

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

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

*“MINIMIZACIÓN DE PÉRDIDAS EN REDES DE
DISTRIBUCIÓN MEDIANTE RECONFIGURACIÓN”.*

TESIS

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

PRESENTA:

ING. JOSÉ RUBÉN ADÁN GUERRERO.

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:

ADÁN GUERRERO JOSÉ RUBÉN
Apellido paterno materno nombre(s)

Con registro:

A	0	7	0	4	0	8
---	---	---	---	---	---	---

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

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

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

DR. JAIME ROBLES GARCÍA

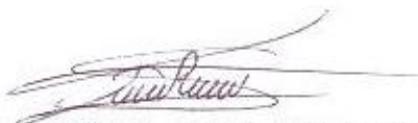


CARTA CESIÓN DE DERECHOS

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

DEDICATORIAS

A DIOS: Por ser mi amigo y acompañarme en todo momento, ayudarme y no desampararme en los momentos difíciles de mi vida, así como por permitirme llegar a este momento de mi vida en compañía de mi familia la cual quiero mucho y una persona maravillosa la cual siempre te pedí poder conocer y no me fallaste, además por si fuera poco por protegerme de esas situaciones de peligro en que te necesite.

A MIS PADRES: Vicente Adán y Felisa Guerrero por darme la vida y brindarme su apoyo, comprensión y consejos a lo largo de mi vida, por todos los sacrificios realizados para que nunca me falte nada ni a mí ni a mis hermanos y por estar al pendiente de mí a cada momento.

A MIS HERMANOS: Luis Miguel y Diana que en todo momento me apoyaron en mis deseos, por sus consejos, pero sobre todo por su ayuda y compañía brindada a lo largo de mi vida lo cual no pago con nada.

A MI NOVIA: Sonia Ivet por todos los momentos maravillosos y difíciles que hemos compartido, por su ayuda y consejos para la realización de esta tesis y por estar a mi lado y brindarme lo mejor de sí a cada momento.

A MIS ABUELITOS

PATERNOS: Vicente Adán (Q.E.P.D.) y Paula García (Q.E.P.D.) por brindarme su amor y cariño, lo cual llevo en mi corazón, así como por darle la vida al padre maravilloso que tengo y apoyar a mi familia siempre.

A MIS ABUELITOS

MATERNOS: Alberto Guerrero y Eufrocina Ibarra (Q.E.P.D.) por el cariño brindado en esos pocos pero inolvidables momentos que convivimos y sobre todo por brindarme a la mejor mamá que pude tener.

A MI TÍO: Rubén Adán (Q.E.P.D.) por los momentos divertidos y alegres compartidos, por los consejos y uno que otro regaño brindado y por la alegría transmitida a mi familia y a todas las personas que te conocieron.

AGRADECIMIENTOS

A MI ASESOR: Dr. Ricardo O. A. Mota Palomino por su paciencia y tiempo dedicado a mi persona para la realización de esta tesis, así como por su apoyo y amistad brindada.

AL DR. MIGUEL J. G. Por su amistad y explicaciones brindadas en diversas ocasiones.

AL JURADO: Por sus atinados consejos y recomendaciones en esta tesis.

A LA SEPI ESIME: Por permitirme crecer en mi formación académica.

A MIS COMPAÑEROS DE SEMESTRE: Por su ayuda y explicaciones brindadas, además de su compañía.

RESUMEN

Esta tesis se enfoca a la reconfiguración de redes de distribución bajo condiciones normales de operación, esta reconfiguración del sistema bajo condiciones normales de operación se realiza con el objetivo de reducir pérdidas resistivas en el sistema.

La metodología aplicada en esta tesis es la propuesta por el artículo Reconfiguración de Redes Eléctricas de Distribución para Reducir Pérdidas Resistivas en las líneas+[1]. Tal como lo indica el título del artículo su propósito es el reducir pérdidas resistivas en las líneas de una red de distribución, mediante operaciones interruptivas seleccionadas por el método, además de que así se puede lograr una reducción considerable de costos de energía pérdida en las líneas debido a su resistencia.

El proceso completo de esta metodología empieza con la solución de flujos de potencia de la red que resulta de la operación de cierre de todos los interruptores de la red, para posteriormente abrir el interruptor que acarree la menor corriente, lo cual se determina por un proceso de ordenamiento de corrientes acarreada por los interruptores (POF), este proceso es repetido hasta que la red llegue a ser radial y no violar ninguna restricción (carga sin conectar, perfil de voltaje y ampacidad).

ABSTRACT

This thesis focuses on the reconfiguration of distribution networks under normal operating conditions, this reconfiguration under normal operating conditions is performed in order to reduce resistive losses in the system.

The methodology applied in this thesis is the one proposed by the article ~~%~~Reconfiguration of Electric Distribution Networks to Reduce Resistive Losses in Line+ [1]. As indicated by the title of the article, its aim is to reduce the resistive losses in the lines of a distribution network through breaker operations. These breaker are selected by the method and thus achieve a considerable reduction in costs of energy lost in the lines.

The process of this methodology begins with the solution of power flows, resulting from the operation of closing all switches in the network, then opening the switch which causes the least current which has been determined by the optimal flow pattern caused by the switches (POF), this process is repeated until the network becomes radial and there are not violations to any constraint (no load disconnected, feasible voltage profile and ampacity).

ÍNDICE GENERAL

Dedicatorias	IV
Agradecimientos	V
Resumen	VI
Abstract	VII
Indicé general	VIII
Indicé de figuras	XI
Índice de tablas	XIII
Glosario de términos	XVI

CAPÍTULO 1: INTRODUCCION

1.1 Introducción al problema	1
1.1.1 Pérdidas técnicas	1
1.1.2 Pérdidas no técnicas	2
1.2 Estado del arte	2
1.3 Objetivo	4
1.4 Justificación	4
1.5 Aportaciones de la tesis	5
1.6 Contenido global de la tesis	6

CAPÍTULO 2: LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

2.1 Topología de los sistemas de distribución	7
---	---

2.2 Estados de un sistema de distribución	10
2.2.1 Transiciones de estado	11
2.3 Reconfiguración	12
2.3.1 Criterios de la reconfiguración	12
2.4 Restauración	13
2.4.1 Factores de restauración	15

**CAPÍTULO 3:
METODOLOGÍA PARA REDUCIR PÉRDIDAS**

3.1 Formulación del problema	16
3.2 Recopilación bibliográfica	17
3.3 Selección y justificación del método	20
3.4 Descripción del método de reconfiguración	21

**CAPÍTULO 4:
PRUEBAS E IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA**

4.1 Introducción	25
4.2 Descripción del sistema de prueba	25
4.3 Maniobras del sistema reconfigurado	27
4.4 Flujos de potencia	33
4.5 Implementación de la metodología	39

**CAPÍTULO 5:
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1 Conclusiones	107
5.2 Recomendaciones	108
5.3 Trabajos futuros	108

REFERENCIAS

Referencias	110
-------------	-----

APENDICES

Apéndice A	113
Apéndice B	122
Apéndice C	131

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Pérdidas típicas en un sistema de distribución de potencia.	4
Figura 1.2	Pérdidas que se presentan en los sistemas de distribución.	4
Figura 2.1	Estados de operación de un sistema de distribución.	7
Figura 2.2	Etapas de la restauración.	14
Figura 3.1	Diagrama de flujo de la metodología.	22
Figura 4.1	Alimentador primario de distribución de 123 nodos de IEEE.	26
Figura 4.2	Dibujo del sistema reconfigurado.	29
Figura 4.3	Sistema de 123 nodos de IEEE modificado para reconfiguración.	31
Figura 4.4	Red de 123 nodos modificada, con interruptores NA en posición cerrada.	42
Figura 4.5	Red de 123 nodos de IEEE con el interruptor del tramo T_0121 en posición abierta.	51
Figura 4.6	Red de 123 nodos de IEEE con el interruptor del tramo T_034 en posición abierta.	53
Figura 4.7	Red de 123 nodos de con todos los interruptores en posición cerrada e indicando mallas.	60
Figura 4.8	Red de 123 nodos de IEEE con el interruptor del tramo T_034 en posición abierta e indicando mallas.	62
Figura 4.9	Red de 123 nodos de IEEE con el interruptor del tramo T_0104 en posición abierta.	65
Figura 4.10	Red de 123 nodos de IEEE con el interruptor del tramo T_0104 en posición abierta e indicando mallas.	68

Figura 4.11	Red de 123 nodos de IEEE con el interruptor del tramo T_015 en posición abierta.	71
Figura 4.12	Red de 123 nodos de IEEE con el interruptor del tramo T_015 en posición abierta e indicando mallas.	73
Figura 4.13	Red de 123 nodos de IEEE con el interruptor del tramo T_099 en posición abierta.	76
Figura 4.14	Red de 123 nodos de IEEE con el interruptor del tramo T_030 en posición abierta.	78
Figura 4.15	Red de 123 nodos de IEEE con el interruptor del tramo T_059 en posición abierta.	80
Figura 4.16	Red de 123 nodos de IEEE con el interruptor del tramo T_059 en posición abierta e indicando mallas.	83
Figura 4.17	Red de 123 nodos de IEEE con el interruptor del tramo T_067 en posición abierta.	86
Figura 4.18	Red de 123 nodos de IEEE con el interruptor del tramo T_067 en posición abierta e indicando mallas.	89
Figura 4.19	Red de 123 nodos de IEEE con el interruptor del tramo T_066 en posición abierta.	92
Figura 4.20	Red de 123 nodos de IEEE con el interruptor del tramo T_072 en posición abierta.	94
Figura 4.21	Red de 123 nodos de IEEE con el interruptor del tramo T_029 en posición abierta.	96
Figura 4.22	Red de 123 nodos de IEEE con el interruptor del tramo T_0119 en posición abierta.	98
Figura 4.23	Sistema reconfigurado.	105

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Clasificación de causas que ocasionan fallas.	7
Tabla 4.1	Tabla de maniobras de conmutación para la reconfiguración del sistema.	28
Tabla 4.2	Tabla de resumen de la red para el sistema reconfigurado.	30
Tabla 4.3	Datos de interruptores trifásicos.	32
Tabla 4.4	Datos de segmentos de línea agregados.	32
Tabla 4.5	Reporte de datos de cables del sistema.	33
Tabla 4.6	Reporte de flujos por tramos del sistema.	33
Tabla 4.7	Resumen de carga del sistema.	37
Tabla 4.8	Datos de reguladores del sistema de prueba en condiciones normales de operación.	38
Tabla 4.9	Datos de capacitores del sistema de prueba en condiciones normales de operación.	38
Tabla 4.10	Datos de los interruptores del sistema en condiciones normales de operación.	38
Tabla 4.11	Relación de interruptores.	40
Tabla 4.12	Tabla de condiciones anormales de la red con todos los interruptores cerrados.	43
Tabla 4.13	Tabla de interruptores de la red.	43
Tabla 4.14	Tabla de datos de nodos de la red con todos los interruptores cerrados.	44
Tabla 4.15	Tabla de reguladores de la red.	48

Tabla 4.16	Tabla de corrientes de los interruptores de la red.	48
Tabla 4.17	Tabla de patrón óptimo de flujos.	49
Tabla 4.18	Tabla de condiciones anormales de la red.	54
Tabla 4.19	Tabla de interruptores de la red.	54
Tabla 4.20	Tabla de datos de nodos de la red.	55
Tabla 4.21	Tabla de reguladores de la red.	59
Tabla 4.22	Tabla de corrientes de los interruptores de la red.	63
Tabla 4.23	Tabla de patrón óptimo de flujos.	64
Tabla 4.24	Tabla de condiciones anormales de la red.	66
Tabla 4.25	Tabla de datos de interruptores de la red.	66
Tabla 4.26	Tabla de datos de interruptores de la red.	69
Tabla 4.27	Tabla de patrón óptimo de flujos de la red.	70
Tabla 4.28	Tabla de condiciones anormales de la red.	72
Tabla 4.29	Tabla de datos de interruptores de la red.	72
Tabla 4.30	Tabla de corrientes de interruptores de la red.	74
Tabla 4.31	Tabla de patrón óptimo de flujos de la red.	75
Tabla 4.32	Tabla de condiciones anormales de la red.	81
Tabla 4.33	Tabla de datos de interruptores de la red.	81
Tabla 4.34	Tabla de corrientes de interruptores de la red.	84
Tabla 4.35	Tabla de patrón óptimo de flujos de la red.	85
Tabla 4.36	Tabla de condiciones anormales de la red.	87

Tabla 4.37	Tabla de datos de interruptores de la red.	87
Tabla 4.38	Tabla de corrientes de interruptores de la red.	90
Tabla 4.39	Tabla de patrón óptimo de flujos de la red.	91
Tabla 4.40	Tabla de condiciones anormales de la red.	99
Tabla 4.41	Tabla de datos de interruptores de la red.	99
Tabla 4.42	Tabla de datos de nodos de la red.	100
Tabla 4.43	Tabla de reguladores de la red.	103

GLOSARIO DE TERMINOS

POF:	Patrón Óptimo de Flujos.
EDP:	Electricidade de Portugal.
KEPCO:	Korea Electric Power Corporation.
RECI:	Rural Electrification Corporation of India.
RRED:	Reconfiguración de Redes Eléctricas de Distribución.
IEEE:	The Institute of Electrical and Electronics Engineers.
KV:	Kilo volts.
KVA:	Kilo volts ampers.
KVAR:	Kilo volts ampers reactivos.
KW:	Kilo watts.
Ft:	Pies.
NA:	Normalmente abierto

INTRODUCCIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN AL PROBLEMA

Las pérdidas de potencia en la entrega de energía a los consumidores representa una derrama económica considerable para las empresas suministradoras, por lo que es de suma importancia poder cuantificar sus consecuencias con el objetivo de establecer medidas de corrección que permitan tener un mejor control de dichas pérdidas.

Un control deficiente de las pérdidas que se presentan en un sistema de distribución tiene principalmente dos consecuencias, estas son, el deterioro de las instalaciones y el deterioro de los equipos lo que conlleva a inversiones para poder renovar aquellas partes del sistema que debido a las pérdidas no tienen buena operación o que presentan un deterioro considerable, como el caso de los cables en el que una gran cantidad de energía disipada provoca un aumento mayor en su resistencia eléctrica ocasionando severas caídas de tensión con lo que la compañía se ve obligada a sobredimensionar el sistema con la finalidad de soportar el incremento de la demanda, también la presencia de altas pérdidas en la red de distribución provoca una falta de ingresos por la energía no facturada que repercute en un aumento en las tarifas de los usuarios.

1.1.1 Pérdidas técnicas

Estas pérdidas se presentan por las condiciones en las que se encuentran las instalaciones y del manejo de la potencia eléctrica que se da en ellas, la causa de que este tipo de pérdidas ocurra es por la circulación de la corriente eléctrica a través de los elementos del sistema por lo que también se les conoce como pérdidas I^2R o por efecto Joule.

Debido a la resistencia asociada con los materiales de los que están constituidos cada uno de los componentes del sistema, este tipo de pérdidas están presentes a lo largo de toda la red, desde la subestación de distribución hasta los servicios de acometida de los usuarios. Dado que las pérdidas técnicas están en función de los materiales, la expresión general para poder calcular las pérdidas en watts es la siguiente:

$$P = (I)^2 (R) \quad (1.1)$$

Donde:

I = Corriente que depende de la carga o demanda del sistema.

R = Resistencia eléctrica que existe entre los puntos de entrega y recepción.

Como se aprecia en la ecuación anterior las pérdidas se incrementan en forma cuadrática con respecto al aumento de la corriente, dicho de otra manera, las pérdidas eléctricas se elevan con el cuadrado del aumento de la carga, en caso de presentarse un aumento considerable en la demanda se pueden tener pérdidas bastante elevadas si no se tiene un control adecuado de estas.

1.1.2 Pérdidas no técnicas.

Existe otro tipo de pérdidas llamadas no técnicas, estas se puede obtener al calcular el balance de energía del sistema es decir, son la diferencia entre las pérdidas totales en el sistema y aquellas calculadas dentro de las consideradas como pérdidas técnicas, aunque no son pérdidas eléctricas propiamente dichas, representan un gasto para la compañía suministradora, ya que es energía que no se factura. La principal causa de este tipo de pérdidas es el uso de forma ilícita de la energía por parte de los usuarios que al tratar de ahorrarse dinero al no pagar la energía, se conectan a la red en forma ilegal, lo que a su vez puede llevar a conexiones y empalmes no adecuados que también son causa de pérdidas eléctricas [6].

Se puede tomar, a las condiciones socioeconómicas de los usuarios como la parte mas importante en este tipo de prácticas por lo que se generan programas orientados a reducir el robo de energía que contemplan aspectos como inspecciones y revisiones continuas a los usuarios y el cuidado de regularizar a aquellos asentamientos irregulares que también consumen energía [7].

Puesto que este tipo de pérdidas no se tratan en este trabajo, cuando se hable de pérdidas se dará por entendido que se referencia a las pérdidas técnicas.

1.2 ESTADO DEL ARTE

El problema de las pérdidas resistivas en las líneas de los sistemas de distribución ha cobrado importancia en la actualidad por la necesidad de ahorrar energía dado los costos que se tiene en el consumo de combustible para la generación así como la razón de hacer más rentables y eficientes los sistemas eléctricos de distribución actualmente existentes.

Así se tiene por ejemplo en Portugal, la Electricidade de Portugal (EDP) en conjunto con el Instituto Superior Técnico, desarrollo de 1992 a 1994 una herramienta computacional llamada DPLAN para el apoyo en la planeación de la operación de los sistemas de distribución. Dicha herramienta se basa en encontrar

los perfiles de carga más confiables y con menos pérdidas a través de la evaluación de miles de alternativas de apertura y cierre de interruptores por medio de estudios de flujos de potencia, generando varias posibles soluciones, para que el operador del sistema de distribución seleccione aquella solución que es mejor de acuerdo a su experiencia [10].

Por su parte la compañía Korea Electric Power Corporation (KEPCO) le ha llevado los últimos 10 años reducir sus pérdidas técnicas dentro de las cuales registro índices de pérdidas del 18.17% al principio y de 7.4% al final, lo cual se logró a través de uniformar el voltaje primario a 22.9 KV, reemplazando instalaciones viejas, reforzando las líneas de distribución, visitas a los sitios de alto consumo para mediciones de prueba, promoción y desarrollo de transformadores de pérdidas bajas y mejoras en las caídas de voltaje [11].

Por otro lado en la India en 1993 se investigó el efecto de las pérdidas en sus sistemas de distribución que ocasionan los transformadores, encontrando que alrededor de 5% de toda la energía generada son pérdidas en transformadores, instituyendo en 1994 un programa piloto a través de la Rural Electrificación Corporation of India (RECI) que consistió en la instalación de 3000 transformadores de metal amorfo subsidiando la diferencia en costos con respecto a los transformadores convencionales, lo que inició un aumento en la producción de tales transformadores y que debido a la alta eficiencia de los transformadores de núcleo amorfo se espera hoy en día se tenga mayor aplicación en las redes de distribución logrando ahorros considerables de energía [12].

En los Estados Unidos la Tennessee Valley Public Power Association en 1994 y la American Public Power Association en 1997 han hecho manuales y guías de operación para el adecuado control de las pérdidas técnicas, basándose en el reconocimiento de los principales componentes productores de pérdidas de un sistema de distribución y en estudios a valor presente así como en la experiencia de los operadores de este tipo de redes.

También han hecho estudios registrando el valor de las pérdidas técnicas en diferentes sistemas de distribución, los resultados se muestran en la figura 1.1 y 1.2 [13,14].

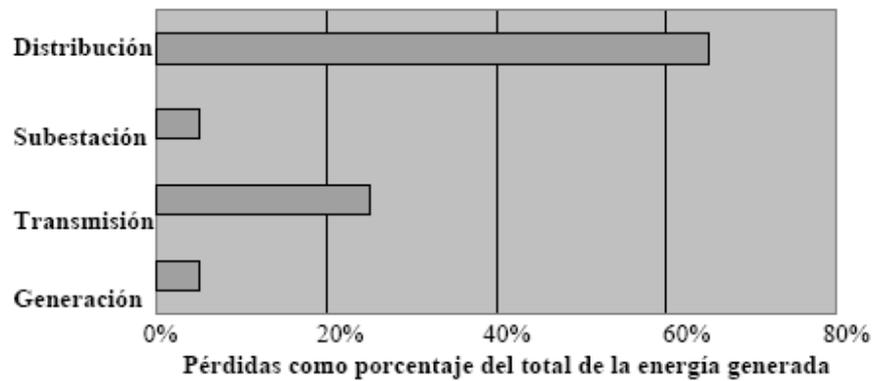


Figura 1.1. Pérdidas típicas en un sistema eléctrico de potencia.

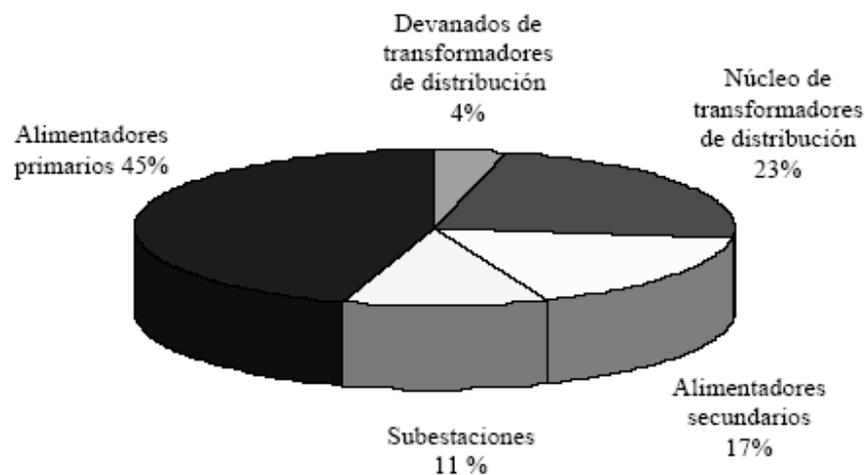


Figura 1.2. Pérdidas que se presentan en los sistemas de distribución.

1.3 OBJETIVO

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

1.4 JUSTIFICACIÓN

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. En la actualidad las compañías encargadas del sistema eléctrico mexicano, no le ha dado la importancia requerida a la operación y planeación de los sistemas eléctricos de distribución en voltajes primarios como (34.5KV, 23KV y 13.8KV) en lo que se refiere a redes ya existentes desde el punto de vista de la minimización de pérdidas técnicas que debido al aumento de demanda, lo cual representa la suma de nuevas cargas al sistema eléctrico, aunado a la llegada de nuevas tecnologías que provocan con el tiempo, la operación ineficiente del sistema de distribución y por consecuencia el aumento excesivo de las pérdidas.

Debido a que las pérdidas representan un gasto económico, el problema de las pérdidas se vuelve de principal importancia por lo que se debe estudiar y resolver a la brevedad. Además de que al reducir las pérdidas se ganan otros beneficios como el tiempo de vida de los equipos, mejoramiento en el perfil de voltaje, corrección del factor de potencia, mayor seguridad en la operación de las redes o sistemas así como el aspecto ambiental ya que la reducción de pérdidas se traduce en ahorro de combustibles necesarios para la generación de la energía eléctrica que además de ser caros e irrenovables dichos combustibles, estos producen partículas contaminantes al medio ambiente.

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.

1.5 APORTACIONES DE LA TESIS

En esta tesis se propone una metodología de minimización de pérdidas resistivas en las líneas de un sistema de distribución, para la reducción de costos de energía debido a estas pérdidas, esto se realiza mediante un procedimiento heurístico que evalúa las principales restricciones de un sistema eléctrico de distribución como son: que toda la carga debe mantenerse conectada, no violar límites de voltaje y corriente y que la configuración del sistema final debe quedar radial.

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 mediante su aplicación y por ende reducir los costos de energía ocasionados por las pérdidas en las líneas.

1.6 CONTENIDO GLOBAL DE LA TESIS

Esta tesis está conformada por 5 capítulos, en los cuales se describe la metodología propuesta, así como su aplicación y resultados obtenidos, también se anexan 3 apéndices, los cuales muestran datos y resultados del sistema de prueba aplicado en esta metodología.

En el capítulo 1, se muestra una introducción al problema, una breve descripción de las pérdidas, estado del arte, objetivo, justificación y aportaciones de la tesis.

En el capítulo 2, se describe brevemente a los sistemas eléctricos de distribución así como la reconfiguración y restauración de estos sistemas.

En el capítulo 3, se plantea la formulación, selección y descripción del método de reconfiguración aplicado en esta tesis.

En el capítulo 4, se muestra la descripción e implementación del sistema de prueba, así como las pruebas y resultados de la metodología aplicada.

En el capítulo 5, están contenidas las conclusiones y recomendaciones de esta tesis.

En el apéndice A se muestran los datos del sistema de prueba, aplicado a la metodología propuesta.

En el apéndice B se describe la reconfiguración realizada por el simulador CYMDIST así como los resultados de esta.

En el apéndice C se muestra los resultados obtenidos de las maniobras de apertura de los interruptores.

CAPÍTULO 2

LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

2.1 TOPOLOGÍA DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

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, seccionadores, 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 2.1 [15], en donde cada columna de la tabla representa una clasificación diferente a las otras columnas.

Tabla 2.1 Clasificación de causas que ocasionan fallas.

CLIMA	VARIOS	ELEMENTOS DEL SISTEMA	OPERACIÓN DEL SISTEMA
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:

CLIMA	VARIOS	ELEMENTOS DEL SISTEMA	OPERACIÓN DEL SISTEMA
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 [16,17]:

- 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 facilitará 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 [18,7].

Dichos 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 una facilidad de 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 [19,20].

Dichos centros de control, ante la ocurrencia de una falla en la red de distribución, se encargaran 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.

2.2 ESTADOS DE UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

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 2.1 [21,25].

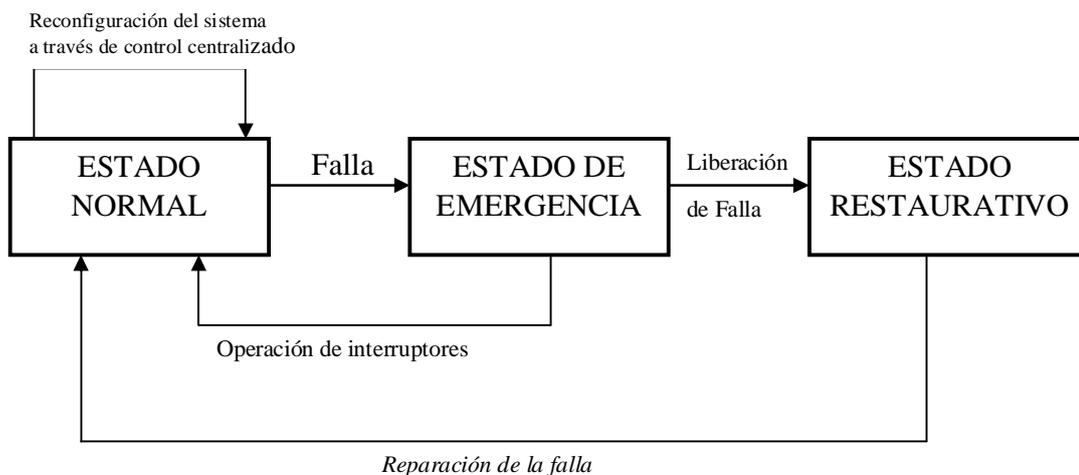


Figura 2.1. Estados de operación de un sistema de distribución.

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

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.

2.2.1 Transiciones de Estado

Se entiende 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 seccionadores 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.

2.3 RECONFIGURACIÓN

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 [25].

2.3.1 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.

2.4 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 [25]:

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 2.2, presenta un diagrama en el cual se muestra las etapas para llevar a cabo una restauración de servicio producida por un corte de energía [25].



Figura 2.2. Etapas de la restauración.

2.4.1 Factores de Restauración

Aunque las etapas de restauración mostradas en la figura 2.2 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 [3,6,5,25].

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.

METODOLOGÍA PARA REDUCIR PÉRDIDAS

3.1 FORMULACIÓN 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.

Una vez planteado y entendido el problema de la reconfiguración de redes de distribución 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 estos métodos se selecciono el método de reconfiguración a aplicar en esta tesis.

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 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.

3.2 RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA.

ARTÍCULO 1

DISTRIBUTION FEEDER RECONFIGURATION FOR SERVICE RESTORATION AND LOAD BALANCING+

En este artículo se presentan dos metodologías 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 [22].

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 RESTAURACIÓN

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 lo mejor posible en base a sus conocimientos y experiencia en los sistemas de distribución.

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.
- 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.

ARTÍCULO 2

DISTRIBUTION FEEDER RECONFIGURATION FOR OPERATION COST REDUCTION+

Este artículo desarrolla 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 [23].

Para el desarrollo propone primeramente que es necesario tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- Solo contempla la operación de interruptores controlados remotamente.
- Considerar un límite de operaciones de interrupción.

- El objetivo es reducir el costo de operación del sistema en un período de tiempo específico, más que minimizar las pérdidas 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.

ARTÍCULO 3

RECONFIGURATION OF ELECTRIC DISTRIBUTION NETWORKS FOR RESISTIVE LINE LOSSES REDUCTION+

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 pérdidas resistivas en las líneas por medio de técnicas heurísticas de optimización.

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 [1].

ARTÍCULO 4

SERVICE RESTORATION IN DISTRIBUTION NETWORKS VIA NETWORK RECONFIGURATION+

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 fuera de servicio imprevistas o programas.

La metodología propuesta es aplicable tanto para alimentadores conectados a un solo transformador como para alimentadores que están conectados a más de una fuente [24].

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.

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

3.3 SELECCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL MÉTODO.

Una vez efectuada la recopilación bibliográfica y analizado los 4 artículos más relevantes de esta, se decidió aplicar el método planteado en el artículo *Reconfiguración de Redes Eléctricas de Distribución para Reducir Pérdidas Resistivas en las Líneas*+[1].

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 óptima.

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.

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.

3.4 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DE RECONFIGURACIÓN.

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.

El método planteado en el artículo [1] propone que partiendo de una red eléctrica de distribución operando en condiciones normales de operación, como paso 1, cerrar todos los interruptores de la red analizada para posteriormente mediante una corrida de flujos para redes malladas, determinar el patrón óptimo de flujos, que no es más que un ordenamiento de las corrientes de fase de menor a mayor que pasa por los interruptores. Una vez obtenido el patrón óptimo de flujos se procede a abrir el interruptor que acarree la menor corriente como ha sido determinado por el POF para posteriormente verificar mediante una corrida de flujos de potencia si debido a la apertura de dicho interruptor no se han violado restricciones como desconexión de carga, violación de perfiles de tensión y corriente.

Para el paso de verificar restricciones, se tienen dos posibilidades, la primera en caso de existir alguna violación se deberá cerrar el interruptor y abrir el siguiente interruptor que acaree la menor corriente como lo ha sido determinado por el POF y la segunda posibilidad es que si no se violan restricciones se procederá a pasar al paso en que se verificara si al red es radial o no, donde tendremos nuevamente dos opciones si la red es radial nos indica que nuestro sistema ha sido reconfigurado y si no fuese radial se procede a regresar al paso de correr nuevamente FP para posteriormente determinar nuevamente el POF.

Una manera más fácil y entendible de comprender esta metodología se muestra a continuación la cual se describe por etapas las cuales son señaladas por medio de los bloques que se muestran en el diagrama de flujo de la figura 3.1 [1].

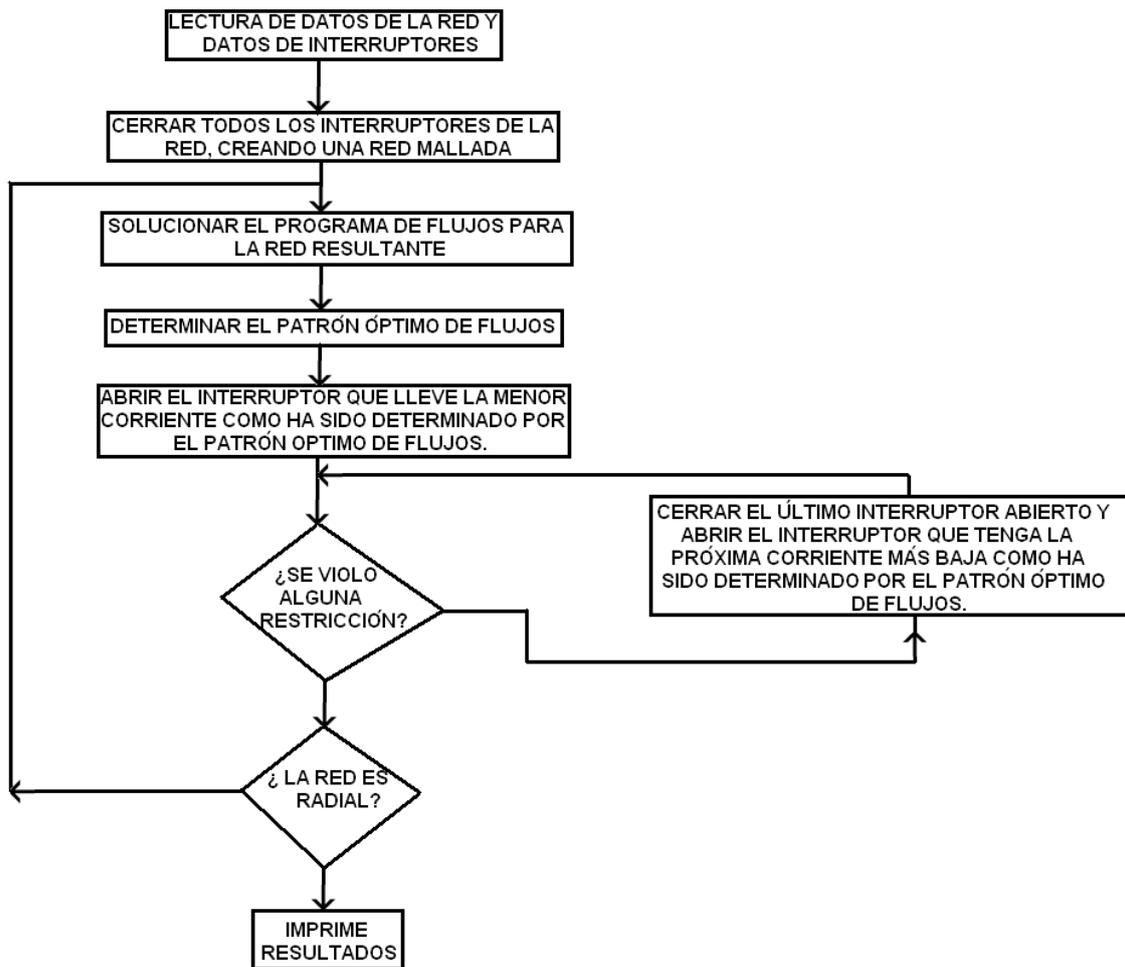


FIGURA 3.1: DIAGRAMA DE FLUJO DE METODOLOGIA

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

Etapa 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 interruptores (status de los interruptores), además de realizar una corrida de flujos de potencia para constatar que el sistema esté 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 utilizó como herramienta de apoyo el simulador canadiense CYMDIST [8].

Etapa 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.

Etapa 3:

Solucionar el programa de flujos de potencia para la red resultante:

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 obtenida con el paso anterior.

Etapa 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, a esta tabla de corrientes ordenadas la llamaremos patrón óptimo de flujos.

Etapa 5:

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

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

Etapa 6:

¿Se violó alguna restricción?

En este paso se preguntará 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, límites 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, 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 causó 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 óptimo de flujos.

Etapa 8:

¿La red es radial?

En esta etapa una vez hecha la maniobra de apertura de interruptor, 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 indica 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.

CAPÍTULO 4

PRUEBAS E IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA

4.1 INTRODUCCIÓN A LA METODOLOGÍA.

A continuación se describe de manera breve la forma en que se realizó la selección e implementación del sistema de prueba:

Como primera parte de este capítulo se muestra la descripción del sistema de prueba además de los resultados obtenidos de la reconfiguración realizada por medio del simulador CYMDIST, dicha prueba de reconfiguración se realizó con el fin de saber si el sistema cuenta o no con posibilidades de reconfiguración. De no contar con posibilidades de reconfiguración se procederá a realizar una modificación de dicho sistema mediante el incremento de interruptores y líneas que nos permitan crear las posibilidades de reconfiguración.

Una vez obtenido el sistema de prueba se procedió a realizar una corrida de flujos de potencia para verificar que el sistema opera en condiciones normales, esta corrida se efectúa antes de ser realizada la reconfiguración. Por último se procedió a aplicar la metodología propuesta al sistema obtenido. Todos estos pasos se muestran a continuación:

4.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE PRUEBA

Para la etapa de pruebas, se ha decidido trabajar con el sistema de prueba de 123 nodos de IEEE, cuyos datos son mostrados en el apéndice A, se seleccionó este sistema para la realización de pruebas ya que de los sistemas de prueba manejados por la IEEE este es el sistema más robusto y por consecuencia el que maneja mayor cantidad de elementos, de tal forma que asemeje un sistema real, además de ser el único sistema de IEEE que contiene un mayor número de interruptores lo cual permite un mayor manejo de interruptores que es de suma importancia 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 4.1 se muestra el diagrama unifilar del alimentador primario de distribución de 123 Nodos del IEEE.

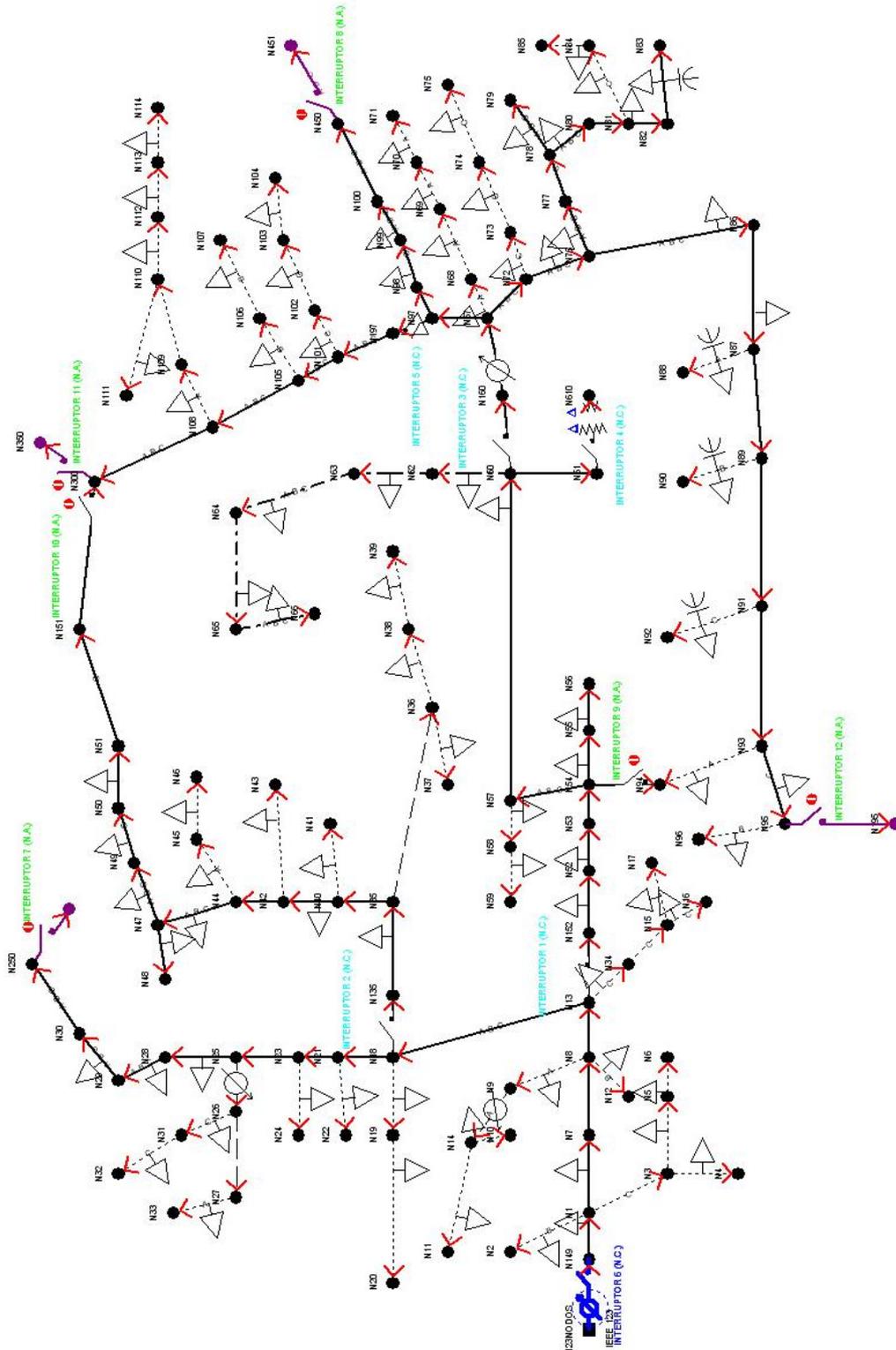


FIGURA 4.1: Alimentador primario de distribución de 123 Nodos del IEEE

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.

Como bien se sabe un sistema para poder ser reconfigurado debe de contar principalmente con los segmentos de línea suficientes para interconectar diversas partes del sistema además de contar con los interruptores necesarios para poder efectuar operación de maniobra y cierre de estos.

Por tal motivo como primer paso, ya que el sistema cuenta con líneas a su periferia con el fin de poder ser conectado a otras fuentes, se realizó la conexión de estas líneas al nodo principal del sistema, siendo que a cada línea que conecta al nodo principal con el fin de tener mayores posibilidades de conexión del sistema ante alguna maniobra de apertura realizada por el simulador para efectuar la reconfiguración.

Una vez efectuadas las maniobras de aumento de segmentos de línea se procedió a realizar la reconfiguración de este nuevo sistema con el fin de verificar que dicho sistema cuenta con los elementos suficientes que harán posibles una reconfiguración, obteniendo como resultado que aún con el aumento de los segmentos de línea no se puede realizar reconfiguración alguna.

Por lo cual se prosiguió a efectuar maniobras de aumento de interruptores del sistema, esta maniobra de aumento de interruptores se realizó con ayuda del simulador ya que cuenta con la posibilidad de efectuar reconfiguración del sistema con sugerencia de aumento de interruptores.

Una vez aplicada esta maniobra de aumento de interruptores, antes mencionada, el simulador realiza una reconfiguración exitosa del sistema. Las maniobras realizadas por el simulador para efectuar la reconfiguración se muestran a continuación:

4.3 MANIOBRAS DEL SISTEMA RECONFIGURADO (CYMDIST).

A continuación en la tabla 4.1 se muestran las maniobras de conmutación realizadas por el simulador con el fin de efectuar la reconfiguración del sistema para reducir pérdidas.

TABLA 4.1: 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 la figura 4.2 se muestran las maniobras indicadas en la tabla 4.1, anteriormente mostrada, estas maniobras 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 las 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 pérdidas en kw en las líneas.

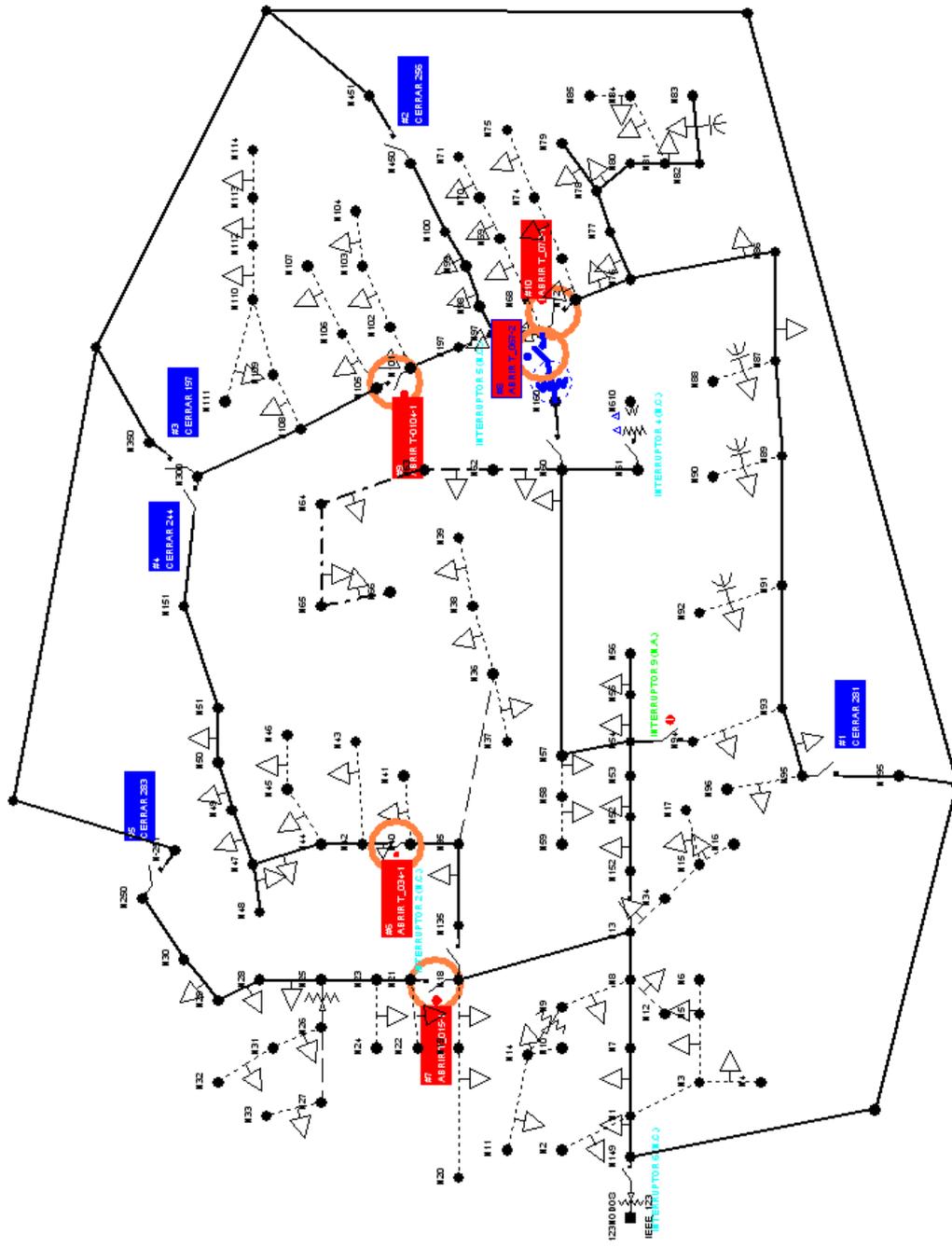


FIGURA 4.2: Dibujo del sistema reconfigurado

En la tabla 4.2 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 4.2: 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 alimentador	kVA	kVA	%	kVA	%	kW	kW
IEEE_123	4803.6	3841.6	79.9	3781.4	78.7	97.27	33.63
Pérdidas en el sistema							
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 (desconexión de carga, ampacidad y tensión), además de algo muy importante es mencionar que el sistema reconfigurado es totalmente radial.

Más datos de este sistema reconfigurado por medio del simulador como son: tablas de perfiles de tensión, corriente, cables, reguladores, bancos de capacitores y por último interruptores que son de suma importancia para una reconfiguración son mostrados en el apéndice B.

Una vez realizadas las pruebas por medio del simulador antes mencionadas, se decidió modificar el sistema original por las razones que se expusieron anteriormente, mediante el incremento de 5 interruptores seccionadores y 10 segmentos de línea, ya que mediante esta modificación se tendrán más posibilidades de reconfiguración en nuestro sistema con el fin de reducir pérdidas en la línea.

A continuación se muestra en la figura 4.3 el dibujo del sistema de 123 nodos de IEEE ya modificado, donde se señalan los nuevos interruptores y segmentos de línea agregados:

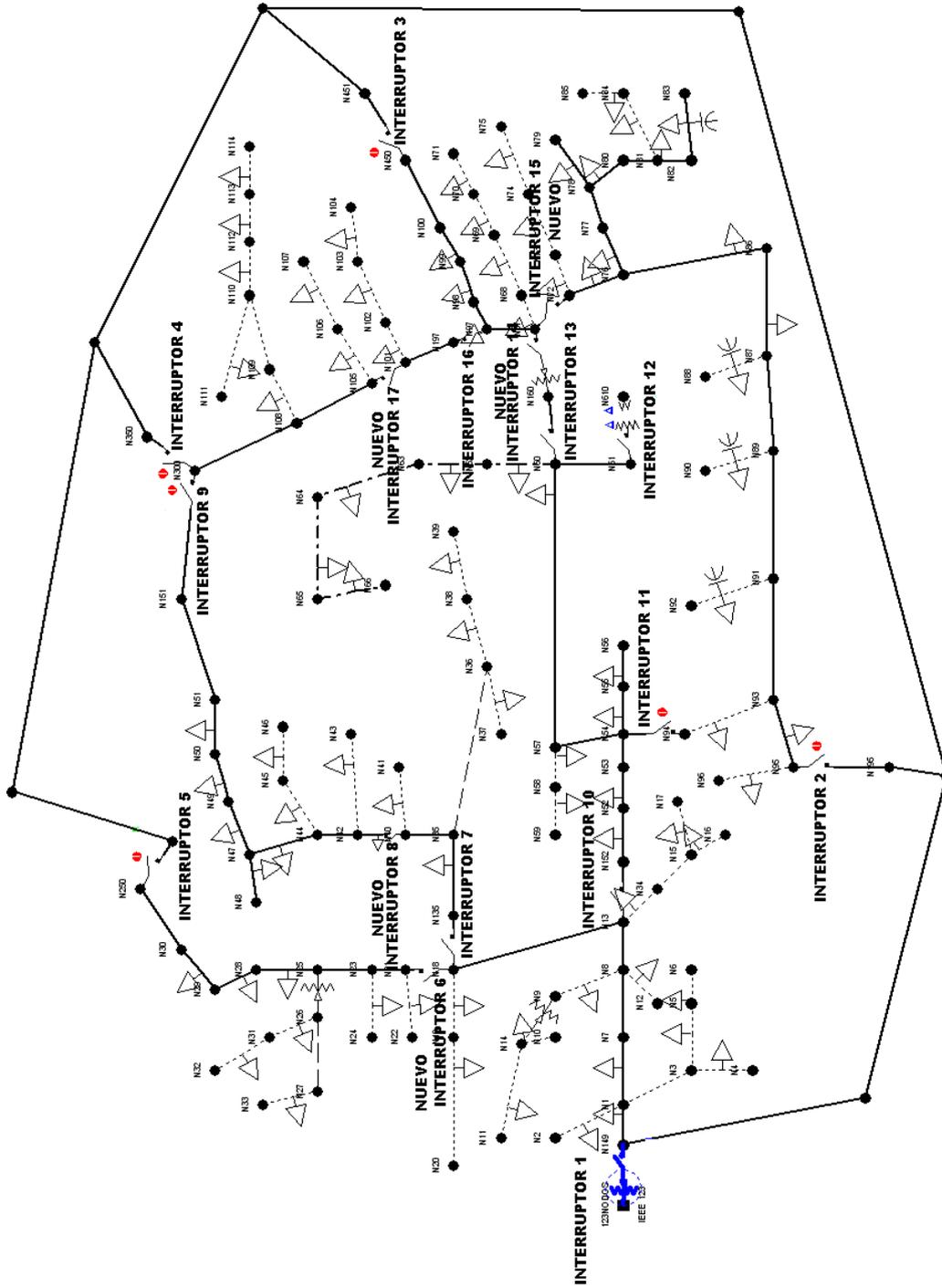


FIGURA 4.3: Sistema de 123 nodos de IEEE modificado para reconfiguración.

Como antes se mencionó 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 4.3 y 4.4, respectivamente:

Tabla 4.3: 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 4.4: 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.

Ya previamente comprobado por medio del simulador, que el sistema puede ser reconfigurado con los elementos agregados, a continuación se muestran los resultados de flujos de potencia para este sistema de prueba ya modificado y antes de ser reconfigurado por el simulador.

4.4 FLUJOS DE POTENCIA (caso base).

Para la etapa de flujos de potencia se utilizó como herramienta de apoyo, el simulador canadiense CYMDIST, además de que también 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 del sistema de prueba.

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 4.5: Reporte de datos de cables del sistema

ALIMENTADOR	TRAMO	FASES	CONFIGURACION	LONGITUD (ft)	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 4.6: Reporte de flujos por tramos del sistema

TRAMO	PERFIL DE V. (%)	VA L-N (KV)	VB L-N (KV)	VC L-N (KV)	IA (A)	IB (A)	IC (A)	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

TRAMO	PERFIL DE V. (%)	VA L-N (KV)	VB L-N (KV)	VC L-N (KV)	IA (A)	IB (A)	IC (A)	PERDIDAS(KW)
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

TRAMO	PERFIL DE V. (%)	VA L-N (KV)	VB L-N (KV)	VC L-N (KV)	IA (A)	IB (A)	IC (A)	PERDIDAS(KW)
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

TRAMO	PERFIL DE V. (%)	VA L-N (KV)	VB L-N (KV)	VC L-N (KV)	IA (A)	IB (A)	IC (A)	PERDIDAS(KW)
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

TRAMO	PERFIL DE V. (%)	VA L-N (KV)	VB L-N (KV)	VC L-N (KV)	IA (A)	IB (A)	IC (A)	PERDIDAS(KW)
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 4.7 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 reducir pérdidas, las cuales como se puede observar en la tabla son de 102.65 kw, esta cantidad equivale a las pérdidas totales del sistema.

TABLA 4.7: Resumen de carga del sistema.

Resumen de carga	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 4.8 se muestra la ubicación y datos de los reguladores del sistema siendo de principal importancia la posición de los taps.

TABLA 4.8: 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 4.9 que contiene los datos de los capacitores del sistema de prueba:

TABLA 4.9: Datos de capacitores del sistema de prueba en condiciones normales de operación

TRAMO	FASES	KVL-N	FASE C (KVAR)	FASE B (KVAR)	FASE C (KVAR)	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 4.10 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 4.10: Datos de interruptores del sistema en condiciones normales de operación.

# 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.	Abierto
INT. 3	T_0119	ABC	500	4.16	Interruptor secciona.	Abierto
INT. 4	T_046	ABC	500	4.16	Interruptor secciona.	Abierto
INT. 5	T_029	ABC	500	4.16	Interruptor secciona.	Abierto
INT. 6	T_015	ABC	500	4.16	Interruptor secciona.	Cerrado
INT. 7	T_030	ABC	500	4.16	Interruptor secciona.	Cerrado
INT. 8	T_032	ABC	500	4.16	Interruptor secciona.	Cerrado
INT. 9	T_045	ABC	500	4.16	Interruptor secciona.	Abierto
INT. 10	T_055	ABC	500	4.16	Interruptor secciona.	Cerrado
INT. 11	T_059	ABC	500	4.16	Interruptor secciona.	Abierto

# INTERRUPTOR	TRAMO	FASES	I NOM (AMP.)	V NOM. (KV.)	TIPO	POSICION
INT. 12	T_0121	ABC	500	4.16	Interruptor secciona.	Cerrado
INT. 13	T_066	ABC	500	4.16	Interruptor secciona.	Cerrado
INT. 14	T_067	ABC	500	4.16	Interruptor secciona.	Cerrado
INT. 15	T_072	ABC	500	4.16	Interruptor secciona.	Cerrado
INT. 16	T_099	ABC	500	4.16	Interruptor secciona.	Cerrado
INT. 17	T_0100	ABC	500	4.16	Interruptor secciona.	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.

Entre los datos mas importantes de estas tablas se encuentra que el sistema bajo condiciones normales de operación presenta perfiles de tensión en cables de 96.68% como mínimo y 98.78% como máximo y para líneas aéreas (tramos) de 96.68% como mínimo y 102.69 como máximo y unas pérdidas en el T_0 el cual es el tramo principal del sistema de 101.11KW, el cual representa las pérdidas aguas abajo del sistema, con estos datos y con las tablas mostradas anteriormente se puede comprobar que el sistema de prueba modificado trabaja en condiciones normales de operación sin violar ninguna restricción.

Posteriormente al implementar la metodología propuesta en esta tesis se podrá comparar las pérdidas bajo condiciones normales de operación del sistema de prueba, contra las pérdidas resultantes con el sistema obtenido después de haber implementado la metodología propuesta a fin de verificar si estas se redujeron al aplicar la metodología.

4.5 IMPLEMENTACIÓN DE METODOLOGÍA

Una vez realizada la corrida de flujos de potencia del sistema de prueba bajo condiciones normales de operación, se procede a aplicar la metodología de reconfiguración propuesta con el fin de reducir las pérdidas del sistema.

Como se mencionó anteriormente, la metodología para la reconfiguración de redes de distribución consta de 9 etapas, las cuales fueron descritas y ejemplificadas etapa por etapa anteriormente, 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 potencia, los datos capturados son los especificados en el apéndice A.

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 4.6.

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 4.11 la cual relaciona los interruptores normalmente cerrados con los interruptores normalmente abiertos:

TABLA 4.11: 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

INTERRUPTORES NORMALMENTE CERRADOS	INTERRUPTORES NORMALMENTE ABIERTOS EN POSICION CERRADA
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 4.3, obteniendo como resultado la red mostrada en la figura 4.4, 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 .

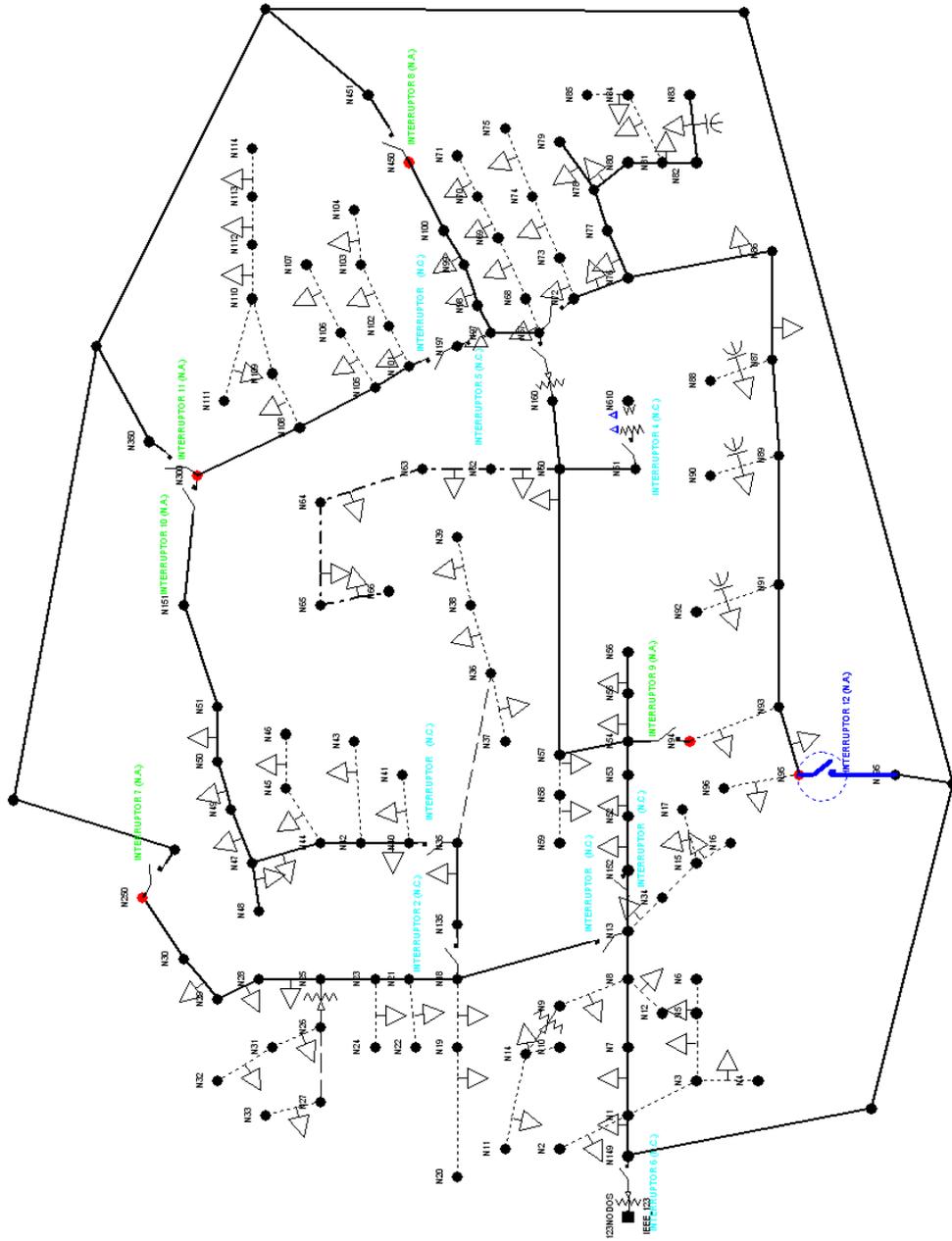


FIGURA 4.4: Red de 123 nodos de IEEE modificada con interruptores normalmente abiertos en posición cerrada.

Etapa 3:**Solucionar el programa de flujos de potencia para la red resultante:**

En este paso se deberá realizar una corrida de flujos de potencia para la red mostrada en la figura 4.4.

En la tabla 4.12 se muestran las condiciones anormales de la red, como son sobrecarga, baja tensión y alta tensión. Es importante mencionar que esta tabla no representa en este caso que en el sistema existan condiciones anormales, si no que únicamente muestra los valores más altos o más bajos de los niveles de tensión o sobrecarga así como su ubicación.

TABLA 4.12: Tabla de condiciones anormales de la red con todos los interruptores cerrados.

Condiciones anormales	Fase	Peor caso	%
Sobrecarga	A	T_0	96.19
	B	T_0	63.16
	C	T_0	77.28
Baja tensión	A	T-0125	99.74
	B	IEEE_123	100
	C	T_0126	96.62
Alta tensión	A	T_085	104.7
	B	T_085	104.96
	C	T_085	104.18

En la tabla 4.13. Se muestran los datos de todos los interruptores de la red, donde es importante observar, que tal como se indica en esta etapa, la posición de todos los interruptores es cerrada.

TABLA 4.13: Tabla de interruptores de la red.

TRAMO	FASES	CAP. AMP.	TENSION KV.	TIPO	POSICION	IA AMP.	IB AMP.	IC AMP.
T_0	ABC	700	4.16	Int. Secciona	Cerrado	618.1	405.8	496.6
T_096	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	153.4	86.8	79.6
T_0119	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	52.3	39.7	51.3
T_046	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	150.9	118.3	117.3
T_029	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	64.8	32.9	60.3
T_015	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	-12.8	-16.8	15.1
T_030	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	29.7	36.2	11.8
T_034	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	6.2	12.8	-13.9
T_045	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	-110.3	-102.4	-99.4
T_055	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	99.9	121.5	150.1

TRAMO	FASES	CAP. AMP.	TENSION KV.	TIPO	POSICION	IA AMP.	IB AMP.	IC AMP.
T_059	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	-117.4	0	0
T_0121	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	0	0	0
T_066	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	126.5	50.1	79.9
T_067	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	122.6	49.2	77.5
T_072	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	31.6	40.1	55.9
T_099	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	54.8	38	48.6
T-0104	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	54.8	38	-45.1

A continuación, en la tabla 4.14. Se muestra los datos de los nodos del sistema una vez cerrados todos los interruptores de la red y habiendo corrido flujos de potencia, en el caso de esta tabla es importante observar que los límites de tensión y corriente no han sido violados, además de observar las pérdidas del sistema, los recuadros en rojo indican los valores más altos y los recuadros en verde los más bajos.

TABLA 4.14.: Tabla de datos de nodos de la red con todos los interruptores cerrados.

# NODO	FASES	PERFIL DE V. %	IA AMP.	IB AMP.	IC AMP.	PERDIDAS EN KW.
N149	ABC	102.66	618.1	405.8	496.6	40.32
N328	ABC	102.54	399.7	255.4	278.2	5.26
N324	ABC	102.43	399.7	255.4	278.2	3.28
N195	ABC	102.42	153.4	86.8	79.6	0.04
N95	ABC	102.42	153.4	86.8	79.6	
N96	B	102.66		0		0
N330	ABC	102.43	246.9	175.9	213.6	3.13
N332	ABC	102.26	246.9	175.9	213.6	1.29
N451	ABC	102.26	52.3	39.7	51.3	0.01
N450	ABC	102.26	52.3	39.7	51.3	
N333	ABC	102.13	212.7	148.3	174.5	0.23
N350	ABC	102.12	150.9	118.3	117.3	0
N300	ABC	102.12	150.9	118.3	117.3	
N334	ABC	102.07	64.8	32.9	60.3	0.04
N-251	ABC	102.06	64.8	32.9	60.3	0.01
N250	ABC	102.05	64.8	32.9	60.3	
N1	ABC	102.29	206	160	233.2	30.06
N2	B	102.48		0		0
N3	C	101.99			46.6	0.03
N4	C	101.96			0	0
N5	C	101.91			19.2	0.01
N6	C	101.88			0	0
N7	ABC	102.03	197	151.1	186.9	28.21

# NODO	FASES	PERFIL DE V. %	IA AMP.	IB AMP.	IC AMP.	PERDIDAS EN KW.
N8	ABC	101.87	197	151.1	186.9	27.07
N12	B	102.21		0		0
N13	ABC	101.64	150.9	142.1	186.9	25.62
N18	ABC	101.62	60.6	29.9	26.3	1.95
N19	A	101.31	18.6			0
N20	A	101.31	0			0
N21	ABC	101.66	-12.8	-16.8	15	0.52
N22	B	102.09		0		0
N23	ABC	101.69	-12.8	-32.9	15	0.49
N24	C	101.36			0	0
N25	ABC	101.74	-12.8	-32.9	-26.6	0.44
N26	AC	101.11	18.6		18.3	0.03
N27	AC	101.09	18.6		0	0.01
N33	A	101.33	0			0
N31	C	100.76			9.1	0
N32	C	100.73			0	0
N28	ABC	101.79	-46	-32.9	-43	0.35
N29	ABC	101.87	-64.8	-32.9	-42.9	0.26
N30	ABC	101.98	-64.8	-32.9	-60.3	0.11
N250	ABC	102.05	64.8	32.9	60.3	
N135	ABC	101.62	29.7	36.2	11.8	1.38
N35	ABC	101.6	18.9	28.2	11.8	1.32
N40	ABC	101.6	6.2	12.8	11.8	1.29
N41	C	101.48			0	0
N42	ABC	101.61	-12	12.8	-13.9	1.28
N43	B	101.99		0		0
N44	ABC	101.62	-12	-14.9	-13.9	1.28
N45	A	101.31	9.1			0
N46	A	101.28	0			0
N47	ABC	101.65	-47.2	-31.5	-29	1.25
N48	ABC	101.62	0	0	0	0
N49	ABC	101.77	-101.3	-102.4	-81.9	0.98
N50	ABC	101.92	-101.3	-102.4	-99.4	0.58
N51	ABC	102.08	-110.3	-102.4	-99.4	0.14
N151	ABC	102.1	-110.3	-102.4	-99.4	0.08
N300	ABC	102.12	150.9	118.3	117.3	
N36	AB	101.63	19	18.3		0.01
N37	A	101.17	0			0
N38	B	102.05		9		0
N39	B	102.05		0		0

# NODO	FASES	PERFIL DE V. %	IA AMP.	IB AMP.	IC AMP.	PERDIDAS EN KW.
N34	C	101.19			27.3	0.02
N15	C	101.16			27.3	0.01
N16	C	101.11			0	0
N17	C	101.14			0	0
N152	ABC	101.63	99.9	121.5	150.1	23.29
N52	ABC	101.38	83	121.5	150.1	22.18
N53	ABC	101.26	66.9	121.5	150.1	21.65
N54	ABC	101.18	66.9	121.5	150.1	21.33
N94	ABC	101.18	117.4	0	0	
N55	ABC	101.17	0	9.1	0	0
N56	ABC	101.17	0	0	0	0
N57	ABC	100.82	175.9	112.9	150.1	19.94
N58	B	101.27		9.1		0
N59	B	101.27		0		0
N60	ABC	100.07	167.9	95.6	150.1	17.17
N61	ABC	100.07	0	0	0	0
N610	ABC	100.07	0	0	0	0
N62	ABC	99.51	45	52	62.5	6.58
N63	ABC	99.16	27	52	62.5	5.1
N64	ABC	98.54	27	17.8	62.5	2.55
N65	ABC	97.98	0	0	35.7	0.44
N66	ABC	97.83	0	0	0	0
N160	ABC	100.07	126.5	50.1	79.9	7.78
N67	ABC	102.55	122.6	49.2	77.5	7.26
N68	A	102.5	45			0.07
N69	A	102.4	27			0.03
N70	A	102.33	18			0.01
N71	A	102.29	0			0
N72	ABC	102.54	31.6	40.1	55.9	4.9
N73	C	102.14			37.3	0.05
N74	C	102.04			18.1	0.01
N75	C	101.98			0	0
N76	ABC	102.55	-29.7	47.6	-54	4.73
N77	ABC	102.73	78.2	81.2	77.8	1.9
N78	ABC	102.77	78.2	81.2	77.8	1.79
N79	ABC	102.77	0	0	0	0
N80	ABC	103.01	80.9	87.5	77.8	1.25
N81	ABC	103.27	80.9	87.5	77.8	0.68
N84	C	102.72			18	0.01
N85	C	102.65			0	0

# NODO	FASES	PERFIL DE V. %	IA AMP.	IB AMP.	IC AMP.	PERDIDAS EN KW.
N82	ABC	103.41	87.3	87.5	83.3	0.32
N83	ABC	103.57	0	0	0	0
N86	ABC	102.47	-60.1	-41.4	-59.4	2.03
N87	ABC	102.43	-60.1	-53.7	-59.4	1.78
N88	A	102.16	0			0
N89	ABC	102.41	-81.1	-53.7	-59.4	1.56
N90	B	102.75		0		0
N91	ABC	102.39	-81.1	-73.5	-59.4	1.35
N92	C	102.49			0	0
N93	ABC	102.36	-81.1	-73.5	-79.6	1.1
N94	ABC	101.18	117.4	0	0	
N95	ABC	102.42	153.4	86.8	79.6	
N97	ABC	102.43	-95.3	-65.1	-78.9	1.86
N98	ABC	102.39	-52.3	-31.4	-40.6	0.61
N99	ABC	102.32	-52.3	-39.7	-40.6	0.43
N100	ABC	102.3	-52.3	-39.7	-51.3	0.33
N450	ABC	102.26	52.3	39.7	51.3	
N197	ABC	102.42	54.8	38	48.6	1.16
N101	ABC	102.34	54.8	38	48.6	1.06
N105	ABC	102.27	54.8	38	-45.1	0.85
N106	B	102.56		18		0.01
N107	B	102.54		0		0
N108	ABC	102.2	54.8	-38.4	-45.1	0.7
N109	A	101.71	46.6			0.11
N110	A	101.6	46.6			0.06
N112	A	101.56	28.2			0.04
N113	A	101.45	9.1			0
N114	A	101.42	0			0
N111	A	101.56	0			0
N300	ABC	102.12	150.9	118.3	117.3	
N102	C	102.02			36.2	0.05
N103	C	101.93			18.1	0.02
N104	C	101.83			0	0
N9	A	101.76	28.1			0.04
N14	A	101.03	28.3			0.01
N10	A	101.01	0			0
N11	A	100.99	0			0

La tabla 4.15 muestra los datos de los reguladores del sistema, donde únicamente habrá variación en el regulador 3 ya que como se mencionó anteriormente este regulador no se encuentra en posición fija por motivos antes expuestos.

TABLA 4.15: Tabla de reguladores de la red.

TRAMO	FASES	CAP. AMP.	KV L-N	POSICION	TAP. A	TAP. B	TAP. C
T_0	ABC	666.67	2.4	Toma fija	6	6	6
T_020	AC	187.5	2.4	Toma fija	0		-1
T_067	ABC	300	2.4	Ajustes R&X	5	3	5
T_128	A	187.5	2.4	Toma fija	-1		

Etapa 4:

Determinar el patrón óptimo de flujos de la red:

Para esta etapa se deberá 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 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 cuál es el objetivo del patrón óptimo de flujos se procedió a realizar la corrida de flujos de potencia para la red resultante de cerrar todos los interruptores existentes.

TABLA 4.16: Tabla de corrientes de los interruptores de la red.

TRAMO	IA AMP.	IB AMP.	IC AMP.	³ I AMP.
T_0	618.1	405.8	496.6	1520.5
T_096	153.4	86.8	79.6	319.8
T_0119	52.3	39.7	51.3	143.3
T_046	150.9	118.3	117.3	386.5
T_029	64.8	32.9	60.3	544.5
T_015	-12.8	-16.8	15.1	44.7
T_030	29.7	36.2	11.8	77.7
T_034	6.2	12.8	-13.9	32.9
T_045	-110.3	-102.4	-99.4	312.1
T_055	99.9	121.5	150.1	371.5
T_059	-117.4	0	0	117.4
T_0121	0	0	0	0
T_066	126.5	50.1	79.9	256.5
T_067	122.6	49.2	77.5	249.3
T_072	31.6	40.1	55.9	127.6
T_099	54.8	38	48.6	141.4
T-0104	54.8	38	-45.1	137.9

Una vez obtenidos los resultados de interruptores de la red, se realizó el análisis de corrientes que atraviesan a todos los interruptores existentes, para posteriormente ordenar las corrientes de la tabla 4.16 de forma que el interruptor por el que pase la menor corriente estará en la posición uno y así sucesivamente. Este proceso conocido como POF se muestra en la tabla 4.17 la cual se muestra a continuación:

TABLA 4.17: Tabla de patrón óptimo de flujos de la red.

TRAMO	³ I AMP.
T_0121	0
T_034	32.9
T_015	44.7
T_030	77.7
T_059	117.4
T_072	127.6
T-0104	137.9
T_099	141.4
T_0119	143.3
T_067	249.3
T_066	256.5
T_045	312.1
T_096	319.8
T_055	371.5
T_046	386.5
T_029	544.5
T_0	1520.5

Etapa 5:

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

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 número 4.17 el interruptor que lleva la menor corriente es el que se encuentra localizado en el tramo número T_0121, por consiguiente como lo dice esta etapa se procede a abrir el interruptor.

Etapa 6:

¿Se violó alguna restricción?

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 4.5 muestra el sistema después de la apertura del interruptor del tramo T_0121.

NOTA: Una vez efectuada la corrida de flujos de potencia por medio del simulador es importante mencionar que primero se analizara la violación de desconexión de carga, donde el simulador en caso de existir esta violación coloreara de morado la parte del sistema desconectada además de indicarlo por medio de tablas, pero en este caso para no aumentar el número de tablas que se analizan en esta metodología, se dará por entendido que ante alguna desconexión del sistema este se coloreara de morado y ya no será necesario mostrar tablas de resultados que nos comprueben dicha desconexión.

Para el caso de violación por sobretensión y subtensión el simulador coloreara la parte del sistema que presente dichas violaciones de rojo y amarillo respectivamente, tal como en el caso de desconexión de carga no se presentaran tablas que corroboren estas violaciones, sino que por medio del dibujo del sistema se dará por entendido que el sistema ha violado alguna o ambas de estas restricciones.

Una restricción más se analiza por medio de colorear de amarillo la parte del sistema que presente sobrecarga.

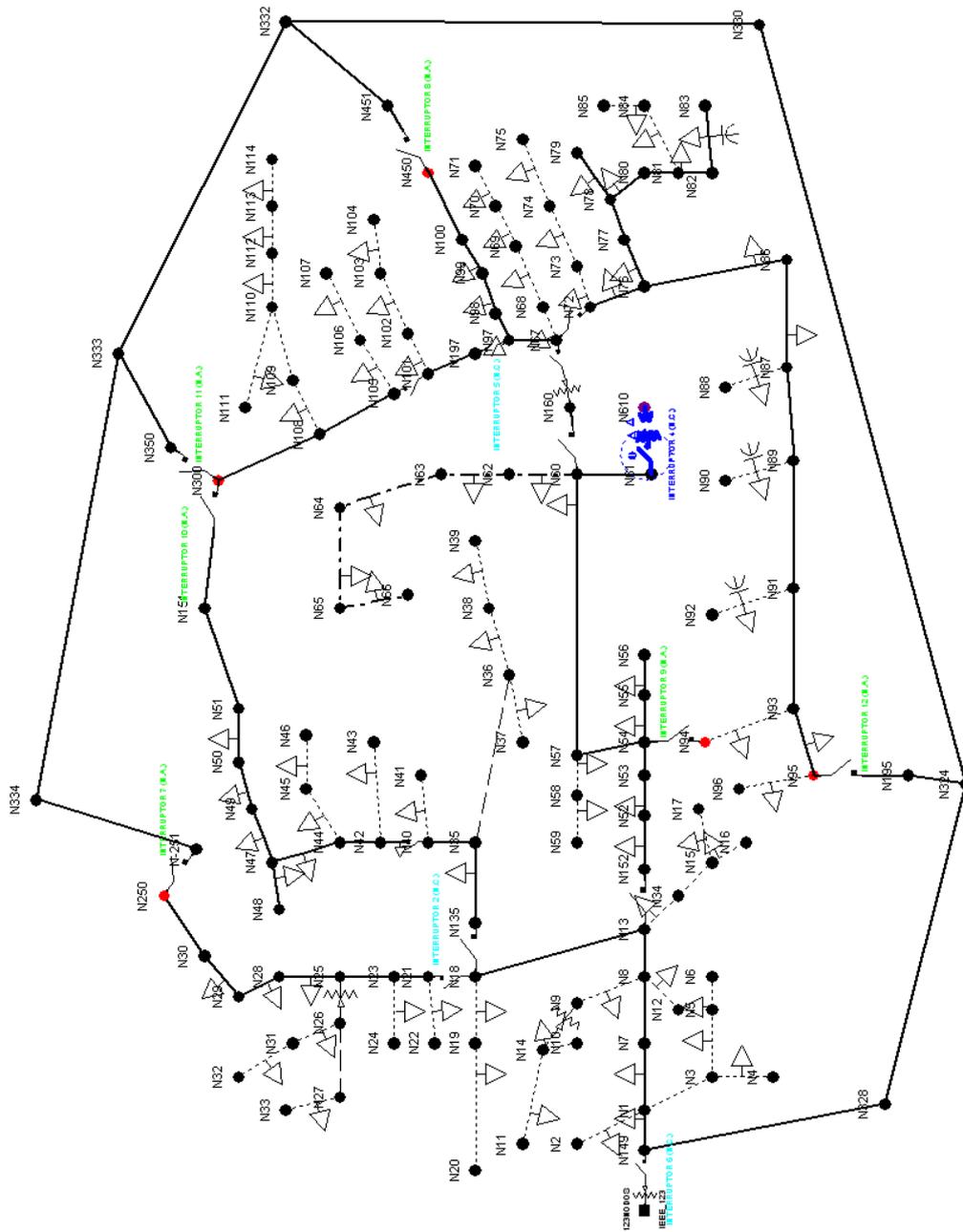


FIGURA 4.5: Red de 123 nodos de IEEE modificada con el interruptor del tramo T_0121 en posición abierta.

Como se observo en la figura 4.5 al realizar la apertura del interruptor localizado en el tramo T_0121 (color azul), se deja sin conexión al transformador que se ve en la imagen (color morado).

Debido a la desconexión de parte del sistema de prueba y ya que es una de las restricciones que no se debe de violar, se descarta la apertura de el interruptor localizado en el tramo 121 y se procede a cerrarlo nuevamente, cabe mencionar que este interruptor posteriormente ya no se tomará en cuenta para el patrón óptimo de flujos ya que la apertura de este nos ocasiona desconexión de parte de la red.

Etapa 7:

Cerrar el último interruptor abierto-abrir el interruptor que tenga la próxima corriente más baja, determinado por el patrón óptimo de flujos:

Debido a que en la etapa anterior existió alguna restricción violada, en esta etapa se procede a cerrar el interruptor del tramo T_0121 y a abrir el siguiente interruptor que acarree la menor corriente como ha sido determinado por el patrón óptimo de flujos.

Ahora se prosigue de acuerdo al patrón óptimo de flujos a realizar la apertura del interruptor que contenga la próxima menor corriente, el cual de acuerdo a la tabla 4.17 es el interruptor localizado en el tramo T_034.

Etapa 6:

¿Se violó alguna restricción?

A continuación, se muestra la figura obtenida por la apertura de dicho interruptor, con el objetivo de observar si existe o no alguna violación de restricciones:

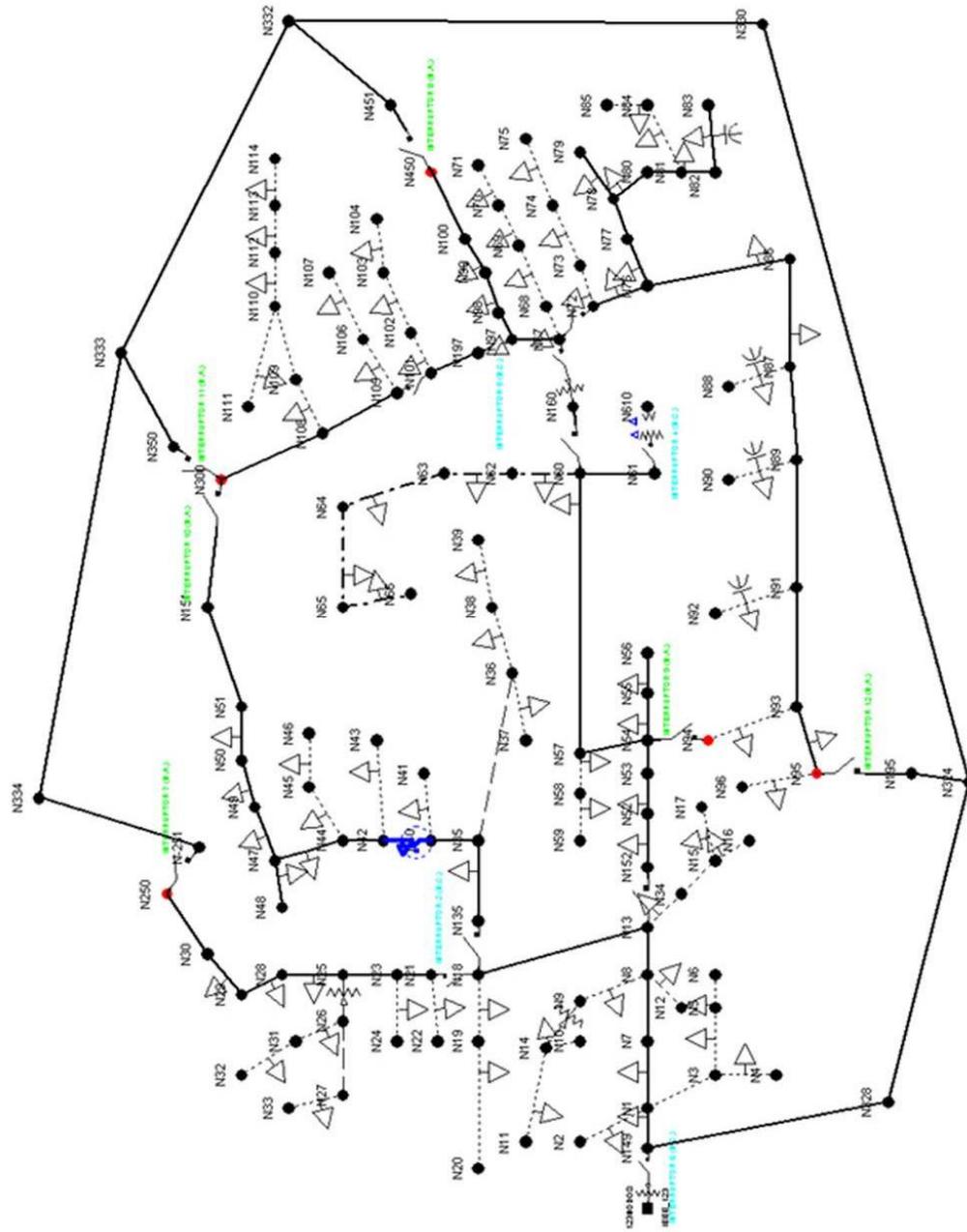


FIGURA 4.6: Red de 123 nodos de IEEE modificada con el interruptor del tramo T_034 en posición abierta.

Como se muestra en la figura 4.6, la apertura del interruptor del tramo T_034 no ocasiona desconexión de la red, ni violaciones de restricciones como sobrecarga o perfil de voltaje.

Por lo cual se procede a analizar la red mediante la corrida de flujos para comprobar que lo que muestra la figura 4.6 no viola restricciones, a continuación se muestran los resultados de flujos de potencia de la red por medio de las siguientes tablas.

En la tabla 4.18 se muestran las condiciones anormales del sistema, en donde se puede observar que estas se mantienen dentro de los límites establecidos de $\pm 5\%$ para niveles de tensión en %.

TABLA 4.18: Tabla de condiciones anormales de la red.

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

En la tabla 4.19 se muestran los datos de los interruptores del sistema en la cual se puede comprobar la apertura del interruptor del tramo T_034, marcado en rojo, mientras que el T_0121 se marca en verde por que nos ocasiona desconexión de carga.

TABLA 4.19: Tabla de interruptores de la red.

TRAMO	FASES	CAP. AMP.	TENSION KV.	TIPO	POSICION	IA AMP.	IB AMP.	IC AMP.
T_0	ABC	700	4.16	Int. Secciona	Cerrado	617.4	405.8	496.1
T_096	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	150	86.9	80.3
T_0119	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	49.4	39.1	52.9
T_046	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	154.2	127.5	117.5
T_045	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	108.3	108.5	90
T_034	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Abierto	0	0	0
T_029	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	63.6	30.3	59.7
T_015	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	-11.6	17.3	16.8
T_030	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	29.1	28.4	9.1

TRAMO	FASES	CAP. AMP.	TENSION KV.	TIPO	POSICION	IA AMP.	IB AMP.	IC AMP.
T_055	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	90.6	118.2	128.5
T_059	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	-103.8	0	0
T_0121	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	0	0	0
T_066	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	100.3	45.5	57.5
T_067	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	97.9	44.7	56.1
T_072	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	33.2	40.5	53.2
T_099	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	46.5	36.2	41.4
T-0104	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	46.5	36.2	-44.3

A continuación se muestra los datos de los nodos del sistema con el fin de verificar los niveles de tensión y corriente además de las pérdidas vistas aguas abajo desde el nodo que se hace referencia según la tabla 4.20.

TABLA 4.20: Tabla de datos de nodos de la red.

# NODO	FASES	PERFIL DE V. %	IA AMP.	IB AMP.	IC AMP.	PERDIDAS EN KW.
N149	ABC	102.66	617.4	405.8	496.1	38
N328	ABC	102.54	401.7	261.1	285.9	6.65
N324	ABC	102.43	401.7	261.1	285.9	4.61
N195	ABC	102.42	150	86.9	80.3	0.04
N95	ABC	102.41	150	86.9	80.3	
N96	B	102.66		0		0
N330	ABC	102.42	251.9	180.8	217.4	4.47
N332	ABC	102.25	251.9	180.8	217.4	2.56
N451	ABC	102.25	49.4	39.1	52.9	0.01
N450	ABC	102.25	49.4	39.1	52.9	
N333	ABC	102.12	215	152	172.4	1.49
N350	ABC	102.1	154.2	127.5	117.5	1.26
N300	ABC	102.1	154.2	127.5	117.5	
N151	ABC	102.09	108.3	108.5	90	1.18
N51	ABC	102.07	108.3	108.5	90	1.12
N50	ABC	101.92	99.3	108.5	90	0.69
N49	ABC	101.78	99.3	108.5	72.1	0.29
N47	ABC	101.68	81.8	73.8	54.7	0.07
N44	ABC	101.66	27.5	19.2	0	0.01
N42	ABC	101.65	9.1	19.2	0	0
N40	ABC	101.57	0	0	9.1	0
N41	C	101.32			0	0
N43	B	101.95		0		0
N45	A	101.26	9.1			0

# NODO	FASES	PERFIL DE V. %	IA AMP.	IB AMP.	IC AMP.	PERDIDAS EN KW.
N46	A	101.24	0			0
N48	ABC	101.64	0	0	0	0
N334	ABC	102.06	63.6	30.3	59.7	0.04
N-251	ABC	102.05	63.6	30.3	59.7	0.01
N250	ABC	102.04	63.6	30.3	59.7	
N1	ABC	102.3	202	154.8	223.1	26.47
N2	B	102.49		0		0
N3	C	102.01			46.6	0.03
N4	C	101.98			0	0
N5	C	101.93			19.2	0.01
N6	C	101.9			0	0
N7	ABC	102.06	193	145.9	176.8	24.73
N8	ABC	101.9	193	145.9	176.8	23.68
N12	B	102.22		0		0
N13	ABC	101.69	146.8	137	176.8	22.34
N18	ABC	101.62	60.8	23.8	17.7	0.61
N19	A	101.34	18.6			0
N20	A	101.34	0			0
N21	ABC	101.65	-11.6	17.3	16.8	0.5
N22	B	102.11		0		0
N23	ABC	101.69	-11.6	-30.3	16.8	0.47
N24	C	101.31			0	0
N25	ABC	101.73	-11.6	-30.3	-26.8	0.43
N26	AC	101.1	18.6		18.3	0.03
N27	AC	101.08	18.6		0	0.01
N33	A	101.33	0			0
N31	C	100.72			9.2	0
N32	C	100.7			0	0
N28	ABC	101.78	-44.8	-30.3	-42.6	0.34
N29	ABC	101.86	-63.6	-30.3	-42.6	0.25
N30	ABC	101.97	-63.6	-30.3	-59.7	0.11
N250	ABC	102.04	63.6	30.3	59.7	
N135	ABC	101.62	29.1	28.4	9.1	0.06
N35	ABC	101.57	19	18.3	9.1	0.02
N40	ABC	101.57	0	0	9.1	0
N36	AB	101.66	19	18.3		0.01
N37	A	101.19	0			0
N38	B	102.08		9		0
N39	B	102.08		0		0
N34	C	101.25			27.3	0.02

# NODO	FASES	PERFIL DE V. %	IA AMP.	IB AMP.	IC AMP.	PERDIDAS EN KW.
N15	C	101.23			27.3	0.01
N16	C	101.17			0	0
N17	C	101.2			0	0
N152	ABC	101.68	90.6	118.2	128.5	21.39
N52	ABC	101.45	73.2	118.2	128.5	20.48
N53	ABC	101.34	56.2	118.2	128.5	20.05
N54	ABC	101.28	56.2	118.2	128.5	19.79
N94	ABC	101.28	103.8	0	0	
N55	ABC	101.27	0	9.1	0	0
N56	ABC	101.26	0	0	0	0
N57	ABC	100.96	151.3	109.5	128.5	18.71
N58	B	101.28		9.1		0
N59	B	101.28		0		0
N60	ABC	100.32	143	92	128.5	16.6
N61	ABC	100.32	0	0	0	0
N610	ABC	100.32	0	0	0	0
N62	ABC	99.76	45	52	62.5	6.58
N63	ABC	99.4	27.1	52	62.5	5.1
N64	ABC	98.78	27.1	17.8	62.5	2.55
N65	ABC	98.22	0	0	35.5	0.44
N66	ABC	98.07	0	0	0	0
N160	ABC	100.31	100.3	45.5	57.5	7.23
N67	ABC	102.43	97.9	44.7	56.1	6.9
N68	A	102.31	45.1			0.07
N69	A	102.21	27.1			0.03
N70	A	102.14	18.1			0.01
N71	A	102.1	0			0
N72	ABC	102.44	33.2	40.5	53.2	4.73
N73	C	102			37.3	0.05
N74	C	101.9			18.1	0.01
N75	C	101.84			0	0
N76	ABC	102.46	-39.5	49	-60.6	4.55
N77	ABC	102.63	78.1	81.2	77.6	1.9
N78	ABC	102.68	78.1	81.2	77.6	1.79
N79	ABC	102.67	0	0	0	0
N80	ABC	102.92	80.8	87.5	77.6	1.25
N81	ABC	103.17	80.8	87.5	77.6	0.68
N84	C	102.59			18	0.01
N85	C	102.52			0	0
N82	ABC	103.32	87.2	87.5	83.2	0.32

# NODO	FASES	PERFIL DE V. %	IA AMP.	IB AMP.	IC AMP.	PERDIDAS EN KW.
N83	ABC	103.47	0	0	0	0
N86	ABC	102.41	-55	-41.1	-60.8	1.88
N87	ABC	102.39	-55	-53.7	-60.8	1.65
N88	A	102.11	0			0
N89	ABC	102.38	-76	-53.7	-60.8	1.43
N90	B	102.74		0		0
N91	ABC	102.37	-76	-73.3	-60.8	1.24
N92	C	102.44			0	0
N93	ABC	102.35	-76	-73.3	-80.3	0.99
N94	ABC	101.28	103.8	0	0	
N95	ABC	102.41	150	86.9	80.3	
N97	ABC	102.33	-80.4	-61.6	-69.7	1.74
N98	ABC	102.3	-49.4	-30.2	-39.9	0.58
N99	ABC	102.26	-49.4	-39.1	-39.9	0.42
N100	ABC	102.25	-49.4	-39.1	-52.9	0.32
N450	ABC	102.25	49.4	39.1	52.9	
N197	ABC	102.33	46.5	36.2	41.4	1.08
N101	ABC	102.25	46.5	36.2	41.4	1
N105	ABC	102.19	46.5	36.2	-44.3	0.81
N106	B	102.56		18		0.01
N107	B	102.54		0		0
N108	ABC	102.14	46.5	-36.9	-44.3	0.68
N109	A	101.61	46.6			0.11
N110	A	101.5	46.6			0.06
N112	A	101.46	28.2			0.04
N113	A	101.34	9.1			0
N114	A	101.32	0			0
N111	A	101.46	0			0
N300	ABC	102.1	154.2	127.5	117.5	
N102	C	101.92			36.2	0.05
N103	C	101.82			18.1	0.02
N104	C	101.72			0	0
N9	A	101.79	28.1			0.04
N14	A	101.06	28.3			0.01
N10	A	101.04	0			0
N11	A	101.02	0			0

La tabla 4.21 muestra los datos de los reguladores del sistema, que como antes se mencionó, esta tabla de datos de reguladores únicamente presentará movimiento en los taps del regulador 3.

TABLA 4.21: Tabla de reguladores de la red.

TRAMO	FASES	CAP. AMP.	KV L-N	POSICION	TAP. A	TAP. B	TAP. C
T_0	ABC	666.67	2.4	Toma fija	6	6	6
T_020	AC	187.5	2.4	Toma fija	0		-1
T_067	ABC	300	2.4	Ajustes R&X	4	3	4
T_128	A	187.5	2.4	Toma fija	-1		

Debido a que no existe ninguna violación debido a la apertura del interruptor T_034, se procede a pasar a la etapa 8.

Etapa 8:

¿La red es radial?

En esta etapa se deberá analizar si la red es radial, una vez efectuada la maniobra de apertura del interruptor y que este no haya violado las restricciones establecidas. Lo cual se analiza 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 figura 4.7 se muestran las mallas existentes en la red teniendo todos los interruptores en posición cerrada.

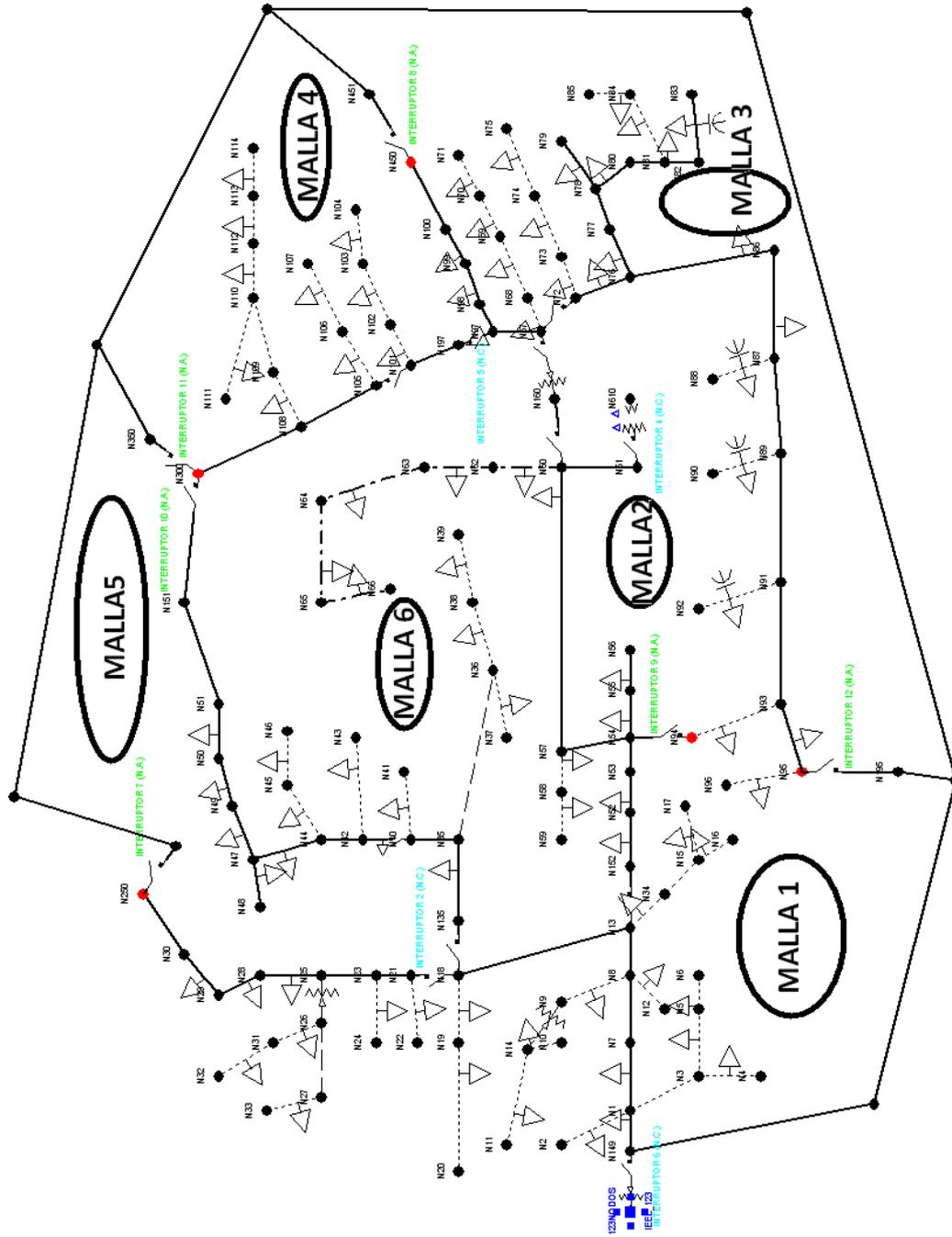


FIGURA 4.7: Red de 123 nodos de IEEE con todos los interruptores en posición cerrada e indicando mallas.

Como se mostró en la figura 4.7, 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 del tramo T_034 para ver si el sistema con esta maniobra de apertura el sistema ha quedado radial o no.

Enseguida se muestra la figura 4.8 del sistema obtenido por la apertura del interruptor del tramo T_034 a fin de observar si el sistema ha dejado de ser mallado.

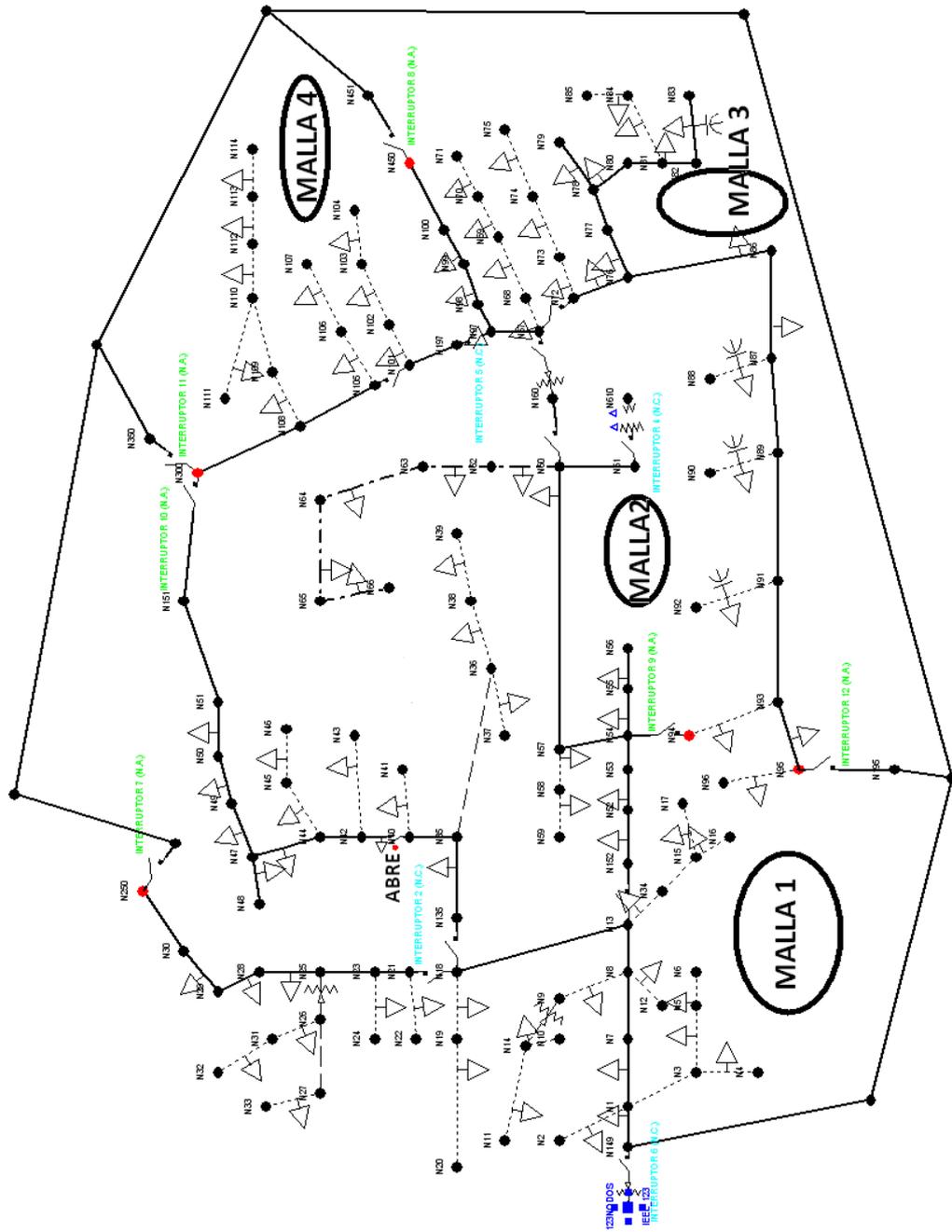


FIGURA 4.8. Red de 123 nodos de IEEE con interruptor T_034 en posición abierta e indicando mallas.

Se puede observar que en la figura 4.8, ante la apertura del interruptor del tramo T_034 el sistema no queda del todo radial pero si 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 contribuye a que el sistema llegue a ser radial, esto nos indica que debe de quedar abierto y que procedemos a regresar a la etapa 3 nuevamente.

Etapa 3:

Solucionar el programa de flujos de potencia para la red resultante:

Los resultados de flujos de potencia de la red resultante por la apertura del interruptor del tramo T_034 son los mostrados anteriormente en la etapa 6, por lo que se procede a determinar el POF.

Etapa 4:

Determinar el patrón óptimo de flujos de la red:

Nuevamente analizando las corrientes que pasan por los interruptores de la red las cuales se muestran en la tabla 4.22, donde también se observa por medio de recuadros en rojo los interruptores que han sido abiertos y que permanecen en esa posición y en recuadro en verde aquellos interruptores que nos ocasionaron desconexión de carga u otra violación los cuales permanecen en posición cerrada y que no pueden ser utilizados posteriormente.

TABLA 4.22: Tabla de corrientes de los interruptores de la red.

TRAMO	IA AMP.	IB AMP.	IC AMP.	³ I AMP.
T_0	617.4	405.8	496.1	1519.3
T_096	150	86.9	80.3	317.2
T_0119	49.4	39.1	52.9	141.4
T_046	154.2	127.5	117.5	399.2
T_045	108.3	108.5	90	306.8
T_034	0	0	0	0
T_029	63.6	30.3	59.7	153.6
T_015	-11.6	17.3	16.8	45.7
T_030	29.1	28.4	9.1	66.6
T_055	90.6	118.2	128.5	337.3
T_059	-103.8	0	0	103.8
T_0121	0	0	0	0
T_066	100.3	45.5	57.5	203.3
T_067	97.9	44.7	56.1	198.7
T_072	33.2	40.5	53.2	126.9
T_099	46.5	36.2	41.4	124.1

TRAMO	IA AMP.	IB AMP.	IC AMP.	³ I AMP.
T-0104	46.5	36.2	-44.3	38.4

Una vez analizadas las corrientes de los interruptores se procedió a formar el POF, el cual se muestra en la tabla 4.23.

TABLA 4.23: Tabla de patrón óptimo de flujos de la red.

TRAMO	³ I AMP.
T_0104	38.4
T_015	45.7
T_030	66.6
T_059	103.8
T_099	124.1
T_072	126.9
T_0119	141.4
T_029	153.6
T_067	198.7
T_066	203.3
T_045	306.8
T_096	317.2
T_055	337.3
T_046	399.2
T_0	1519.3

Una vez obtenido el POF se procedió a abrir el interruptor que acarree la menor corriente como se muestra en la siguiente etapa.

Etapas 5:

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

En este caso el siguiente interruptor seleccionado para ser abierto de acuerdo a la lista del patrón óptimo de flujos, es el interruptor del tramo T_0104.

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

Etapas 6:

¿Se violó alguna restricción?

Para esta etapa se procede a analizar si la apertura del interruptor del tramo T_0104 presenta alguna violación de restricciones en nuestra red.

A continuación, se muestra en la figura 4.9 la estructura de la red una vez abierto el interruptor T_0104, a fin de observar si se viola o no alguna restricción.

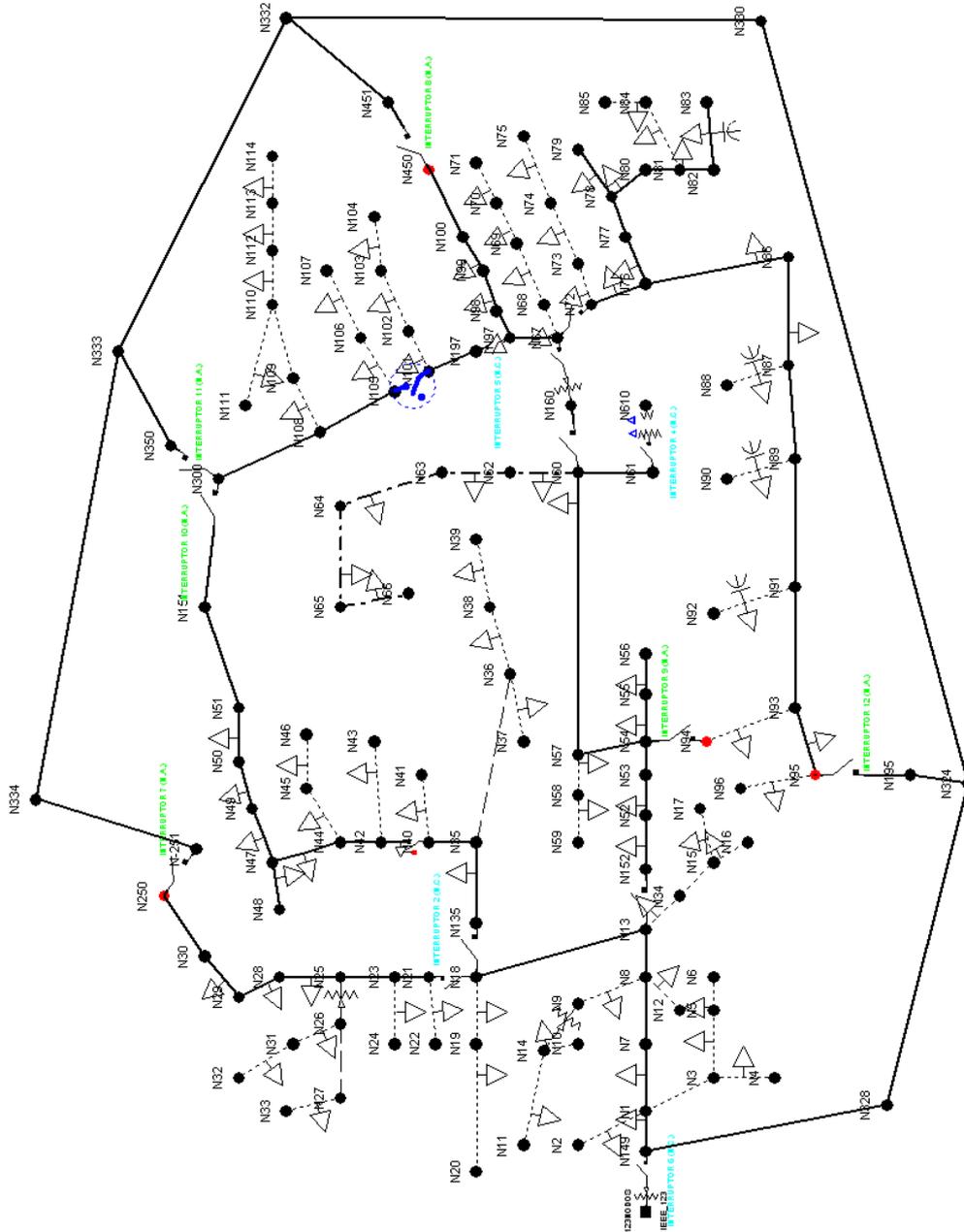


FIGURA 4.9: Red de 123 nodos de IEEE con interruptor T_104 en posición abierta.

Como se observa en la figura 4.9 el sistema no presenta violaciones ante la apertura del interruptor del tramo T_0104. Por lo que a continuación se muestran los resultados de flujos después de la apertura de dicho interruptor.

La tabla 4.24 muestra los niveles más altos y bajos de sobrecarga, sobretensión y alta tensión de la red:

TABLA 4.24: Tabla de condiciones anormales de la red.

Condiciones anormales	Fase	Peor caso	%
	A	T_0	95.92
Sobrecarga	B	T_0	63.12
	C	T_0	77.32
	A	IEEE_123	100
Baja tensión	B	IEEE_123	100
	C	T_0126	96.62
	A	T_085	104.67
Alta tensión	B	T_085	104.89
	C	T_085	104.17

A continuación, se muestra la tabla de datos de interruptores, en donde se puede observar la apertura del interruptor del tramo T_034 y T_0104.

TABLA 4.25: Tabla de datos de interruptores de la red.

TRAMO	FASES	CAP. AMP.	TENSION KV.	TIPO	POSICION	IA AMP.	IB AMP.	IC AMP.
T_0	ABC	700	4.16	Int. Secciona	Cerrado	616.4	405.6	496.9
T_096	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	147.8	86.4	92.4
T_0119	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	61.5	41.4	72.9
T_046	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	172.9	144.3	90
T_0104	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Abierto	0	0	0
T_045	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	108.3	108.5	90
T_034	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Abierto	0	0	0
T_029	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	58.4	23.6	64.6
T_015	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	5.7	8.4	-17.1
T_030	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	29.1	28.4	9.1
T_055	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	75	102.2	142.7
T_059	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	-85.7	0	0
T_0121	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	0	0	0
T_066	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	64.6	22.9	68.4
T_067	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	63.4	22.6	66.3

TRAMO	FASES	CAP. AMP.	TENSION KV.	TIPO	POSICION	IA AMP.	IB AMP.	IC AMP.
T_072	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	27.1	40.5	43.9
T_099	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	0	0	45.2

Los datos de los nodos de la red así como de los reguladores, después de realizar esta maniobra de apertura, son mostrados en el apéndice C, con el fin no hacer tediosa la lectura de este trabajo.

Etapa 8:

¿La red es radial?

En esta etapa se deberá analizar si la red es radial una vez efectuada la maniobra de apertura del interruptor y que este no haya violado las restricciones establecidas.

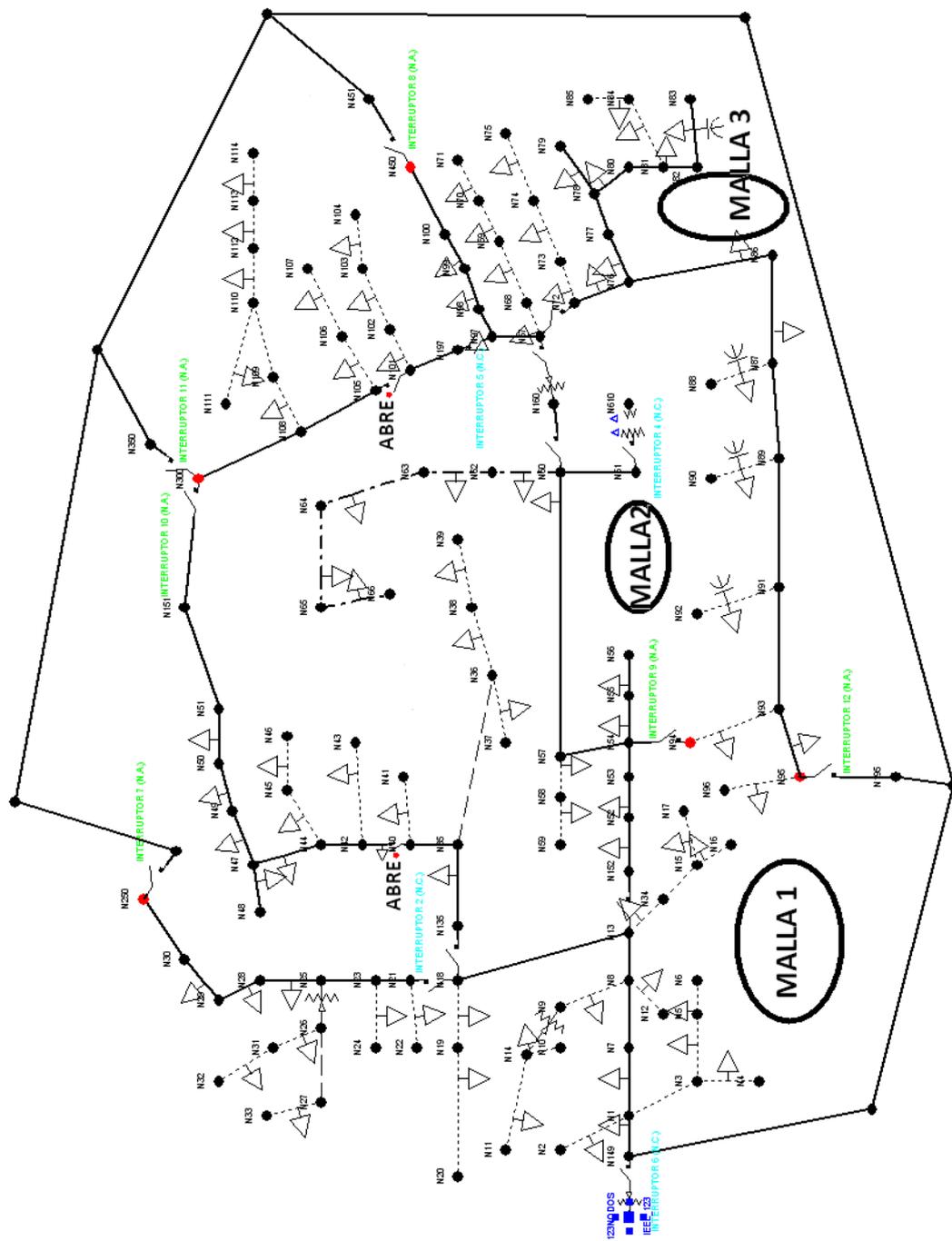


FIGURA 4.10: Red de 123 nodos de IEEE con interruptor T_0104 en posición abierta e indicando mallas.

Se puede observar que en la figura anterior ante la apertura del interruptor del tramo T_0104 el sistema no queda del todo radial pero si contribuye con la eliminación de 1 malla para que el sistema llegue a ser radial, en este caso se rompe la malla 4.

La apertura de este interruptor que no ha violado ninguna restricción y contribuye a que el sistema llegue a ser radial, esto nos indica que debe de quedar abierto y que procedemos a regresar a la etapa 3 nuevamente.

Etapa 3:

Solucionar el programa de flujos de potencia para la red resultante:

Los resultados de flujos de potencia de la red resultante por la apertura del interruptor del tramo T_0104 fueron los mostrados anteriormente en la etapa 6 y el apéndice C, por lo que se procede a determinar el POF.

Etapa 4:

Determinar el patrón óptimo de flujos de la red:

Nuevamente analizando las corrientes que pasan por los interruptores de la red las cuales se muestran en la tabla 4.26, donde también se observa por medio de recuadros en rojo los interruptores que han sido abiertos y que permanecen en esa posición y en recuadro en verde aquellos interruptores que nos ocasionaron desconexión de carga u otra violación y que permanecen en posición cerrada y que no pueden ser utilizados posteriormente.

TABLA 4.26: Tabla de datos de interruptores de la red.

TRAMO	IA AMP.	IB AMP.	IC AMP.	³ I AMP.
T_0	616.4	405.6	496.9	1518.9
T_096	147.8	86.4	92.4	326.6
T_0119	61.5	41.4	72.9	175.8
T_046	172.9	144.3	90	407.2
T-0104	0	0	0	
T_045	108.3	108.5	90	306.8
T_034	0	0	0	
T_029	58.4	23.6	64.6	146.6
T_015	5.7	8.4	-17.1	31.2
T_030	29.1	28.4	9.1	66.6
T_055	75	102.2	142.7	319.9
T_059	-85.7	0	0	85.7
T_0121	0	0	0	
T_066	64.6	22.9	68.4	155.9
T_067	63.4	22.6	66.3	152.3
T_072	27.1	40.5	43.9	111.5
T_099	0	0	45.2	45.2

Patrón óptimo de flujos de la red:

TABLA 4.27: Tabla de patrón óptimo de flujos de la red.

TRAMO	³ I AMP.
T_015	31.2
T_099	45.2
T_030	66.6
T_059	85.7
T_072	111.5
T_029	146.6
T_067	152.3
T_066	155.9
T_0119	175.8
T_045	306.8
T_055	319.9
T_096	326.6
T_046	407.2
T_0	1518.9

Etapa 5:

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

En este caso el siguiente interruptor seleccionado para ser abierto de acuerdo a la lista del patrón óptimo de flujos es el interruptor del tramo T_015.

Etapa 6:

¿Se violó alguna restricción?

Ya que se seleccionó el siguiente interruptor candidato a ser abierto, se debe analizar si se viola o no alguna restricción mediante la apertura el interruptor mostrado en la siguiente figura:

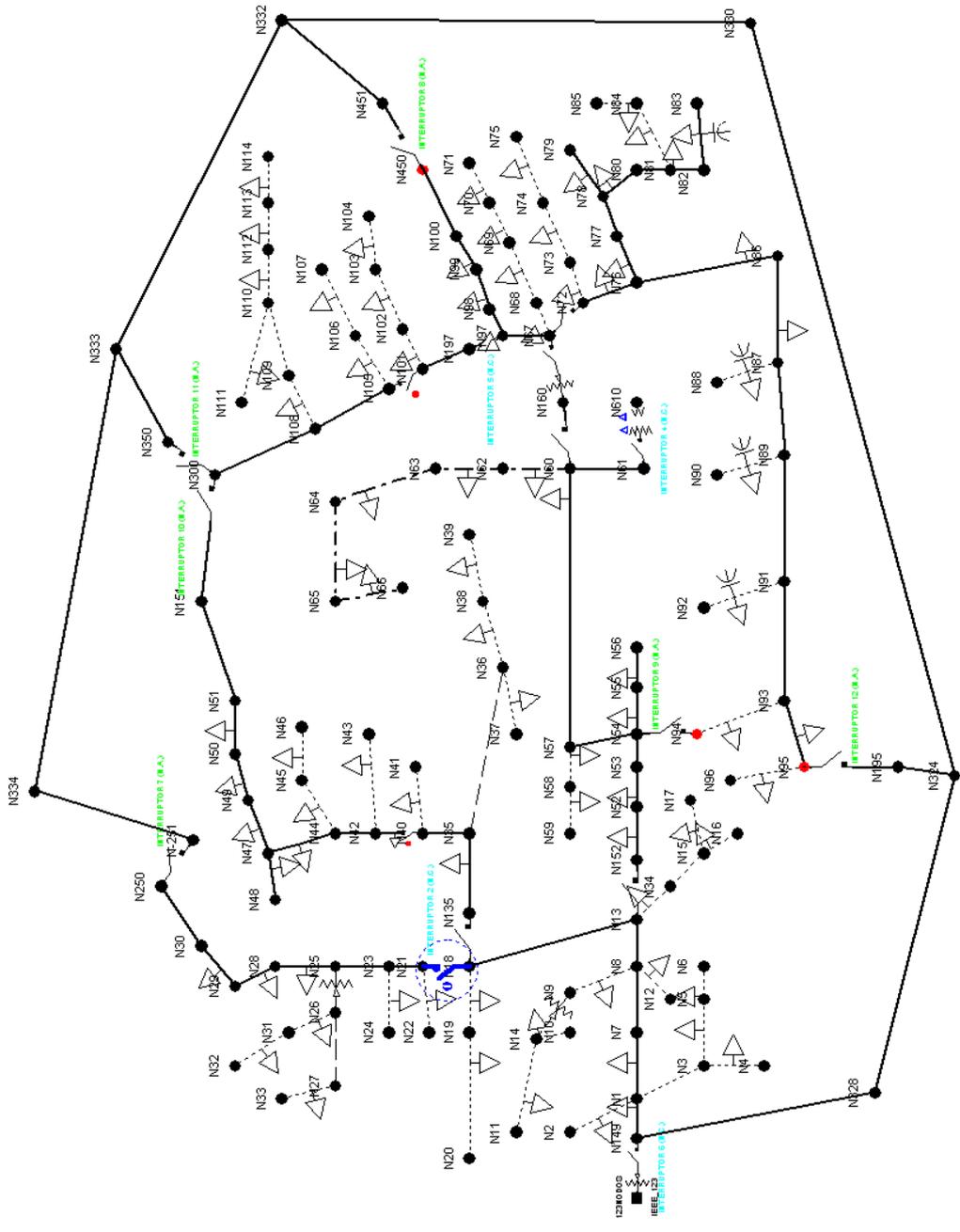


FIGURA 4.11: Red de 123 nodos de IEEE con interruptor T_015 en posición abierta.

Como se observa en la figura 4.11 la apertura del interruptor del tramo T_015 no ocasiona violación alguna, por lo que a continuación se muestra la tabla 4.28 de condiciones anormales de la red y para mayores datos como perfiles de tensión y corriente en los nodos así como pérdidas, son mostrados en el apéndice C.

TABLA 4.28: Tabla de condiciones anormales de la red.

Condiciones anormales	Fase	Peor caso	%
	A	T_0	95.93
Sobrecarga	B	T_0	63.12
	C	T_0	77.25
	A	IEEE_123	100
Baja tensión	B	IEEE_123	100
	C	T_0126	96.96
	A	T_085	104.67
Alta tensión	B	T_085	104.88
	C	T_085	103.98

A continuación, se muestra la tabla de datos de interruptores:

TABLA 4.29: Tabla de datos de interruptores de la red.

TRAMO	FASES	CAP. AMP.	TENSION KV.	TIPO	POSICION	IA AMP.	IB AMP.	IC AMP.
T_0	ABC	700	4.16	Int. Secciona	Cerrado	616.4	405.6	496.4
T_096	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	147.2	87.9	91.5
T_0119	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	58.8	42.1	72.5
T_046	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	172.9	144.3	90
T-0104	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Abierto	0	0	0
T_045	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	108.3	108.5	90
T_034	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Abierto	0	0	0
T_029	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	56.3	19.2	54.4
T_015	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Abierto	0	0	0
T_030	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	29.1	28.4	9.1
T_055	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	74	97.8	127
T_059	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	-86.4	0	0
T_0121	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	0	0	0
T_066	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	62.8	18.4	49.8
T_067	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	61.7	18.2	48.6
T_072	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	29.1	39.4	42
T_099	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	0	0	45.3

Etapa 8:

¿La red es radial?

En esta etapa se deberá analizar si la red es radial una vez efectuada la maniobra de apertura del interruptor y que este no haya violado las restricciones establecidas.

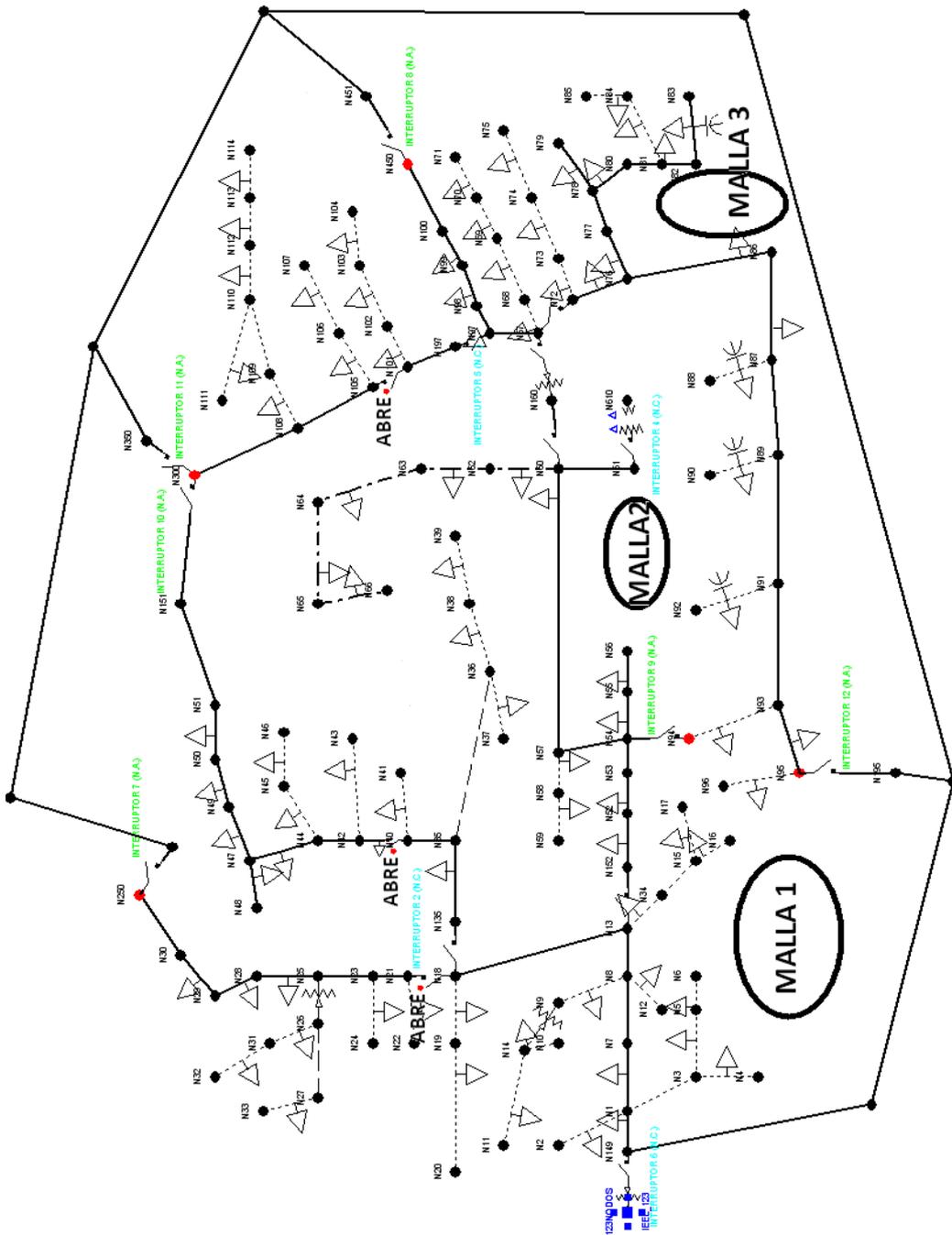


FIGURA 4.12: Red de 123 nodos de IEEE con interruptor T_015 en posición abierta e indicando mallas.

Se puede observar que en la figura 4.12, ante la apertura del interruptor del tramo T_015 el sistema permanece con las mismas mallas ya que el interruptor del tramo T_015 está localizado en una malla que anteriormente ya ha sido abierta.

La apertura de este interruptor que no ha violado ninguna restricción y contribuye a que el sistema llegue a ser radial, esto nos indica que debe de quedar abierto y que procedemos a regresar a la etapa 3 nuevamente.

Etapa 3:

Solucionar el programa de flujos de potencia para la red resultante:

Los resultados de flujos de potencia de la red resultante por la apertura del interruptor del tramo T_015 y que fueron mostrados anteriormente en la etapa 6 y el apéndice C, por lo que se procede a determinar el POF.

Etapa 4:

Determinar el patrón óptimo de flujos de la red:

Nuevamente analizando las corrientes que pasan por los interruptores de la red las cuales se muestran en la tabla 5., donde también se observa por medio de recuadros en rojo los interruptores que han sido abiertos y que permanecen en esa posición y en recuadro en verde aquellos interruptores que nos ocasionaron desconexión de carga y que permanecen en posición cerrada y que no pueden ser utilizados posteriormente.

A continuación, se muestra la tabla 4.30 de corrientes en los interruptores, así como la sumatoria de estas corrientes:

TABLA 4.30: Tabla de corrientes de interruptores de la red.

TRAMO	IA AMP.	IB AMP.	IC AMP.	³ I AMP.
T_0	616.4	405.6	496.4	1518.4
T_096	147.2	87.9	91.5	326.6
T_0119	58.8	42.1	72.5	173.4
T_046	172.9	144.3	90	407.2
T-0104	0	0	0	
T_045	108.3	108.5	90	306.8
T_034	0	0	0	
T_029	56.3	19.2	54.4	129.9
T_015	0	0	0	
T_030	29.1	28.4	9.1	66.6
T_055	74	97.8	127	298.8
T_059	-86.4	0	0	86.4
T_0121	0	0	0	
T_066	62.8	18.4	49.8	131
T_067	61.7	18.2	48.6	128.5

TRAMO	IA AMP.	IB AMP.	IC AMP.	³ I AMP.
T_072	29.1	39.4	42	110.5
T_099	0	0	45.3	45.3

La tabla 4.31 que se muestra a continuación, es la tabla del patrón óptimo de flujo, obtenido del ordenamiento de la sumatoria de corrientes de la tabla anterior.

TABLA 4.31: Tabla de patrón óptimo de flujos de la red.

TRAMO	³ I AMP.
T_099	45.3
T_030	66.6
T_059	86.4
T_072	110.5
T_067	128.5
T_029	129.9
T_066	131
T_0119	173.4
T_055	298.8
T_045	306.8
T_096	326.6
T_046	407.2
T_0	1518.4

Etapa 5:

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

De acuerdo al POF el siguiente interruptor a abrir es el interruptor del tramo T_099, por lo que se procede a la apertura de este interruptor.

Etapa 6:

¿Se violó alguna restricción?

Para esta etapa, con el fin de comprobar si existe o no alguna violación de restricciones se efectúa una corrida de flujos, la cual nos da como resultado la siguiente figura:

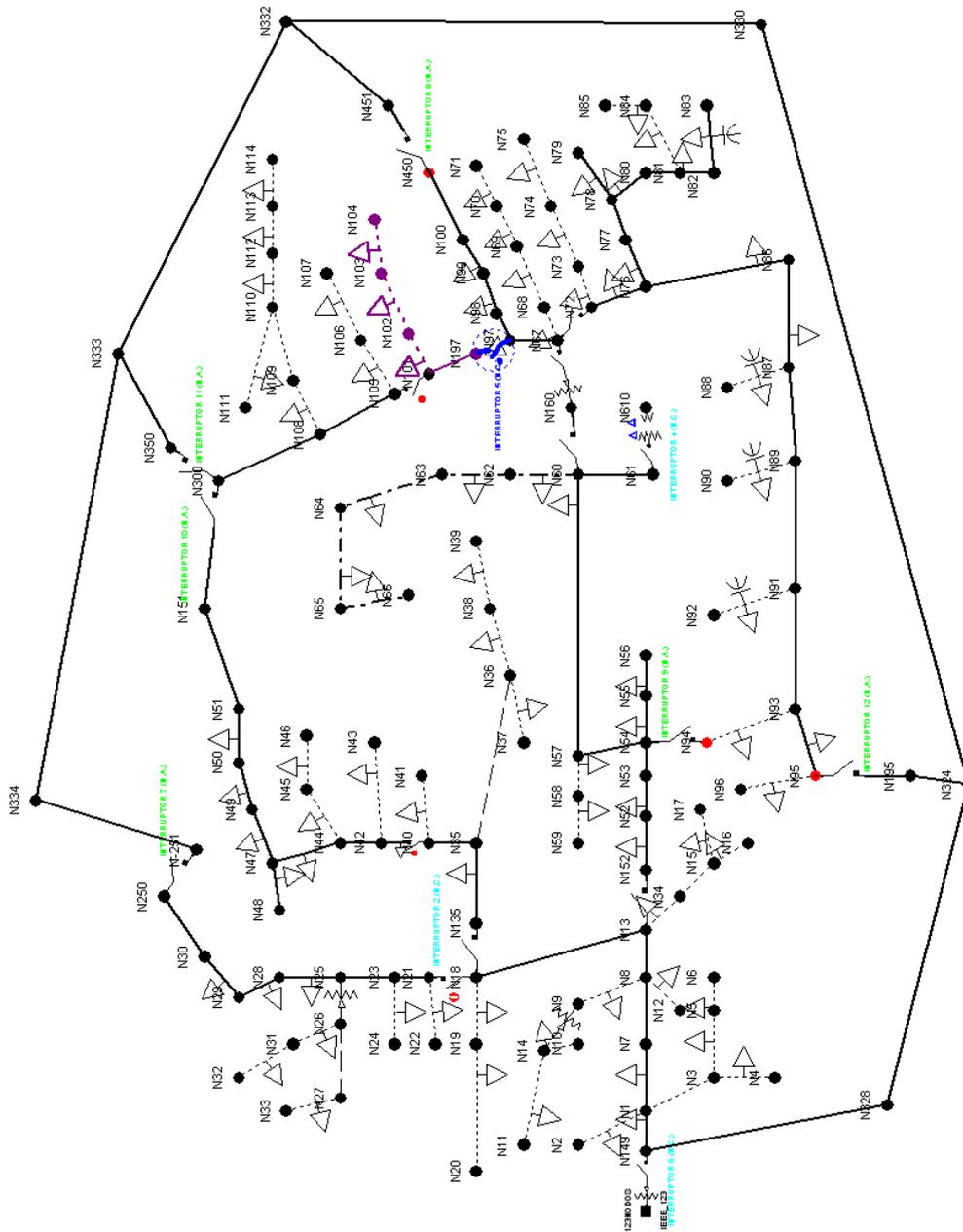


FIGURA 4.13: Red de 123 nodos de IEEE con interruptor T_099 en posición abierta.

Como se observa en la figura 4.13 la apertura del interruptor del tramo T_099 ocasiona desconexión de carga (parte color morado) por lo que se procede a pasar a la etapa 7.

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

Como en la etapa anterior existió violación, ahora en esta etapa, se procede a cerrar el interruptor del tramo T_099 y abrir el siguiente interruptor que acaree la menor corriente, el cual es de acuerdo al POF el interruptor del tramo T_030.

Etapa 6:

¿Se violó alguna restricción?

Para poder comprobar si existe o no alguna restricción violada se realiza una corrida de flujos de potencia, la cual da como resultados la siguiente figura:

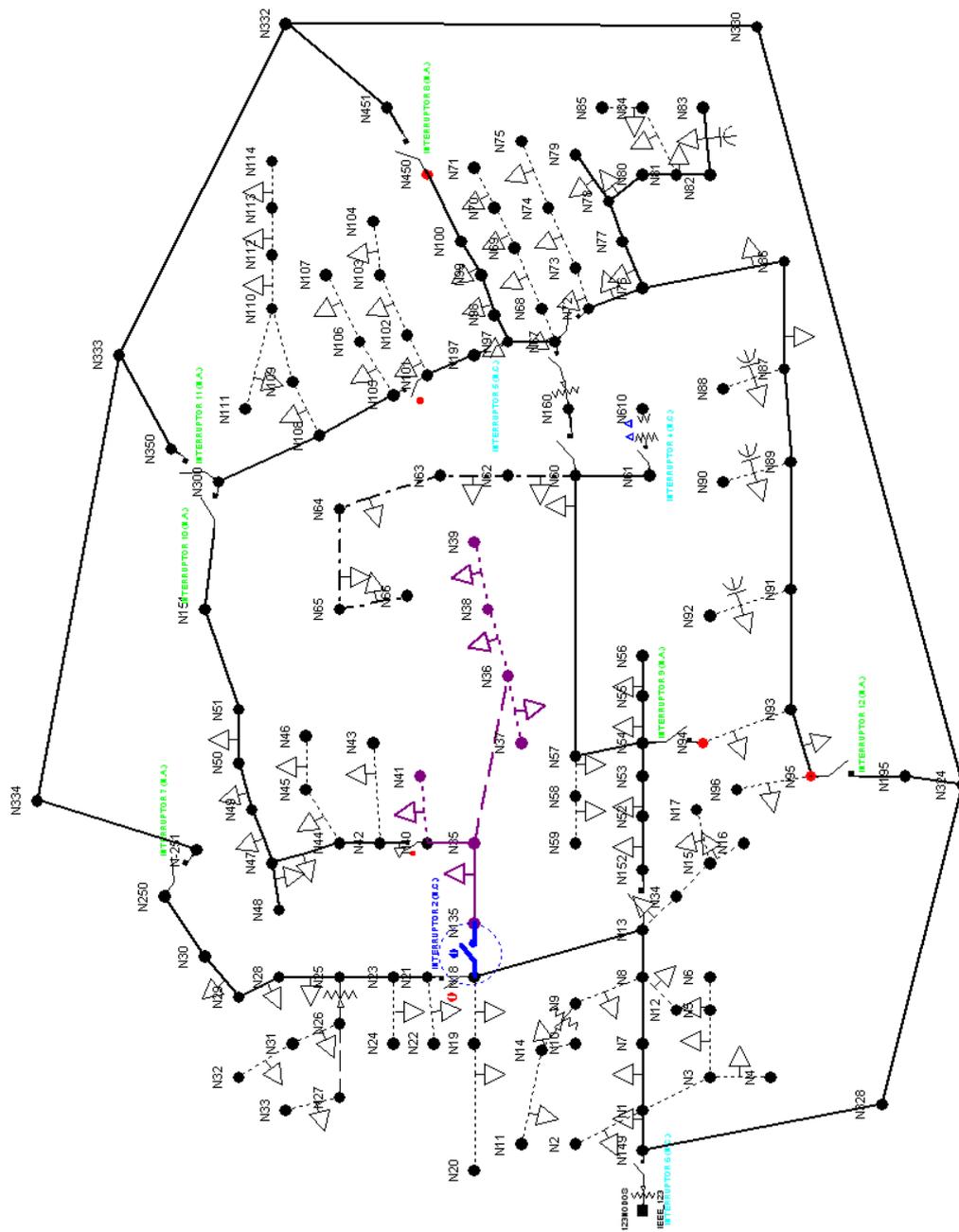


FIGURA 4.14: Red de 123 nodos de IEEE con interruptor T_030 en posición abierta.

De acuerdo a la figura 4.14 se observa que existe violación de restricción debido a desconexión de carga (parte color morado) por lo que se pasa a la etapa 7.

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

Debido a la violación de restricciones se procedió a cerrar el interruptor del tramo T_030 y a abrir el interruptor siguiente que acarree la corriente más baja, el cual es de acuerdo al POF el interruptor del tramo T_059.

Etapa 6:

¿Se violó alguna restricción?

Para esta etapa se realizó una corrida de flujos de potencia, entregando como resultados la siguiente figura en donde se puede observar si existe o no alguna restricción violada.

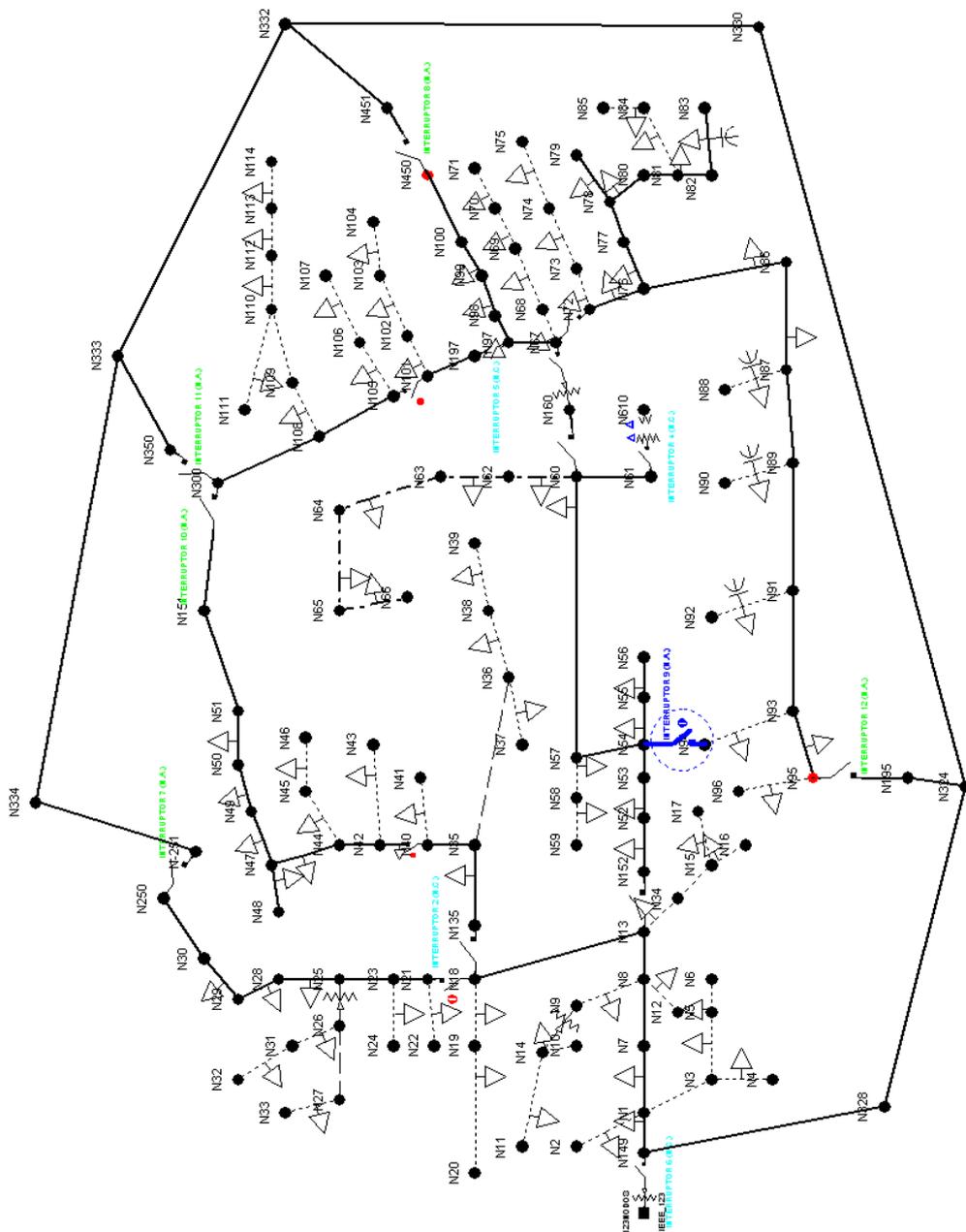


FIGURA 4.15: Red de 123 nodos de IEEE con interruptor T_059 en posición abierta.

Como se observó en la figura 4.15, no muestra ninguna restricción violada, por lo que a continuación se muestran algunos de los resultados arrojados por la corrida de flujos a manera de poder comprobar que no existen límites violados, más datos acerca de esta corrida de flujos son mostrados en el apéndice C.

A continuación, se muestra la tabla 4.32 de condiciones anormales de la red con el fin de observar que los límites del sistema se encuentran en el rango establecido ($\pm 5\%$ para tensión).

TABLA 4.32: Tabla de condiciones anormales de la red.

Condiciones anormales	Fase	Peor caso	%
	A	T_0	95.88
Sobrecarga	B	T_0	63.1
	C	T_0	77.25
	A	IEEE_123	100
Baja tensión	B	IEEE_123	100
	C	T_0126	96.96
	A	T_085	104.53
Alta tensión	B	T_085	104.93
	C	T_085	103.99

En la tabla 4.33, se muestra los datos de los interruptores en donde su principal importancia es mostrar las corrientes que pasan por estos interruptores además de la posición de estos.

TABLA 4.33: Tabla de datos de interruptores de la red.

TRAMO	FASES	CAP. AMP.	TENSION KV.	TIPO	POSICION	IA AMP.	IB AMP.	IC AMP.
T_0	ABC	700	4.16	Int. Secciona	Cerrado	616.1	405.5	496.4
T_096	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	99.9	88	90.8
T_0119	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	62.6	42.3	72.1
T_046	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	172.9	144.3	90
T-0104	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Abierto	0	0	0
T_045	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	108.3	108.5	90
T_034	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Abierto	0	0	0
T_029	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	56.3	19.2	54.4
T_015	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Abierto	0	0	0
T_030	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	28.9	28.4	9.1
T_055	ABC	500	4.16	Int. secciona	Cerrado	124.7	98.3	127.5
T_059	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Abierto	0	0	0

TRAMO	FASES	CAP. AMP.	TENSION KV.	TIPO	POSICION	IA AMP.	IB AMP.	IC AMP.
T_0121	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	0	0	0
T_066	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	27.1	19.1	50
T_067	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	26.6	18.9	48.8
T_072	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	32.8	39.1	42.6
T_099	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	0	0	45.3

Etapa 8:

¿La red es radial?

En esta etapa se deberá analizar si la red es radial, una vez efectuada la maniobra de apertura del interruptor del tramo T_059 y que esta maniobra no haya violado las restricciones establecidas.

La manera en que se comprobó si la red es radial es mediante la visualización de la figura siguiente:

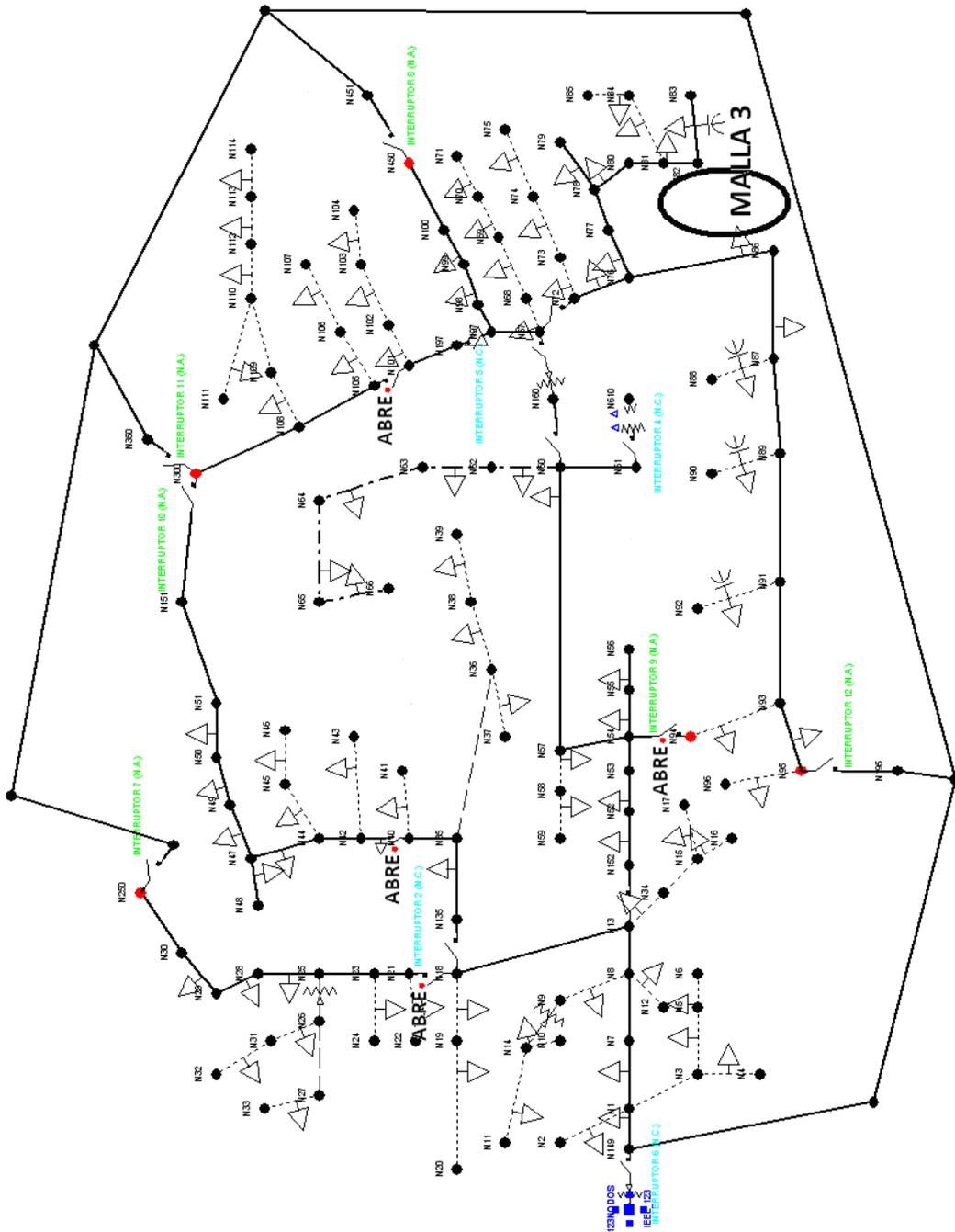


FIGURA 4.16: Red de 123 nodos de IEEE con interruptor T_059 en posición abierta e indicando mallas.

Como se observo en la figura 4.16 la apertura del interruptor del tramo T_059 ocasiona la ruptura de las mallas 1 y 2 con lo que dicha maniobra contribuye a que el sistema se acerque a su radialidad.

Por lo que debido a que esta maniobra no ocasiona violaciones y que el sistema aun no es radial, se procedió a regresar a la etapa 3.

Etapa 3:

Solucionar el programa de flujos de potencia para la red resultante:

Los resultados de flujos de potencia de la red resultante por la apertura del interruptor del tramo T_059 son los mostrados en las tablas de la etapa 6 y más datos en el apéndice C, por lo que se procede a determinar el POF.

Etapa 4:

Determinar el patrón óptimo de flujos de la red:

Nuevamente analizando las corrientes que pasan por los interruptores de la red las cuales se muestran en la tabla 4.34, donde también se observa por medio de recuadros en rojo los interruptores que han sido abiertos y que permanecen en esa posición y en recuadro en verde aquellos interruptores que nos ocasionaron desconexión de carga y que permanecen en posición cerrada y que no pueden ser utilizados posteriormente.

A continuación, se muestra la tabla de corrientes en los interruptores, así como la sumatoria de estas corrientes:

TABLA 4.34: Tabla de corrientes de interruptores de la red.

TRAMO	IA AMP.	IB AMP.	IC AMP.	³ I AMP.
T_0	616.1	405.5	496.4	1518
T_096	99.9	88	90.8	278.7
T_0119	62.6	42.3	72.1	177
T_046	172.9	144.3	90	407.2
T-0104	0	0	0	0
T_045	108.3	108.5	90	306.8
T_034	0	0	0	
T_029	56.3	19.2	54.4	129.9
T_015	0	0	0	0
T_030	28.9	28.4	9.1	66.4
T_055	124.7	98.3	127.5	350.5
T_059	0	0	0	0
T_0121	0	0	0	0
T_066	27.1	19.1	50	96.2
T_067	26.6	18.9	48.8	94.3
T_072	32.8	39.1	42.6	114.5

TRAMO	IA AMP.	IB AMP.	IC AMP.	³ I AMP.
T_099	0	0	45.3	45.3

TABLA 4.35: Tabla de patrón óptimo de flujos de la red.

TRAMO	³ I AMP.
T_067	94.3
T_066	96.2
T_072	114.5
T_029	129.9
T_0119	177
T_096	278.7
T_045	306.8
T_055	350.5
T_046	407.2
T_0	1518

Etapa 5:

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

De acuerdo al POF el siguiente interruptor a abrir es el interruptor del tramo T_067, por lo que se procede a la apertura de este interruptor.

Etapa 6:

¿Se violó alguna restricción?

Para esta etapa se realizó una corrida de flujos de potencia, entregando como resultados la siguiente figura en donde se puede observar si existe o no alguna restricción violada.

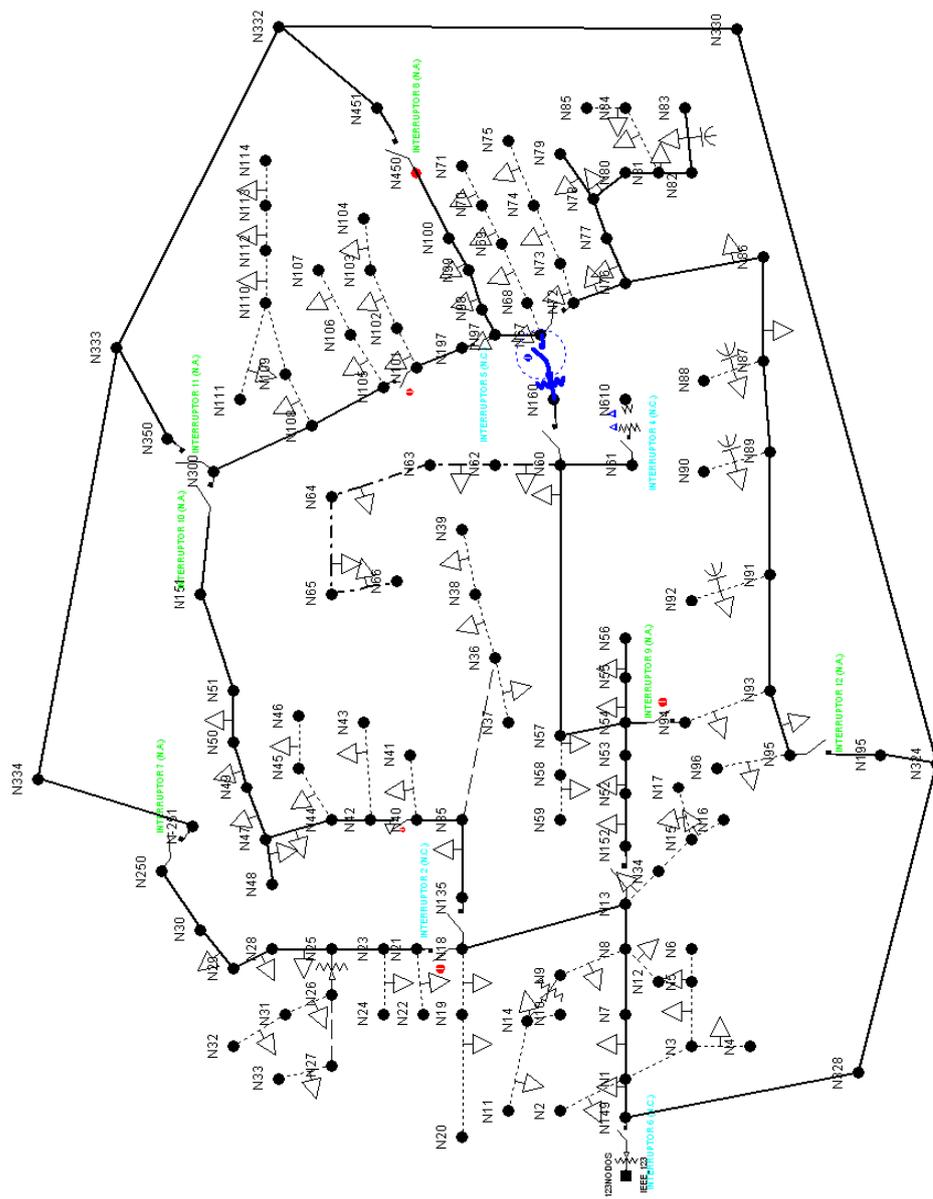


FIGURA 4.17: Red de 123 nodos de IEEE con interruptor T_067 en posición abierta.

Como se observó en la figura 4.17, no existe ninguna restricción violada por lo que a continuación, se muestran algunos de los resultados obtenidos por la corrida de flujos de potencia.

La siguiente tabla muestra los valores de sobrecarga, alta tensión y baja tensión con el fin de comprobar que el sistema ante la maniobra realizada no ha violado ninguna de las restricciones establecidas.

TABLA 4.36: Tabla de condiciones anormales de la red.

Condiciones anormales	Fase	Peor caso	%
Sobrecarga	A	T_0	95.88
	B	T_0	63.09
	C	T_0	77.22
Baja tensión	A	IEEE_123	100
	B	IEEE_123	100
	C	T_0126	98.17
Alta tensión	A	T_085	104.35
	B	T_085	104.84
	C	T_0	103.75

En la tabla 4.37 se puede observar la posición de los interruptores así como sus corrientes:

TABLA 4.37: Tabla de datos de interruptores de la red.

TRAMO	FASES	CAP. AMP.	TENSION KV.	TIPO	POSICION	IA AMP.	IB AMP.	IC AMP.
T_0	ABC	700	4.16	Int. Secciona	Cerrado	616.1	405.4	496.2
T_096	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	104.9	93.8	100.1
T_072	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	-42.1	-36.2	-37.6
T_099	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	0	0	45.6
T_0119	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	67.3	47	86.3
T_046	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	172.9	144.3	90
T-0104	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Abierto	0	0	0
T_045	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	108.3	108.5	90
T_034	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Abierto	0	0	0
T_029	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	56.3	19.2	54.4
T_015	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Abierto	0	0	0
T_030	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	29	28.4	9.1
T_055	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	99.7	79.5	81.1
T_059	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Abierto	0	0	0
T_0121	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	0	0	0

TRAMO	FASES	CAP. AMP.	TENSION KV.	TIPO	POSICION	IA AMP.	IB AMP.	IC AMP.
T_066	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Cerrado	0	0	0
T_067	ABC	500	4.16	Int. Secciona	Abierto	0	0	0

Etapa 8:

¿La red es radial?

Una vez efectuada la maniobra de apertura del interruptor del tramo T_067 y que esta maniobra no haya violado las restricciones establecidas, se deberá analizar si la red es radial.

La manera en que se comprobó si la red es radial es mediante la visualización de la figura siguiente:

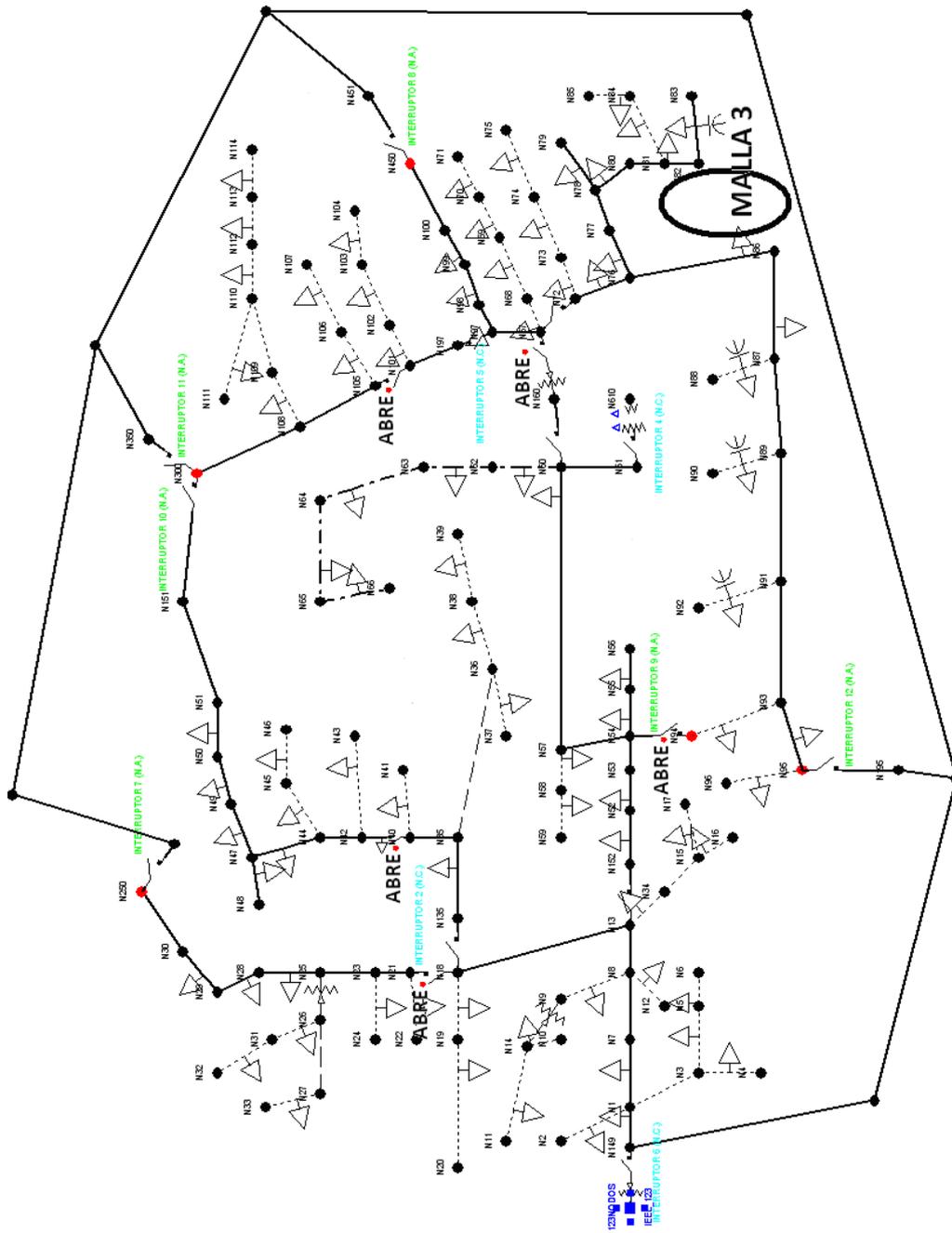


FIGURA 4.18: Red de 123 nodos de IEEE con interruptor T_067 en posición abierta e indicando mallas.

Como se observó en la figura 4.18, la apertura del interruptor del tramo T_067 no contribuye a la apertura de una nueva malla ya que este interruptor se encuentra localizado en una malla ya anteriormente desaparecida por la maniobra de otro interruptor.

Debido a que esta maniobra no viola restricciones y contribuye a la radialidad del sistema, se prosiguió a regresar a la etapa 3.

Etapa 3:

Solucionar el programa de flujos de potencia para la red resultante:

Los resultados de flujos de potencia de la red resultante por la apertura del interruptor del tramo T_067 son los mostrados en las tablas de la etapa 6 y mas datos de esta corrida son mostrados en el apéndice C, por lo que se procede a determinar el POF.

Etapa 4:

Determinar el patrón óptimo de flujos de la red:

Nuevamente analizando las corrientes que pasan por los interruptores de la red las cuales se muestran en la tabla 4.38, donde también se observa por medio de recuadros en rojo los interruptores que han sido abiertos y que permanecen en esa posición y en recuadro en verde aquellos interruptores que nos ocasionaron desconexión de carga y que permanecen en posición cerrada y que no pueden ser utilizados posteriormente.

A continuación, se muestra la tabla de corrientes en los interruptores, así como la sumatoria de estas corrientes:

TABLA 4.38: Tabla de corrientes de interruptores de la red.

TRAMO	IA AMP.	IB AMP.	IC AMP.	³ I AMP.
T_0	616.1	405.4	496.2	1517.7
T_096	104.9	93.8	100.1	298.8
T_072	-42.1	-36.2	-37.6	115.9
T_099	0	0	45.6	
T_0119	67.3	47	86.3	200.6
T_046	172.9	144.3	90	407.2
T-0104	0	0	0	
T_045	108.3	108.5	90	306.8
T_034	0	0	0	
T_029	56.3	19.2	54.4	129.9
T_015	0	0	0	
T_030	29	28.4	9.1	
T_055	99.7	79.5	81.1	260.3
T_059	0	0	0	

TRAMO	IA AMP.	IB AMP.	IC AMP.	³ I AMP.
T_0121	0	0	0	
T_066	0	0	0	0
T_067	0	0	0	

TABLA 4.39: Tabla de patrón óptimo de flujos de la red.

TRAMO	³ I AMP.
T_066	0
T_072	115.9
T_029	129.9
T_0119	200.6
T_055	260.3
T_096	298.8
T_045	306.8
T_046	407.2
T_0	1517.7

Etapa 5:

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

De acuerdo al POF el siguiente interruptor a abrir es el interruptor del tramo T_066, por lo que se procede a la apertura de este interruptor.

Etapa 6:

¿Se violó alguna restricción?

Para esta etapa se realizó una corrida de flujos de potencia, entregando como resultados la siguiente figura en donde se puede observar si existe o no alguna restricción violada.

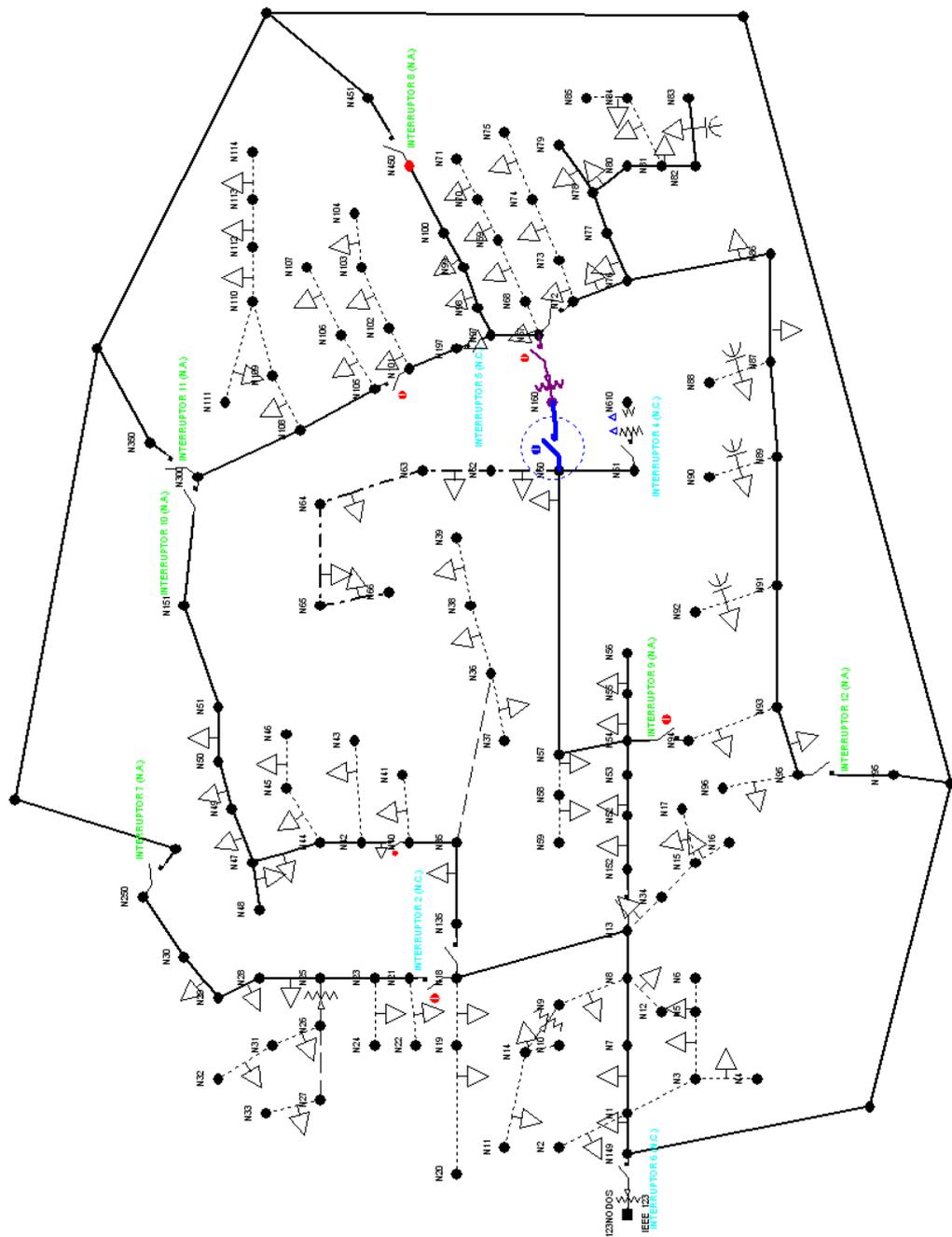


FIGURA 4.19: Red de 123 nodos de IEEE con interruptor T_066 en posición abierta.

La parte morada de la figura 4.19 indica desconexión de carga, por lo que existe una violación a las restricciones establecidas, en consecuencia se pasa a la etapa 7.

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

Debido a la violación de restricciones se procedió a cerrar el interruptor del tramo T_066 y a abrir el interruptor siguiente que acarree la corriente más baja el cual es de acuerdo al POF el interruptor del tramo T_072.

Etapa 6:

¿Se violó alguna restricción?

Para esta etapa se realizó una corrida de flujos de potencia, entregando como resultados la siguiente figura en donde se puede observar si existe alguna restricción violada.

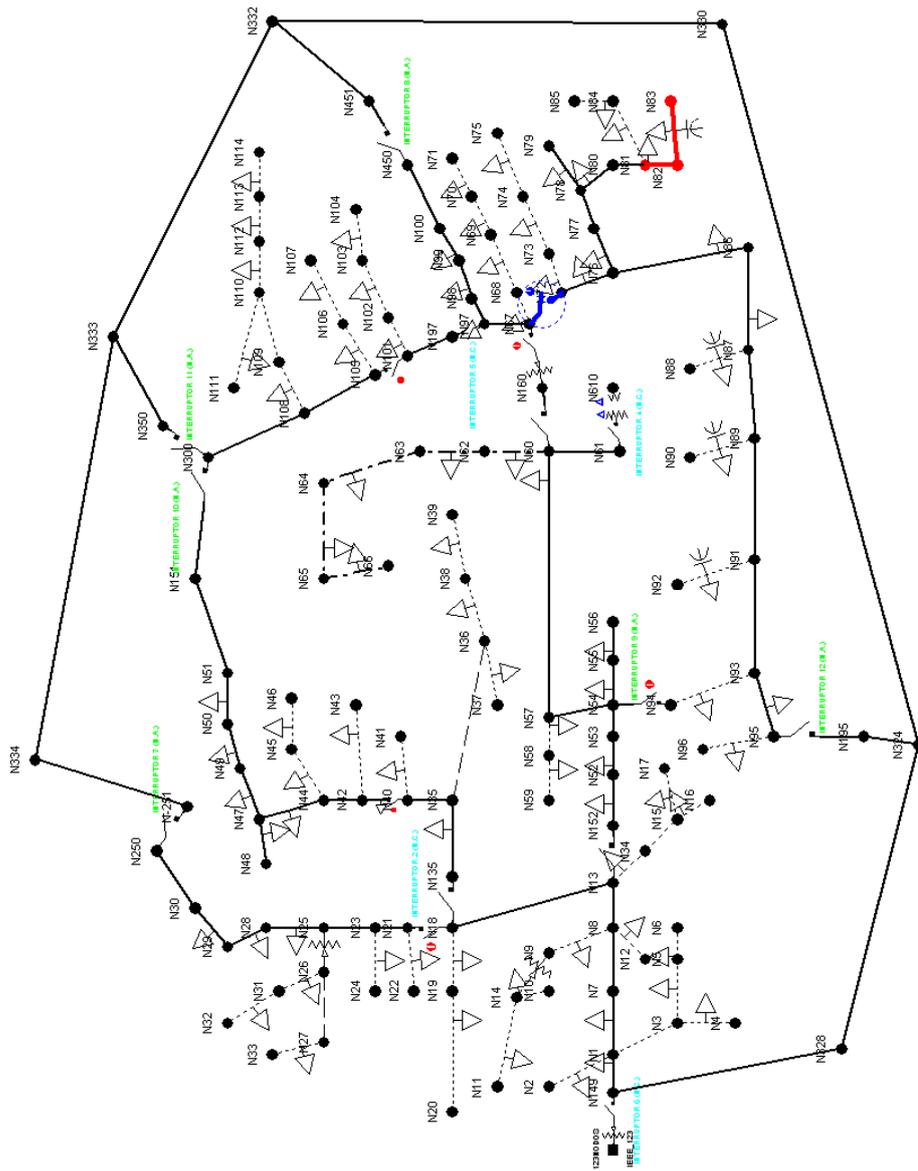


FIGURA 4.20: Red de 123 nodos de IEEE con interruptor T_072 en posición abierta.

En la figura 4.20 la parte roja nos indica sobrecarga, por lo que la apertura de este interruptor nos viola restricciones, debido a esta violación nuevamente regresamos a la etapa 7.

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

Debido a la violación de restricciones se procedió a cerrar el interruptor del tramo T_072 y a abrir el interruptor siguiente que de acuerdo al POF es el interruptor del tramo T_029.

Etapa 6:

¿Se violó alguna restricción?

Para esta etapa se realizó una corrida de flujos de potencia, entregando como resultados la siguiente figura en donde se puede observar si existe o no alguna restricción violada.

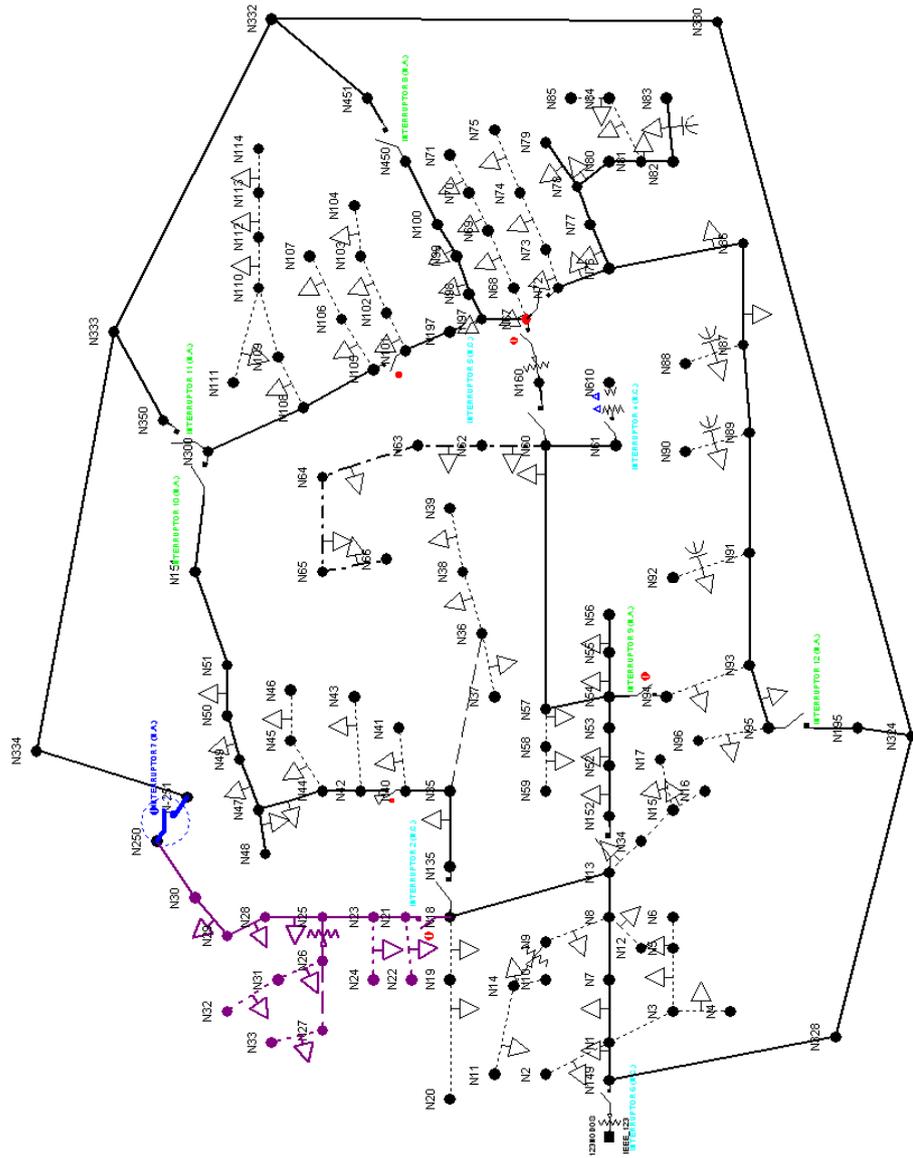


FIGURA 4.2.1: Red de 123 nodos de IEEE con interruptor T_029 en posición abierta.

Como se observó en la figura 4.21 la maniobra de apertura del interruptor del tramo T_029 ocasiona desconexión de carga (parte morada) por lo que se deberá pasar a la etapa 7.

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

Debido a la violación de restricciones se procedió a cerrar el interruptor del tramo T_029 y a abrir el interruptor siguiente que de acuerdo al POF es el interruptor del tramo T_0119.

Etapa 6:

¿Se violó alguna restricción?

Para esta etapa se realizó una corrida de flujos de potencia, entregando como resultados la siguiente figura en donde se puede observar si existe o no alguna restricción violada.

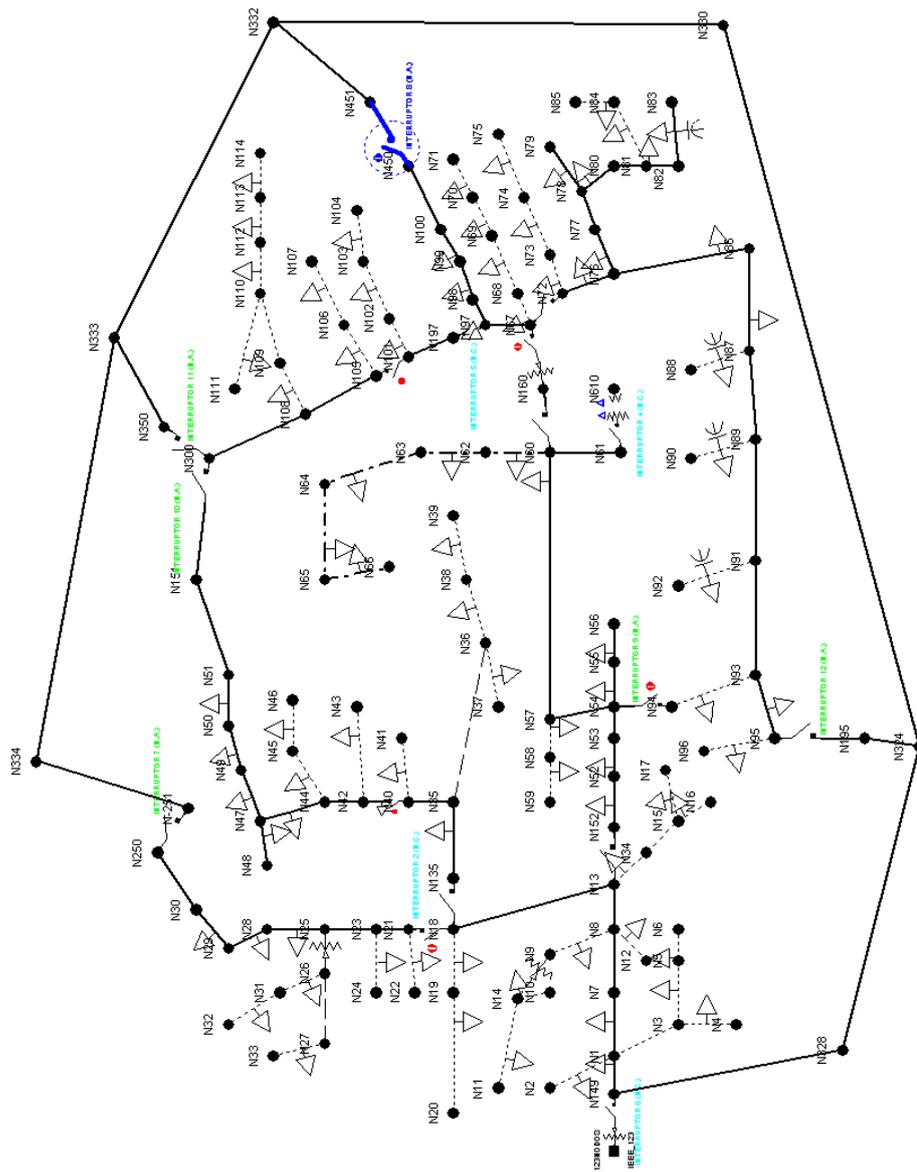


FIGURA 4.22: Red de 123 nodos de IEEE con interruptor T_0119 en posición abierta.

La apertura del interruptor del tramo T_0119 no ocasiona violación alguna, por lo que a continuación, se muestran los resultados arrojados por la corrida de flujos de potencia con el fin de corroborar que dichos resultados se encuentran dentro de los límites establecidos.

TABLA 4.40: Tabla de condiciones anormales de la red.

Condiciones anormales	Fase	Peor caso	%
	A	T_0	96
Sobrecarga	B	T_0	63.1
	C	T_0	77.48
Baja tensión	A	IEEE_123	100
	B	IEEE_123	100
	C	T_0126	98.17
Alta tensión	A	T_085	104.44
	B	T_085	104.91
	C	T_0	103.75

A continuación se muestra la tabla de datos de interruptores, donde es importante observar la posición de estos, los recuadros rojos son interruptores que han sido abiertos y los recuadros en verde aquellos que han sido abiertos y que han violado alguna restricción y por último los recuadros en blanco indican aquellos interruptores que permanecen en posición cerrada sin que en ellos se haya efectuado maniobra de apertura o cierre.

TABLA 4.41: Tabla de datos de interruptores de la red.

TRAMO	FASES	CAP. AMP.	TENSION KV.	TIPO	POSICION	IA AMP.	IB AMP.	IC AMP.
T_0	ABC	700	4.16	Interruptor sec.	Cerrado	616.9	405.5	497.9
T_096	ABC	500	4.16	Interruptor sec.	Cerrado	172	140.1	186
T_072	ABC	500	4.16	Interruptor sec.	Cerrado	72.3	18	65
T_099	ABC	500	4.16	Interruptor sec.	Cerrado	0	0	46.1
T_0119	ABC	500	4.16	Interruptor sec.	Abierto	0	0	0
T_046	ABC	500	4.16	Interruptor sec.	Cerrado	172.9	144.3	90
T-0104	ABC	500	4.16	Interruptor sec.	Abierto	0	0	0
T_045	ABC	500	4.16	Interruptor sec.	Cerrado	108.3	108.5	90
T_034	ABC	500	4.16	Interruptor sec.	Abierto	0	0	0
T_029	ABC	500	4.16	Interruptor sec.	Cerrado	56.3	19.2	54.4
T_015	ABC	500	4.16	Interruptor sec.	Abierto	0	0	0
T_030	ABC	500	4.16	Interruptor sec.	Cerrado	29	28.4	9.1
T_055	ABC	500	4.16	Interruptor sec.	Cerrado	99.7	79.5	81.1

TRAMO	FASES	CAP. AMP.	TENSION KV.	TIPO	POSICION	IA AMP.	IB AMP.	IC AMP.
T_059	ABC	500	4.16	Interruptor sec.	Abierto	0	0	0
T_0121	ABC	500	4.16	Interruptor sec.	Cerrado	0	0	0
T_066	ABC	500	4.16	Interruptor sec.	Cerrado	0	0	0
T_067	ABC	500	4.16	Interruptor sec.	Abierto	0	0	0

A continuación, se muestra la tabla 4.42 de datos de todos los nodos del sistema, con el fin de comprobar que no se han violado restricciones por la apertura del interruptor del tramo T_0119.

TABLA 4.42: Tabla de datos de nodos de la red.

# NODO	FASES	PERFIL DE V. %	IA AMP.	IB AMP.	IC AMP.	PERDIDAS EN KW.
N149	ABC	102.66	616.9	405.5	497.9	38.73
N328	ABC	102.52	382.7	283.9	317.7	19.06
N324	ABC	102.4	382.7	283.9	317.7	16.94
N195	ABC	102.38	172	140.1	186	11.79
N95	ABC	102.38	172	140.1	186	11.73
N93	ABC	102.3	172	126.1	186	10.3
N91	ABC	102.25	157.1	126.1	186	9.29
N89	ABC	102.2	157.1	126.1	170.1	8.34
N87	ABC	102.13	157.1	106.9	170.1	7.25
N86	ABC	102.02	139.3	93.2	170.1	5.68
N76	ABC	101.87	139.3	86.9	170.1	3.27
N72	ABC	101.8	72.3	18	120.6	0.7
N67	ABC	101.72	72.3	18	65	0.4
N68	A	102.07	45.2			0.07
N69	A	101.97	27.1			0.03
N70	A	101.9	18.1			0.01
N71	A	101.86	0			0
N97	ABC	101.68	18	18	65	0.19
N98	ABC	101.65	0	18	18.8	0.03
N99	ABC	101.61	0	0	18.8	0.01
N100	ABC	101.6	0	0	0	0
N450	ABC	101.6	0	0	0	0
N197	ABC	101.68	0	0	46.1	0.14
N101	ABC	101.66	0	0	46.1	0.1
N102	C	99.98			36.9	0.06
N103	C	99.88			18.5	0.02
N104	C	99.78			0	0
N73	C	100.3			37.3	0.05

# NODO	FASES	PERFIL DE V. %	IA AMP.	IB AMP.	IC AMP.	PERDIDAS EN KW.
N74	C	100.2			18.4	0.01
N75	C	100.14			0	0
N77	ABC	102.05	78	81.1	76.4	1.88
N78	ABC	102.09	78	81.1	76.4	1.78
N79	ABC	102.09	0	0	0	0
N80	ABC	102.33	80.7	87.5	76.4	1.24
N81	ABC	102.58	80.7	87.5	76.4	0.68
N84	C	100.98			18.3	0.01
N85	C	100.91			0	0
N82	ABC	102.73	87.1	87.5	81.7	0.32
N83	ABC	102.88	0	0	0	0
N88	A	102.28	0			0
N90	B	102.6		0		0
N92	C	101.96			0	0
N94	A	102.2	0			0
N96	B	102.57		0		0
N330	ABC	102.4	229.1	163.5	144.2	4.94
N332	ABC	102.21	229.1	163.5	144.2	3.59
N451	ABC	102.21	0	0	0	0
N450	ABC	101.6	0	0	0	0
N333	ABC	102.07	229.1	163.5	144.2	2.53
N350	ABC	102.05	172.9	144.3	90	1.96
N300	ABC	102.05	172.9	144.3	90	1.96
N108	ABC	101.87	64.8	36.1	0	0.31
N105	ABC	101.85	0	36.1	0	0.01
N101	ABC	101.66	0	0	46.1	0.1
N106	B	102.22		18		0.01
N107	B	102.2		0		0
N109	A	100.95	46.5			0.11
N110	A	100.84	46.5			0.06
N112	A	100.81	28.1			0.04
N113	A	100.69	9.2			0
N114	A	100.66	0			0
N111	A	100.8	0			0
N151	ABC	102.03	108.3	108.5	90	1.18
N51	ABC	102.02	108.3	108.5	90	1.12
N50	ABC	101.87	99.3	108.5	90	0.69
N49	ABC	101.73	99.3	108.5	72.1	0.29
N47	ABC	101.62	81.8	73.7	54.7	0.07
N44	ABC	101.61	27.5	19.2	0	0.01

# NODO	FASES	PERFIL DE V. %	IA AMP.	IB AMP.	IC AMP.	PERDIDAS EN KW.
N42	ABC	101.6	9.1	19.2	0	0
N40	ABC	101.62	0	0	9.1	0
N41	C	101.57			0	0
N43	B	101.87		0		0
N45	A	101.15	9.1			0
N46	A	101.12	0			0
N48	ABC	101.59	0	0	0	0
N334	ABC	102.02	56.3	19.2	54.4	0.39
N-251	ABC	102.02	56.3	19.2	54.4	0.37
N250	ABC	102.01	56.3	19.2	54.4	0.36
N30	ABC	101.96	56.3	19.2	54.4	0.28
N29	ABC	101.89	56.3	19.2	36.3	0.17
N28	ABC	101.84	37.2	19.2	36.3	0.12
N25	ABC	101.82	18.6	19.2	36.3	0.09
N23	ABC	101.8	0	19.2	18.2	0.03
N21	ABC	101.79	0	19.2	0	0.01
N18	ABC	101.67	65.6	28.4	9.1	0.09
N19	A	100.98	18.6			0
N20	A	100.98	0			0
N135	ABC	101.67	29	28.4	9.1	0.06
N35	ABC	101.63	19	18.3	9.1	0.02
N40	ABC	101.62	0	0	9.1	0
N36	AB	101.61	19	18.3		0.01
N37	A	100.84	0			0
N38	B	102.34		9		0
N39	B	102.34		0		0
N22	B	102.22		0		0
N24	C	101.54			0	0
N26	AC	101.19	18.6		18.3	0.03
N27	AC	101.17	18.6		0	0.01
N33	A	101.33	0			0
N31	C	100.91			9.1	0
N32	C	100.89			0	0
N1	ABC	102.35	220	125.5	183.1	15.09
N2	B	102.6		0		0
N3	C	102.12			46.6	0.03
N4	C	102.09			0	0
N5	C	102.05			19.2	0.01
N6	C	102.01			0	0
N7	ABC	102.14	210.9	116.6	136.5	13.54

# NODO	FASES	PERFIL DE V. %	IA AMP.	IB AMP.	IC AMP.	PERDIDAS EN KW.
N8	ABC	102	210.9	116.6	136.5	12.62
N12	B	102.49		0		0
N13	ABC	101.82	164.7	107.6	136.5	11.53
N18	ABC	101.67	65.6	28.4	9.1	0.09
N34	C	101.6			27.2	0.02
N15	C	101.58			27.2	0.01
N16	C	101.52			0	0
N17	C	101.55			0	0
N152	ABC	101.82	99.7	79.5	81.1	11.08
N52	ABC	101.66	81.6	79.5	81.1	10.55
N53	ABC	101.59	63.5	79.5	81.1	10.32
N54	ABC	101.55	63.5	79.5	81.1	10.2
N94	A	102.2	0			0
N55	ABC	101.54	0	9	0	0
N56	ABC	101.54	0	0	0	0
N57	ABC	101.42	54.1	70.5	81.1	9.89
N58	B	101.96		9		0
N59	B	101.96		0		0
N60	ABC	101.15	45.1	52.2	81.1	9.35
N61	ABC	101.15	0	0	0	0
N610	ABC	101.15	0	0	0	0
N62	ABC	100.59	45.1	52.2	62.3	6.57
N63	ABC	100.24	27.3	52.2	62.3	5.09
N64	ABC	99.62	27.3	17.9	62.3	2.54
N65	ABC	99.06	0	0	35.1	0.43
N66	ABC	98.91	0	0	0	0
N160	ABC	101.15	0	0	0	0
N67	ABC	101.72	72.3	18	65	0.4
N9	A	101.58	28.1			0.04
N14	A	100.85	28.3			0.01
N10	A	100.83	0			0
N11	A	100.81	0			0

Los datos de los reguladores de la red se muestran en la tabla 4.43.

TABLA 4.43: Tabla de reguladores de la red.

TRAMO	FASES	CAP. AMP.	KV L-N	POSICION	TAP. A	TAP. B	TAP. C
T_0	ABC	666.67	2.4	Toma fija	6	6	6
T_020	AC	187.5	2.4	Toma fija	0		-1

TRAMO	FASES	CAP. AMP.	KV L-N	POSICION	TAP. A	TAP. B	TAP. C
T_067	ABC	300	2.4	Ajustes R&X	2	2	1
T_128	A	187.5	2.4	Toma fija	-1		

Etapa 8:

¿La red es radial?

Una vez efectuada la maniobra de apertura del interruptor del tramo T_0119 y que esta maniobra no haya violado las restricciones establecidas, se deberá analizar si la red es radial.

La manera en que se comprobó si la red es radial es mediante la visualización de la figura siguiente:

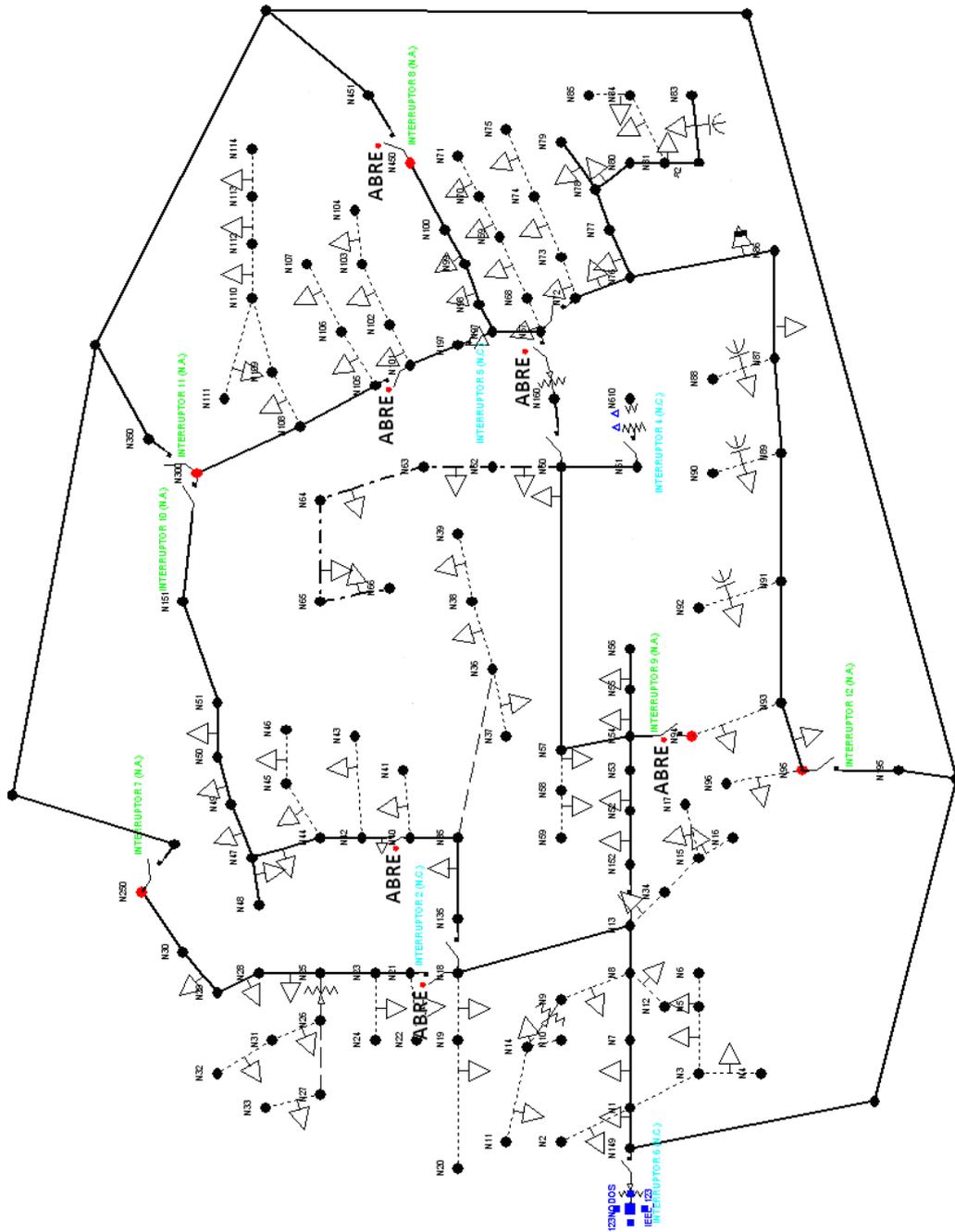


FIGURA 4.23: Sistema reconfigurado.

Con la apertura del interruptor del tramo T_0119, se rompió la malla 3 que era la última malla existente en el sistema, por lo que con esta maniobra el sistema ha quedado radial.

Una vez con la maniobra efectuada y que esta maniobra no violó ninguna restricción y que el sistema ha quedado radial, se pasa a la etapa 9, la cual es la última.

Etapa 9:

¿Imprime resultados?

Este paso indica que se ha llegado a la reconfiguración esperada para la reducción de pérdidas resistivas en la línea, por lo cual a continuación se muestra la configuración final del sistema y los resultados de este.

Como se sabe después de la apertura del interruptor del tramo T_0119 la red no violó restricciones y quedó de forma radial, por este motivo se concluye la aplicación de la metodología, ya que se ha llegado al resultado esperado, el cual se puede comprobar en los resultados mostrados en la etapa 6, ya que como esta fue la última maniobra, entonces los resultados de la etapa 6 anterior son los resultados del sistema final (reconfigurado).

CAPITULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES:

Los resultados obtenidos demuestran que la metodología de reconfiguración de redes de distribución propuesta en esta tesis reduce las pérdidas resistivas totales del sistema de prueba.

De acuerdo a lo presentado y analizado en este trabajo se concluye lo siguiente:

1. Cuando un sistema no cuenta con los interruptores ubicados adecuadamente en las líneas de tal manera que estos representen nuevas trayectorias de alimentación, el sistema no tendrá posibilidad de ser reconfigurado.
2. Se presentó una metodología confiable para realizar la reconfiguración de sistemas de distribución y que contempla la no violación de restricciones importantes en la red de distribución, como son: perfiles de voltaje, ampacidad y desconexión de carga.
3. La metodología propuesta en esta tesis toma en cuenta la mayoría de los elementos existentes actualmente en una red eléctrica de distribución, además de el análisis de flujos de potencia y estudios bajo condiciones normales de operación para determinar el mejor escenario de reconfiguración con pérdidas mínimas a través de los cuales se desarrolla un método heurístico de nueve etapas basadas en la minimización de pérdidas resistivas en la línea.

Del análisis del sistema de prueba se puede concluir que es un sistema de prueba relativamente robusto y que la aplicación de esta metodología arrojó resultados favorables, reduciendo considerablemente las pérdidas resistivas totales en el sistema a menos de la mitad, aunado a la reducción de pérdidas se mejoró aunque en cantidad mínima el perfil de tensión en los nodos, evitando sobrecarga en alimentadores, desconexión de carga y límites de ampacidad.

4. De los análisis de flujos de potencia realizados se encontró que el mayor porcentaje de pérdidas se encuentra en las primeras secciones troncales, siendo la reducción de pérdidas en estas secciones lo que realmente justifica el costo de la inversión.

5. Aunque la minimización de pérdidas trae consigo beneficios, sobre todo si se tiene en mente el gran número de alimentadores existentes en un sistema de distribución, esto también involucra un costo de inversión que en la mayoría de los casos resultan altos.
6. Esta metodología minimiza pérdidas por medio de alternativas que involucra el uso de equipos comerciales.
7. La metodología además de reducir pérdidas también toma en cuenta aspectos de operación como son el porcentaje de regulación de voltaje así como límites de corriente y alimentación de toda la carga.

RECOMENDACIONES:

Ante la aplicación de esta metodología a cualquier red eléctrica de distribución se recomienda realizar un análisis previo de disponibilidad de maniobras interruptivas y trayectorias de alimentación desde la fuente, con el fin de determinar si el sistema cuenta con posibilidades de reconfiguración.

De acuerdo al tema de minimización de pérdidas expuesto en este trabajo se encontraron algunos puntos para investigar en trabajos futuros, como son:

- Evaluar el efecto que la presencia de armónicos tiene sobre las pérdidas en los transformadores, principalmente sobre las pérdidas en el núcleo.
- Investigar acerca de las pérdidas en vacío en los sistemas de distribución.
- Contemplar el uso de técnicas inteligentes de optimización, con la finalidad de reducir el esfuerzo de evaluación de operaciones interruptivas.
- El desarrollo de un algoritmo que resuelva el problema de flujos de potencia de manera aproximada, pero que permita definir el conjunto de reconfiguraciones factibles en un sistema de distribución.
- El desarrollo de un código de programación que permita aplicar esta metodología eficientemente.

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
- [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.
- [10]. Luís M. Ferreira y Pedro S. Carvalho. "Distribution Planning Tool Optimizes

- a. Design+, Edinfor Electricidade de Portugal, 1994.
- [11]. C. G. Lee %Métodos y Técnicas para la Reducción de perdidas en Transmisión y Distribution+, Instituto de Investigaciones Electricas Unidad de Informacion Tecnologica, Cuernavaca Morelos, Mexico, 1990.
- [12]. K. R. M. Nair, %Reduction of T and D losses in Indian Power System by Using High Efficiency Transformers and HV Distribution System+, Electrical India, February, 1996.
- [13]. Booth and Assocites, Inc. Consulting Engineers, %Distribution System Loss Reduction Manual for Tenesse Valley Public Power Association+, Raleigh North Carolina, November 1994.
- [14]. David R. Brown, %Distribution System Performance Improvement Guide+, A technical Guide Developed for the American Public Power Association, March 1997.
- [15]. Gönen, T., Electric Power Distribution System Engineering, McGraw Hill, Inc.1986.
- [16]. M. C. Mendiola, C. S. Chang, S. Elangovan, %Fuzzy Expert System For Distribution System Restoration and Contingency Operation+, *IEEE Catalogue* No. 95TH8130, 1995.
- [17]. R. J. Sarfi, M. M. A. Salama, A. Y. Chikhani, %Distribution System Reconfiguration For Loss Reduction: A New Algorithm Based On A Set of Quantified Heuristic Rules+, Dept. of Electrical & Comp. Eng. University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada.
- [18]. A. Cali, F. Caudullo, S. Conti, G. Tina, %Electrical Distribution System Reconfiguration For Future Meshed Networks+, *Dip. Electrico, Elettronico e Sistemistico*, Universita Degli Studi di Catania, Catania Italy.

- [19]. T. E. McDermott, I. Drezga, R. P. BroadWater, %A Heuristic Nonlinear Constructive Method For Distribution System Reconfiguration+, *IEEE Transactions On Power Systems*, Vol. 14, No. 2, May 1999.
- [20]. K. Aloi, T. Ichimori, M. Kanezashi, %N Normal State Optimal Load Allocation in Distribution Systems+, *IEEE Transaction On Power Delivery*, Vol. 2, No. 1, January 1987.
- [21]. L. Morelato y A. Monticelli, %M Heuristic Search Approach to Distribution System Restoration+, *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 4, No. 4, October 1989.
- [22]. Qin Zhou, Darius Shirmohammadi, W. H. Edwin Liu, %D Distribution Feeder Reconfiguration for Service Restoration and Load Balancing+, *IEEE Transactions on PWRS*, Vol. 12 No. 2, May, 1997, pp. 724-729.
- [23]. S. Civanlar, J. J. Grainger, H. Yin, S. S. H. Lee, %D Distribution Reconfiguration For Loss Reduction+, *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 3, No. 2, May 1988.
- [24]. D. Shirmohammadi, %S Service Restoration in Distribution Networks Via Network Reconfiguration+, *IEEE Trans. On PWRD*, Vol. 7, No. 2, April 1992, pp. 952-958.
- [25]. N. D. R. Sarma, V. C. Prasad, K. S. Prakasa Rao, V. Samkar, %A New Network Reconfiguration Technique For Service Restoration in Distribution Networks+, *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 9, No. 4, October 1994.

APÉNDICES

APÉNDICE A

En el siguiente apéndice se muestran los datos del sistema de prueba utilizado para la implementación de la metodología.

En la tabla A.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 A.1. Datos de Configuración de Líneas Aéreas

Configuración ID	Faseo	Fase ACSR	Neutro ACSR	Espaciamento 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 A.2 se presentan los datos de las configuraciones de cables subterráneos del sistema de prueba de 123 nodos del IEEE.

Tabla A.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 A.3 se presentan los datos de los transformadores del sistema de prueba de 123 nodos del IEEE.

Tabla A.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 A.4 se presentan los datos de los segmentos de línea del sistema de prueba de 123 Nodos del IEEE.

Tabla A.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

Nodo A	Nodo B	Longitud (ft.)	ID Configuración
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

Nodo A	Nodo B	Longitud (ft.)	ID Configuración
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 A.5 se muestra los datos de los interruptores instalados en el sistema de 123 nodos del IEEE.

Tabla A.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 A.6 se presentan los datos de los bancos de capacitores instalados en el sistema de 123 nodos del IEEE.

Tabla A.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 A.7 muestra los datos de los reguladores de voltaje del sistema de prueba de 123 nodos del IEEE.

Tabla A.7. Datos de Reguladores de Voltaje.

Regulator ID:	1		
Segmento de Línea:	150 -149		
Localización:	150		
Fases:	A - B - C		
Conección:	3-Ph, Wye		
Monitoreo de Fases:	A		
Tolerancia:	2.0 volts		

Regulator ID:	1		
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		

Regulator ID:	2		
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		

Regulator ID:	3		
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 Compensator:	Ph-A	Ph-B	
R - Posición:	0.4	0.4	
X - Posición:	0.4	0.4	
Nivel de Voltaje:	120	120	

Regulator ID:	4		
Segmento de Línea:	160 - 67		
Localización:	160		
Fases:	A - B - C		
Conección:	3-Ph, LG		
Monitoreo de Fases:	A - B - C		

Regulator ID:	1		
Tolerancia:	2.0 volts		
Relación de TP:	20		
Relación del Primario del TC:	300		
Configuración del Compensator:	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 A.8 presenta los datos de las cargas puntuales del sistema de prueba de 123 nodos del IEEE.

Tabla A.8. Datos de Carga Puntuales

Node	Carga Modelo	Ph-1		Ph-2		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

Node	Carga	Ph-1	Ph-1	Ph-2	Ph-2	Ph-3	Ph-3
	Modelo	kW	kVAr	kW	kVAr	kW	kVAr
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

Node	Carga	Ph-1	Ph-1	Ph-2	Ph-2	Ph-3	Ph-3
	Modelo	kW	kVAr	kW	kVAr	kW	kVAr
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

APÉNDICE B

RESULTADOS DEL SISTEMA RECONFIGURADO POR MEDIO DE CYMDIST.

Una vez comprobado por medio del simulador, que con los elementos agregados al sistema de prueba si se puede efectuar una reconfiguración, a continuación, se muestran los resultados obtenidos por dicha reconfiguración realizada por medio del simulador.

Esta prueba de reconfiguración por medio del simulador se realizo únicamente con la finalidad de que los elementos agregados al sistema fueron necesarios para que este pudiera ser reconfigurado.

A continuación, se presentan 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 figuras.

En la figura B.1 se muestra la estructura del sistema de prueba una vez realizada la reconfiguración por medio del simulador:

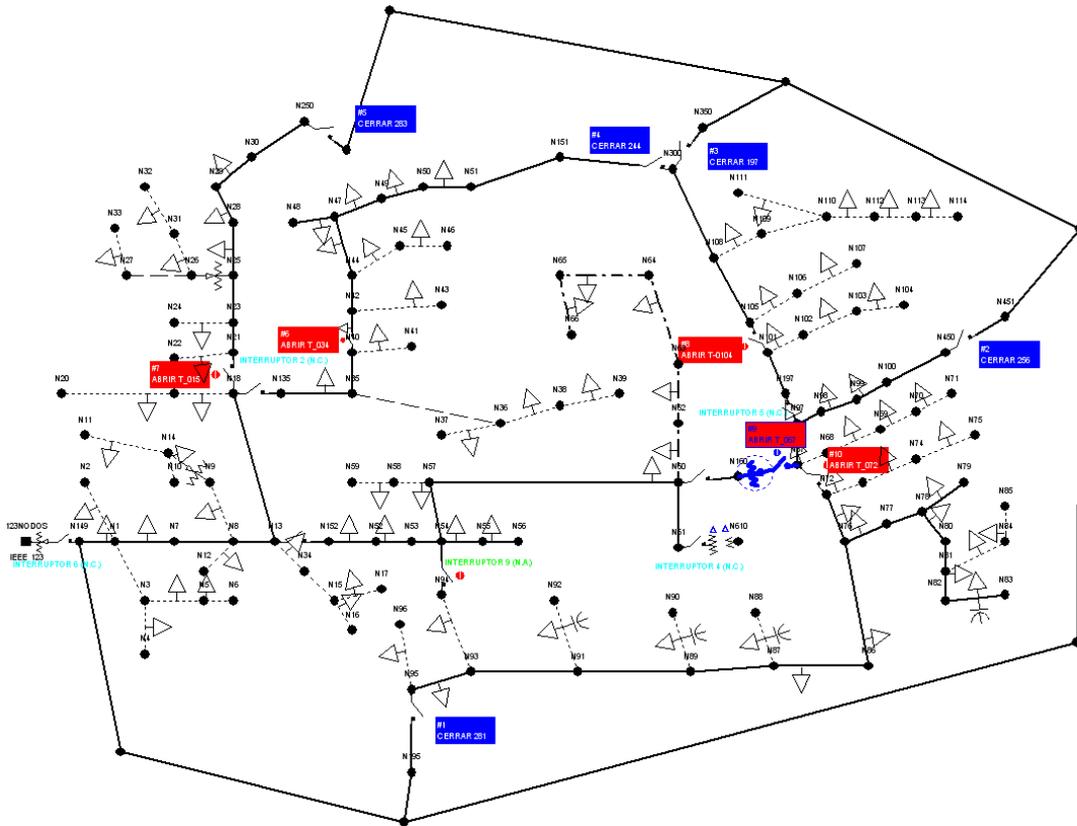


FIGURA B.1: Dibujo del sistema reconfigurado.

De la figura B.1 los recuadros en rojo indican apertura de interruptores y los recuadros azules indican cierre de interruptores, ambas operaciones de apertura y cierre son realizadas con los interruptores existentes en la red de prueba.

A continuación, se muestra por medio de tablas los resultados arrojados por el simulador al efectuar la reconfiguración, en la tabla B.1 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 B.1: Reporte de datos de cables 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

ALIMENTADOR	TRAMO	FASES	CONFIGURACION	LONGITUD	PERFIL DE V.
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 pérdidas aguas abajo, dichos valores son referenciados a cada tramo del sistema, como lo indica la numeración de la tabla.

TABLA B.2: 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

TRAMO	PERFIL DE V.	VA L-N	VB L-N	VC L-N	IA	IB	IC	PERDIDAS(KW)
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

TRAMO	PERFIL DE V	VA L-N	VB L-N	VC L-N	IA	IB	IC	PERDIDAS(kw)
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

TRAMO	PERFIL DE V.	VA L-N	VB L-N	VC L-N	IA	IB	IC	PERDIDAS(KW)
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

De la tabla anterior los recuadros en color rojo muestran los valores más altos de perfil de voltaje y las pérdidas aguas abajo vistas desde el alimentador principal, lo que esto equivale a las pérdidas en todo el sistema, con lo cual se puede constatar que dichas pérdidas son mucho menores a las pérdidas 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 ($\pm 5\%$).

Siendo 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 se tenía 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 (100%) 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 se tenía 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 ($\pm 5\%$) además de cumplir con el objetivo principal de la metodología a implementar, el cual es reducir pérdidas resistivas en la línea.

Como se observó en la tabla anterior las pérdidas totales del sistema se redujeron considerablemente de 101.11kw que eran las pérdidas totales del sistema bajo condiciones normales de operación a 36.05kw que son las pérdidas totales del sistema ya reconfigurado, vistas desde el tramo principal del sistema aguas abajo.

A continuación, se presenta la tabla B.3 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 permite hacer ninguna maniobra de reconfiguración si no se tiene facilidad de maniobra en cuanto los taps de este regulador, ya que este regulador por su ubicación en el sistema juega un papel importante al momento de que el simulador realiza las maniobras interruptivas que llevan a una reconfiguración exitosa.

TABLA B.3: Datos de reguladores del sistema reconfigurado.

# 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		

No se consideró 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 B.4 se muestra los datos de interruptores del sistema reconfigurado, donde es de suma importancia el observar las maniobra interruptivas que realizó 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 B.4: 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

# INTERRUPTOR	TRAMO	FASES	I NOM.(AMP.)	V NOM.(KV)	TIPO	POSICION
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.

APÉNDICE C

A continuación, se muestran los resultados de las corridas de flujos de potencia con ayuda del simulador, estos resultados son de cada una de las maniobras de apertura indicadas en la etapa de implementación y son mostrados con el fin de comprobar de que cada apertura de interruptor indicada no viola ninguna de las restricciones planteadas.

La tabla C.1 muestra los resultados de flujos de potencia en los nodos del sistema debido a la apertura del interruptor del tramo T_0104.

TABLA C.1: Datos de nodos.

# NODO	FASES	PERFIL DE V. %	IA AMP.	IB AMP.	IC AMP.	PERDIDAS EN KW.
N149	ABC	102.66	616.4	405.6	496.9	37.58
N328	ABC	102.53	410.2	264.4	277.4	7.51
N324	ABC	102.42	410.2	264.4	277.4	5.45
N195	ABC	102.41	147.8	86.4	92.4	0.03
N95	ABC	102.41	147.8	86.4	92.4	
N96	B	102.63		0		0
N330	ABC	102.42	264.4	188.4	203.2	5.32
N332	ABC	102.22	264.4	188.4	203.2	3.37
N451	ABC	102.22	61.5	41.4	72.9	0.02
N450	ABC	102.22	61.5	41.4	72.9	
N333	ABC	102.07	231.3	167.4	154.4	2.2
N350	ABC	102.05	172.9	144.3	90	1.96
N300	ABC	102.05	172.9	144.3	90	1.96
N108	ABC	101.87	64.8	36.1	0	0.31
N105	ABC	101.85	0	36.1	0	0.01
N101	ABC	102.42	0	0	45.2	0.09
N102	C	102.02			36.2	0.05
N103	C	101.92			18.1	0.02
N104	C	101.82			0	0
N106	B	102.25		18		0.01
N107	B	102.22		0		0
N109	A	100.92	46.5			0.11
N110	A	100.81	46.5			0.06
N112	A	100.78	28.1			0.04
N113	A	100.66	9.2			0
N114	A	100.64	0			0

# NODO	FASES	PERFIL DE V. %	IA AMP.	IB AMP.	IC AMP.	PERDIDAS EN KW.
N111	A	100.77	0			0
N151	ABC	102.04	108.3	108.5	90	1.18
N51	ABC	102.02	108.3	108.5	90	1.12
N50	ABC	101.87	99.3	108.5	90	0.69
N49	ABC	101.73	99.3	108.5	72.1	0.29
N47	ABC	101.63	81.8	73.8	54.7	0.07
N44	ABC	101.61	27.5	19.2	0	0.01
N42	ABC	101.6	9.1	19.2	0	0
N40	ABC	101.59	0	0	9.1	0
N41	C	101.27			0	0
N43	B	101.89		0		0
N45	A	101.12	9.1			0
N46	A	101.1	0			0
N48	ABC	101.59	0	0	0	0
N334	ABC	102.02	58.4	23.6	64.6	0.04
N-251	ABC	102	58.4	23.6	64.6	0.01
N250	ABC	102	58.4	23.6	64.6	
N1	ABC	102.31	192	144.8	232.8	25.21
N2	B	102.53		0		0
N3	C	101.98			46.5	0.03
N4	C	101.95			0	0
N5	C	101.9			19.2	0.01
N6	C	101.86			0	0
N7	ABC	102.08	183	135.8	186.5	23.52
N8	ABC	101.93	183	135.8	186.5	22.5
N12	B	102.33		0		0
N13	ABC	101.73	136.8	126.8	186.5	21.18
N18	ABC	101.64	64.5	24.8	15	0.58
N19	A	101.35	18.6			0
N20	A	101.35	0			0
N21	ABC	101.66	5.7	8.4	-17.1	0.48
N22	B	102.18		0		0
N23	ABC	101.69	5.7	-23.6	-17.1	0.45
N24	C	101.29			0	0
N25	ABC	101.72	5.6	-23.6	-30.5	0.41
N26	AC	101.07	18.6		18.3	0.03
N27	AC	101.05	18.6		0	0.01
N33	A	101.29	0			0
N31	C	100.71			9.2	0
N32	C	100.69			0	0

# NODO	FASES	PERFIL DE V. %	IA AMP.	IB AMP.	IC AMP.	PERDIDAS EN KW.
N28	ABC	101.77	-39.4	-23.6	-47.2	0.32
N29	ABC	101.84	-58.4	-23.6	-47.2	0.24
N30	ABC	101.93	-58.4	-23.6	-64.6	0.1
N250	ABC	102	58.4	23.6	64.6	
N135	ABC	101.63	29.1	28.4	9.1	0.06
N35	ABC	101.59	19	18.3	9.1	0.02
N40	ABC	101.59	0	0	9.1	0
N36	AB	101.71	19	18.3		0.01
N37	A	101.21	0			0
N38	B	102.16		9		0
N39	B	102.16		0		0
N34	C	101.16			27.4	0.02
N15	C	101.13			27.4	0.01
N16	C	101.08			0	0
N17	C	101.11			0	0
N152	ABC	101.72	75	102.2	142.7	20.24
N52	ABC	101.51	57.4	102.2	142.7	19.38
N53	ABC	101.41	40.5	102.2	142.7	18.97
N54	ABC	101.36	40.5	102.2	142.7	18.71
N94	ABC	101.36	85.7	0	0	
N55	ABC	101.35	0	9.1	0	0
N56	ABC	101.34	0	0	0	0
N57	ABC	101.09	116.8	93.1	142.7	17.82
N58	B	101.62		9.1		0
N59	B	101.62		0		0
N60	ABC	100.55	108.3	74.8	142.7	16.06
N61	ABC	100.55	0	0	0	0
N610	ABC	100.55	0	0	0	0
N62	ABC	99.98	45	52.1	62.6	6.6
N63	ABC	99.63	27.2	52.1	62.6	5.12
N64	ABC	99.01	27.2	17.9	62.6	2.56
N65	ABC	98.45	0	0	35.7	0.44
N66	ABC	98.3	0	0	0	0
N160	ABC	100.54	64.6	22.9	68.4	6.66
N67	ABC	102.5	63.4	22.6	66.3	6.46
N68	A	102.43	45.1			0.07
N69	A	102.33	27			0.03
N70	A	102.26	18			0.01
N71	A	102.22	0			0
N72	ABC	102.5	27.1	40.5	43.9	4.9

# NODO	FASES	PERFIL DE V. %	IA AMP.	IB AMP.	IC AMP.	PERDIDAS EN KW.
N73	C	102.14			37.3	0.05
N74	C	102.03			18.1	0.01
N75	C	101.98			0	0
N76	ABC	102.51	-40.2	47.6	-56.3	4.73
N77	ABC	102.69	78.2	81.1	77.7	1.9
N78	ABC	102.74	78.2	81.1	77.7	1.79
N79	ABC	102.73	0	0	0	0
N80	ABC	102.97	80.9	87.5	77.7	1.25
N81	ABC	103.23	80.9	87.5	77.7	0.68
N84	C	102.71			18	0.01
N85	C	102.64			0	0
N82	ABC	103.38	87.3	87.5	83.3	0.32
N83	ABC	103.53	0	0	0	0
N86	ABC	102.45	-61	-41	-72.3	1.96
N87	ABC	102.42	-61	-53.2	-72.3	1.67
N88	A	102.21	0			0
N89	ABC	102.41	-81.9	-53.2	-72.3	1.41
N90	B	102.69		0		0
N91	ABC	102.39	-81.9	-73	-72.3	1.19
N92	C	102.47			0	0
N93	ABC	102.37	-81.9	-73	-92.4	0.9
N94	ABC	101.36	85.7	0	0	
N95	ABC	102.41	147.8	86.4	92.4	
N97	ABC	102.44	-54.6	-35.3	-56.6	1.26
N98	ABC	102.39	-61.4	-35.3	-61.7	0.99
N99	ABC	102.31	-61.4	-41.4	-61.7	0.69
N100	ABC	102.28	-61.4	-41.4	-72.9	0.53
N450	ABC	102.22	61.5	41.4	72.9	
N197	ABC	102.44	0	0	45.2	0.13
N101	ABC	102.42	0	0	45.2	0.09
N9	A	101.85	28.1			0.04
N14	A	101.12	28.3			0.01
N10	A	101.1	0			0
N11	A	101.08	0			0

A continuación en la tabla C.2 se muestran los datos de los reguladores debido a la maniobra de apertura del interruptor indicado.

TABLA C.2: Datos de reguladores.

TRAMO	FASES	CAP. AMP.	KV L-N	POSICION	TAP. A	TAP. B	TAP. C
T_0	ABC	666.67	2.4	Toma fija	6	6	6
T_020	AC	187.5	2.4	Toma fija	0		-1
T_067	ABC	300	2.4	Ajustes R&X	3	2	5
T_128	A	187.5	2.4	Toma fija	-1		

Las siguientes tablas que se muestran a continuación, son de los resultados de flujos de potencia debido a la apertura del interruptor del tramo T_015.

TABLA C.3: Datos de nodos.

# NODO	FASES	PERFIL DE V. %	IA AMP.	IB AMP.	IC AMP.	PERDIDAS EN KW.
N149	ABC	102.66	616.4	405.6	496.4	36.58
N328	ABC	102.53	408.5	267.4	281.5	7.78
N324	ABC	102.42	408.5	267.4	281.5	5.71
N195	ABC	102.41	147.2	87.9	91.5	0.03
N95	ABC	102.41	147.2	87.9	91.5	
N96	B	102.63		0		0
N330	ABC	102.42	262.7	188.2	202.7	5.57
N332	ABC	102.23	262.7	188.2	202.7	3.64
N451	ABC	102.23	58.8	42.1	72.5	0.02
N450	ABC	102.23	58.8	42.1	72.5	
N333	ABC	102.08	229.2	163.5	144.1	2.53
N350	ABC	102.07	172.9	144.3	90	1.96
N300	ABC	102.07	172.9	144.3	90	1.96
N108	ABC	101.89	64.8	36.1	0	0.31
N105	ABC	101.87	0	36.1	0	0.01
N101	ABC	102.35	0	0	45.3	0.09
N102	C	101.83			36.3	0.05
N103	C	101.73			18.1	0.02
N104	C	101.63			0	0
N106	B	102.26		18		0.01
N107	B	102.23		0		0
N109	A	100.93	46.5			0.11
N110	A	100.82	46.5			0.06
N112	A	100.78	28.1			0.04
N113	A	100.66	9.2			0
N114	A	100.64	0			0
N111	A	100.77	0			0

# NODO	FASES	PERFIL DE V. %	IA AMP.	IB AMP.	IC AMP.	PERDIDAS EN KW.
N151	ABC	102.05	108.3	108.5	90	1.18
N51	ABC	102.04	108.3	108.5	90	1.12
N50	ABC	101.89	99.3	108.5	90	0.69
N49	ABC	101.75	99.3	108.5	72.1	0.29
N47	ABC	101.64	81.8	73.8	54.7	0.07
N44	ABC	101.63	27.5	19.2	0	0.01
N42	ABC	101.62	9.1	19.2	0	0
N40	ABC	101.52	0	0	9.1	0
N41	C	101.15			0	0
N43	B	101.9		0		0
N45	A	101.12	9.1			0
N46	A	101.1	0			0
N48	ABC	101.61	0	0	0	0
N334	ABC	102.04	56.3	19.2	54.4	0.39
N-251	ABC	102.03	56.3	19.2	54.4	0.37
N250	ABC	102.03	56.3	19.2	54.4	0.36
N30	ABC	101.98	56.3	19.2	54.4	0.28
N29	ABC	101.91	56.3	19.2	36.3	0.17
N28	ABC	101.86	37.2	19.2	36.3	0.12
N25	ABC	101.83	18.6	19.2	36.3	0.09
N23	ABC	101.81	0	19.2	18.1	0.03
N21	ABC	101.81	0	19.2	0	0.01
N18	ABC	101.57	65.6	28.4	9.1	0.09
N19	A	101.34	18.6			0
N20	A	101.34	0			0
N135	ABC	101.57	29.1	28.4	9.1	0.06
N35	ABC	101.53	19	18.3	9.1	0.02
N40	ABC	101.52	0	0	9.1	0
N36	AB	101.67	19	18.3		0.01
N37	A	101.19	0			0
N38	B	102.11		9		0
N39	B	102.11		0		0
N22	B	102.26		0		0
N24	C	101.58			0	0
N26	AC	101.2	18.6		18.3	0.03
N27	AC	101.18	18.6		0	0.01
N33	A	101.3	0			0
N31	C	100.95			9.1	0
N32	C	100.93			0	0
N1	ABC	102.31	193.8	143.9	228.3	23.96

# NODO	FASES	PERFIL DE V. %	IA AMP.	IB AMP.	IC AMP.	PERDIDAS EN KW.
N2	B	102.52		0		0
N3	C	101.98			46.5	0.03
N4	C	101.95			0	0
N5	C	101.91			19.2	0.01
N6	C	101.87			0	0
N7	ABC	102.08	184.8	134.9	182	22.29
N8	ABC	101.93	184.8	134.9	182	21.28
N12	B	102.31		0		0
N13	ABC	101.72	138.6	125.9	182	19.99
N18	ABC	101.57	65.6	28.4	9.1	0.09
N34	C	101.17			27.3	0.02
N15	C	101.15			27.3	0.01
N16	C	101.1			0	0
N17	C	101.13			0	0
N152	ABC	101.72	74	97.8	127	19.53
N52	ABC	101.53	56.2	97.8	127	18.79
N53	ABC	101.44	38.6	97.8	127	18.44
N54	ABC	101.39	38.6	97.8	127	18.23
N94	ABC	101.39	86.4	0	0	
N55	ABC	101.38	0	9.1	0	0
N56	ABC	101.38	0	0	0	0
N57	ABC	101.15	115.8	88.7	127	17.45
N58	B	101.6		9.1		0
N59	B	101.6		0		0
N60	ABC	100.65	107.1	70.4	127	15.92
N61	ABC	100.65	0	0	0	0
N610	ABC	100.65	0	0	0	0
N62	ABC	100.09	45	52.1	62.5	6.59
N63	ABC	99.74	27.2	52.1	62.5	5.11
N64	ABC	99.12	27.2	17.9	62.6	2.56
N65	ABC	98.55	0	0	35.5	0.44
N66	ABC	98.4	0	0	0	0
N160	ABC	100.65	62.8	18.4	49.8	6.54
N67	ABC	102.43	61.7	18.2	48.6	6.39
N68	A	102.43	45.1			0.07
N69	A	102.33	27			0.03
N70	A	102.26	18			0.01
N71	A	102.22	0			0
N72	ABC	102.43	29.1	39.4	42	4.89
N73	C	101.94			37.3	0.05

# NODO	FASES	PERFIL DE V. %	IA AMP.	IB AMP.	IC AMP.	PERDIDAS EN KW.
N74	C	101.84			18.1	0.01
N75	C	101.78			0	0
N76	ABC	102.45	-41.3	48.5	-64	4.72
N77	ABC	102.63	78.2	81.1	77.6	1.9
N78	ABC	102.67	78.2	81.1	77.6	1.79
N79	ABC	102.67	0	0	0	0
N80	ABC	102.91	80.9	87.5	77.6	1.25
N81	ABC	103.17	80.9	87.5	77.6	0.68
N84	C	102.53			18	0.01
N85	C	102.46			0	0
N82	ABC	103.31	87.3	87.5	83.1	0.32
N83	ABC	103.47	0	0	0	0
N86	ABC	102.41	-58.9	-42	-72.1	1.95
N87	ABC	102.39	-58.9	-54.7	-72.1	1.66
N88	A	102.21	0			0
N89	ABC	102.39	-79.8	-54.7	-72.1	1.41
N90	B	102.69		0		0
N91	ABC	102.37	-79.8	-74.3	-72.1	1.18
N92	C	102.42			0	0
N93	ABC	102.36	-79.8	-74.3	-91.5	0.9
N94	ABC	101.39	86.4	0	0	
N95	ABC	102.41	147.2	87.9	91.5	
N97	ABC	102.37	-51.7	-35	-47.4	1.22
N98	ABC	102.33	-58.8	-35	-59	0.95
N99	ABC	102.28	-58.8	-42.1	-59	0.68
N100	ABC	102.26	-58.8	-42.1	-72.5	0.52
N450	ABC	102.23	58.8	42.1	72.5	
N197	ABC	102.37	0	0	45.3	0.14
N101	ABC	102.35	0	0	45.3	0.09
N9	A	101.84	28.1			0.04
N14	A	101.11	28.3			0.01
N10	A	101.09	0			0
N11	A	101.07	0			0

A continuación en la tabla C.4 se muestran los datos de los reguladores debido a la maniobra de apertura del interruptor indicado.

TABLA C.4: Datos de reguladores.

TRAMO	FASES	CAP. AMP.	KV L-N	POSICION	TAP. A	TAP. B	TAP. C
T_0	ABC	666.67	2.4	Toma fija	6	6	6
T_020	AC	187.5	2.4	Toma fija	0		-1
T_067	ABC	300	2.4	Ajustes R&X	3	2	4
T_128	A	187.5	2.4	Toma fija	-1		

Las siguientes tablas que se muestran a continuación son de los resultados de flujos de potencia debido a la apertura del interruptor del tramo T_059.

TABLA C.5: Datos de nodos.

# NODO	FASES	PERFIL DE V. %	IA AMP.	IB AMP.	IC AMP.	PERDIDAS EN KW.
N149	ABC	102.66	616.1	405.5	496.4	37.09
N328	ABC	102.54	362.9	267.2	280.6	7.57
N324	ABC	102.44	362.9	267.2	280.6	5.75
N195	ABC	102.43	99.9	88	90.8	0.02
N95	ABC	102.43	99.9	88	90.8	
N96	B	102.58		0		0
N330	ABC	102.44	274.2	188.1	202.4	5.65
N332	ABC	102.24	274.2	188.1	202.4	3.64
N451	ABC	102.24	62.6	42.3	72.1	0.02
N450	ABC	102.24	62.6	42.3	72.1	
N333	ABC	102.1	229.1	163.5	144.1	2.53
N350	ABC	102.08	172.9	144.3	90	1.96
N300	ABC	102.08	172.9	144.3	90	1.96
N108	ABC	101.9	64.8	36.1	0	0.31
N105	ABC	101.88	0	36.1	0	0.01
N101	ABC	102.31	0	0	45.3	0.09
N102	C	101.83			36.3	0.05
N103	C	101.74			18.1	0.02
N104	C	101.63			0	0
N106	B	102.24		18		0.01
N107	B	102.21		0		0
N109	A	100.99	46.5			0.11
N110	A	100.88	46.5			0.06
N112	A	100.85	28.1			0.04
N113	A	100.73	9.2			0
N114	A	100.71	0			0
N111	A	100.84	0			0

# NODO	FASES	PERFIL DE V. %	IA AMP.	IB AMP.	IC AMP.	PERDIDAS EN KW.
N151	ABC	102.07	108.3	108.5	90	1.18
N51	ABC	102.05	108.3	108.5	90	1.12
N50	ABC	101.9	99.3	108.5	90	0.69
N49	ABC	101.76	99.3	108.5	72.1	0.29
N47	ABC	101.66	81.8	73.8	54.7	0.07
N44	ABC	101.64	27.5	19.2	0	0.01
N42	ABC	101.63	9.1	19.2	0	0
N40	ABC	101.42	0	0	9.1	0
N41	C	101.15			0	0
N43	B	101.88		0		0
N45	A	101.19	9.1			0
N46	A	101.16	0			0
N48	ABC	101.62	0	0	0	0
N334	ABC	102.06	56.3	19.2	54.4	0.39
N-251	ABC	102.05	56.3	19.2	54.4	0.37
N250	ABC	102.04	56.3	19.2	54.4	0.36
N30	ABC	101.99	56.3	19.2	54.4	0.28
N29	ABC	101.92	56.3	19.2	36.3	0.17
N28	ABC	101.87	37.2	19.2	36.3	0.12
N25	ABC	101.85	18.6	19.2	36.3	0.09
N23	ABC	101.83	0	19.2	18.1	0.03
N21	ABC	101.82	0	19.2	0	0.01
N18	ABC	101.47	65.5	28.4	9.1	0.09
N19	A	100.85	18.6			0
N20	A	100.85	0			0
N135	ABC	101.47	28.9	28.4	9.1	0.06
N35	ABC	101.42	18.9	18.3	9.1	0.02
N40	ABC	101.42	0	0	9.1	0
N36	AB	101.52	18.9	18.3		0.01
N37	A	100.71	0			0
N38	B	102.28		9		0
N39	B	102.28		0		0
N22	B	102.24		0		0
N24	C	101.58			0	0
N26	AC	101.24	18.6		18.3	0.03
N27	AC	101.21	18.6		0	0.01
N33	A	101.37	0			0
N31	C	100.95			9.1	0
N32	C	100.93			0	0
N1	ABC	102.28	243.8	144.3	228.8	24.41

# NODO	FASES	PERFIL DE V. %	IA AMP.	IB AMP.	IC AMP.	PERDIDAS EN KW.
N2	B	102.58		0		0
N3	C	101.98			46.5	0.03
N4	C	101.96			0	0
N5	C	101.91			19.2	0.01
N6	C	101.87			0	0
N7	ABC	102.02	234.8	135.4	182.5	22.32
N8	ABC	101.85	234.8	135.4	182.5	21.03
N12	B	102.44		0		0
N13	ABC	101.62	188.7	126.4	182.5	19.44
N18	ABC	101.47	65.5	28.4	9.1	0.09
N34	C	101.18			27.3	0.02
N15	C	101.16			27.3	0.01
N16	C	101.1			0	0
N17	C	101.13			0	0
N152	ABC	101.61	124.7	98.3	127.5	18.98
N52	ABC	101.39	106.8	98.3	127.5	18.01
N53	ABC	101.28	89	98.3	127.5	17.57
N54	ABC	101.22	89	98.3	127.5	17.33
N94	A	102.25	0			0
N55	ABC	101.21	0	9	0	0
N56	ABC	101.21	0	0	0	0
N57	ABC	101.01	79.9	89.3	127.5	16.69
N58	B	101.84		9.1		0
N59	B	101.84		0		0
N60	ABC	100.58	71.1	70.9	127.5	15.46
N61	ABC	100.58	0	0	0	0
N610	ABC	100.57	0	0	0	0
N62	ABC	100.01	45	52.1	62.5	6.59
N63	ABC	99.66	27.2	52.1	62.5	5.11
N64	ABC	99.04	27.2	17.9	62.5	2.55
N65	ABC	98.48	0	0	35.5	0.44
N66	ABC	98.33	0	0	0	0
N160	ABC	100.57	27.1	19.1	50	6.09
N67	ABC	102.38	26.6	18.9	48.8	6.01
N68	A	102.19	45.2			0.07
N69	A	102.09	27.1			0.03
N70	A	102.02	18.1			0.01
N71	A	101.98	0			0
N72	ABC	102.39	32.8	39.1	42.6	4.48
N73	C	101.95			37.3	0.05

# NODO	FASES	PERFIL DE V. %	IA AMP.	IB AMP.	IC AMP.	PERDIDAS EN KW.
N74	C	101.84			18.1	0.01
N75	C	101.78			0	0
N76	ABC	102.43	-62.7	47.9	-63.9	4.31
N77	ABC	102.6	78.1	81.1	77.6	1.9
N78	ABC	102.65	78.1	81.1	77.6	1.79
N79	ABC	102.64	0	0	0	0
N80	ABC	102.89	80.8	87.5	77.6	1.25
N81	ABC	103.14	80.8	87.5	77.6	0.68
N84	C	102.53			18	0.01
N85	C	102.47			0	0
N82	ABC	103.29	87.2	87.5	83.1	0.32
N83	ABC	103.44	0	0	0	0
N86	ABC	102.42	-67.2	-42.4	-71.4	1.52
N87	ABC	102.42	-67.2	-54.9	-71.4	1.21
N88	A	102.35	0			0
N89	ABC	102.43	-86.5	-54.9	-71.4	0.95
N90	B	102.61		0		0
N91	ABC	102.43	-86.5	-74.5	-71.4	0.71
N92	C	102.42			0	0
N93	ABC	102.43	-86.5	-74.5	-90.8	0.42
N94	A	102.25	0			0
N95	ABC	102.43	99.9	88	90.8	
N97	ABC	102.33	-51.9	-35.3	-47.1	1.24
N98	ABC	102.3	-62.6	-35.3	-58.6	0.98
N99	ABC	102.26	-62.6	-42.3	-58.6	0.69
N100	ABC	102.25	-62.6	-42.3	-72.1	0.53
N450	ABC	102.24	62.6	42.3	72.1	
N197	ABC	102.33	0	0	45.3	0.14
N101	ABC	102.31	0	0	45.3	0.09
N9	A	101.48	28.1			0.04
N14	A	100.75	28.3			0.01
N10	A	100.73	0			0
N11	A	100.71	0			0

A continuación, en la tabla C.6 se muestran los datos de los reguladores debido a la maniobra de apertura del interruptor indicado.

TABLA C.6: Datos de reguladores.

TRAMO	FASES	CAP. AMP.	KV L-N	POSICION	TAP. A	TAP. B	TAP. C
T_0	ABC	666.67	2.4	Toma fija	6	6	6
T_020	AC	187.5	2.4	Toma fija	0		-1
T_067	ABC	300	2.4	Ajustes R&X	3	2	4
T_128	A	187.5	2.4	Toma fija	-1		

Las siguientes tablas que se muestran a continuación son de los resultados de flujos de potencia debido a la apertura del interruptor del tramo T_067.

TABLA C.7: Datos de nodos.

# NODO	FASES	PERFIL DE V. %	IA AMP.	IB AMP.	IC AMP.	PERDIDAS EN KW.
N149	ABC	102.66	616.1	405.4	496.2	34.58
N328	ABC	102.53	382.1	283.9	316.3	14.91
N324	ABC	102.4	382.1	283.9	316.3	12.8
N195	ABC	102.39	104.9	93.8	100.1	6.79
N95	ABC	102.39	104.9	93.8	100.1	6.77
N93	ABC	102.35	104.9	79.4	100.1	6.29
N91	ABC	102.33	90.1	79.4	100.1	5.96
N89	ABC	102.31	90.1	79.4	83.2	5.66
N87	ABC	102.27	90.1	60.7	83.2	5.35
N86	ABC	102.22	72.2	46.4	83.2	4.96
N76	ABC	102.15	72.2	40.5	83.2	4.36
N72	ABC	102.1	-42.1	-36.2	54	1.97
N67	ABC	102.05	-42.1	-36.2	-37.6	1.77
N68	A	101.97	45.3			0.07
N69	A	101.87	27.2			0.03
N70	A	101.8	18.1			0.01
N71	A	101.76	0			0
N97	ABC	102.03	-53.4	-36.2	-37.6	1.56
N98	ABC	102.04	-67.3	-36.2	-69.2	1.27
N99	ABC	102.06	-67.3	-47	-69.2	0.9
N100	ABC	102.09	-67.3	-47	-86.3	0.69
N450	ABC	102.18	67.3	47	86.3	
N197	ABC	102.03	0	0	45.6	0.14
N101	ABC	102.01	0	0	45.6	0.09
N102	C	101.24			36.5	0.06
N103	C	101.14			18.2	0.02
N104	C	101.04			0	0

# NODO	FASES	PERFIL DE V. %	IA AMP.	IB AMP.	IC AMP.	PERDIDAS EN KW.
N73	C	101.35			37.3	0.05
N74	C	101.25			18.2	0.01
N75	C	101.19			0	0
N77	ABC	102.32	78	81.1	77.2	1.89
N78	ABC	102.37	78	81.1	77.2	1.78
N79	ABC	102.36	0	0	0	0
N80	ABC	102.61	80.6	87.4	77.2	1.25
N81	ABC	102.86	80.6	87.4	77.2	0.68
N84	C	101.97			18.1	0.01
N85	C	101.9			0	0
N82	ABC	103.01	87	87.4	82.6	0.32
N83	ABC	103.16	0	0	0	0
N88	A	102.25	0			0
N90	B	102.57		0		0
N92	C	102.22			0	0
N94	A	102.2	0			0
N96	B	102.57		0		0
N330	ABC	102.4	285.6	197.6	224.2	5.93
N332	ABC	102.19	285.6	197.6	224.2	3.65
N451	ABC	102.18	67.3	47	86.3	0.03
N450	ABC	102.18	67.3	47	86.3	
N333	ABC	102.04	229.1	163.5	144.2	2.53
N350	ABC	102.02	172.9	144.3	90	1.96
N300	ABC	102.02	172.9	144.3	90	1.96
N108	ABC	101.84	64.8	36.1	0	0.31
N105	ABC	101.82	0	36.1	0	0.01
N101	ABC	102.01	0	0	45.6	0.09
N106	B	102.22		18		0.01
N107	B	102.19		0		0
N109	A	100.96	46.5			0.11
N110	A	100.84	46.5			0.06
N112	A	100.81	28.1			0.04
N113	A	100.69	9.2			0
N114	A	100.67	0			0
N111	A	100.8	0			0
N151	ABC	102.01	108.3	108.5	90	1.18
N51	ABC	101.99	108.3	108.5	90	1.12
N50	ABC	101.84	99.3	108.5	90	0.69
N49	ABC	101.7	99.3	108.5	72.1	0.29
N47	ABC	101.6	81.8	73.7	54.7	0.07

# NODO	FASES	PERFIL DE V. %	IA AMP.	IB AMP.	IC AMP.	PERDIDAS EN KW.
N44	ABC	101.58	27.5	19.2	0	0.01
N42	ABC	101.57	9.1	19.2	0	0
N40	ABC	101.62	0	0	9.1	0
N41	C	101.57			0	0
N43	B	101.86		0		0
N45	A	101.15	9.1			0
N46	A	101.13	0			0
N48	ABC	101.56	0	0	0	0
N334	ABC	102	56.3	19.2	54.4	0.39
N-251	ABC	101.99	56.3	19.2	54.4	0.37
N250	ABC	101.98	56.3	19.2	54.4	0.36
N30	ABC	101.94	56.3	19.2	54.4	0.28
N29	ABC	101.87	56.3	19.2	36.3	0.17
N28	ABC	101.82	37.2	19.2	36.3	0.12
N25	ABC	101.79	18.6	19.2	36.3	0.09
N23	ABC	101.77	0	19.2	18.2	0.03
N21	ABC	101.76	0	19.2	0	0.01
N18	ABC	101.67	65.6	28.4	9.1	0.09
N19	A	100.99	18.6			0
N20	A	100.99	0			0
N135	ABC	101.67	29	28.4	9.1	0.06
N35	ABC	101.63	19	18.3	9.1	0.02
N40	ABC	101.62	0	0	9.1	0
N36	AB	101.61	19	18.3		0.01
N37	A	100.84	0			0
N38	B	102.34		9		0
N39	B	102.34		0		0
N22	B	102.22		0		0
N24	C	101.46			0	0
N26	AC	101.16	18.6		18.3	0.03
N27	AC	101.13	18.6		0	0.01
N33	A	101.33	0			0
N31	C	100.83			9.1	0
N32	C	100.81			0	0
N1	ABC	102.35	220	125.5	183.1	15.09
N2	B	102.6		0		0
N3	C	102.13			46.6	0.03
N4	C	102.1			0	0
N5	C	102.05			19.2	0.01
N6	C	102.01			0	0

# NODO	FASES	PERFIL DE V. %	IA AMP.	IB AMP.	IC AMP.	PERDIDAS EN KW.
N7	ABC	102.14	210.9	116.6	136.5	13.54
N8	ABC	102	210.9	116.6	136.5	12.62
N12	B	102.49		0		0
N13	ABC	101.82	164.7	107.6	136.5	11.53
N18	ABC	101.67	65.6	28.4	9.1	0.09
N34	C	101.6			27.2	0.02
N15	C	101.58			27.2	0.01
N16	C	101.52			0	0
N17	C	101.55			0	0
N152	ABC	101.82	99.7	79.5	81.1	11.08
N52	ABC	101.66	81.6	79.5	81.1	10.55
N53	ABC	101.59	63.5	79.5	81.1	10.32
N54	ABC	101.55	63.5	79.5	81.1	10.2
N94	A	102.2	0			0
N55	ABC	101.54	0	9	0	0
N56	ABC	101.54	0	0	0	0
N57	ABC	101.42	54.1	70.5	81.1	9.89
N58	B	101.96		9		0
N59	B	101.96		0		0
N60	ABC	101.16	45.1	52.2	81.1	9.35
N61	ABC	101.16	0	0	0	0
N610	ABC	101.15	0	0	0	0
N62	ABC	100.59	45.1	52.2	62.3	6.57
N63	ABC	100.24	27.3	52.2	62.3	5.09
N64	ABC	99.62	27.3	17.9	62.3	2.54
N65	ABC	99.06	0	0	35.1	0.43
N66	ABC	98.91	0	0	0	0
N160	ABC	101.16	0	0	0	0
N67	ABC	102.05	-42.1	-36.2	-37.6	1.77
N9	A	101.58	28.1			0.04
N14	A	100.85	28.3			0.01
N10	A	100.83	0			0
N11	A	100.81	0			0

A continuación, en la tabla C.8 se muestran los datos de los reguladores debido a la maniobra de apertura del interruptor indicado.

TABLA C.8: Datos de reguladores.

TRAMO	FASES	CAP. AMP.	KV L-N	POSICION	TAP. A	TAP. B	TAP. C
T_0	ABC	666.67	2.4	Toma fija	6	6	6
T_020	AC	187.5	2.4	Toma fija	0		-1
T_067	ABC	300	2.4	Ajustes R&X	2	2	1
T_128	A	187.5	2.4	Toma fija	-1		