	102.43	4.3	4.3	4.3	33.2	40.5	53.2	4.82
T_073	102.12			4.3			55.3	0.12
T_074	102			4.3			37.3	0.05
T_075	101.9			4.3			18.1	0.01
T_076	102.44	4.3	4.3	4.3	33.2	40.5	33.9	4.61
T_077	102.46	4.3	4.3	4.3	78.1	78.4	77.7	2.32
T_078	102.63	4.3	4.3	4.3	78.1	81.2	77.6	1.9
T_079	102.68	4.3	4.3	4.3	19.3	0	0	0.01
T_080	102.68	4.3	4.3	4.3	80.8	81.2	77.6	1.78
T_081	102.91	4.3	4.4	4.3	80.8	87.5	77.6	1.25
T_082	102.73			4.3			27	0.05
T_083	102.59			4.3			18	0.01
T_084	103.17	4.3	4.4	4.3	80.8	87.5	83.2	0.63
T_085	103.32	4.3	4.4	4.3	87.2	87.5	83.2	0.32
T_086	102.46	4.3	4.3	4.3	-55	-36.4	-60.8	2.23
T_087	102.41	4.3	4.3	4.3	-55	-41.1	-60.8	1.88
T_088	102.1	4.3			21			0.01
T_089	102.39	4.3	4.3	4.3	-76	-53.7	-60.8	1.64
T_090	102.74		4.3			21.3		0
T_091	102.38	4.3	4.3	4.3	-76	-73.3	-60.8	1.43
T_092	102.41			4.3			21	0.01
T_093	102.37	4.3	4.3	4.3	-76	-73.3	-80.3	1.23

T_094	101.89	4.3			120.7			0.33
T_095	102.35	4.3	4.3	4.3	-150	-73.3	-80.3	0.66
T_98	102.44	4.3	4.3	4.3	-80.4	-61.6	-69.7	1.96
T_0115	102.33	4.3	4.3	4.3	-40.7	-30.2	-39.9	0.65
T_0116	102.3	4.3	4.3	4.3	-49.4	-30.2	-39.9	0.58
T_0117	102.26	4.3	4.3	4.3	-49.4	-39.1	-39.9	0.42
T_0118	102.25	4.3	4.3	4.3	-49.4	-39.1	-52.9	0.32
T_099	102.33	4.3	4.3	4.3	46.5	36.2	41.4	1.08
T_0100	102.33	4.3	4.3	4.3	46.5	36.2	41.4	1.08
T-0104	102.26	4.3	4.3	4.3	46.5	36.2	-44.3	0.91
T_0105	102.56		4.3			36		0.01
T_0106	102.56		4.3			18		0.01
T_0107	102.19	4.3	4.3	4.3	46.5	-36.9	-44.3	0.8
T_0108	101.84	4.3			64.7			0.27
T_0109	101.61	4.3			46.6			0.11
T-0111	101.5	4.3			37.5			0.05
T_0112	101.46	4.3			28.2			0.04
T_0113	101.34	4.3			9.1			0
T_0110	101.5	4.3			9.1			0
T_0114	102.14	4.3	4.3	4.3	-59.9	-36.9	-44.3	0.41
T_0101	102			4.3			45.3	0.09
T_0102	101.92			4.3			36.2	0.05
T_0103	101.83			4.3			18.1	0.02
T_127	101.88	4.3			46.2			0.08
T_128	101.16	4.2			28.3			0.04
T_129	101.06	4.2			9.3			0
T_130	101.06	4.2			19			0.01

Como se observa en la tabla anterior y corroborando el dibujo de la figura 3.4 el sistema no muestra restricciones violadas y aunque así no quedara nuestro sistema se puede observar que las perdidas aguas abajo vistas desde el alimentador (T\_0) se redujeron considerablemente.

Para corroborara lo dicho anteriormente de que ninguna restricción ha sido violada se muestra a continuación una tabla de resumen de condiciones anormales del sistema.

Es importante mencionar que esta tabla no significa que nuestro sistema presente condiciones anormales o violaciones sino que únicamente nos presenta los casos con las mayores cantidades de sobrecarga, baja tensión y alta tensión.

**TABLA 4.14: Tabla de resumen de condiciones anormales por la apertura del interruptor 8.**

	Condiciones anormales			
	Fase	Conteo	Peor caso	%
	A	0	T_0	96.08
Sobrecarga	B	0	T_0	63.15
	C	0	T_0	77.2
	A	0	IEEE_123	100
Baja tensión	B	0	IEEE_123	100
	C	0	T_0126	97.02
	A	0	T_085	104.55
Alta tensión	B	0	T_085	104.96
	C	0	T_085	104.04

De acuerdo a la tabla de condiciones anormales se puede ver que los casos de sobrecarga se encuentra el mayor en el tramo 0 el cual es el alimentador del sistema y que tiene un perfil del 96% el cual se mantiene en un margen considerable, mientras que los casos de baja tensión se presentan en los tramos de la sección del alimentador el cual nos indica el IEE\_123 con un perfil de 100 % el cual es ideal y el tramo 126 que presenta un perfil del 97.02% que si bien no es ideal pero es aceptable y por último los casos de alta tensión tenemos que solo lo presenta el tramo 85 con un perfil del 104.96 % que es un poco elevado pero aun no sobrepasa nuestro 5% establecido como límite.

En conclusión con la apertura de este interruptor número 8 no se violan ningún perfil del sistema.

A continuación se muestra la tabla de los reguladores del sistema que como ya se menciona el regulador 4 es el único que no mantiene una posición fija en sus taps por tal motivo es el único que podrá varias su posición de los taps por la apretura de interruptores.

**TABLA 4.15: Datos de reguladores del sistema con el interruptor 8 en posición abierta.**

# REG.	TRAMO	FASES	CONTROL	TAP. A	TAP. B	TAP. C
REG.1	T_0	ABC	Toma fija	6	6	6
REG. 2	T_020	AC	Toma fija	0		-1
REG. 3	T_067	ABC	Ajustes R&X	4	3	4
REG. 4	T_128	A	Toma fija	-1		

Por último se muestra la tabla de posiciones de interruptores con la apertura del interruptor mencionado:

**TABLA 4.16: Datos de interruptores del sistema con apertura únicamente del interruptor 8.**

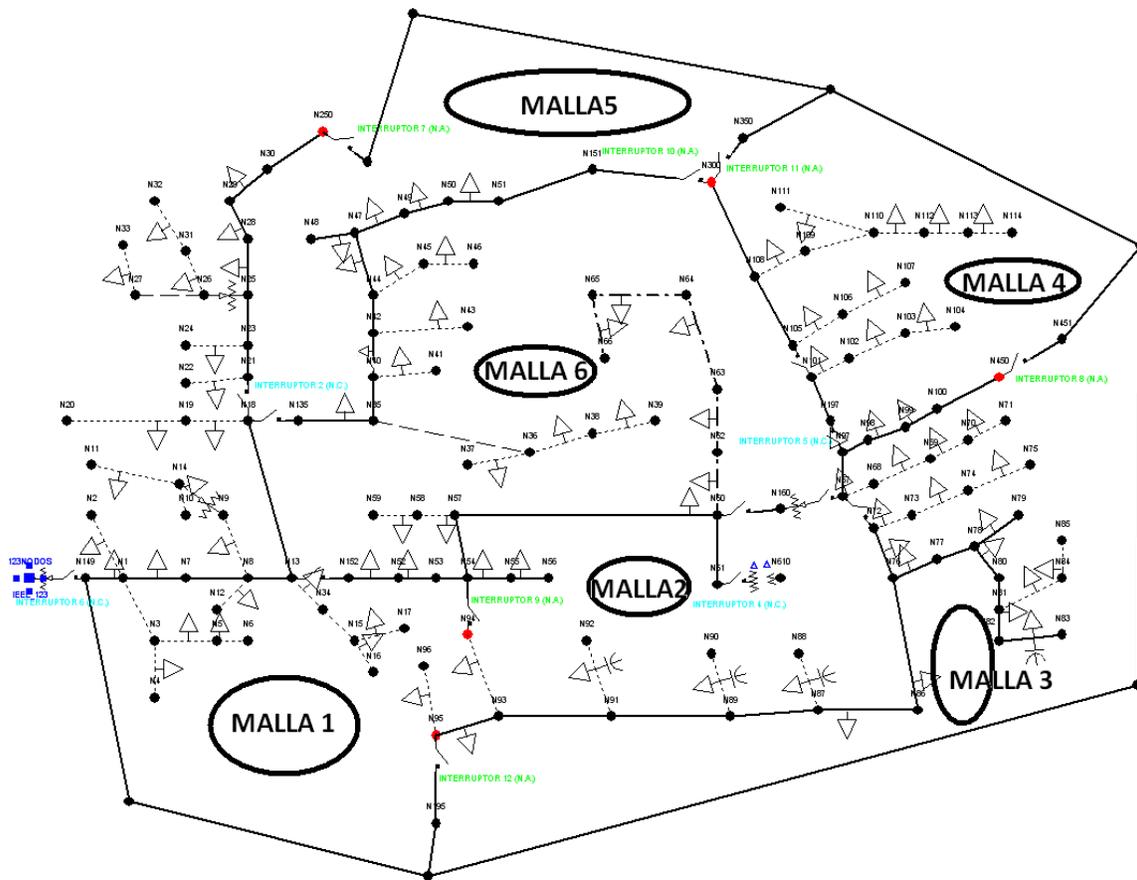
# INTERRUPTOR	TRAMO	FASES	I NOM (AMP.)	V NOMI. (KV.)	TIPO	POSICION
INT. 1	T_0	ABC	700	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 2	T_096	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 3	T_0119	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 4	T_046	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 5	T_029	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 6	T_012	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 7	T_030	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 8	T_032	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Abierto
INT. 9	T_045	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 10	T_055	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 11	T_059	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 12	T_0121	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 13	T_066	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 14	T_067	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 15	T_072	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 16	T_099	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 17	T_0100	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado

Una vez analizado el sistema de prueba y comprobado de que no se haya violado ninguna restricción procedemos a la siguiente etapa de la metodología que a continuación se describe.

### **ETAPA 8: ¿LA RED ES RADIAL?**

En esta etapa se deberá analizar si la red una vez efectuada la maniobra de apertura del interruptor y que este no haya violado las restricciones establecidas es radial. Lo cual analizaremos en este caso de manera visual ya que se trata de un sistema relativamente pequeño y por consiguiente por medio de la siguiente figura se puede mostrar la estructura de la red.

La siguiente figura 4.5 se muestran las mallas existentes en la red teniendo todos los interruptores en posición cerrada.

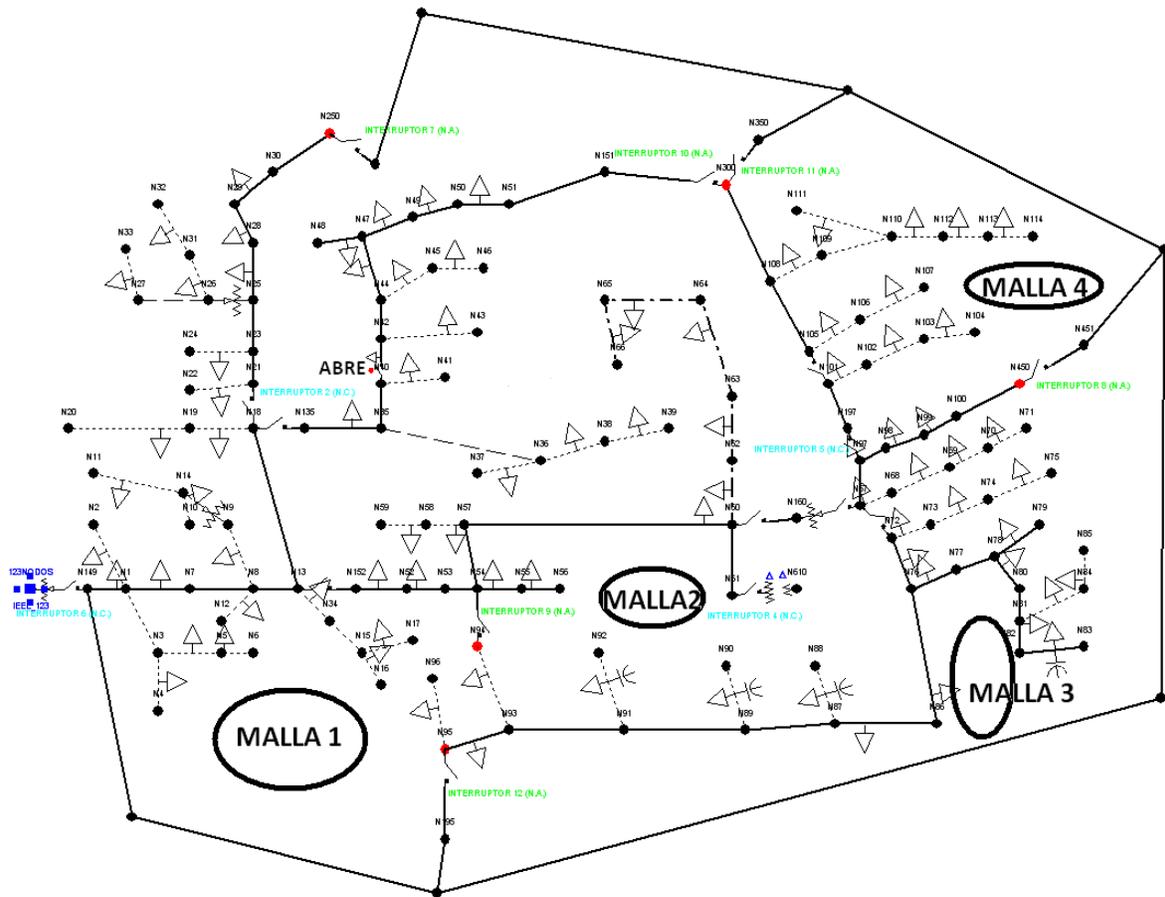


**FIGURA 4.5. Red de 123 nodos de IEEE con todos los interruptores en posición cerrada.**

Como se mostro en la figura anterior, la red consta de 6 mallas que son formadas por la maniobra de cierre de todos los interruptores.

Ahora se procede a analizar el sistema una vez abierto el interruptor número 8 para ver si el sistema con esta maniobra nos ha quedado en estructura radial o no.

Enseguida se muestra la figura 4.6 del sistema obtenido por la apertura del interruptor 8 a fin de observar si el sistema ha dejado de ser mallado.



**FIGURA 4.6. Red de 123 nodos de IEEE con interruptor 8 en posición abierta.**

Se puede observar que en la figura anterior ante la apertura del interruptor número 8 el sistema no queda del todo radial pero sí contribuye con la eliminación de 2 mallas para que el sistema llegue a ser radial, en este caso se rompe la malla 5 y la malla 6.

La apertura de este interruptor que no ha violado ninguna restricción y que contribuye a que el sistema llegue a ser radial nos indica que debe de quedar abierto y que procedemos a la etapa 3 donde se pide solucionar el programa de flujos el cual ya está establecido que es mediante el uso del simulador mencionado y enseguida la etapa del patrón óptimo de flujos el cual ya ha sido determinado, y una vez vuelto a analizar la lista de corrientes obtenida por el patrón óptimo de flujos procedemos a la etapa que a continuación se describe.

**ETAPA 5: ABRIR EL INTERRUPTOR QUE LLEVE LA MENOR CORRIENTE COMO HA SIDO DETERMINADO POR EL PATRON OPTIMO DE FLUJOS DE LA RED.**

Para esta etapa como ya se ha abierto un interruptor anteriormente se procede a tomar el siguiente interruptor con la menor corriente ya sin contemplar los interruptores antes analizados.

En este caso el siguiente interruptor seleccionado para ser abierto de acuerdo a la lista del patrón óptimo de flujos es el interruptor numero 6.

Ya que se selecciono el siguiente interruptor candidato a ser abierto, se debe analizar si se viola alguna restricción mediante la etapa que a continuación se describe.

### ETAPA 6: ¿SE VIOLÓ ALGUNA RESTRICCIÓN?

Para esta etapa se procede a analizar si la apertura del interruptor numero 6 presenta alguna violación de restricciones en nuestra red.

A continuación se muestra en la figura 4.7 la estructura de la red una vez abierto el interruptor número 6, a fin de observar si se viola alguna restricción.

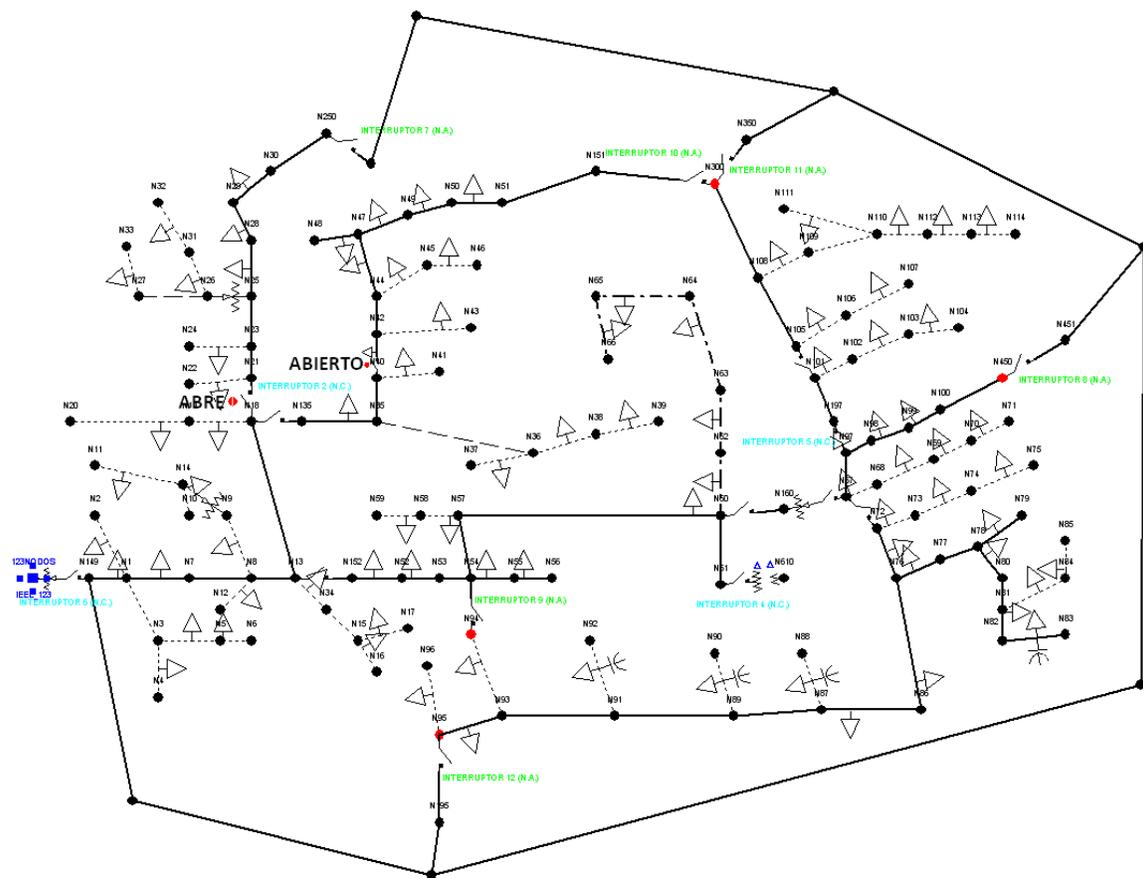


FIGURA 4.7. Red de 123 nodos de IEEE con interruptor 6 en posición abierta.

Como se observa en la figura anterior no se violo ninguna restricci3n de desconexi3n de carga que se marca por medio de conductores en color morado.

Siendo as3 se procede a analizar las siguientes restricciones de perfil de tensi3n y corriente por medio de una corrida de flujos de potencia del sistema obtenido por la apertura del interruptor 6.

Por medio de la siguiente figura se observa si alguna de estas restricciones ha sido violada ya que de ser as3 se reflejar3a en el sistema mediante el coloreo de tramos de color amarillo para sobrecarga, azul para baja tensi3n y rojo para alta tensi3n.

A fin de observar las restricciones mencionadas anteriormente, se muestra la figura 4.8 del sistema despu3s de la apertura del interruptor 6 y despu3s de correr flujos de potencia.

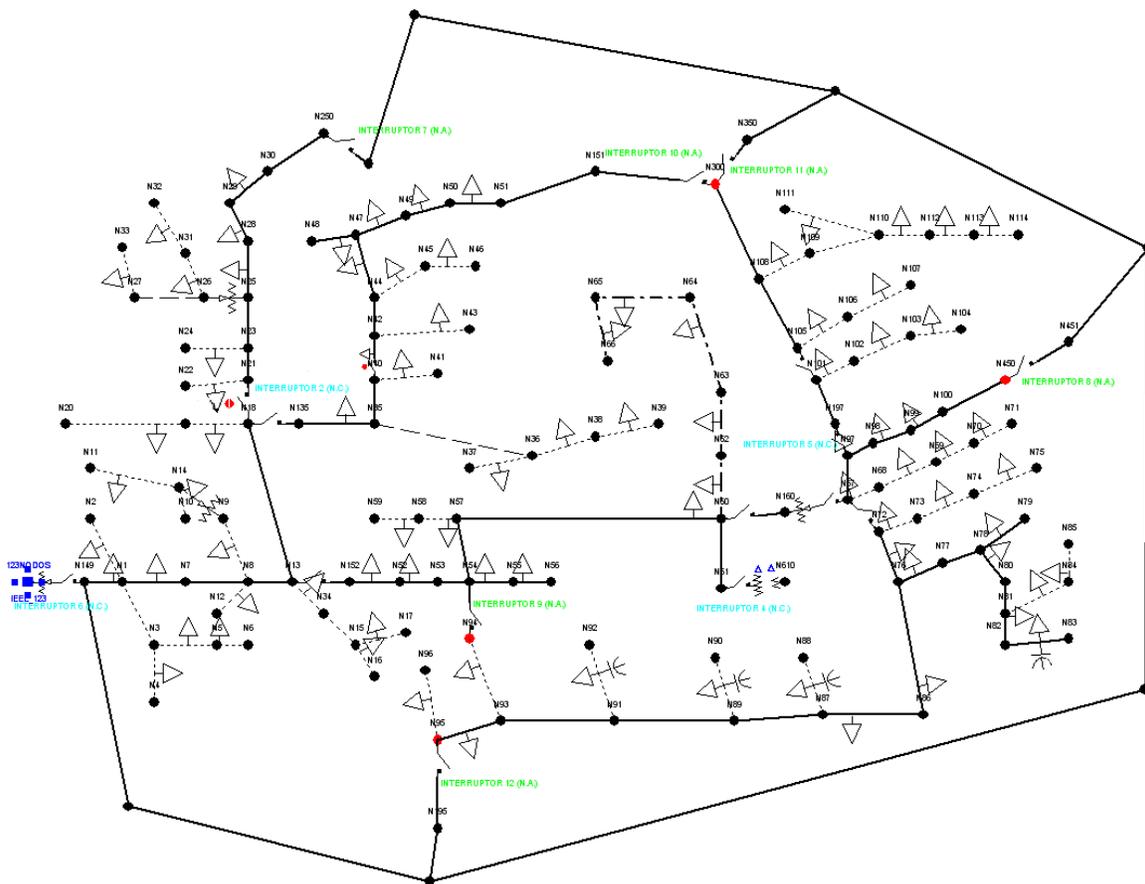


FIGURA 4.8. Red de 123 nodos de IEEE con interruptor 6 en posici3n abierta y despu3s de correr flujos de potencia.

Como se mostro en la figura anterior, no se violo ninguna de las restricciones establecidas y a manera de comprobación se muestra a continuación las tablas de perfiles de voltaje y corriente así como posición de los taps de reguladores y posición de interruptores y por ultimo una tabla de condiciones anormales del sistema.

Empezaremos mostrando la tabla de perfiles de voltaje y corriente así como las perdidas aguas abajo del sistema.

**TABLA 4.17: Tabla de resultados de flujos con el interruptor 6 abierto.**

TRAMO	PERFIL DE V.	VA L-N	VB L-N	VC L-N	IA	IB	IC	PERDIDAS(KW)
T_0	102.66	4.3	4.3	4.3	617.4	405.8	496	37.84
328	102.66	4.3	4.3	4.3	399.3	260.2	288	9.04
331	102.54	4.3	4.3	4.3	399.3	260.2	288	6.89
317	102.44	4.3	4.3	4.3	151.2	86.6	79.9	0.13
T_096	102.42	4.3	4.3	4.3	151.2	86.6	79.9	0
T_097	102.67		4.3			9		0
330	102.44	4.3	4.3	4.3	248.6	178.1	217.6	4.73
332	102.44	4.3	4.3	4.3	248.6	178.1	217.6	4.71
321	102.27	4.3	4.3	4.3	49.1	38.3	52.1	0.03
T_0119	102.27	4.3	4.3	4.3	49.1	38.3	52.1	0
333	102.27	4.3	4.3	4.3	210.3	147	171	2.82
318	102.15	4.3	4.3	4.3	154.7	127.9	117.2	1.33
T_046	102.14	4.3	4.3	4.3	154.7	127.9	117.2	1.26
T_045	102.14	4.3	4.3	4.3	108.3	108.5	90	1.26
T_044	102.12	4.3	4.3	4.3	108.3	108.5	90	1.18
T_043	102.11	4.3	4.3	4.3	108.3	108.5	90	1.12
T_042	101.96	4.3	4.3	4.3	99.3	108.5	90	0.69
T_041	101.82	4.3	4.3	4.3	99.3	108.5	72.1	0.29
T_039	101.71	4.3	4.3	4.3	45.3	37	17.9	0.04
T_036	101.69	4.3	4.3	4.3	9.1	19.2	0	0.01
T_034	101.69	4.3	4.3	4.3	0	0	0	0
T_033	101.15			4.3			9.1	0
T_035	101.99		4.3			19.2		0
T_037	101.31	4.3			18.4			0.01
T_038	101.28	4.3			9.1			0
T_040	101.71	4.3	4.3	4.3	36.7	36.9	36.8	0.04
334	102.15	4.3	4.3	4.3	56.4	19.2	54.4	0.48
322	102.11	4.3	4.3	4.3	56.4	19.2	54.4	0.39
T_029	102.09	4.3	4.3	4.3	56.4	19.2	54.4	0.36
T_028	102.09	4.3	4.3	4.3	56.4	19.2	54.4	0.36
T_027	102.05	4.3	4.3	4.3	56.4	19.2	54.4	0.28

T_026	101.98	4.3	4.3	4.3	56.4	19.2	36.3	0.17
T_025	101.93	4.3	4.3	4.3	37.2	19.2	36.3	0.12
T_019	101.9	4.3	4.3	4.3	0	19.2	18.2	0.04
T_017	101.88	4.3	4.3	4.3	0	19.2	0	0.01
T_015	101.88	4.3	4.3	4.3	0	0	0	0
T_013	101.31	4.3			36.8			0.03
T_014	101.24	4.3			18.6			0
T_030	101.48	4.3	4.3	4.3	29	28.4	9.1	0.07
T_031	101.48	4.3	4.3	4.3	29	28.4	9.1	0.06
T_032	101.43	4.3	4.3	4.3	0	0	9.1	0
T_047	101.57	4.2	4.3		19	18.4		0.02
T_048	101.14	4.2			19			0.01
T_049	101.92		4.3			18.4		0
T_050	101.92		4.3			9		0
T_016	102.37		4.3			19.2		0.01
T_018	101.62			4.3			18.2	0.02
T_020	101.3	4.3		4.2	18.6		18.3	0.05
T_021	101.26	4.3		4.2	18.6		0	0.02
T_022	101.53	4.3			18.6			0.01
T_023	100.95			4.2			18.3	0.01
T_024	100.91			4.2			9.1	0
T_02	102.66	4.3	4.3	4.3	224	161.5	226.7	28.8
T_03	102.46		4.3			9		0
T_04	102.08			4.3			46.5	0.08
T_05	101.98			4.3			18.1	0.01
T_06	101.98			4.3			28.5	0.03
T_07	101.91			4.3			19.2	0.01
T_08	102.29	4.3	4.3	4.3	206	152.7	180.8	25.87
T_09	102.03	4.3	4.3	4.3	197	152.7	180.8	24.13
T_010	102.18		4.3			9		0
T_011	101.86	4.3	4.3	4.3	150.9	143.9	180.8	22.93
T_012	101.63	4.3	4.3	4.3	65.6	28.4	9.1	0.38
T_051	101.23			4.3			46.4	0.05
T_052	101.18			4.3			27.3	0.02
T_053	101.16			4.2			18.2	0.01
T_054	101.16			4.2			9.1	0
T_055	101.63	4.3	4.3	4.3	87	115.5	126.6	21.16
T_056	101.62	4.3	4.3	4.2	87	115.5	126.6	21.12
T_057	101.4	4.3	4.3	4.2	69.4	115.5	126.6	20.25
T_058	101.3	4.3	4.3	4.2	52.2	115.5	126.6	19.84
T_059	101.24	4.3	4.3	4.2	-106.1	0	0	0

T_060	101.24	4.3	4.3	4.2	9.5	9.1	0	0.01
T_061	101.23	4.3	4.3	4.2	0	9.1	0	0
T_062	101.24	4.2	4.3	4.2	149.5	106.7	126.6	19.57
T_063	101.25		4.3			18.4		0
T_064	101.25		4.3			9.1		0
T_065	100.94	4.2	4.2	4.2	149.5	89	126.6	18.55
T_0120	100.31	4.2	4.2	4.2	0	0	0	0
T_0121	0	0.5	0.5	0.5	0	0	0	0
T_0122	100.31	4.2	4.2	4.2	45	52	81.1	9.35
T_0123	99.75	4.2	4.2	4.1	45	52	62.5	6.58
T_0124	99.4	4.2	4.2	4.1	27.1	52	62.5	5.1
T_0125	98.78	4.2	4.2	4.1	27.1	17.8	62.5	2.55
T_0126	98.21	4.2	4.2	4	0	0	35.5	0.44
T_066	100.31	4.2	4.2	4.2	98.3	41.2	53.8	7.16
T_067	102.43	4.3	4.3	4.3	95.9	40.4	52.5	6.83
T_068	102.4	4.3			54.1			0.12
T_069	102.31	4.3			45.1			0.07
T_070	102.21	4.3			27.1			0.03
T_071	102.14	4.3			18.1			0.01
T_072	102.43	4.3	4.3	4.3	33.2	40.9	53.6	4.83
T_073	102.12			4.3			55.3	0.12
T_074	102			4.3			37.3	0.05
T_075	101.9			4.3			18.1	0.01
T_076	102.44	4.3	4.3	4.3	33.2	40.9	34.7	4.62
T_077	102.46	4.3	4.3	4.3	78.1	78.4	77.7	2.32
T_078	102.63	4.3	4.3	4.3	78.1	81.2	77.7	1.9
T_079	102.68	4.3	4.3	4.3	19.3	0	0	0.01
T_080	102.68	4.3	4.3	4.3	80.8	81.2	77.6	1.78
T_081	102.92	4.3	4.4	4.3	80.8	87.5	77.6	1.25
T_082	102.74			4.3			27	0.05
T_083	102.59			4.3			18	0.01
T_084	103.17	4.3	4.4	4.3	80.8	87.5	83.2	0.63
T_085	103.32	4.3	4.4	4.3	87.2	87.5	83.2	0.32
T_086	102.46	4.3	4.3	4.3	-55	-35.9	-60.4	2.24
T_087	102.42	4.3	4.3	4.3	-55	-40.6	-60.4	1.89
T_088	102.1	4.3			21			0.01
T_089	102.39	4.3	4.3	4.3	-76	-53.5	-60.4	1.65
T_090	102.74		4.3			21.3		0
T_091	102.39	4.3	4.3	4.3	-76	-73	-60.4	1.45
T_092	102.43			4.3			21	0.01
T_093	102.37	4.3	4.3	4.3	-76	-73	-79.8	1.24

T_094	101.89	4.3			122.9			0.35
T_095	102.36	4.3	4.3	4.3	-151.2	-73	-79.8	0.67
T_98	102.44	4.3	4.3	4.3	-78.3	-57.4	-65.6	1.88
T_0115	102.34	4.3	4.3	4.3	-40.1	-28.9	-38.7	0.63
T_0116	102.31	4.3	4.3	4.3	-49.1	-28.9	-38.7	0.57
T_0117	102.28	4.3	4.3	4.3	-49.1	-38.3	-38.7	0.41
T_0118	102.27	4.3	4.3	4.3	-49.1	-38.3	-52.1	0.31
T_099	102.34	4.3	4.3	4.3	45	33.6	39	1.04
T_0100	102.34	4.3	4.3	4.3	45	33.6	39	1.04
T-0104	102.26	4.3	4.3	4.3	45	33.6	-42.3	0.88
T_0105	102.57		4.3			35.9		0.01
T_0106	102.57		4.3			18		0.01
T_0107	102.21	4.3	4.3	4.3	45	-35.1	-42.3	0.77
T_0108	101.86	4.3			64.7			0.27
T_0109	101.63	4.3			46.6			0.11
T-0111	101.51	4.3			37.5			0.05
T_0112	101.48	4.3			28.2			0.04
T_0113	101.36	4.3			9.1			0
T_0110	101.51	4.3			9.1			0
T_0114	102.16	4.3	4.3	4.3	-59.5	-35.1	-42.3	0.39
T_0101	102.01			4.3			45.3	0.09
T_0102	101.93			4.3			36.2	0.05
T_0103	101.84			4.3			18.1	0.02
T_127	101.85	4.3			46.2			0.08
T_128	101.13	4.2			28.3			0.04
T_129	101.04	4.2			9.3			0
T_130	101.04	4.2			19			0.01

En la tabla anterior se demuestra que no existen restricciones violadas después de la apertura del interruptor 6, además de poder observar que las perdidas siguen siendo mínimas hasta este paso de la metodología.

A continuación se muestra una tabla 4.18 la cual muestra las condiciones anormales del sistema, que como se menciona anteriormente no significa que el sistema tenga condiciones anormales sino que únicamente toma los valores máximos y mínimos de cada restricción.

**TABLA 4.18** Tabla de resumen de condiciones anormales por la apertura del interruptor 6.

	Condiciones anormales			
	Fase	Conteo	Peor caso	%
	A	0	T_0	96.08
Sobrecarga	B	0	T_0	63.16

	C	0	T_0	77.19
	A	0	IEEE_123	100
Baja tensión	B	0	IEEE_123	100
	C	0	T_0126	97.01
	A	0	T_085	104.55
Alta tensión	B	0	T_085	104.96
	C	0	T_085	104.04

Para el caso de sobrecarga se observa en la tabla anterior que la mayor sobrecarga se presenta en el tramo número 0 que es el alimentador principal y esta sobrecarga es de 96% lo cual esta aun dentro de los límites permitidos, y para el caso de baja tensión esta se presenta la más baja en el tramo número 126 con un perfil de tensión del 97.01 % lo cual es considerable para el sistema y por ultimo para el caso de alta tensión , la mayor alta tensión se presenta en el tramo 85 con un perfil del 104.96 lo cual es cercano al límite pero aun todavía permisible.

Ahora se muestra la tabla de posición de los reguladores, como ya se menciona anteriormente únicamente el regulador 3 es el que tiene posibilidad de cambiar sus taps debido a que es el único que está en posición de taps no fija.

**TABLA 4.19: Datos de reguladores del sistema con el interruptor 6 en posición abierta.**

# REG.	TRAMO	FASES	CONTROL	TAP. A	TAP. B	TAP. C
REG.1	T_0	ABC	Toma fija	6	6	6
REG. 2	T_020	AC	Toma fija	0		-1
REG. 3	T_067	ABC	Ajustes R&X	4	3	4
REG. 4	T_128	A	Toma fija	-1		

En este caso se pudo observar que no cambio la posición de los reguladores, esta tal cual como en la apertura del interruptor numero 8.

Por último para concluir esta etapa de apertura del interruptor número 6 a continuación se muestra la tabla de interruptores del sistema analizado, donde se muestra que con el interruptor 6 ya son dos los interruptores abiertos en el sistema.

**TABLA 4.20: Datos de interruptores del sistema con apertura únicamente del interruptor 6.**

# INTERRUPTOR	TRAMO	FASES	I NOM (AMP.)	V NOMI. (KV.)	TIPO	POSICION
INT. 1	T_0	ABC	700	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 2	T_096	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 3	T_0119	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado

INT. 4	T_046	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 5	T_029	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 6	T_012	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Abierto
INT. 7	T_030	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 8	T_032	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Abierto
INT. 9	T_045	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 10	T_055	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 11	T_059	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 12	T_0121	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 13	T_066	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 14	T_067	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 15	T_072	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 16	T_099	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 17	T_0100	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado

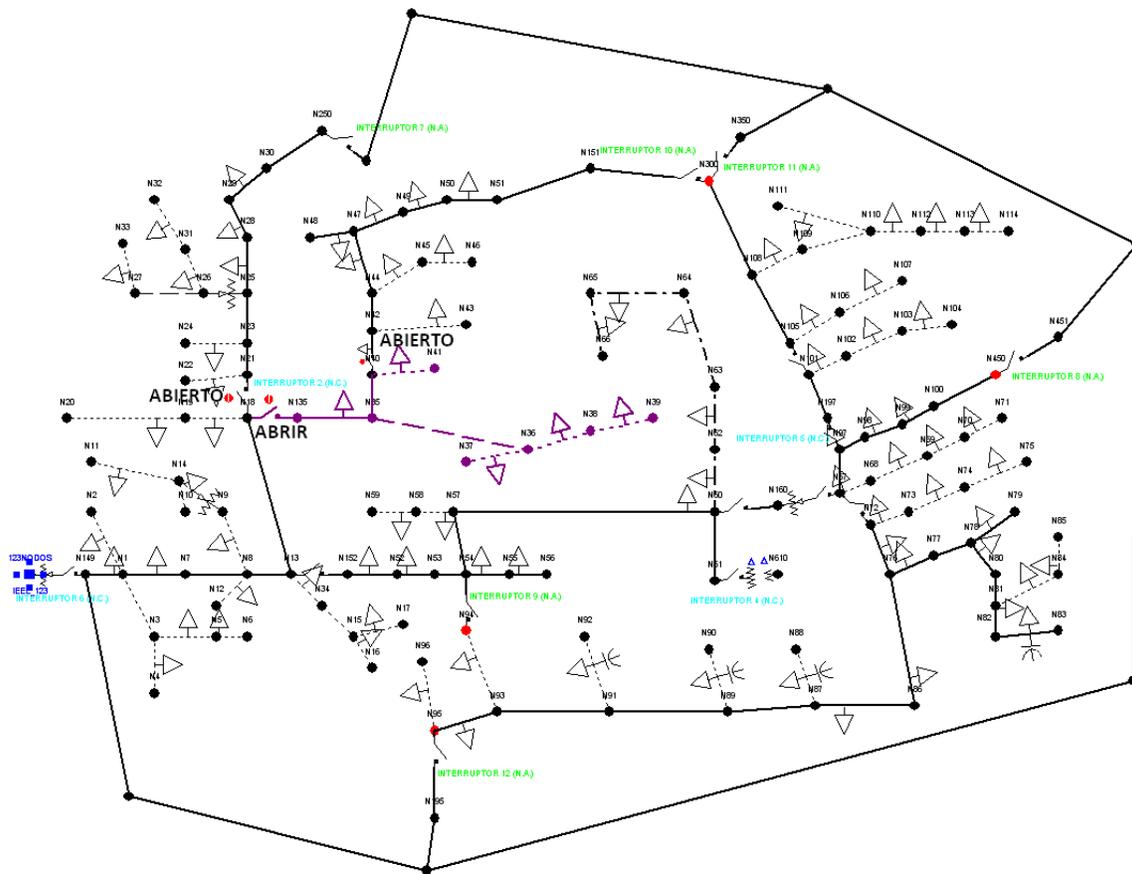
Ya analizado el problema de la violación de las restricciones se pasa a la etapa siguiente.

#### **ETAPA 8: ¿LA RED ES RADIAL?**

Ahora procederemos a analizar si la red obtenida por la apertura del interruptor numero 6 queda de forma radial.

Por medio de la figura 4.9 que se muestra a continuación se observa que ante la apertura del interruptor numero 6, nuestra red sigue sin quedar radial y no se abre ninguna nueva malla debido a que el interruptor numero 6 está localizado en una malla que ya ha sido abierta anteriormente por el interruptor numero 8.





**FIGURA 4.10 Red de 123 nodos de IEEE con interruptor 7 en posición abierta.**

Como se pudo observar en la figura anterior, después de abrir el interruptor número 7 parte del sistema se desconecta (color morado), por lo cual la apertura de este interruptor nos produce una violación en nuestras restricciones, por este motivo se pasa a la etapa que a continuación se explica.

**ETAPA 7: CERRAR EL ULTIMO INTERRUPTOR ABIERTO – ABRIR EL INTERRUPTOR QUE TENGA LA PROXIMA CORRIENTE MAS BAJA COMO HA SIDO DETERMINADO POR EL PATRON OPTIMO DE FLUJOS.**

Al ser violada alguna restricción en la etapa 6, por apertura de un interruptor se llega a este paso, el cual en este caso procedió a cerrar el interruptor número 7 antes abierto ya que este presentó violación de desconexión de carga.

Una vez cerrado el interruptor 7 se procedió a abrir el próximo interruptor con la corriente más baja el cual es el interruptor número 11.

Ya realizadas las maniobras de cierre y apertura de interruptores se regresa a la etapa de violación de restricciones.

## ETAPA 6: ¿SE VIOLÓ ALGUNA RESTRICCIÓN?

De nuevo en esta etapa se analizó si alguna restricción ha sido violada, en este caso por la apertura del interruptor número 11.

Como ya se sabe como primera restricción a analizar es la de desconexión de carga y esta se procede a analizar mediante la figura 4.11.

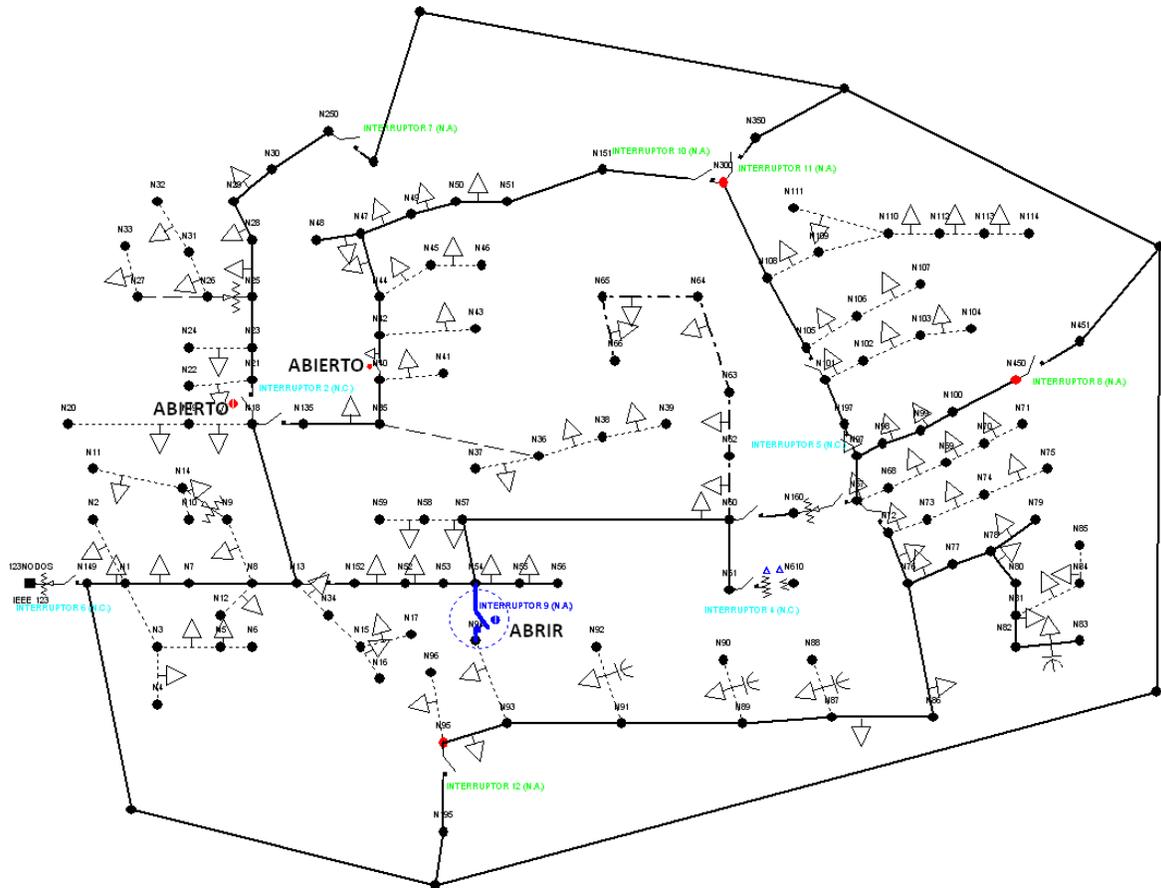
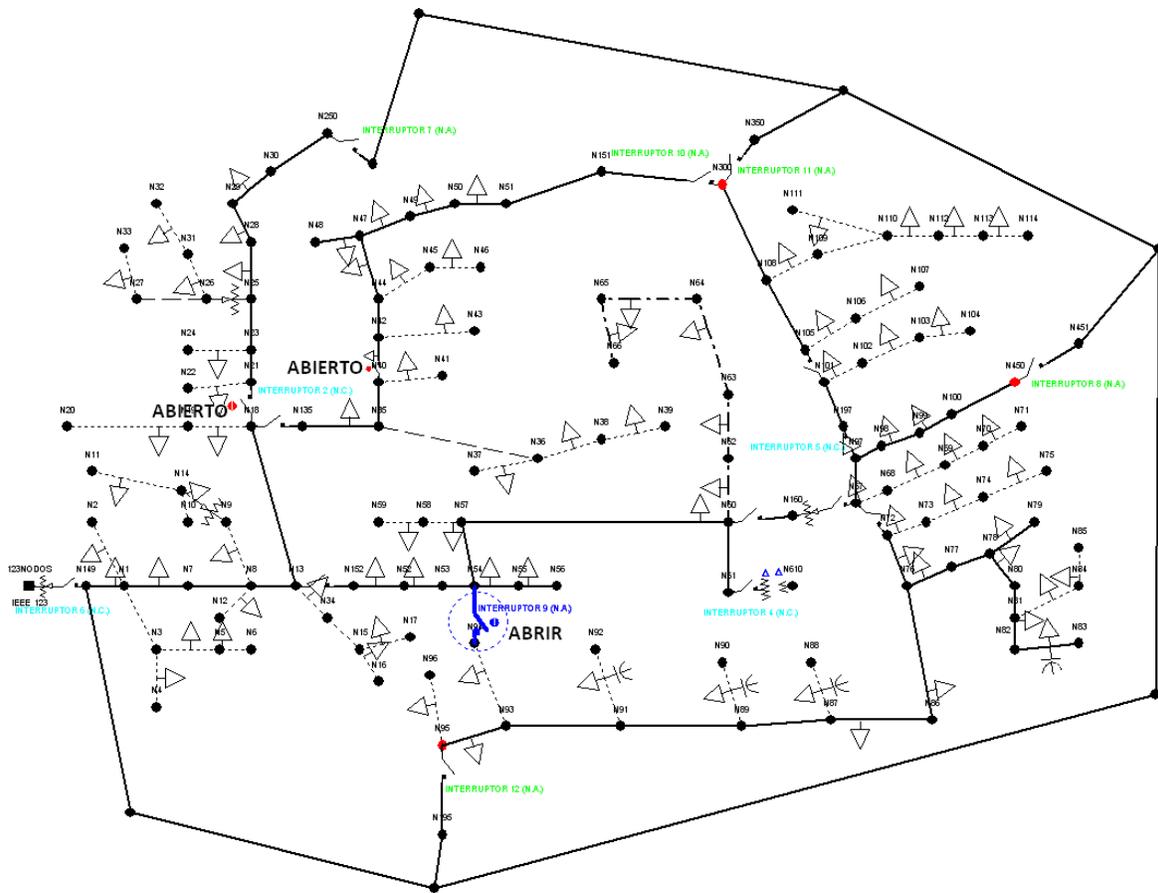


FIGURA 4.11 Red de 123 nodos de IEEE con interruptor 11 en posición abierta.

Se mostró en la figura anterior que no se ha presentado desconexión de carga a consecuencia de la apertura del interruptor número 11.

Por consiguiente se procede a realizar el análisis de flujos de potencia para verificar las restricciones de perfil de voltaje y corriente, las cuales son mostradas por la figura 4.12 la cual en el caso de haber violación de restricciones de perfil de voltaje o corriente se mostrarán en la red por medio del coloreado en las partes violadas.



**FIGURA 4.12** Red de 123 nodos de IEEE con interruptor 11 en posición abierta y flujos de potencia ya corridos.

Una vez realizada la corrida de flujos de potencia en el dibujo anterior se observó que no existe ningún tipo de violación, ya que el sistema permaneció operando normalmente, esto se comprueba por medio de la siguiente tabla, donde se muestra que ninguno de los perfiles antes mencionados ha sobrepasado el límite establecido, además de mostrar que las pérdidas siguen por debajo aun de las del sistema en condiciones normales:

**TABLA 4.21:** Tabla de resultados de flujos con el interruptor 11 abierto.

TRAMO	PERFIL DE V.	VA L-N	VB L-N	VC L-N	IA	IB	IC	PERDIDAS(KW)
T_0	102.66	4.3	4.3	4.3	617.1	405.7	496.1	39.25
328	102.66	4.3	4.3	4.3	343.8	262.6	282.4	8.43
331	102.56	4.3	4.3	4.3	343.8	262.6	282.4	6.6
317	102.47	4.3	4.3	4.3	92.7	88	77.9	0.07
T_096	102.46	4.3	4.3	4.3	92.7	88	77.9	0
T_097	102.61		4.3			9		0
330	102.47	4.3	4.3	4.3	258.6	179.1	214.3	4.81

332	102.47	4.3	4.3	4.3	258.6	179.1	214.3	4.8
321	102.3	4.3	4.3	4.3	51.7	39.7	50.4	0.03
T_0119	102.3	4.3	4.3	4.3	51.7	39.7	50.4	0
333	102.3	4.3	4.3	4.3	215.6	147.3	169.3	2.84
318	102.18	4.3	4.3	4.3	159.8	128.2	115.6	1.33
T_046	102.17	4.3	4.3	4.3	159.8	128.2	115.6	1.26
T_045	102.17	4.3	4.3	4.3	108.3	108.5	90	1.26
T_044	102.15	4.3	4.3	4.3	108.3	108.5	90	1.18
T_043	102.14	4.3	4.3	4.3	108.3	108.5	90	1.12
T_042	101.99	4.3	4.3	4.3	99.3	108.5	90	0.69
T_041	101.85	4.3	4.3	4.3	99.3	108.5	72.1	0.29
T_039	101.74	4.3	4.3	4.3	45.3	37	17.9	0.04
T_036	101.72	4.3	4.3	4.3	9.1	19.2	0	0.01
T_034	101.72	4.2	4.3	4.3	0	0	0	0
T_033	101.19			4.3			9.1	0
T_035	101.97		4.3			19.2		0
T_037	101.42	4.3			18.4			0.01
T_038	101.39	4.3			9.1			0
T_040	101.74	4.3	4.3	4.3	36.7	36.9	36.8	0.04
334	102.18	4.3	4.3	4.3	56.4	19.2	54.4	0.48
322	102.14	4.3	4.3	4.3	56.4	19.2	54.4	0.39
T_029	102.12	4.3	4.3	4.3	56.4	19.2	54.4	0.36
T_028	102.12	4.3	4.3	4.3	56.4	19.2	54.4	0.36
T_027	102.07	4.3	4.3	4.3	56.4	19.2	54.4	0.28
T_026	102	4.3	4.3	4.3	56.4	19.2	36.3	0.17
T_025	101.95	4.3	4.3	4.3	37.2	19.2	36.3	0.12
T_019	101.93	4.3	4.3	4.3	0	19.2	18.2	0.04
T_017	101.91	4.3	4.3	4.3	0	19.2	0	0.01
T_015	101.91	4.2	4.3	4.3	0	0	0	0
T_013	100.57	4.2			37			0.03
T_014	100.49	4.2			18.6			0
T_030	101.31	4.2	4.3	4.3	28.9	28.4	9.1	0.06
T_031	101.3	4.2	4.3	4.3	28.9	28.4	9.1	0.06
T_032	101.26	4.2	4.3	4.3	0	0	9.1	0
T_047	101.29	4.2	4.3		18.9	18.3		0.02
T_048	100.4	4.2			18.9			0.01
T_049	102.11		4.3			18.3		0
T_050	102.11		4.3			9		0
T_016	102.35		4.3			19.2		0.01
T_018	101.62			4.3			18.2	0.02
T_020	101.35	4.3		4.2	18.6		18.3	0.05

T_021	101.31	4.3		4.2	18.6		0	0.02
T_022	101.64	4.3			18.6			0.01
T_023	100.95			4.2			18.3	0.01
T_024	100.91			4.2			9.1	0
T_02	102.66	4.3	4.3	4.3	294.8	162.2	231.4	30.82
T_03	102.53		4.3			9		0
T_04	102.09			4.3			46.5	0.08
T_05	102			4.3			18.1	0.01
T_06	102			4.3			28.5	0.03
T_07	101.92			4.3			19.2	0.01
T_08	102.23	4.3	4.3	4.3	277.1	153.5	185.3	27.02
T_09	101.93	4.3	4.3	4.3	268.2	153.5	185.3	24.59
T_010	102.32		4.3			9		0
T_011	101.73	4.2	4.3	4.3	222.8	144.8	185.3	22.95
T_012	101.46	4.2	4.3	4.3	65.5	28.4	9.1	0.38
T_051	101.27			4.3			46.4	0.05
T_052	101.21			4.3			27.3	0.02
T_053	101.19			4.2			18.2	0.01
T_054	101.19			4.3			9.1	0
T_055	101.46	4.2	4.3	4.3	161	116.5	130.9	20.68
T_056	101.45	4.2	4.3	4.2	161	116.5	130.9	20.62
T_057	101.17	4.2	4.3	4.2	143.7	116.5	130.9	19.29
T_058	101.04	4.2	4.3	4.2	126.7	116.5	130.9	18.7
T_059	101.63	4.3	0	0	0	0	0	0
T_060	100.96	4.2	4.3	4.2	9.4	9.1	0	0.01
T_061	100.95	4.2	4.3	4.2	0	9.1	0	0
T_062	100.96	4.2	4.3	4.2	118.2	107.8	130.9	18.35
T_063	101.5		4.3			18.4		0
T_064	101.5		4.3			9.1		0
T_065	100.68	4.2	4.2	4.2	118.2	90.4	130.9	17.48
T_0120	100.09	4.2	4.2	4.2	0	0	0	0
T_0121	0	0.5	0.5	0.5	0	0	0	0
T_0122	100.1	4.2	4.2	4.2	45	52	81	9.34
T_0123	99.54	4.2	4.2	4.1	45	52	62.4	6.56
T_0124	99.19	4.1	4.2	4.1	27	52	62.4	5.09
T-0125	98.57	4.1	4.2	4.1	27	17.8	62.4	2.54
T_0126	98	4.1	4.2	4	0	0	35.5	0.44
T_066	100.09	4.2	4.2	4.2	67.8	44.5	56.4	6.43
T_067	102.44	4.3	4.3	4.3	65.8	43.7	55	6.23
T_068	102.34	4.3			54.2			0.12
T_069	102.25	4.3			45.1			0.07

T_070	102.15	4.3			27.1			0.03
T_071	102.08	4.3			18.1			0.01
T_072	102.44	4.3	4.3	4.3	34.3	39.2	55.7	4.22
T_073	102.14			4.3			55.3	0.12
T_074	102.02			4.3			37.3	0.05
T_075	101.91			4.3			18.1	0.01
T_076	102.46	4.3	4.3	4.3	34.3	39.2	34.9	3.99
T_077	102.49	4.3	4.3	4.3	78.1	78.5	77.7	2.32
T_078	102.66	4.3	4.3	4.3	78.1	81.2	77.7	1.9
T_079	102.71	4.3	4.3	4.3	19.3	0	0	0.01
T_080	102.71	4.3	4.3	4.3	80.9	81.2	77.7	1.78
T_081	102.94	4.3	4.4	4.3	80.9	87.6	77.7	1.25
T_082	102.74			4.3			27	0.05
T_083	102.6			4.3			18	0.01
T_084	103.2	4.3	4.4	4.3	80.9	87.6	83.2	0.63
T_085	103.35	4.4	4.4	4.3	87.2	87.6	83.2	0.32
T_086	102.49	4.3	4.3	4.3	-60.1	-37.8	-58.4	1.62
T_087	102.47	4.3	4.3	4.3	-60.1	-42.4	-58.4	1.26
T_088	102.4	4.3			21			0.01
T_089	102.47	4.3	4.3	4.3	-79.8	-54.9	-58.4	1.02
T_090	102.65		4.3			21.3		0
T_091	102.47	4.3	4.3	4.3	-79.8	-74.5	-58.4	0.81
T_092	102.41			4.3			21	0.01
T_093	102.47	4.3	4.3	4.3	-79.8	-74.5	-77.9	0.6
T_094	102.35	4.3			18			0.01
T_095	102.46	4.3	4.3	4.3	-92.6	-74.5	-77.9	0.35
T_98	102.44	4.3	4.3	4.3	-74.9	-60.7	-64.1	1.89
T_0115	102.35	4.3	4.3	4.3	-40.8	-30.5	-37.2	0.65
T_0116	102.33	4.3	4.3	4.3	-51.7	-30.6	-37.2	0.59
T_0117	102.3	4.3	4.3	4.3	-51.7	-39.7	-37.2	0.42
T_0118	102.29	4.3	4.3	4.3	-51.7	-39.7	-50.4	0.32
T_099	102.35	4.3	4.3	4.3	-41.3	35	39.2	1.04
T_0100	102.35	4.3	4.3	4.3	-41.3	35	39.2	1.04
T-0104	102.28	4.3	4.3	4.3	-41.3	35	-40.8	0.88
T_0105	102.61		4.3			35.9		0.01
T_0106	102.61		4.3			18		0.01
T_0107	102.23	4.3	4.3	4.3	-41.3	-36.6	-40.8	0.79
T_0108	101.89	4.3			64.7			0.27
T_0109	101.66	4.3			46.6			0.11
T-0111	101.55	4.3			37.5			0.05
T_0112	101.51	4.3			28.2			0.04

T_0113	101.39	4.3			9.1			0
T_0110	101.55	4.3			9.1			0
T_0114	102.18	4.3	4.3	4.3	-62.7	-36.6	-40.8	0.42
T_0101	102.02			4.3			45.3	0.09
T_0102	101.94			4.3			36.2	0.05
T_0103	101.85			4.3			18.1	0.02
T_127	101.29	4.3			46.2			0.08
T_128	100.58	4.2			28.2			0.04
T_129	100.48	4.2			9.3			0
T_130	100.48	4.2			18.9			0.01

Enseguida se muestra una tabla de condiciones anormales del sistema, que como se menciono anteriormente no significa que el sistema tenga condiciones anormales sino que únicamente toma los valores máximos y mínimos de cada restricción.

**TABLA 4.22: Tabla de resumen de condiciones anormales por la apertura del interruptor 11.**

	Condiciones anormales			
	Fase	Conteo	Peor caso	%
	A	0	T_0	96.04
Sobrecarga	B	0	T_0	63.14
	C	0	T_0	77.2
	A	0	T_0125	99.27
Baja tensión	B	0	IEEE_123	100
	C	0	T_0126	97.04
	A	0	T_085	104.59
Alta tensión	B	0	T_085	104.99
	C	0	T_085	104.05

En la tabla anterior se observo que los casos de sobrecarga del sistema examinado se presentan en lo que es el alimentador principal (T\_0) con porcentaje de 96.04 % el cual es permisible aun y para los casos de baja tensión se presentan estos en el tramo T\_0125 con 99.27% de perfil de voltaje y el tramo T\_0126 con un perfil de 97.04% el cual es un perfil bajo muy aceptable para la red.

Por último la tabla nos mostro que en el tramo 85 es donde se presenta la mayor alta tensión con un máximo de 104.99 % de perfil de voltaje, dicho perfil ya es necesario que se mantenga en observacion ya que esta en el máximo permisible pero aun dentro de lo aceptable.

En la siguiente tabla se muestra la disposición de los taps de los reguladores, a fin de verificar si el regulador 3 que es el único que puede variar la posición de sus taps se ha mantenido en los mismos taps o estos han sido modificados por el simulador.

**TABLA 4.23 Datos de reguladores del sistema con el interruptor 11 en posición abierta.**

# REG.	TRAMO	FASES	CONTROL	TAP. A	TAP. B	TAP. C
REG.1	T_0	ABC	Toma fija	6	6	6
REG. 2	T_020	AC	Toma fija	0		-1
REG. 3	T_067	ABC	Ajustes R&X	5	3	4
REG. 4	T_128	A	Toma fija	-1		

Se pudo observar que en efecto cambio la posición del tap de la fase a del regulador 3.

Por último se muestra la tabla 4.24 con posiciones de los interruptores con el objetivo de identificar que interruptores permanecen cerrados hasta el momento y cuáles han sido abiertos.

**TABLA 4.24: Datos de interruptores del sistema con apertura únicamente del interruptor 11.**

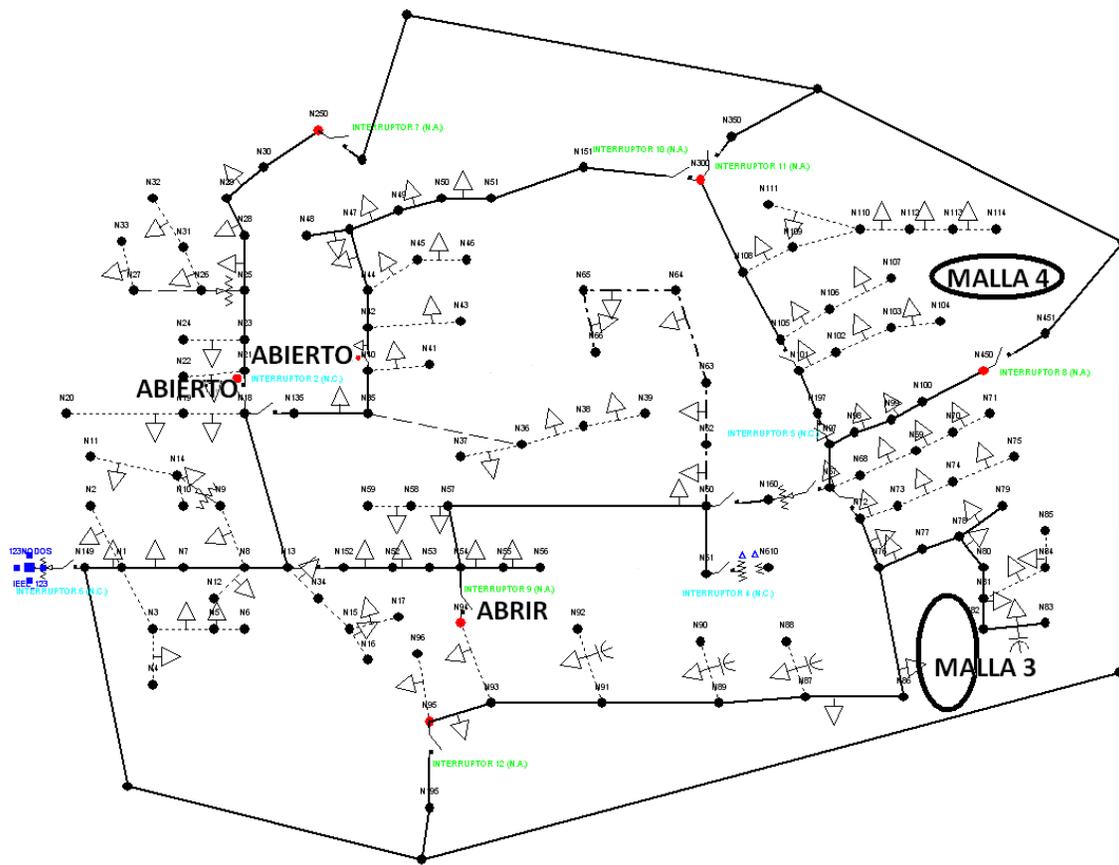
# INTERRUPTOR	TRAMO	FASES	I NOM (AMP.)	V NOMI. (KV.)	TIPO	POSICION
INT. 1	T_0	ABC	700	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 2	T_096	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 3	T_0119	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 4	T_046	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 5	T_029	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 6	T_012	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Abierto
INT. 7	T_030	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 8	T_032	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Abierto
INT. 9	T_045	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 10	T_055	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 11	T_059	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Abierto
INT. 12	T_0121	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 13	T_066	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 14	T_067	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 15	T_072	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 16	T_099	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 17	T_0100	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado

Al final de esta etapa se mantiene abierto el interruptor 6, el interruptor 8 y el interruptor 11, ahora se procede al análisis de la red ya que nos interesa que quede de forma radial.

### EATAPA 8 ¿LA RED ES RADIAL?

Ahora procederemos a analizar si la red obtenida por la apertura del interruptor numero 11 queda de forma radial.

Por medio de la figura 4.13 que se muestra a continuación se observa que ante la apertura del interruptor numero 11, nuestra red sigue sin quedar radial pero pro dicha maniobra se elimina la malla 1 y la malla 2 lo cual nos acerca a la radialidad de nuestro sistema.



**FIGURA 4.13. Red de 123 nodos de IEEE con interruptor 11 en posición abierta.**

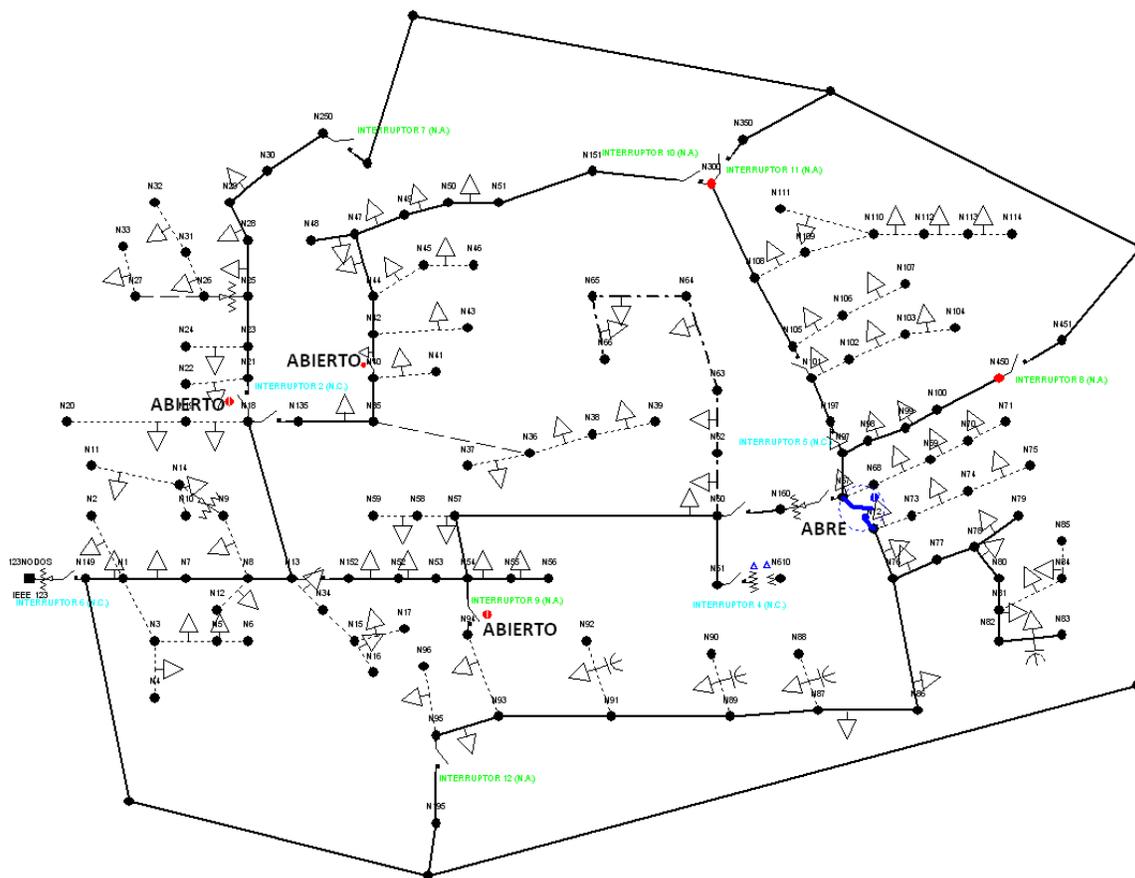
Una vez analizada la red para verificar si esta queda de forma radial ahora procedemos a la siguiente etapa la cual es abrir el interruptor próximo con la menor corriente determinada por el patrón óptimo de flujos.

**ETAPA 5: ABRIR EL INTERRUPTOR QUE LLEVE LA MENOR CORRIENTE COMO HA SIDO DETERMINADO POR EL PATRON OPTIMO DE FLUJOS DE LA RED.**

De acuerdo a la tabla obtenida por el patrón optimo de flujos el siguiente interruptor a abrir es el numero 15.

**ETAPA 6: ¿SE VIOLÓ ALGUNA RESTRICCIÓN?**

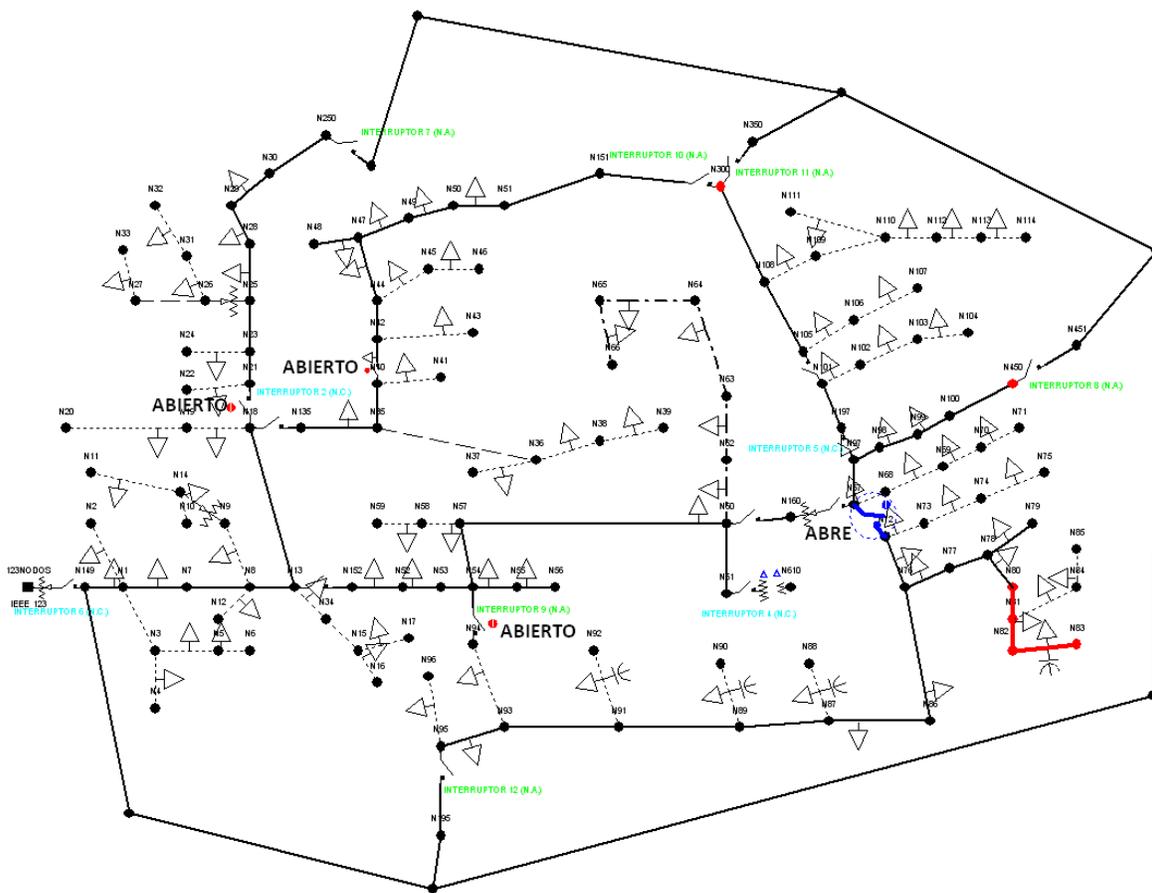
Como en las etapas anteriores la manera de corroborar si existen restricciones de carga desconectada mediante la figura 4.14 que se muestra a continuación:



**FIGURA 4.14. Red de 123 nodos de IEEE con interruptor 15 en posición abierta.**

Como se observa en la figura anterior ante la apertura del interruptor número 15 no se presentan desconexiones del sistema por lo cual se procedió a analizar las restricciones de perfil de voltaje y ampacidad por medio de flujos de potencia.

A continuación se muestra la figura 4.15 la cual es obtenida por la corrida de flujos de potencia, con el fin de verificar si se ha violado alguna restricción.



**FIGURA 4.15** Red de 123 nodos de IEEE con interruptor 15 en posición abierta y flujos ya corrido.

En la figura mostrada anteriormente se observa que la apertura de interruptor numero 15 nos ocasiona violaciones de sobretensión, que es señalado por medio del color rojo.

Por este motivo se procede a realizar la siguiente etapa.

**ETAPA 7: CERRAR EL ULTIMO INTERRUPTOR ABIERTO – ABRIR EL INTERRUPTOR QUE TENGA LA PROXIMA CORRIENTE MAS BAJA COMO HA SIDO DETERMINADO POR EL PATRON OPTIMO DE FLUJOS.**

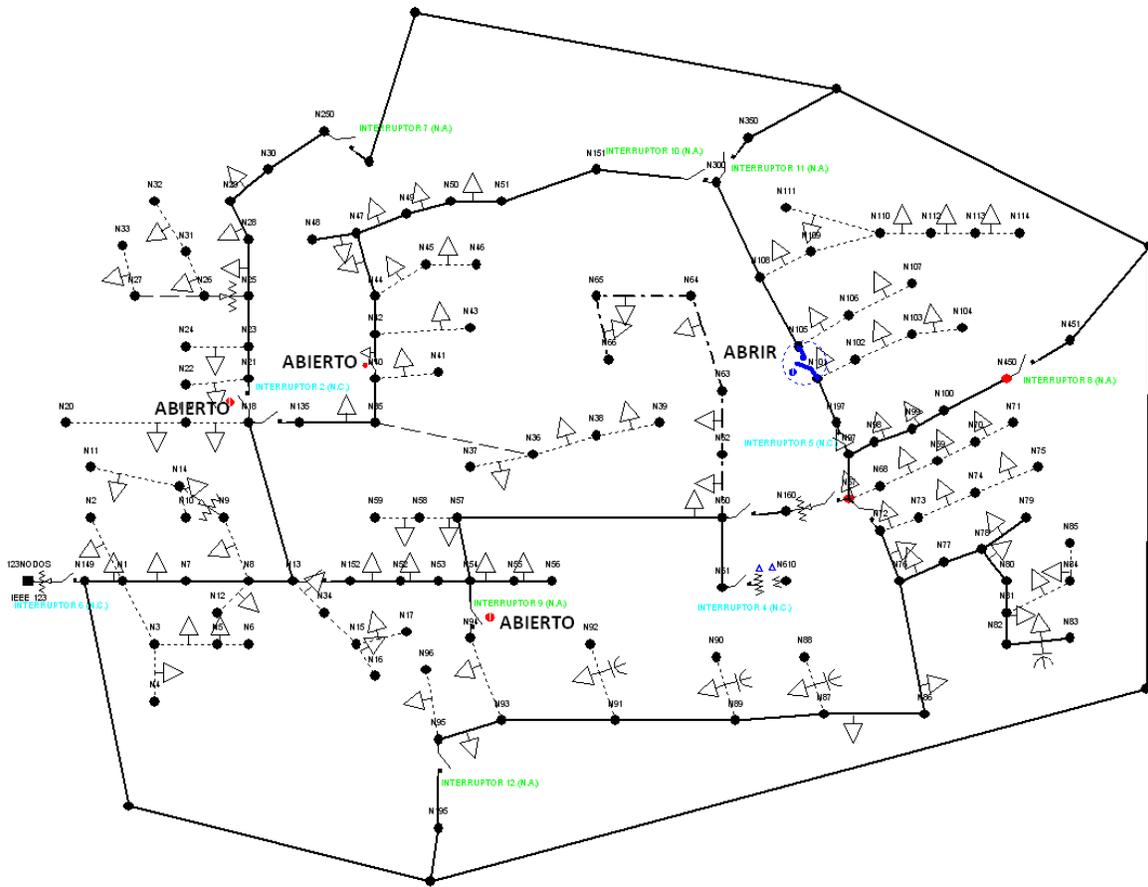
Como se mostro en la etapa anterior se presentaron violaciones de sobretensión por la apertura del interruptor numero 15, por tal motivo se procede a cerrar este interruptor y abrir el siguiente interruptor con la menor corriente el cual de acuerdo a la tabla del patrón optimo de flujos es el interruptor numero 17.

Ya realizadas las maniobras de cierre y apertura de interruptores se regresa a la etapa de violación de restricciones.

## ETAPA 6: ¿SE VIOLÓ ALGUNA RESTRICCIÓN?

En esta etapa se procedió a analizar si alguna restricción ha sido violada por la apertura del interruptor número 17.

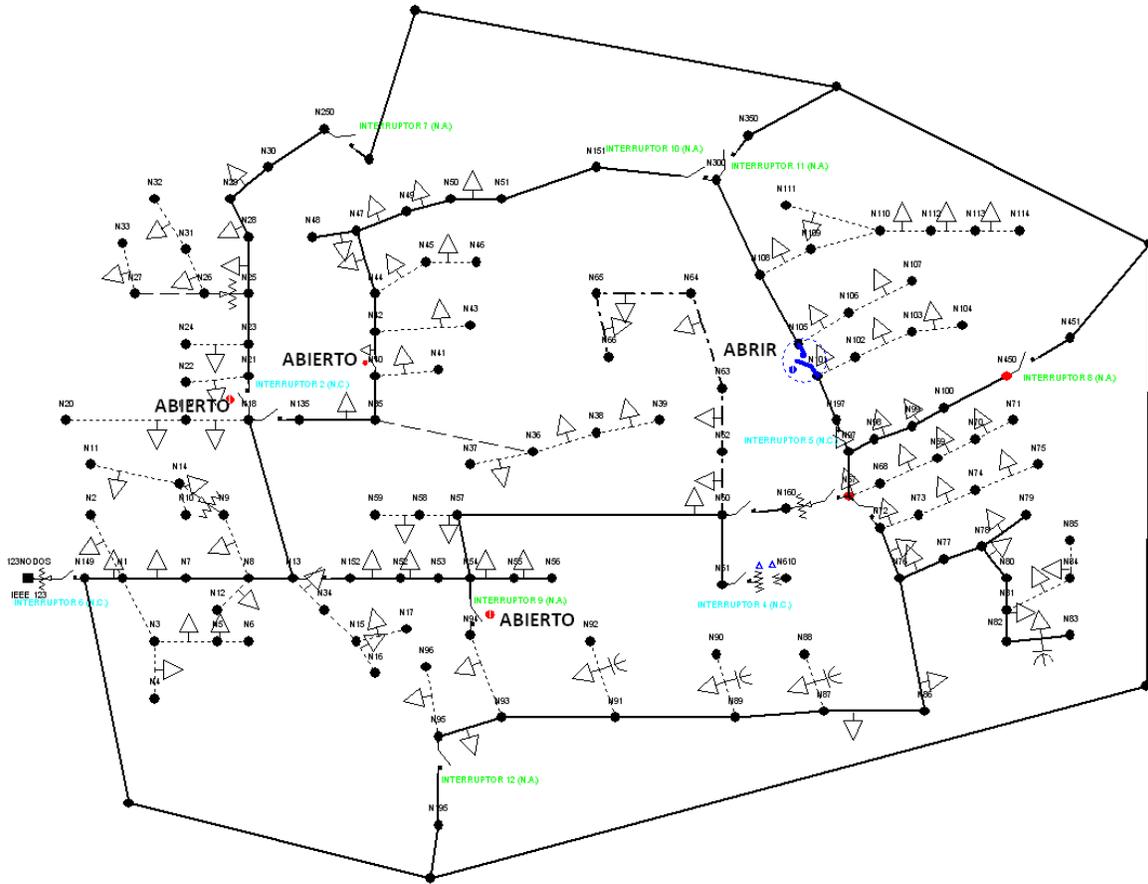
Comenzaremos analizando si es que existe alguna desconexión del sistema por la apertura del interruptor número 17, esto lo podemos comprobar por medio de la siguiente figura:



**FIGURA 4.16.** Red de 123 nodos de IEEE con interruptor 17 en posición abierta.

En la figura anterior se puede observar que la apertura del interruptor número 17 no nos genera desconexión del sistema por lo que procedemos ahora a analizar las restricciones de perfil de voltaje y ampacidad del sistema por medio de una corrida de flujos.

A continuación se muestra la figura obtenida después de realizar la corrida de flujos de potencia:



**FIGURA 4.17** Red de 123 nodos de IEEE con interruptor 17 en posición abierta y flujos ya corrido.

Como se observo en la figura anterior, al realizar la corrida de flujos de potencia no se presentan violaciones de restricciones del tipo de perfil de tensión o ampacidad de los conductores, ya que la red permaneció de manera normal ante la corrida de flujos de potencia.

Ahora se procede a mostrar los resultados obtenidos de dicha corrida de flujos de potencia mediante las siguientes tablas.

En la tabla siguiente se muestra los perfiles de tensión y ampacidad del sistema:

**TABLA 4.25:** Tabla de resultados de flujos con el interruptor 17 abierto.

TRAMO	PERFIL DE V.	VA L-N	VB L-N	VC L-N	IA	IB	IC	PERDIDAS(KW)
T_0	102.66	4.3	4.3	4.3	616	405.5	496.1	35.28
328	102.66	4.3	4.3	4.3	367.8	273.4	298.9	16.01
331	102.53	4.3	4.3	4.3	367.8	273.4	298.9	13.96
317	102.42	4.3	4.3	4.3	98.4	90.2	93.7	6.23
T_096	102.41	4.3	4.3	4.3	98.4	90.2	93.7	6.15

T_095	102.41	4.3	4.3	4.3	98.4	83.1	93.7	6.15
T_093	102.38	4.3	4.3	4.3	83.9	76.3	93.7	5.71
T_091	102.37	4.3	4.3	4.3	83.9	76.3	76.1	5.42
T_089	102.35	4.3	4.3	4.3	83.9	57	76.1	5.17
T_087	102.33	4.3	4.3	4.3	65.7	57	76.1	4.9
T_086	102.29	4.3	4.3	4.3	65.7	43.8	76.1	4.58
T_076	102.25	4.3	4.3	4.3	71.2	-49.8	78.4	1.76
T_072	102.17	4.3	4.3	4.3	-42	-37.7	-40.6	1.49
T_068	102.07	4.3			54.3			0.12
T_069	101.98	4.3			45.3			0.07
T_070	101.88	4.3			27.2			0.03
T_071	101.81	4.3			18.1			0.01
T_98	102.17	4.3	4.3	4.3	-46.8	-35.4	-36.6	1.36
T_0115	102.14	4.3	4.3	4.3	-46.8	-35.4	-61.6	1.15
T_0116	102.13	4.3	4.3	4.3	-60.1	-35.4	-61.6	1.03
T_0117	102.13	4.3	4.3	4.3	-60.1	-43.9	-61.6	0.73
T_0118	102.14	4.3	4.3	4.3	-60.1	-43.9	-78	0.56
T_099	102.14	4.3	4.3	4.3	0	0	45.5	0.14
T_0100	102.14	4.3	4.3	4.3	0	0	45.5	0.14
T_0101	101.54			4.3			45.5	0.09
T_0102	101.46			4.3			36.4	0.06
T_0103	101.37			4.3			18.2	0.02
T_073	101.7			4.3			55.4	0.12
T_074	101.58			4.3			37.3	0.05
T_075	101.47			4.3			18.2	0.01
T_077	102.25	4.3	4.3	4.3	78	78.4	77.3	2.31
T_078	102.43	4.3	4.3	4.3	78	81.1	77.3	1.89
T_079	102.47	4.3	4.3	4.3	19.3	0	0	0.01
T_080	102.47	4.3	4.3	4.3	80.6	81.1	77.3	1.78
T_081	102.71	4.3	4.4	4.3	80.6	87.5	77.3	1.25
T_082	102.33			4.3			27.1	0.05
T_083	102.19			4.3			18.1	0.01
T_084	102.96	4.3	4.4	4.3	80.6	87.5	82.8	0.63
T_085	103.11	4.3	4.4	4.3	87	87.5	82.8	0.32
T_088	102.24	4.3			21			0.01
T_090	102.61		4.3			21.3		0
T_092	102.27			4.3			21	0.01
T_094	102.24	4.3			18			0.01
T_097	102.58		4.3			9		0
330	102.42	4.3	4.3	4.3	278.2	191.6	214.5	5.79
332	102.42	4.3	4.3	4.3	278.2	191.6	214.5	5.78

321	102.21	4.3	4.3	4.3	60.1	43.9	78	0.05
T_0119	102.2	4.3	4.3	4.3	60.1	43.9	78	0
333	102.21	4.3	4.3	4.3	229.1	163.5	144.2	3.6
318	102.06	4.3	4.3	4.3	172.9	144.3	90	2.04
T_046	102.05	4.3	4.3	4.3	172.9	144.3	90	1.96
T_0114	102.05	4.3	4.3	4.3	64.8	36.1	0	0.7
T_0107	101.87	4.3	4.3	4.3	0	36.1	0	0.04
T-0104	101.84	4.3	4.3	4.3	0	0	0	0
T_0105	102.24		4.3			36.1		0.01
T_0106	102.24		4.3			18		0.01
T_0108	101.19	4.2			64.8			0.27
T_0109	100.96	4.2			46.5			0.11
T-0111	100.85	4.2			37.4			0.05
T_0112	100.81	4.2			28.1			0.04
T_0113	100.69	4.2			9.2			0
T_0110	100.85	4.2			9.1			0
T_045	102.05	4.3	4.3	4.3	108.3	108.5	90	1.26
T_044	102.03	4.3	4.3	4.3	108.3	108.5	90	1.18
T_043	102.02	4.3	4.3	4.3	108.3	108.5	90	1.12
T_042	101.87	4.3	4.3	4.3	99.3	108.5	90	0.69
T_041	101.73	4.3	4.3	4.3	99.3	108.5	72.1	0.29
T_039	101.62	4.3	4.3	4.3	45.3	37	17.9	0.04
T_036	101.6	4.3	4.3	4.3	9.1	19.2	0	0.01
T_034	101.6	4.2	4.3	4.3	0	0	0	0
T_033	101.41			4.3			9.1	0
T_035	101.88		4.3			19.2		0
T_037	101.18	4.3			18.4			0.01
T_038	101.15	4.2			9.1			0
T_040	101.62	4.3	4.3	4.3	36.6	36.9	36.8	0.04
334	102.06	4.3	4.3	4.3	56.3	19.2	54.4	0.48
322	102.02	4.3	4.3	4.3	56.3	19.2	54.4	0.39
T_029	102.01	4.3	4.3	4.3	56.3	19.2	54.4	0.36
T_028	102.01	4.3	4.3	4.3	56.3	19.2	54.4	0.36
T_027	101.96	4.3	4.3	4.3	56.3	19.2	54.4	0.28
T_026	101.89	4.3	4.3	4.3	56.3	19.2	36.3	0.17
T_025	101.84	4.3	4.3	4.3	37.2	19.2	36.3	0.12
T_019	101.81	4.3	4.3	4.3	0	19.2	18.2	0.04
T_017	101.79	4.3	4.3	4.3	0	19.2	0	0.01
T_015	101.79	4.2	4.3	4.3	0	0	0	0
T_013	101.05	4.2			36.9			0.03
T_014	100.98	4.2			18.6			0

T_030	101.59	4.2	4.3	4.3	29	28.4	9.1	0.06
T_031	101.59	4.2	4.3	4.3	29	28.4	9.1	0.06
T_032	101.55	4.2	4.3	4.3	0	0	9.1	0
T_047	101.61	4.2	4.3		19	18.3		0.02
T_048	100.88	4.2			19			0.01
T_049	102.28		4.3			18.3		0
T_050	102.28		4.3			9		0
T_016	102.26		4.3			19.2		0.01
T_018	101.59			4.3			18.2	0.02
T_020	101.23	4.3		4.2	18.6		18.3	0.05
T_021	101.18	4.3		4.2	18.6		0	0.02
T_022	101.41	4.3			18.6			0.01
T_023	100.91			4.2			18.3	0.01
T_024	100.88			4.2			9.1	0
T_02	102.66	4.3	4.3	4.3	251.5	137.4	201.9	19.27
T_03	102.58		4.3			9		0
T_04	102.16			4.3			46.6	0.08
T_05	102.07			4.3			18.1	0.01
T_06	102.07			4.3			28.5	0.03
T_07	102			4.3			19.2	0.01
T_08	102.32	4.3	4.3	4.3	233.5	128.5	155.3	16.46
T_09	102.1	4.3	4.3	4.3	224.5	128.5	155.3	14.74
T_010	102.44		4.3			9		0
T_011	101.95	4.3	4.3	4.3	178.2	119.5	155.3	13.57
T_012	101.75	4.2	4.3	4.3	65.5	28.4	9.1	0.38
T_051	101.49			4.3			46.4	0.05
T_052	101.43			4.3			27.3	0.02
T_053	101.41			4.3			18.2	0.01
T_054	101.41			4.3			9.1	0
T_055	101.75	4.3	4.3	4.3	113	91.3	99.9	11.9
T_056	101.74	4.3	4.3	4.3	113	91.3	99.9	11.87
T_057	101.56	4.2	4.3	4.3	94.8	91.3	99.9	11.14
T_058	101.47	4.2	4.3	4.3	76.6	91.3	99.9	10.83
T_059	102.1	4.3	0	0	0	0	0	0
T_060	101.42	4.2	4.3	4.3	9.5	9	0	0.01
T_061	101.42	4.2	4.3	4.3	0	9	0	0
T_062	101.43	4.2	4.3	4.2	67.1	82.3	99.9	10.65
T_063	101.84		4.3			18.4		0
T_064	101.84		4.3			9.1		0
T_065	101.26	4.2	4.3	4.2	67.1	64	99.9	10.21
T_0120	100.94	4.2	4.3	4.2	0	0	0	0

T_0121	0	0.5	0.5	0.5	0	0	0	0
T_0122	100.94	4.2	4.2	4.2	45.1	52.1	81.1	9.36
T_0123	100.38	4.2	4.2	4.2	45.1	52.1	62.4	6.58
T_0124	100.03	4.2	4.2	4.1	27.3	52.1	62.4	5.1
T-0125	99.41	4.2	4.2	4.1	27.3	17.9	62.4	2.54
T_0126	98.84	4.2	4.2	4.1	0	0	35.3	0.43
T_066	100.94	4.2	4.3	4.2	14.4	12.1	19	0.02
T_067	102.17	4.3	4.3	4.3	14.2	11.9	18.8	0
T_127	101.65	4.3			46.2			0.08
T_128	100.94	4.2			28.3			0.04
T_129	100.84	4.2			9.3			0
T_130	100.84	4.2			19			0.01

En la tabla anterior se pudo observar que no existen violaciones de límites de tensión y corriente, además de observar las pérdidas del sistema que se mantienen favorables a la metodología aplicada.

Enseguida se muestra una tabla de condiciones anormales del sistema, que como se menciono anteriormente no significa que el sistema tenga condiciones anormales sino que únicamente toma los valores máximos y mínimos de cada restricción.

**TABLA 4.26 Tabla de resumen de condiciones anormales por la apertura del interruptor 17.**

	Condiciones anormales			
	Fase	Conteo	Peor caso	%
	A	0	T_0	95.87
Sobrecarga	B	0	T_0	63.1
	C	0	T_0	77.2
	A	0	IEEE_123	100
Baja tensión	B	0	IEEE_123	100
	C	0	T_0126	97.71
	A	0	T_085	104.35
Alta tensión	B	0	T_085	104.93
	C	0	T_085	103.75

Se observo en la tabla anterior que la sobrecarga se sigue presentando en el alimentador principal y la baja tensión no es de preocupación ya que esta aun dentro del límite establecido, mientras que los niveles de alta tensión han reducido un poco.

En la siguiente tabla se muestra la disposición de los taps de los reguladores, a fin de verificar si el regulador 3 que es el único que puede variar la posición de sus

taps se ha mantenido en los mismos taps o estos han sido modificados por el simulador.

**TABLA 4.27 Datos de reguladores del sistema con el interruptor 17 en posición abierta.**

# REG.	TRAMO	FASES	CONTROL	TAP. A	TAP. B	TAP. C
REG.1	T_0	ABC	Toma fija	6	6	6
REG. 2	T_020	AC	Toma fija	0		-1
REG. 3	T_067	ABC	Ajustes R&X	2	2	2
REG. 4	T_128	A	Toma fija	-1		

Se observo en la tabla anterior que la disposición de los taps si se modifico.

Enseguida se muestra la tabla de posiciones de los interruptores con el objetivo de identificar que interruptores permanecen cerrados hasta el momento y cuáles han sido abiertos.

**TABLA 4.28: Datos de interruptores del sistema con apertura únicamente del interruptor 11.**

# INTERRUPTOR	TRAMO	FASES	I NOM (AMP.)	V NOMI. (KV.)	TIPO	POSICION
INT. 1	T_0	ABC	700	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 2	T_096	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 3	T_0119	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 4	T_046	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 5	T_029	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 6	T_012	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Abierto
INT. 7	T_030	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 8	T_032	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Abierto
INT. 9	T_045	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 10	T_055	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 11	T_059	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Abierto
INT. 12	T_0121	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 13	T_066	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 14	T_067	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 15	T_072	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 16	T_099	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 17	T_0100	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Abierto

Una vez analizada la apertura del interruptor numero 17, se paso a la etapa de analizar si la red es radial.

## ETAPA 8: ¿LA RED ES RADIAL?

Ahora procederemos a analizar si la red obtenida por la apertura del interruptor numero 17 queda de forma radial.

Por medio de la figura 4.18 que se muestra a continuación se observa que ante la apertura del interruptor numero 17, nuestra red sigue sin quedar radial pero por dicha maniobra se elimina la malla 4 lo cual nos acerca a la radialidad de nuestro sistema, únicamente faltando por abrir la malla numero 3.

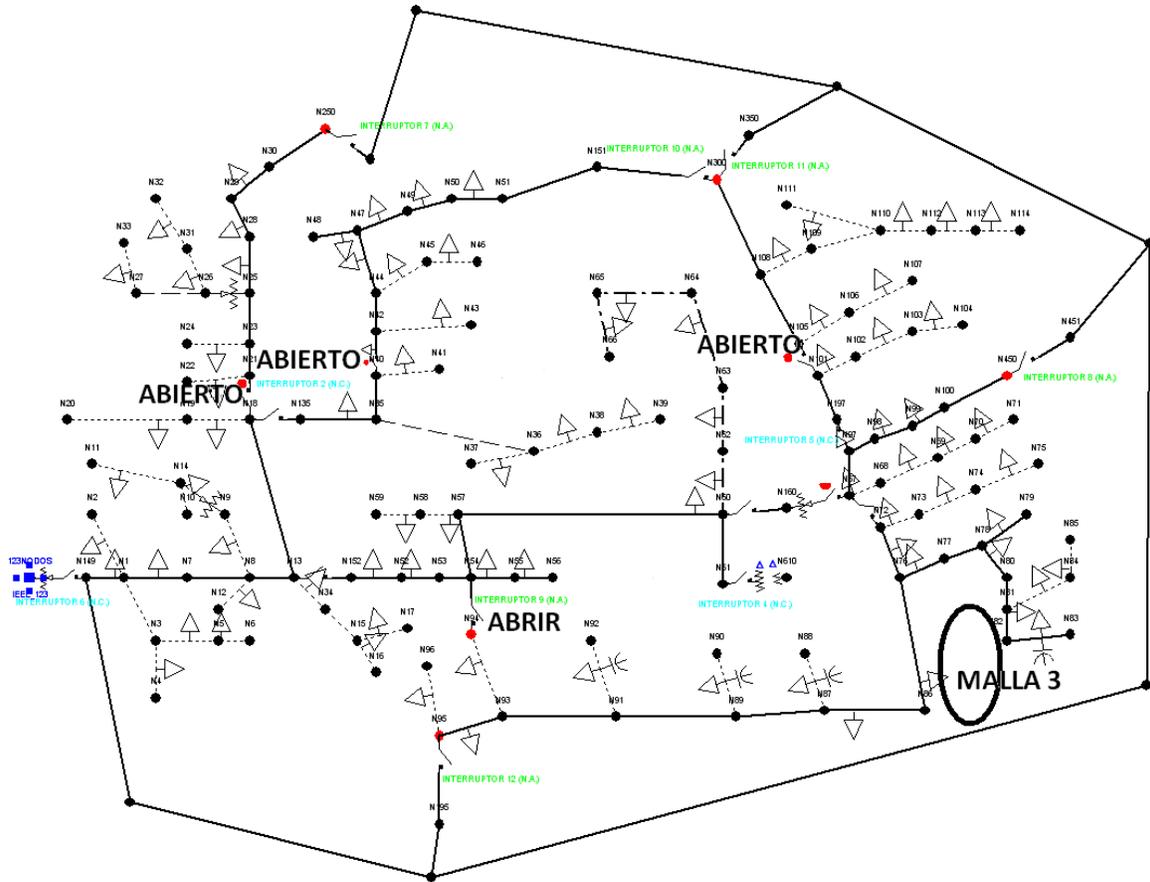


FIGURA 4.18 Red de 123 nodos de IEEE con interruptor 17 en posición abierta.

## ETAPA 5: ABRIR EL INTERRUPTOR QUE LLEVE LA MENOR CORRIENTE COMO HA SIDO DETERMINADO POR EL PATRON OPTIMO DE FLUJOS DE LA RED.

De acuerdo a la tabla obtenida por el patrón óptimo de flujos el siguiente interruptor a abrir es el numero 16.

## ETAPA 6: ¿SE VIOLÓ ALGUNA RESTRICCIÓN?

Como en las etapas anteriores la manera de corroborar si existen restricciones de carga desconectada mediante la figura que se muestra a continuación:

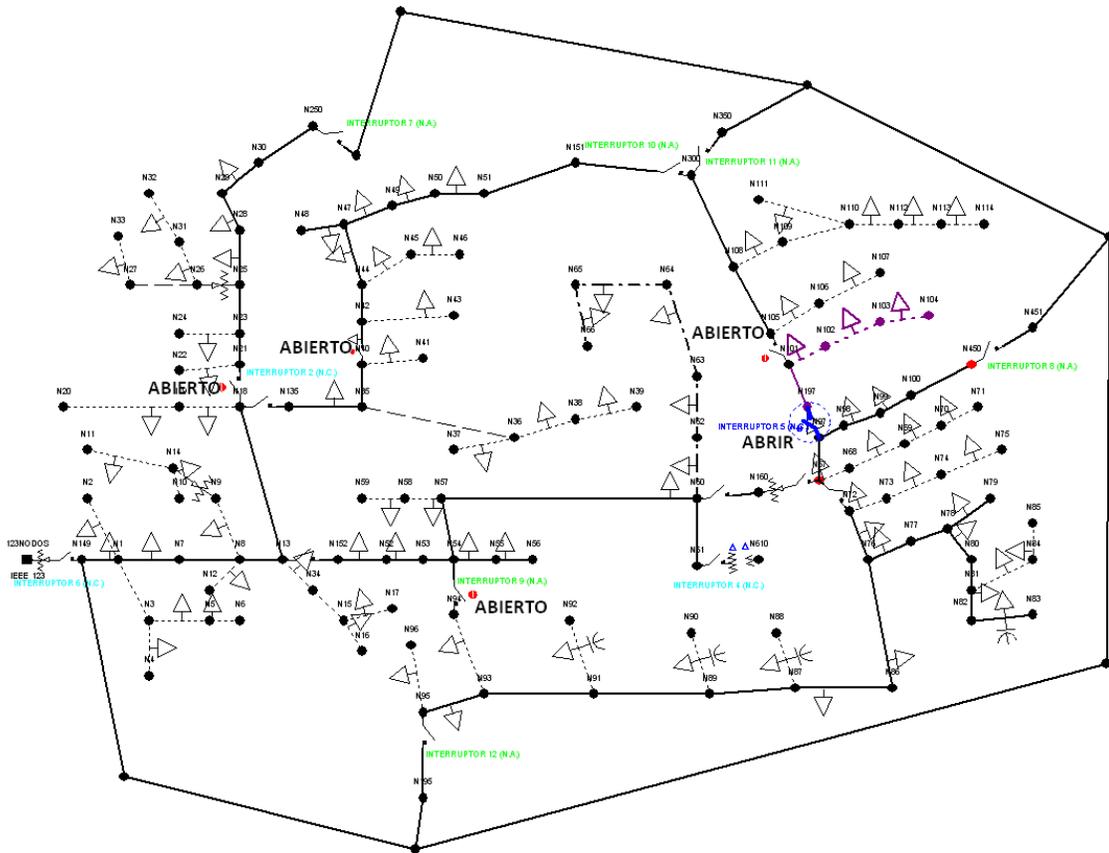


FIGURA 4.19 Red de 123 nodos de IEEE con interruptor 16 en posición abierta.

En la figura anterior se observa que la apertura del interruptor número 16 nos presenta desconexión de parte de nuestro sistema (color naranja) por tal motivo se procede a pasar a la etapa siguiente.

## ETAPA 7: CERRAR EL ÚLTIMO INTERRUPTOR ABIERTO – ABRIR EL INTERRUPTOR QUE TENGA LA PROXIMA CORRIENTE MAS BAJA COMO HA SIDO DETERMINADO POR EL PATRON OPTIMO DE FLUJOS.

Como se mostro en la etapa anterior se presentaron violaciones de desconexión de carga por la apertura del interruptor número 16, por tal motivo se procede a cerrar este interruptor y abrir el siguiente interruptor con la menor corriente el cual de acuerdo a la tabla del patrón óptimo de flujos es el interruptor número 3.

Ya realizadas las maniobras de cierre y apertura de interruptores se regresa a la etapa de violación de restricciones.

## ETAPA 6: ¿SE VIOLÓ ALGUNA RESTRICCIÓN?

En esta etapa se procedió a analizar si alguna restricción ha sido violada por la apertura del interruptor número 3.

Comenzaremos analizando si es que existe alguna desconexión del sistema por la apertura del interruptor número 3, esto lo podemos comprobar por medio de la siguiente figura:

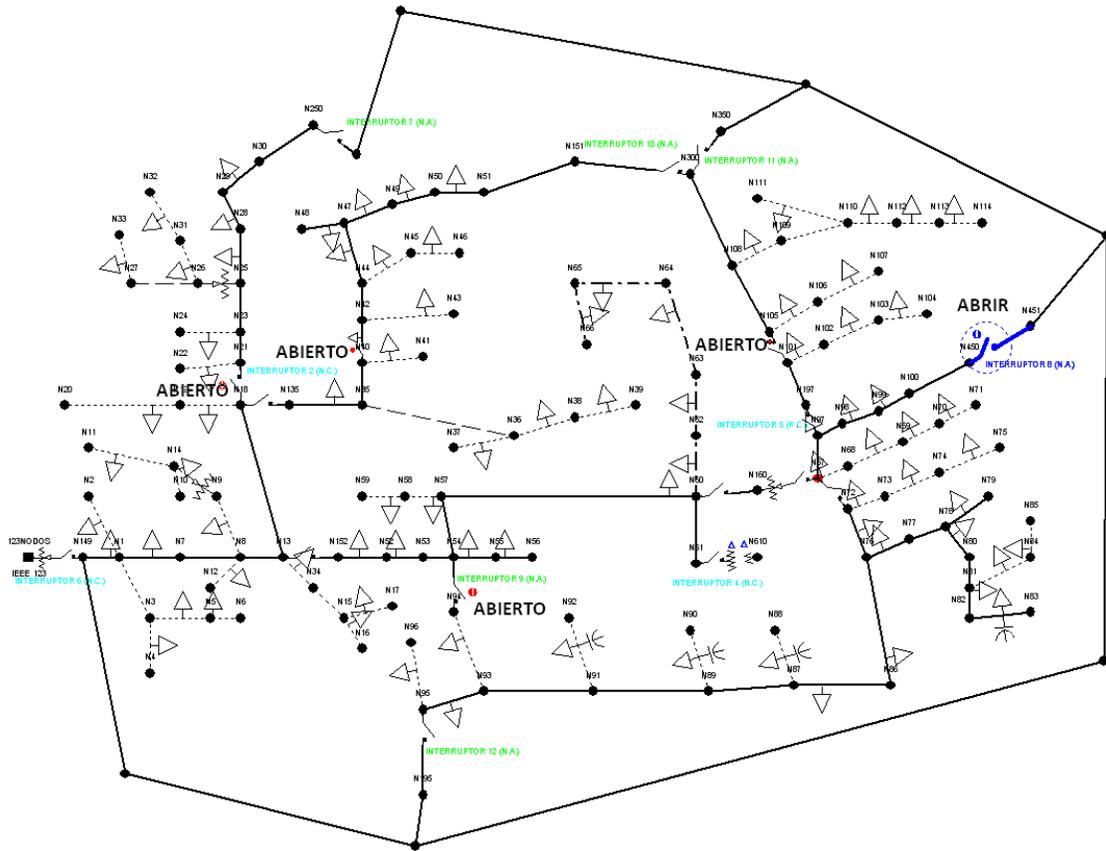
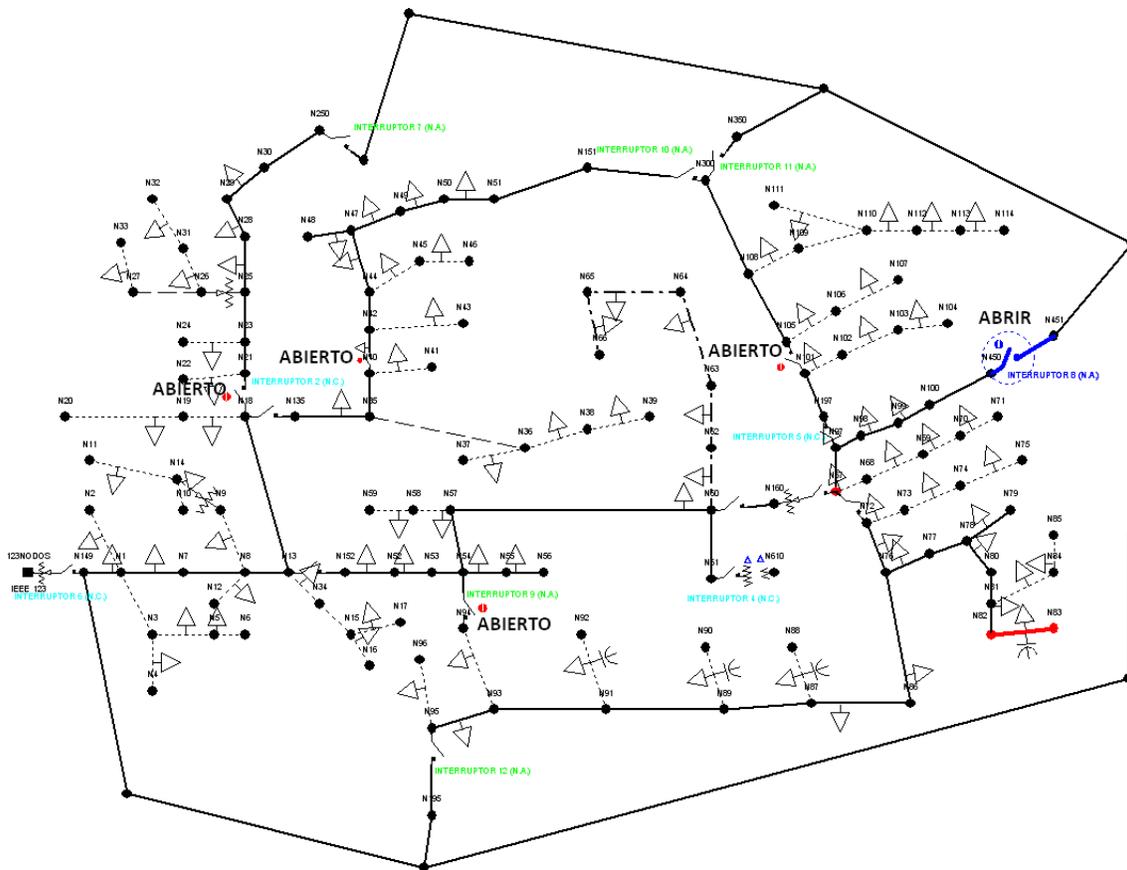


FIGURA 4.20 Red de 123 nodos de IEEE con interruptor 3 en posición abierta.

En la figura anterior se puede observar que la apertura del interruptor número 3 no nos genera desconexión del sistema por lo que procedemos ahora a analizar las restricciones de perfil de voltaje y ampacidad del sistema por medio de una corrida de flujos.

A continuación se muestra la figura obtenida después de realizar la corrida de flujos de potencia:



**FIGURA 4.21 Red de 123 nodos de IEEE con interruptor 3 en posición abierta después de correr flujos de potencia.**

En la figura anterior se puede observar que con la apertura del interruptor número 3 al correr flujos de potencia se presentan condiciones de sobretensión en el tramo mostrado en rojo. Por este motivo se pasa a la siguiente etapa.

**ETAPA 7: CERRAR EL ULTIMO INTERRUPTOR ABIERTO – ABRIR EL INTERRUPTOR QUE TENGA LA PROXIMA CORRIENTE MAS BAJA COMO HA SIDO DETERMINADO POR EL PATRON OPTIMO DE FLUJOS.**

En este caso de deberá cerrar el interruptor numero 3 y se procede a abrir el siguiente interruptor con la corriente más baja el cual es el interruptor numero 5.

Ya realizadas las maniobras de cierre y apertura de interruptores se regresa a la etapa de violación de restricciones.

**ETAPA 6: ¿SE VIOLÓ ALGUNA RESTRICCIÓN?**

En esta etapa se procedió a analizar si alguna restricción ha sido violada por la apertura del interruptor numero 5.

Comenzaremos analizando si es que existe alguna desconexión del sistema por la apertura del interruptor número 5, esto lo podemos comprobar por medio de la siguiente figura:

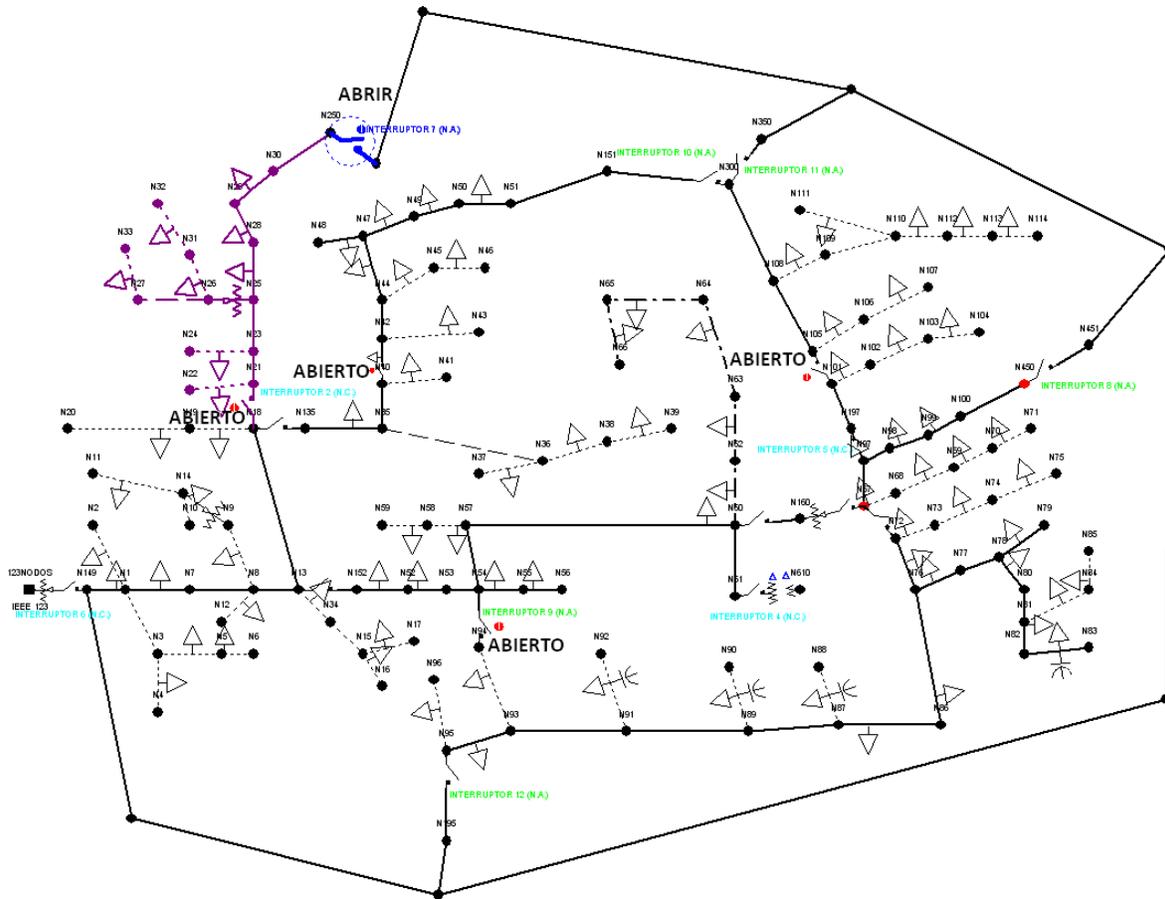


FIGURA 4.22 Red de 123 nodos de IEEE con interruptor 5 en posición abierta.

Se observó en la figura mostrada anteriormente que al apertura del interruptor número 5 nos ocasiona una desconexión en la parte morada de nuestra red, por tal motivo se pasa a la siguiente etapa.

**ETAPA 7: CERRAR EL ULTIMO INTERRUPTOR ABIERTO – ABRIR EL INTERRUPTOR QUE TENGA LA PROXIMA CORRIENTE MAS BAJA COMO HA SIDO DETERMINADO POR EL PATRON OPTIMO DE FLUJOS.**

En este caso se deberá cerrar el interruptor número 5 y se procede a abrir el siguiente interruptor con la corriente más baja el cual es el interruptor número 14.

Ya realizadas las maniobras de cierre y apertura de interruptores se regresa a la etapa de violación de restricciones.

## ETAPA 6: ¿SE VIOLÓ ALGUNA RESTRICCIÓN?

En esta etapa se procedió a analizar si alguna restricción ha sido violada por la apertura del interruptor número 14.

Comenzaremos analizando si es que existe alguna desconexión del sistema por la apertura del interruptor número 14, esto lo podemos comprobar por medio de la siguiente figura:

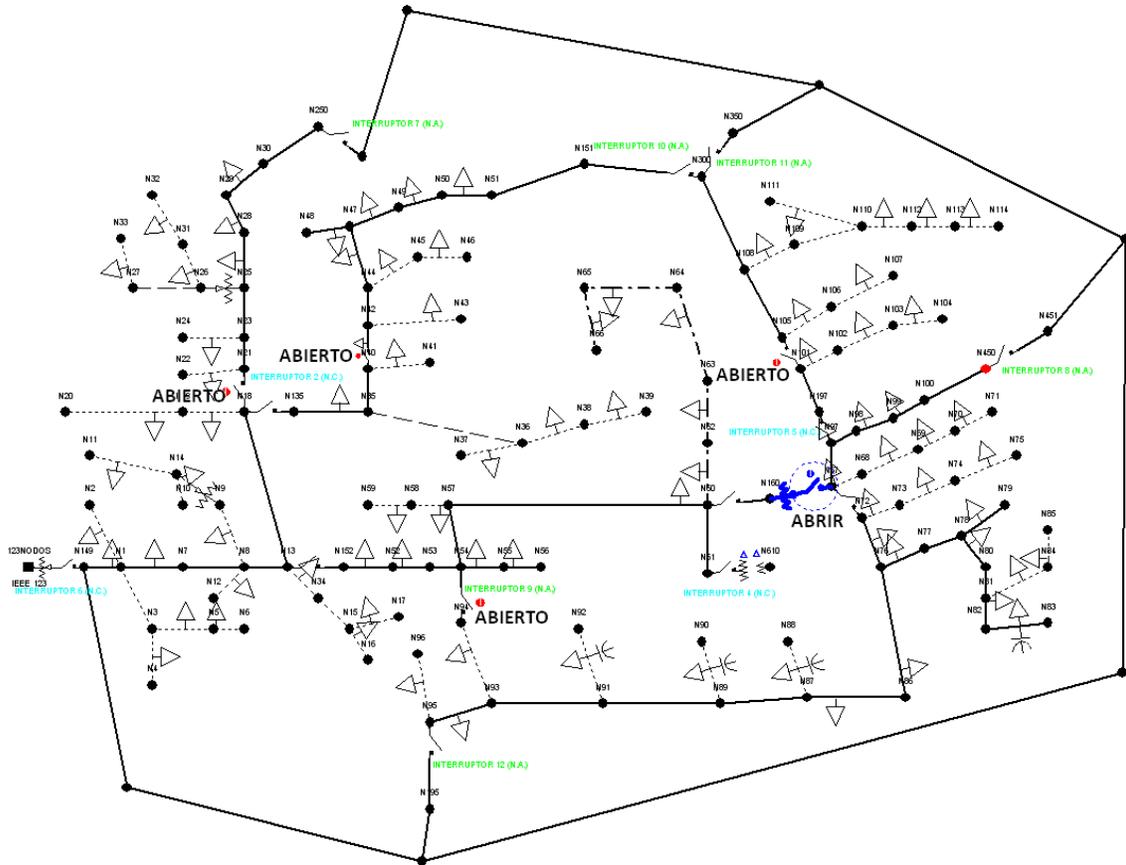


FIGURA 4.23 Red de 123 nodos de IEEE con interruptor 14 en posición abierta.

La figura anterior no nos muestra desconexiones en el sistema por lo que se prosiguió a analizar las restricciones de perfil de voltaje y ampacidad por medio del análisis de flujos de potencia que se muestran mediante la tabla 4.29.

TABLA 4.29: Tabla de resultados de flujos con el interruptor 14 abierto.

TRAMO	PERFIL DE V.	VA L-N	VB L-N	VC L-N	IA	IB	IC	PERDIDAS(KW)
T_0	102.66	4.3	4.3	4.3	616.1	405.4	496.2	34.58
328	102.66	4.3	4.3	4.3	382.1	283.9	316.3	17.15
331	102.53	4.3	4.3	4.3	382.1	283.9	316.3	14.91

317	102.4	4.3	4.3	4.3	104.9	93.8	100.1	6.86
T_096	102.39	4.3	4.3	4.3	104.9	93.8	100.1	6.77
T_095	102.39	4.3	4.3	4.3	104.9	86.4	100.1	6.77
T_093	102.35	4.3	4.3	4.3	90.1	79.4	100.1	6.28
T_091	102.33	4.3	4.3	4.3	90.1	79.4	83.2	5.95
T_089	102.31	4.3	4.3	4.3	90.1	60.7	83.2	5.66
T_087	102.27	4.3	4.3	4.3	72.2	60.7	83.2	5.35
T_086	102.22	4.3	4.3	4.3	72.2	46.4	83.2	4.96
T_076	102.15	4.3	4.3	4.3	75.2	53.6	86.7	2.05
T_072	102.05	4.3	4.3	4.3	-42.1	-36.2	-37.6	1.77
T_068	102.06	4.3			54.3			0.12
T_069	101.97	4.3			45.3			0.07
T_070	101.87	4.3			27.2			0.03
T_071	101.8	4.3			18.1			0.01
T_98	102.05	4.3	4.3	4.3	-53.4	-36.2	-37.6	1.65
T_0115	102.03	4.3	4.3	4.3	-53.4	-36.2	-69.2	1.42
T_0116	102.04	4.3	4.3	4.3	-67.3	-36.2	-69.2	1.27
T_0117	102.06	4.3	4.3	4.3	-67.3	-47	-69.2	0.9
T_0118	102.08	4.3	4.3	4.3	-67.3	-47	-86.3	0.69
T_099	102.03	4.3	4.3	4.3	0	0	45.6	0.14
T_0100	102.03	4.3	4.3	4.3	0	0	45.6	0.14
T_0101	101.32			4.3			45.6	0.09
T_0102	101.24			4.3			36.5	0.06
T_0103	101.14			4.2			18.2	0.02
T_073	101.47			4.3			55.4	0.12
T_074	101.35			4.3			37.3	0.05
T_075	101.25			4.3			18.2	0.01
T_077	102.15	4.3	4.3	4.3	78	78.3	77.2	2.31
T_078	102.32	4.3	4.3	4.3	78	81.1	77.2	1.89
T_079	102.37	4.3	4.3	4.3	19.3	0	0	0.01
T_080	102.37	4.3	4.3	4.3	80.6	81.1	77.2	1.77
T_081	102.61	4.3	4.3	4.3	80.6	87.4	77.2	1.25
T_082	102.12			4.3			27.1	0.05
T_083	101.97			4.3			18.1	0.01
T_084	102.86	4.3	4.4	4.3	80.6	87.4	82.6	0.63
T_085	103.01	4.3	4.4	4.3	87	87.4	82.6	0.32
T_088	102.23	4.3			21			0.01
T_090	102.57		4.3			21.3		0
T_092	102.19			4.3			21	0.01
T_094	102.24	4.3			18			0.01
T_097	102.57		4.3			9		0

330	102.4	4.3	4.3	4.3	285.6	197.6	224.2	5.95
332	102.4	4.3	4.3	4.3	285.6	197.6	224.2	5.93
321	102.19	4.3	4.3	4.3	67.3	47	86.3	0.06
T_0119	102.18	4.3	4.3	4.3	67.3	47	86.3	0
333	102.19	4.3	4.3	4.3	229.1	163.5	144.2	3.6
318	102.04	4.3	4.3	4.3	172.9	144.3	90	2.04
T_046	102.02	4.3	4.3	4.3	172.9	144.3	90	1.96
T_0114	102.03	4.3	4.3	4.3	64.8	36.1	0	0.7
T_0107	101.84	4.3	4.3	4.3	0	36.1	0	0.04
T-0104	101.82	4.3	4.3	4.3	0	0	0	0
T_0105	102.22		4.3			36.1		0.01
T_0106	102.22		4.3			18		0.01
T_0108	101.19	4.2			64.8			0.27
T_0109	100.96	4.2			46.5			0.11
T-0111	100.84	4.2			37.4			0.05
T_0112	100.81	4.2			28.1			0.04
T_0113	100.69	4.2			9.2			0
T_0110	100.84	4.2			9.1			0
T_045	102.02	4.3	4.3	4.3	108.3	108.5	90	1.26
T_044	102.01	4.3	4.3	4.3	108.3	108.5	90	1.18
T_043	101.99	4.3	4.3	4.3	108.3	108.5	90	1.12
T_042	101.85	4.3	4.3	4.3	99.3	108.5	90	0.69
T_041	101.7	4.3	4.3	4.3	99.3	108.5	72.1	0.29
T_039	101.6	4.3	4.3	4.3	45.3	37	17.9	0.04
T_036	101.58	4.3	4.3	4.3	9.1	19.2	0	0.01
T_034	101.57	4.2	4.3	4.3	0	0	0	0
T_033	101.57			4.3			9.1	0
T_035	101.86		4.3			19.2		0
T_037	101.18	4.3			18.4			0.01
T_038	101.15	4.2			9.1			0
T_040	101.6	4.3	4.3	4.3	36.6	36.9	36.8	0.04
334	102.04	4.3	4.3	4.3	56.3	19.2	54.4	0.48
322	102	4.3	4.3	4.3	56.3	19.2	54.4	0.39
T_029	101.98	4.3	4.3	4.3	56.3	19.2	54.4	0.36
T_028	101.98	4.3	4.3	4.3	56.3	19.2	54.4	0.36
T_027	101.94	4.3	4.3	4.3	56.3	19.2	54.4	0.28
T_026	101.87	4.3	4.3	4.3	56.3	19.2	36.3	0.17
T_025	101.82	4.3	4.3	4.3	37.2	19.2	36.3	0.12
T_019	101.79	4.3	4.3	4.3	0	19.2	18.2	0.04
T_017	101.77	4.3	4.3	4.3	0	19.2	0	0.01
T_015	101.76	4.2	4.3	4.3	0	0	0	0

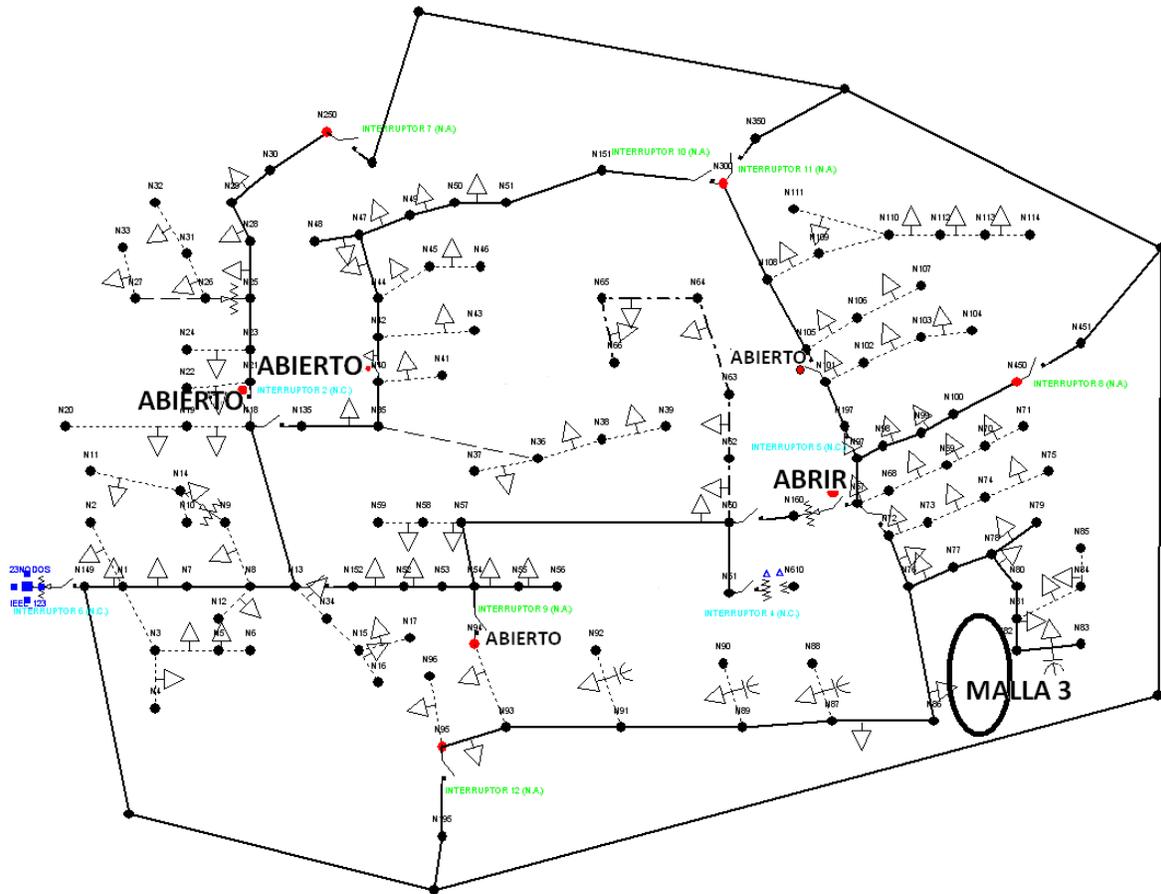
T_013	101.06	4.2			36.9			0.03
T_014	100.99	4.2			18.6			0
T_030	101.67	4.2	4.3	4.3	29	28.4	9.1	0.06
T_031	101.67	4.2	4.3	4.3	29	28.4	9.1	0.06
T_032	101.63	4.2	4.3	4.3	0	0	9.1	0
T_047	101.65	4.2	4.3		19	18.3		0.02
T_048	100.89	4.2			19			0.01
T_049	102.34		4.3			18.3		0
T_050	102.34		4.3			9		0
T_016	102.25		4.3			19.2		0.01
T_018	101.54			4.3			18.2	0.02
T_020	101.2	4.3		4.2	18.6		18.3	0.05
T_021	101.16	4.3		4.2	18.6		0	0.02
T_022	101.41	4.3			18.6			0.01
T_023	100.87			4.2			18.3	0.01
T_024	100.83			4.2			9.1	0
T_02	102.66	4.3	4.3	4.3	237.9	125.5	183.1	17.42
T_03	102.6		4.3			9		0
T_04	102.22			4.3			46.6	0.08
T_05	102.13			4.3			18.1	0.01
T_06	102.13			4.3			28.5	0.03
T_07	102.05			4.3			19.2	0.01
T_08	102.35	4.3	4.3	4.3	220	116.6	136.5	15.01
T_09	102.14	4.3	4.3	4.3	210.9	116.6	136.5	13.54
T_010	102.49		4.3			9		0
T_011	102.01	4.3	4.3	4.3	164.7	107.6	136.5	12.54
T_012	101.83	4.2	4.3	4.3	65.6	28.4	9.1	0.38
T_051	101.66			4.3			46.3	0.05
T_052	101.6			4.3			27.2	0.02
T_053	101.58			4.3			18.2	0.01
T_054	101.58			4.3			9.1	0
T_055	101.82	4.3	4.3	4.3	99.7	79.5	81.1	11.11
T_056	101.82	4.3	4.3	4.3	99.7	79.5	81.1	11.08
T_057	101.66	4.2	4.3	4.3	81.6	79.5	81.1	10.55
T_058	101.59	4.2	4.3	4.3	63.5	79.5	81.1	10.32
T_059	102.23	4.3	0	0	0	0	0	0
T_060	101.55	4.2	4.3	4.3	9.5	9	0	0.01
T_061	101.54	4.2	4.3	4.3	0	9	0	0
T_062	101.55	4.2	4.3	4.3	54.1	70.5	81.1	10.19
T_063	101.96		4.3			18.3		0
T_064	101.96		4.3			9		0

T_065	101.42	4.2	4.3	4.2	54.1	52.2	81.1	9.89
T_0120	101.16	4.2	4.3	4.2	0	0	0	0
T_0121	0	0.5	0.5	0.5	0	0	0	0
T_0122	101.16	4.2	4.3	4.2	45.1	52.2	81.1	9.35
T_0123	100.59	4.2	4.2	4.2	45.1	52.2	62.3	6.57
T_0124	100.25	4.2	4.2	4.2	27.3	52.2	62.3	5.09
T-0125	99.62	4.2	4.2	4.1	27.3	17.9	62.3	2.54
T_0126	99.06	4.2	4.2	4.1	0	0	35.1	0.43
T_066	101.16	4.2	4.3	4.2	0	0	0	0
T_067	102.21	4.3	4.3	4.3	0	0	0	0
T_127	101.66	4.3			46.2			0.08
T_128	100.94	4.2			28.3			0.04
T_129	100.85	4.2			9.3			0
T_130	100.85	4.2			19			0.01

De acuerdo a la tabla anterior no se presentan límites violados por lo que proseguimos a la siguiente etapa en donde se analizara si la red queda en forma radial.

#### **ETAPA 6: ¿LA RED ES RADIAL?**

Ahora procederemos a analizar si la red obtenida por la apertura del interruptor numero 14 queda de forma radial.



**FIGURA 4.24.** Red de 123 nodos de IEEE con interruptor 14 en posición abierta.

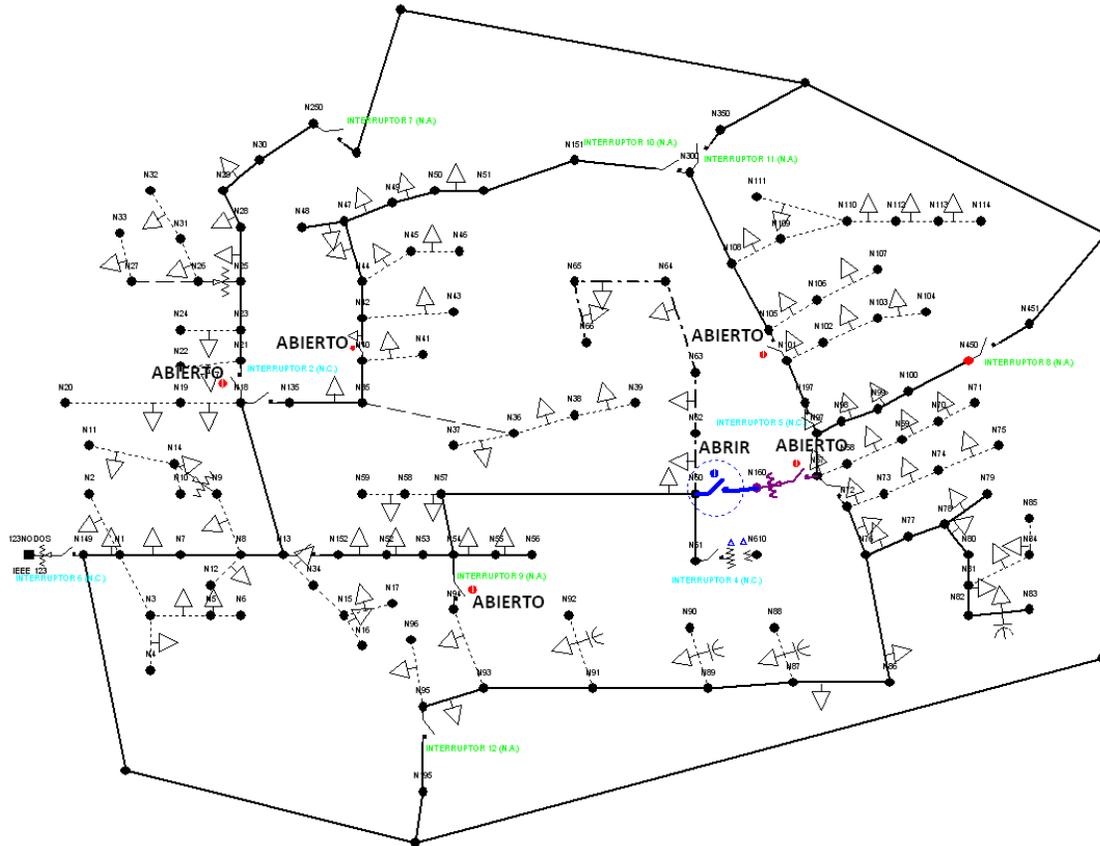
Por medio de la figura anterior se observa que ante la apertura del interruptor número 14, nuestra red sigue sin quedar radial pero por dicha maniobra no se elimina ninguna malla nueva, por lo que el sistema aun no está reconfigurado y se procederá a pasar a la siguiente etapa.

**ETAPA 5: ABRIR EL INTERRUPTOR QUE LLEVE LA MENOR CORRIENTE COMO HA SIDO DETERMINADO POR EL PATRON OPTIMO DE FLUJOS DE LA RED.**

De acuerdo a la tabla obtenida por el patrón óptimo de flujos el siguiente interruptor a abrir es el número 13.

**ETAPA 6: ¿SE VIOLÓ ALGUNA RESTRICCIÓN?**

Como en las etapas anteriores la manera de corroborar si existen restricciones de carga desconectada es mediante la figura 4.25 que se muestra a continuación:



**FIGURA 4.25 Red de 123 nodos de IEEE con interruptor 13 en posición abierta.**

En la figura anterior se puede observar que a consecuencia de la apertura del interruptor número 13, parte del sistema que es mostrado por color morado queda sin conexión por lo que se procede a pasar a la siguiente etapa.

**ETAPA 7: CERRAR EL ULTIMO INTERRUPTOR ABIERTO – ABRIR EL INTERRUPTOR QUE TENGA LA PROXIMA CORRIENTE MAS BAJA COMO HA SIDO DETERMINADO POR EL PATRON OPTIMO DE FLUJOS.**

En este caso de deberá cerrar el interruptor número 13 y se procede a abrir el siguiente interruptor con la corriente más baja el cual es el interruptor número 9.

Ya realizadas las maniobras de cierre y apertura de interruptores se regresa a la etapa de violación de restricciones.

**ETAPA 6: ¿SE VIOLO ALGUNA RESTRICCION?**

En esta etapa se procedió a analizar si alguna restricción ha sido violada por la apertura del interruptor número 9.

Comenzaremos analizando si es que existe alguna desconexión del sistema por la apertura del interruptor número 9, esto lo podemos comprobar por medio de la siguiente figura:

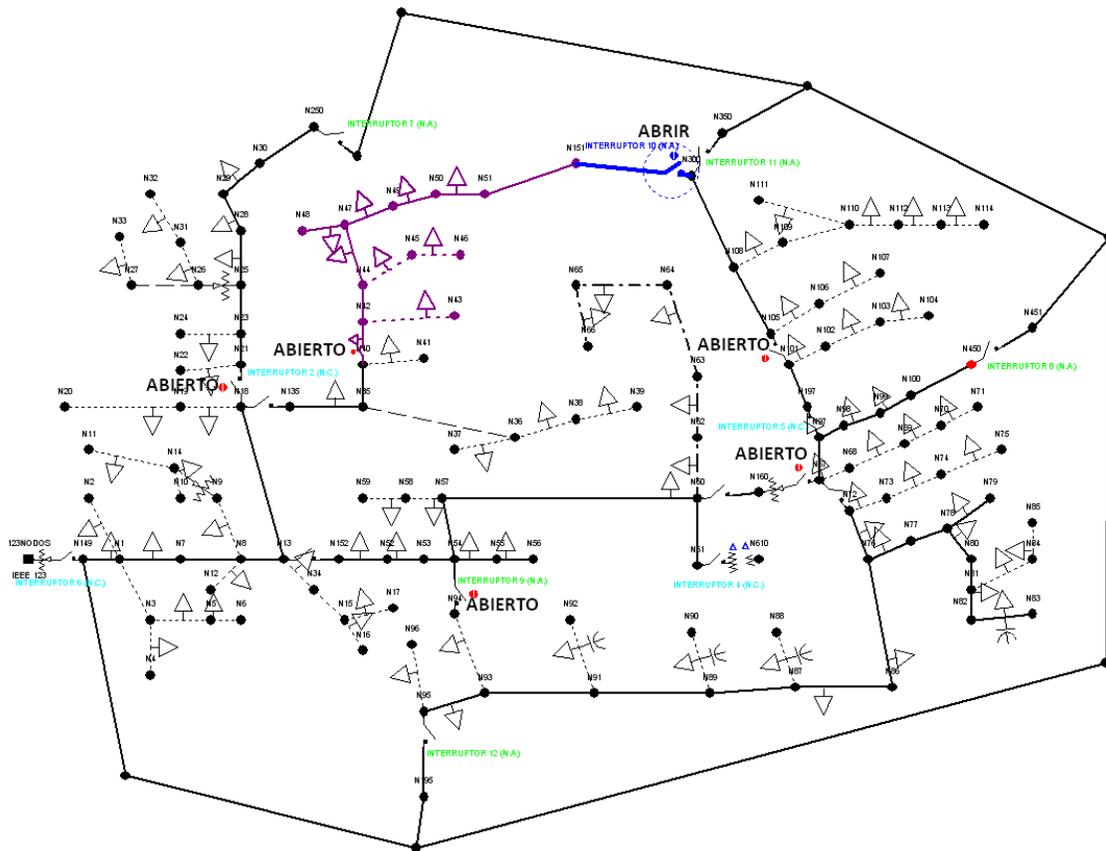


FIGURA 4.26 Red de 123 nodos de IEEE con interruptor 9 en posición abierta.

Se observa en la figura anterior que ante la apertura del interruptor número 9, se presenta desconexión de un área del sistema que es mostrada en color morado.

Por esta razón se llega a la siguiente etapa.

**ETAPA 7: CERRAR EL ÚLTIMO INTERRUPTOR ABIERTO – ABRIR EL INTERRUPTOR QUE TENGA LA PRÓXIMA CORRIENTE MÁS BAJA COMO HA SIDO DETERMINADO POR EL PATRÓN ÓPTIMO DE FLUJOS.**

En este caso se deberá cerrar el interruptor número 9 y se procede a abrir el siguiente interruptor con la corriente más baja, el cual es el interruptor número 2.

Ya realizadas las maniobras de cierre y apertura de interruptores se regresa a la etapa de violación de restricciones.

## ETAPA 6: ¿SE VIOLÓ ALGUNA RESTRICCIÓN?

En esta etapa se procedió a analizar si alguna restricción ha sido violada por la apertura del interruptor número 2.

Comenzaremos analizando si es que existe alguna desconexión del sistema por la apertura del interruptor número 2, esto lo podemos comprobar por medio de la siguiente figura:

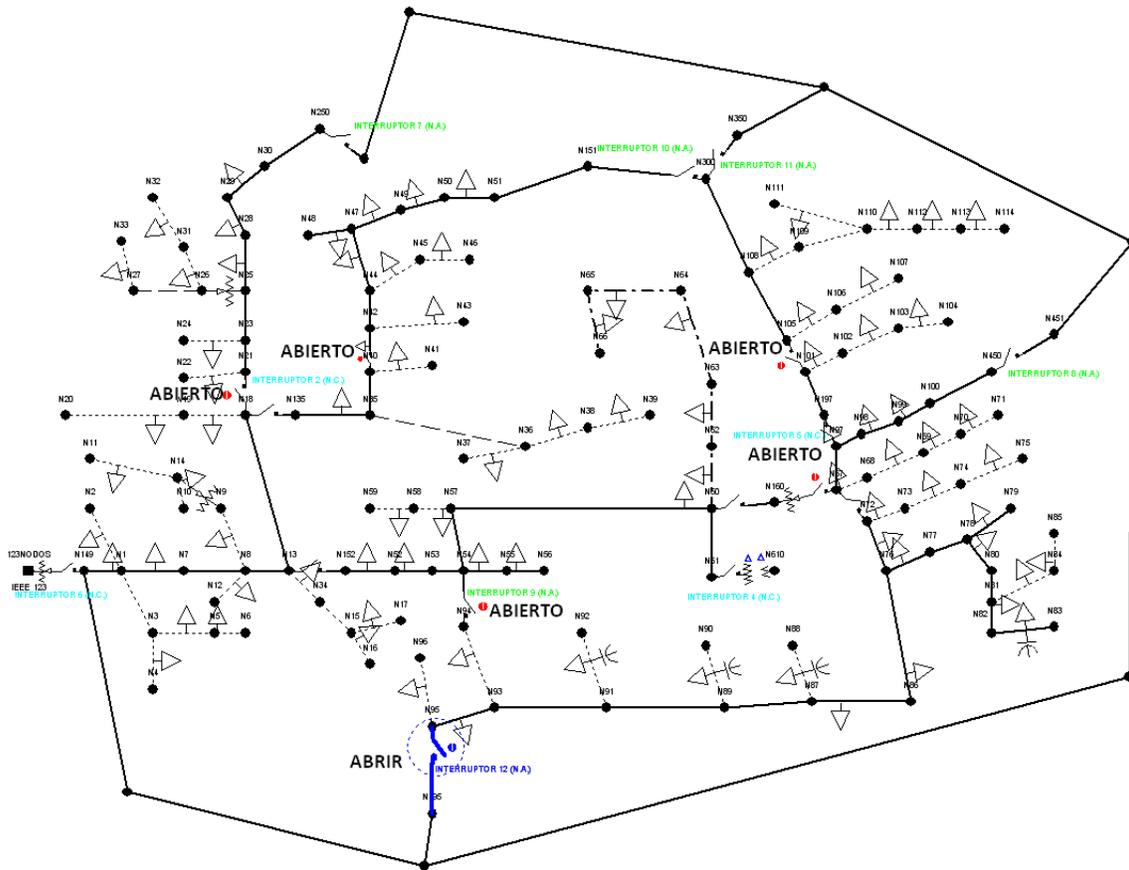


FIGURA 4.27 Red de 123 nodos de IEEE con interruptor 2 en posición abierta.

Como lo indica la figura anterior no se presenta desconexión de carga ante la apertura del interruptor número 2.

Por consiguiente se procedió al análisis de las restricciones de perfil de voltaje y corriente mediante la aplicación de flujos de potencia.

A continuación se muestra la tabla 4.30 de resultados de flujos de potencia, la cual es especificada por tramos del sistema.

**TABLA 4.30: Tabla de resultados de flujos con el interruptor 2 abierto.**

TRAMO	PERFIL DE V.	VA L-N	VB L-N	VC L-N	IA	IB	IC	PERDIDAS(KW)
T_0	102.66	4.3	4.3	4.3	618.7	407.2	498.6	44.23
328	102.66	4.3	4.3	4.3	384.3	285.4	318.4	26.81
331	102.52	4.3	4.3	4.3	384.3	285.4	318.4	24.54
317	102.39	4.3	4.3	4.3	0	0	0	0
T_096	102.4	4.3	4.3	4.3	0	0	0	0
T_097	101.9		4.3			9		0
330	102.39	4.3	4.3	4.3	384.3	285.4	318.4	22.41
332	102.39	4.3	4.3	4.3	384.3	285.4	318.4	22.37
321	102.13	4.3	4.3	4.3	172.8	140.5	186.6	14.4
T_0119	102.11	4.3	4.3	4.3	172.8	140.5	186.6	14.09
T_0118	102.11	4.3	4.3	4.3	172.8	140.5	186.6	14.09
T_0117	101.87	4.3	4.3	4.3	172.8	140.5	186.6	10.12
T_0116	101.8	4.3	4.3	4.2	172.8	140.5	170	8.75
T_0115	101.67	4.3	4.3	4.2	172.8	126.3	170	6.33
T_099	101.62	4.3	4.3	4.2	0	0	45.8	0.14
T_0100	101.62	4.3	4.3	4.2	0	0	45.8	0.14
T_0101	100.85			4.2			45.8	0.09
T_0102	100.77			4.2			36.6	0.06
T_0103	100.67			4.2			18.3	0.02
T_98	101.62	4.3	4.3	4.2	157.8	126.3	133.3	5.06
T_068	101.57	4.3			54.6			0.12
T_069	101.48	4.3			45.5			0.07
T_070	101.38	4.3			27.3			0.03
T_071	101.31	4.3			18.2			0.01
T_072	101.6	4.3	4.3	4.2	118.6	126.3	133.3	4.08
T_073	100.91			4.2			55.5	0.12
T_074	100.79			4.2			37.3	0.05
T_075	100.68			4.2			18.3	0.01
T_076	101.6	4.3	4.3	4.2	118.6	126.3	99.7	3.19
T_077	101.62	4.3	4.3	4.3	77.5	78	76.7	2.29
T_078	101.79	4.3	4.3	4.3	77.5	80.7	76.7	1.87
T_079	101.84	4.3	4.3	4.3	19.1	0	0	0.01
T_080	101.84	4.3	4.3	4.3	80.1	80.7	76.7	1.76
T_081	102.07	4.3	4.3	4.3	80.1	87.1	76.7	1.23
T_082	101.5			4.3			27.3	0.05
T_083	101.36			4.3			18.2	0.01
T_084	102.33	4.3	4.3	4.3	80.1	87.1	82.1	0.62
T_085	102.47	4.3	4.3	4.3	86.5	87.1	82.1	0.32
T_086	101.62	4.3	4.3	4.2	32.9	57.5	21	0.44

T_087	101.58	4.3	4.3	4.3	32.9	49.1	21	0.21
T_088	101.47	4.3			21			0.01
T_089	101.56	4.3	4.3	4.3	18.2	33.2	21	0.09
T_090	101.99		4.3			21.2		0
T_091	101.56	4.3	4.3	4.3	18.2	18.1	21	0.05
T_092	101.29			4.3			21	0.01
T_093	101.55	4.3	4.3	4.3	18.2	18.1	0	0.03
T_094	101.35	4.3			18.2			0.01
T_095	101.53	4.3	4.3	4.3	0	18.1	0	0.01
333	102.13	4.3	4.3	4.3	229.2	163.5	144.2	3.6
318	101.99	4.3	4.3	4.3	172.9	144.3	90	2.04
T_046	101.97	4.3	4.3	4.3	172.9	144.3	90	1.96
T_0114	101.97	4.2	4.3	4.3	64.8	36.1	0	0.7
T_0107	101.79	4.2	4.3	4.3	0	36.1	0	0.04
T-0104	101.77	4.3	4.3	4.2	0	0	0	0
T_0105	102.18		4.3			36.1		0.01
T_0106	102.18		4.3			18		0.01
T_0108	101.13	4.2			64.8			0.27
T_0109	100.9	4.2			46.5			0.11
T-0111	100.79	4.2			37.4			0.05
T_0112	100.75	4.2			28.1			0.04
T_0113	100.63	4.2			9.2			0
T_0110	100.79	4.2			9.1			0
T_045	101.97	4.3	4.3	4.3	108.3	108.5	90	1.26
T_044	101.95	4.3	4.3	4.3	108.3	108.5	90	1.18
T_043	101.94	4.3	4.3	4.3	108.3	108.5	90	1.12
T_042	101.79	4.3	4.3	4.3	99.3	108.5	90	0.69
T_041	101.65	4.3	4.3	4.3	99.3	108.5	72.1	0.29
T_039	101.54	4.2	4.3	4.3	45.3	36.9	17.9	0.04
T_036	101.53	4.2	4.3	4.3	9.1	19.2	0	0.01
T_034	101.52	4.2	4.3	4.3	0	0	0	0
T_033	101.57			4.3			9.1	0
T_035	101.82		4.3			19.2		0
T_037	101.12	4.2			18.4			0.01
T_038	101.09	4.2			9.1			0
T_040	101.54	4.2	4.3	4.3	36.6	36.8	36.7	0.04
334	101.99	4.3	4.3	4.3	56.3	19.2	54.5	0.48
322	101.94	4.3	4.3	4.3	56.3	19.2	54.5	0.39
T_029	101.93	4.3	4.3	4.3	56.3	19.2	54.5	0.36
T_028	101.93	4.3	4.3	4.3	56.3	19.2	54.5	0.36
T_027	101.88	4.3	4.3	4.3	56.3	19.2	54.5	0.28

T_026	101.81	4.3	4.3	4.3	56.3	19.2	36.4	0.17
T_025	101.76	4.3	4.3	4.3	37.2	19.2	36.4	0.12
T_019	101.74	4.3	4.3	4.3	0	19.2	18.2	0.04
T_017	101.72	4.3	4.3	4.3	0	19.2	0	0.01
T_015	101.71	4.2	4.3	4.3	0	0	0	0
T_013	101.06	4.2			36.9			0.03
T_014	100.98	4.2			18.6			0
T_030	101.67	4.2	4.3	4.3	29	28.4	9.1	0.06
T_031	101.67	4.2	4.3	4.3	29	28.4	9.1	0.06
T_032	101.63	4.2	4.3	4.3	0	0	9.1	0
T_047	101.65	4.2	4.3		19	18.3		0.02
T_048	100.89	4.2			19			0.01
T_049	102.34		4.3			18.3		0
T_050	102.34		4.3			9		0
T_016	102.2		4.3			19.2		0.01
T_018	101.48			4.3			18.2	0.02
T_020	101.14	4.3		4.2	18.6		18.3	0.05
T_021	101.1	4.3		4.2	18.6		0	0.02
T_022	101.35	4.3			18.6			0.01
T_023	100.81			4.2			18.3	0.01
T_024	100.77			4.2			9.1	0
T_02	102.66	4.3	4.3	4.3	237.9	125.5	183.1	17.42
T_03	102.6		4.3			9		0
T_04	102.22			4.3			46.6	0.08
T_05	102.12			4.3			18.1	0.01
T_06	102.13			4.3			28.5	0.03
T_07	102.05			4.3			19.2	0.01
T_08	102.35	4.3	4.3	4.3	220	116.6	136.5	15.01
T_09	102.14	4.3	4.3	4.3	210.9	116.6	136.5	13.54
T_010	102.49		4.3			9		0
T_011	102.01	4.3	4.3	4.3	164.7	107.6	136.5	12.54
T_012	101.82	4.2	4.3	4.3	65.6	28.4	9.1	0.38
T_051	101.65			4.3			46.3	0.05
T_052	101.6			4.3			27.2	0.02
T_053	101.58			4.3			18.2	0.01
T_054	101.58			4.3			9.1	0
T_055	101.82	4.3	4.3	4.3	99.7	79.5	81.1	11.11
T_056	101.82	4.3	4.3	4.3	99.7	79.5	81.1	11.08
T_057	101.66	4.2	4.3	4.3	81.6	79.5	81.1	10.55
T_058	101.59	4.2	4.3	4.3	63.5	79.5	81.1	10.32
T_059	102.24	4.3	0	0	0	0	0	0

T_060	101.55	4.2	4.3	4.3	9.5	9	0	0.01
T_061	101.54	4.2	4.3	4.3	0	9	0	0
T_062	101.55	4.2	4.3	4.3	54.1	70.5	81.1	10.19
T_063	101.96		4.3			18.3		0
T_064	101.96		4.3			9		0
T_065	101.42	4.2	4.3	4.2	54.1	52.2	81.1	9.89
T_0120	101.15	4.2	4.3	4.2	0	0	0	0
T_0121	0	0.5	0.5	0.5	0	0	0	0
T_0122	101.16	4.2	4.3	4.2	45.1	52.2	81.1	9.35
T_0123	100.59	4.2	4.2	4.2	45.1	52.2	62.3	6.57
T_0124	100.25	4.2	4.2	4.2	27.3	52.2	62.3	5.09
T_0125	99.62	4.2	4.2	4.1	27.3	17.9	62.3	2.54
T_0126	99.06	4.2	4.2	4.1	0	0	35.1	0.43
T_066	101.15	4.2	4.3	4.2	0	0	0	0
T_067	102.21	4.3	4.3	4.2	0	0	0	0
T_127	101.66	4.3			46.2			0.08
T_128	100.94	4.2			28.3			0.04
T_129	100.85	4.2			9.3			0
T_130	100.85	4.2			19			0.01

A manera de resumen de las condiciones anormales que pueda presentar la red de acuerdo a los datos obtenidos por la corrida de flujos y que fueron mostrados en la tabla anterior, a continuación se muestra una tabla donde se indica los peores casos de sobrecarga, sobretensión y baja tensión.

**TABLA 4.31: Tabla de resumen de condiciones anormales por la apertura del interruptor 2.**

	Condiciones anormales			
	Fase	Conteo	Peor caso	%
Sobrecarga	A	0	T_0	96.28
	B	0	T_0	63.38
	C	0	T_0	77.59
Baja tensión	A	0	IEEE_123	100
	B	0	IEEE_123	100
	C	0	T_0126	98.17
Alta tensión	A	0	T_085	103.76
	B	0	T_085	104.43
	C	0	T_0	103.75

En la tabla mostrada anteriormente se puede observar que el peor caso de sobrecarga se encuentra en el alimentador con una sobrecarga del 96% en la fase A, y aunque este en el tramo o segmento de línea más sobrecarga, no rebasa los límites establecidos.

Para el análisis de baja tensión, se presenta este problema en el tramos 126 con un perfil de 98.17 que es un valor dentro del rango aceptable para la operación del sistema. Y por ultimo para el caso de alta tensión esta se presenta en el tramo 85 con un perfil de 104.43 el cual está permitido de acuerdo a lo establecido de tolerancia de  $\pm 5\%$ .

Por medio de la siguiente tabla se muestran los datos de los reguladores, después de la apertura del interruptor 2.

**TABLA 4.32: Datos de reguladores del sistema con el interruptor 2 en posición abierta.**

# REG.	TRAMO	FASES	CONTROL	TAP. A	TAP. B	TAP. C
REG.1	T_0	ABC	Toma fija	6	6	6
REG. 2	T_020	AC	Toma fija	0		-1
REG. 3	T_067	ABC	Ajustes R&X	2	2	1
REG. 4	T_128	A	Toma fija	-1		

Y por ultimo para la etapa de flujos se muestra la posición de los interruptores hasta el momento con la apertura del interruptor numero 2.

**TABLA 4.33: Datos de interruptores del sistema con apertura únicamente del interruptor 2.**

# INTERRUPTOR	TRAMO	FASES	I NOM (AMP.)	V NOMI. (KV.)	TIPO	POSICION
INT. 1	T_0	ABC	700	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 2	T_096	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Abierto
INT. 3	T_0119	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 4	T_046	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 5	T_029	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 6	T_012	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Abierto
INT. 7	T_030	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 8	T_032	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Abierto
INT. 9	T_045	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 10	T_055	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 11	T_059	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Abierto
INT. 12	T_0121	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 13	T_066	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 14	T_067	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Abierto

INT. 15	T_072	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 16	T_099	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Cerrado
INT. 17	T_0100	ABC	500	4.16	Interruptor seccionador	Abierto

Una vez analizada la etapa de flujos de potencia se continúa con la etapa siguiente:

### ETAPA 8: ¿LA RED ES RADIAL?

La manera de comprobar si nuestra red hasta este paso ha quedado de forma radial es mediante el análisis de la siguiente figura:

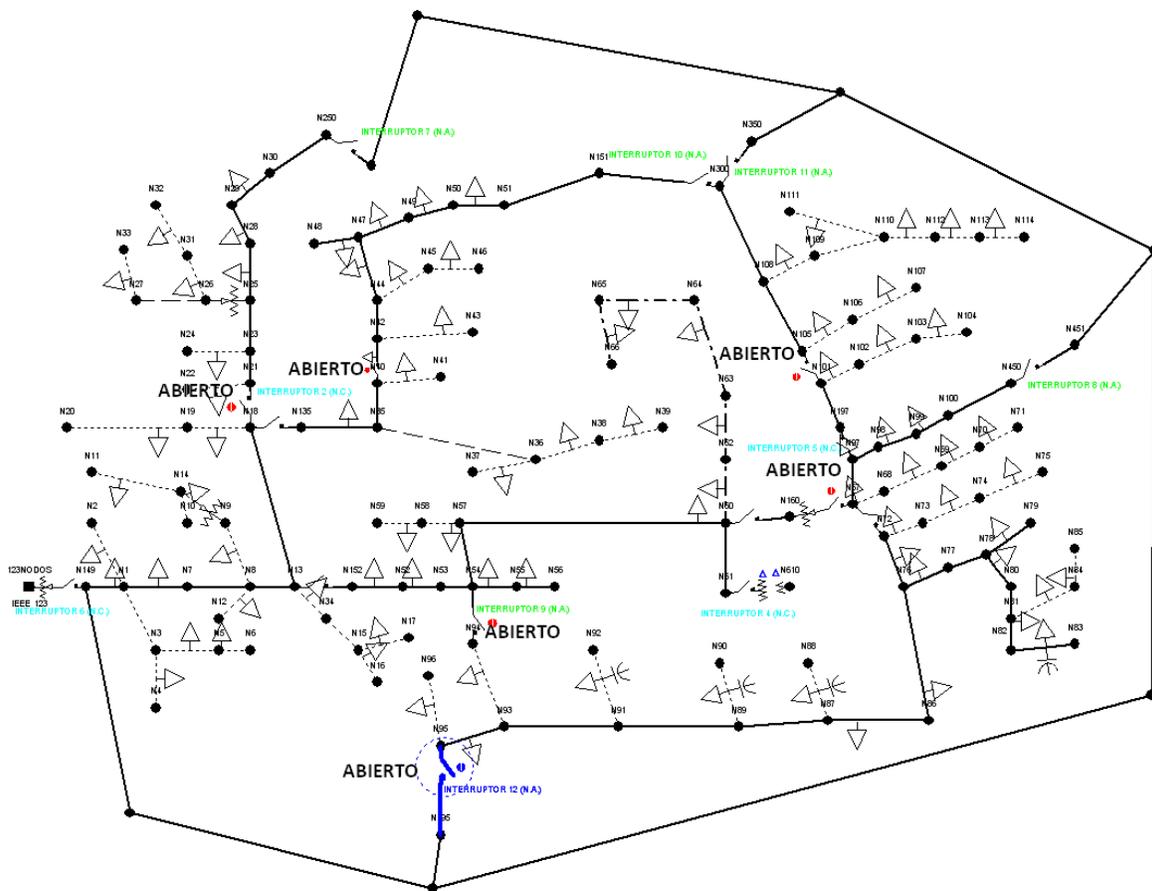


FIGURA 4.28 Red de 123 nodos de IEEE con interruptor 2 en posición abierta

Observando la figura pasada y los interruptores que han sido abiertos, tenemos que la última malla que presentaba nuestro sistema ha sido abierta por este motivo el sistema ya ha quedado de forma radial y hasta este paso se puede decir que el sistema está reconfigurado ya que mantiene los límites del sistema establecidos y además reduce las pérdidas resistivas en la línea.

En conclusión tenemos que hasta la apertura del interruptor número 2, es como se cumplió con las restricciones del sistema, como no violar límites de desconexión de carga, perfil de voltaje y ampacidad, además de haberse cumplido con el objetivo principal de la metodología que es reducir pérdidas resistivas en la línea las cuales se pueden ver en la siguiente tabla.

**Tabla 4.34 resumen de carga con el sistema ya reconfigurado**

Resumen de carga				
	Carga total			
	kW	kVAR	kVA	FP(%)
Potencia desde las fuentes	3588.61	1244.31	3798.22	94.48
Carga leída (no regulada)	3490	1925	3985.69	87.56
Carga utilizada (regulada)	3542.88	1955.8	4046.87	87.55
Condensadores shunt (regulados)		803.95		
Reactancias shunt(reguladas)		0		
Motores de inducción	0	0	0	0
Motores síncronos	0	0	0	0
Generadores síncronos	0	0	0	0
Generadores de inducción	0	0	0	0
Generadores con acoplamiento electrónico	0	0	0	0
Potencia a otras redes	0	0	0	0
Capacitancia del conductor		1.2		
Pérdidas	45.73	93.66	104.23	43.88

En la tabla anterior se puede observar por medio del recuadro en rojo las pérdidas finales de nuestro sistema ya reconfigurado las cuales son de 45.73 KW que son por mucho mejor a las iniciales que teníamos de 102.65 KW con el sistema en condiciones normales de operación.

## **CAPITULO 5**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Con la implementación de la metodología de la referencia [referencia], se concluye que para una reconfiguración pueda llevarse a cabo en un sistema eléctrico, este debe de contener los interruptores necesarios para dicha reconfiguración, además de contar con trayectorias factibles que nos permitan el cambio de alimentación desde la fuente a otras partes del sistema que puedan quedar fuera de servicio por alguna maniobra interruptiva.

## REFERENCIAS

- [1].D. Shirmohammadi, H. W. Hong, “Reconfiguration of Electric Distribution Network for Resistive Line Loss Reduction”, *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 4, No. 2, April 1989.
- [2].S. Civanlar, J. J. Grainger, H. Yin, S. S. H. Lee, “Distribution Reconfiguration For Loss Reduction”, *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 3, No. 2, May 1988.
- [3].M. E. Baran, F. F. Wu, “Network Reconfiguration in Distribution Systems For Loss Reduction and Load Balancing”, *IEEE/PES 1988 Summer Meeting*, Portland, Oregon, July 1988.
- [4].J. H. Tovar, F. Ruiz. P., M. Mora M., “Automatización de Sistemas Eléctricos de Distribución”, *artículo enviado a la RVP 2001 para su presentación*.
- [5].Chen–Ching Liu, Seung Jae Lee, S. S. Venkata, “An Expert System Operational Aid For Restoration and Loss Reduction of Distribution Systems”, *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 3, No, 2, May 1988.
- [6].Tim Taylor, David Lubkeman, “Implementation of Heuristic Search Strategies For Distribution Feeder Reconfiguration”, *IEEE Transactions On Power Delivery*, Vol. 5, No. 1, January 1990.
- [7].V. Borozan, N. Rajacovic, “Minimum Loss Distribution Network Configuration: Analyses And Management”, *Conference Publication No. 438*, IEE June 1997.
- [8].Simulador comercial CYMDIS, [www.cyme.com](http://www.cyme.com)

[9].R. J. Sarfi, M. M. A. Salama, A. Y Chikhani, "Distribution System Reconfiguration For Loss Reduction: An Algorithm Based On Network Partitioning Theory", *IEEE Transaction On Power Systems*, Vol. 11, No. 1, February 1996.