



BUAP

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

Facultad de Ingeniería.

Secretaría de Investigación y Estudios de Posgrado.

**RECONFIGURACIÓN DE REDES DE DISTRIBUCIÓN
PARA CORREGIR LA CAÍDA DE VOLTAJE APLICANDO
LA TÉCNICA DE BARRIDO PROGRESIVO-REGRESIVO**

TESIS

Que para obtener el grado de
MAESTRO EN INGENIERÍA
CON OPCIÓN TERMINAL EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA

Presenta:

ING. JOSÉ MIGUEL SÁNCHEZ CASTRO

Asesor de tesis:

DR. ERIC MORALES AGUILAR

Puebla, Pue.

Septiembre 2016



BUAP

OFICIO SIEP No. 1359/2016

ING. JOSÉ MIGUEL SÁNCHEZ CASTRO

Maestría en Ingeniería, opción terminal Sistemas
Eléctricos de Potencia
Presente.


El suscrito M.I. Fernando Daniel Lazcano Hernández, Director de la Facultad de Ingeniería, de acuerdo a su solicitud de cambio de Tema de Tesis, le autoriza desarrollar el tema intitulado: **“Reconfiguración de redes de distribución para corregir la caída de voltaje aplicando la técnica de barrido Progresivo-Regresivo”**, para obtener el grado de Maestro en Ingeniería con opción terminal en Sistemas eléctricos de potencia. Asignándose como Asesor de tesis al Dr. Eric Morales Aguilar.

Sin otro particular, reciba un cordial saludo.

ATENTAMENTE

“Pensar bien, para vivir mejor”

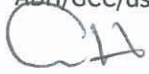
Puebla, Pue., a 02 de agosto de 2016

M.I. FERNANDO DANIEL LAZCANO HERNÁNDEZ
Director de la Facultad de Ingeniería

C.c.p. Dr. Eric Morales Aguilar. Asesor Tema tesis.

C.c.p. Archivo.
ABH/GCC/dsm.



60
AÑOS DE
AUTONOMÍA
UNIVERSITARIA

Facultad
de Ingeniería

Blvd. Valsequillo y Av. San Claudio
s/n, edif. ING 4, Col. San Manuel,
Ciudad Universitaria,
Puebla, Pue. C.P. 72570
01 (222) 229 55 00 Ext. 7610

M. I. FERNANDO DANIEL LAZCANO HERNANDEZ
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE
LA BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA
P R E S E N T E

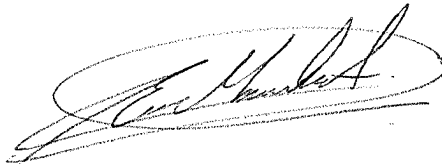
El que suscribe, **Dr. ERIC MORALES AGUILAR**, asesor del tema de tesis denominado **“RECONFIGURACIÓN DE REDES DE DISTRIBUCIÓN PARA CORREGIR LA CAÍDA DE VOLTAJE APLICANDO LA TÉCNICA DE BARRIDO PROGRESIVO-REGRESIVO”**. Presentado por el **ING. JOSE MIGUEL SANCHEZ CASTRO**, pasante de la Maestría en Ingeniería, con opción terminal en Sistemas Eléctricos de Potencia y con atención al oficio SIEP No. 1359/2016, de fecha 02 de Agosto del 2016, me permito informar a usted que **después de haber revisado cuidadosamente el contenido temático, la metodología, la redacción y la ortografía** de la tesis, no tengo inconveniente de autorizar la impresión de la misma.

Asimismo, solicito tenga a bien autorizar el jurado para su examen profesional.

Lo hago de su conocimiento para los efectos legales a que haya lugar.

ATENTAMENTE

H. Puebla de Zaragoza, a 06 de Septiembre del 2016

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Eric Morales Aguilar', enclosed within a large, loopy oval flourish.

DR. ERIC MORALES AGUILAR
ASESOR

Dedicatorias

A las personas más importantes en mi vida

A Dios

Por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo mi periodo de estudio.

A mis Padres

Por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.

A mi madre Concepción

Por haberme apoyado en todo momento, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A mi padre Miguel

Por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por sus consejos, sus valores, por la determinación mostrada para salir adelante.

A mi Esposa Stephanie González

Gracias por tu incondicional apoyo y amor que me motiva a luchar por lograr mis metas. Hay personas que simplemente aparecen en nuestra vida y nos marcan para siempre, gracias por ser esa persona.

Con eterna Gratitud a mi Honorable Jurado

Personas de gran trayectoria y enormes conocimientos que sin su apoyo no hubiéramos podido llegar a estas instancias.

En Especial al Dr. Eric Morales Aguilar

Porque un maestro también es un amigo cuando su corazón responde a la fe y a la confianza de un alumno, gracias por el apoyo que me ha brindado durante mi maestría y para la elaboración de esta tesis.

Contenido

Dedicatorias	III
RESUMEN	V
ABSTRACT	V
CAPITULO 1. INTRODUCCION.....	6
1.1 Planteamiento del problema.....	7
1.2 Justificación.....	8
1.3 Objetivos.	9
1.4 Hipótesis.....	10
1.5 Alcance y Aportaciones de la Tesis.....	11
CAPITULO 2. REDES DE DISTRIBUCIÓN.....	12
2.1 Topología.	13
2.2 Reconfiguración de Red.....	15
CAPITULO 3. MÉTODO SOLUCIÓN.....	18
3.1 Modelado de líneas aéreas	18
3.2 Técnica de Barrido Progresivo - Regresivo.....	21
CAPITULO 4. REDES DE ESTUDIO	24
4.1 Estudio de reconfiguración en una red de 8 nodos.	24
4.2 Estudio de reconfiguración en una red de 34 nodos.	28
CONCLUSIONES.....	37
TRABAJO PUBLICADO	37
RECOMENDACIONES	37
REFERENCIAS.....	38
APENDICE A. Programa de Matlab red 34 nodos antes de la reconfiguracion	40
APENDICE B. Programa de Matlab red 34 nodos despues de la reconfiguracion.....	56

RESUMEN

En este trabajo de tesis se expone una metodología para evitar la caída de voltaje en redes eléctricas de distribución reconfigurando la red. Se utiliza la técnica del barrido progresivo-regresivo para encontrar el estado de la red. La metodología aplicada es la siguiente: a) Se realiza un primer cálculo de los niveles de tensión en la red; b) Se determina si existe una caída de tensión mayor al 7%, límite para considerarse aceptable [1]-[2]; c) Si en el sistema existe dicha caída se procede a reconfigurarla red; d) Se realiza un nuevo cálculo para verificar que los niveles de tensión en la red están dentro de valores aceptables.

ABSTRACT

In this thesis, we will examine a method to avoid voltage drops in electrical distribution networks when reconfiguring network. It utilizes the progressive-regressive scanning technique to find the network status. The method applied is as follows: a) Make an initial estimate of the network tension. b) Determine if there is a drop in tension greater than 7%, the limit considered to be acceptable [1]-[2]. c) If there is a drop in the system, proceed to reconfigure network; d) Make a new calculation to verify that the tension levels are within acceptable values.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCION

Los sistemas de distribución, son el medio que permite que se entregue la energía a los centros de consumo una vez que esta es generada por las centrales eléctricas y transmitida por los sistemas de transmisión [3]. Estos sistemas se han caracterizado por ser los menos importantes, ya que en comparación con los sistemas de transmisión, los sistemas de distribución actualmente se están operando con poco o ningún análisis [4], esto conlleva a que se presenten caídas de voltaje que en ocasiones rebasan el límite estipulado por las normas oficiales mexicanas [1]-[2], lo cual hace importante y necesario que se analicen estos eventos y proponer soluciones viables, como la reconfiguración de la red, para mantener los niveles de voltaje dentro de parámetros aceptables.

La calidad de un servicio o producto es un factor de alta importancia para mantenerse en la competencia dentro de cualquier mercado. Tal es el grado por la búsqueda de la calidad que existen organizaciones que califican y crean la normatividad de los niveles de calidad de procesos, productos o servicios.

En redes de distribución es común que se presenten deficiencias en los perfiles de voltaje con respecto a su valor nominal, las variaciones de voltaje son generadas por distintas causas y durante diferentes lapsos de tiempo; la corrección de dichas variaciones también se realiza mediante diferentes procedimientos que tienen impacto de forma temporal o permanente.

El enfoque de este trabajo de tesis es mantener la calidad en el perfil de voltaje. Esto debido a que el voltaje es un parámetro muy importante desde el proceso de la generación de energía eléctrica hasta la entrega al cliente.

1.1 Planteamiento del problema

Las caídas de voltaje representan una merma económica de gran importancia para las empresas suministradoras de energía eléctrica, por lo que es relevante reducir sus consecuencias con el objetivo de tener un mejor control y brindar un servicio de mayor calidad.

Cuando se presenta un control deficiente del voltaje en un sistema de distribución se ve afectada la calidad de la energía, sin mencionar el deterioro de las instalaciones y el desgaste de los equipos a lo largo de la red de distribución, lo que obliga a invertir para renovar aquellas partes del sistema que no operan correctamente o que presentan un deterioro significativo, por ejemplo los conductores, en los que una gran cantidad de energía disipada provoca un aumento mayor en su resistencia eléctrica ocasionando severas caídas de voltaje, por lo que la empresa se ve obligada a sobredimensionar el sistema con el fin de soportar el incremento de la demanda.

Hablar de caídas de voltaje no solo refleja una falta de organización en una empresa, si no que puede ocasionar fallas en algunos sectores del servicio público, provocando una falta de ingresos, ya que la energía eléctrica que no se factura genera un aumento en las tarifas de energía eléctrica que pagan los usuarios; A nivel industrial, en caso de anomalías en los niveles de voltaje se deben pagar multas estipuladas en los contratos de dichos servicios, sin mencionar las pérdidas que llegasen a tener en sus procesos de producción o en la rama que éstas desenvuelvan.

Las caídas de voltaje afectan a estas empresas en el aspecto económico, de calidad y de eficiencia. Es por este motivo que se realiza este estudio.

1.2 Justificación.

Hoy en día las empresas suministradoras del servicio de energía eléctrica no le han dado la importancia a la planeación que requieren los sistemas de distribución para tener una correcta operación, el incremento de la demanda representa nuevas cargas que con los avances tecnológicos provocan caídas de voltaje, que en ocasiones rebasan el límite estipulado por algún órgano regulatorio, estas a su vez representan un gasto económico, por lo que es de vital importancia realizar un análisis que permita controlar los niveles de voltaje con el objetivo de evitar daños a los equipos y mejorar la calidad en el suministro de la energía.

La reducción de las caídas de voltaje también beneficia el impacto ambiental ya que esta se traduce en ahorro de combustibles no renovables usados para la generación de energía eléctrica y que generan gases que contaminan el medio ambiente, lo cual hace importante y necesario que se analicen estos eventos proponiendo soluciones viables, como la reconfiguración de la red, para mantener los niveles de voltaje dentro de parámetros aceptables.

La reconfiguración de redes de distribución se desarrolla para mejorar el funcionamiento de las redes de distribución, hacer más eficiente su operación y un suministro de energía eléctrica de calidad para los consumidores.

1.3 Objetivos.

Objetivo general

Plantear y analizar una problemática de reconfiguración de redes de distribución en condiciones normales de operación de un sistema eléctrico de distribución con el fin de proponer una solución eficiente, para el mejoramiento de una red de 34 nodos, considerando aspectos relacionados principalmente con perfiles de bajo voltaje en las líneas, coadyuvando en la mejora continua para brindar un servicio de calidad.

Objetivos específicos

- Estudiar la topología y dinámica de una red de Distribución eléctrica.
- Determinar el estado de la red de distribución mediante la aplicación del método del barrido progresivo-regresivo.
- Reconfigurar la red radial de distribución de energía eléctrica mediante la apertura y cierre de líneas.
- Verificar que el estado de la red de distribución cumpla con los lineamientos de calidad de la energía en cuanto a niveles de tensión se refiere.

1.4 Hipótesis

La realización de este estudio asegura suprimir las caídas de voltaje en las líneas radiales del sistema analizado mediante una herramienta computacional que aplica un algoritmo de programación dinámica, proponiendo una reconfiguración en la red de distribución optimizando los perfiles de voltaje y mejorando la calidad de la energía.

Variables

- El efecto de la presencia de armónicos sobre las pérdidas en los transformadores.
- Pérdidas en vacío de los sistemas de distribución.
- Esfuerzo de evaluación de operaciones interruptivas.
- Flujos de potencia.

1.5 Alcance y Aportaciones de la Tesis

Este estudio expone una metodología para realizar reconfiguración en redes de distribución basándose en la caída de voltaje de los nodos, utilizando el método de barrido progresivo-regresivo para calcular los voltajes en los nodos de la red. La metodología expuesta se prueba en una red de 8 y 34 nodos mostrando los resultados obtenidos antes y después de la reconfiguración, solucionando los problemas relacionados con perfiles de bajo voltaje, evaluando las principales restricciones de un sistema de distribución, que son:

- La carga debe estar conectada en todo momento
- La carga no debe sobrepasar los límites de voltaje
- La configuración del sistema debe terminar siendo radial.

El beneficio de este tipo de estudio es que las empresas suministradoras de energía tendrán la ventaja de tomar acciones preventivas para evitar daños a su sistema, reduciendo las pérdidas económicas por caídas de voltaje, de forma que los usuarios puedan gozar de un servicio eléctrico de calidad.

CAPÍTULO 2. REDES DE DISTRIBUCIÓN.

Los sistemas de distribución, son el medio que permite que se entregue la energía a los centros de consumo una vez que esta es generada por las centrales eléctricas y transmitida por los sistemas de transmisión [2]. Estos sistemas se han caracterizado por ser los menos importantes, ya que en comparación con sistemas de transmisión, los sistemas de distribución actualmente se están operando con poco o ningún análisis [3], esto conlleva a que se presenten caídas de voltaje que en ocasiones rebasan el límite estipulado por las normas oficiales mexicanas [10], analizar estos sistemas permite visualizar la flexibilidad o condición de carga a la que está sometido cada uno de sus elementos, siendo fundamental para la selección adecuada de la operación y ajustes de los dispositivos de protección.

Los sistemas de distribución a diferencia de los sistemas de generación y transmisión, interactúan directamente con la mayor parte de los usuarios, este sistema tiene como función principal suministrar energía eléctrica bajo parámetros de calidad definidos, como son tensión, frecuencia, forma de onda, secuencia de fases y continuidad [1].

Los sistemas de distribución comprenden principalmente cuatro partes:

- 1.- Subestaciones de distribución.
- 2.- Circuitos de media tensión.
- 3.- Transformadores de distribución.
- 4.- Circuitos de baja tensión.

2.1 Topología.

Los circuitos de distribución típicamente inician en la subestación de distribución y proporcionan la potencia eléctrica a los transformadores de distribución. Conocer las topologías empleadas en los sistemas de distribución permite visualizar la flexibilidad o condición de carga a la que están sometidos cada uno de sus elementos y adecuarla para la correcta operación de estos sistemas, dando alternativas para una planeación eficaz bajo una configuración ordenada. Aun cuando un sistema esté bien planeado, siempre estará sujeto a fallas debido a que hay algunas que no son inherentes al mal funcionamiento del propio sistema, si no a causas externas tales como condiciones climatológicas, fauna silvestre, entornos geográficos [5].

En forma general se establecen tres tipos fundamentales de topologías en sistemas de distribución:

- Radial: Esta topología permite la transferencia de potencia desde la fuente hacia la carga en una sola trayectoria, teniendo la desventaja de que cualquier falla en uno de sus nodos interrumpe la alimentación a la carga. En la Fig. 2.1 se ejemplifica una topología radial.

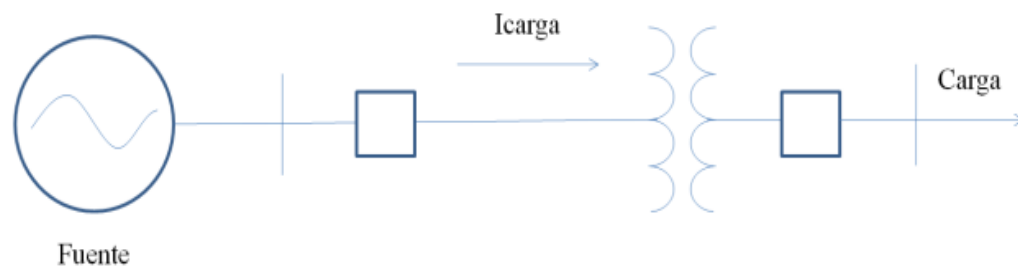


Fig. 2.1 Topología Radial

- Anillo: Esta topología permite transferencia de potencia entre fuentes y cargas por dos trayectorias. En la Fig. 2.2 se ejemplifica una topología en anillo.

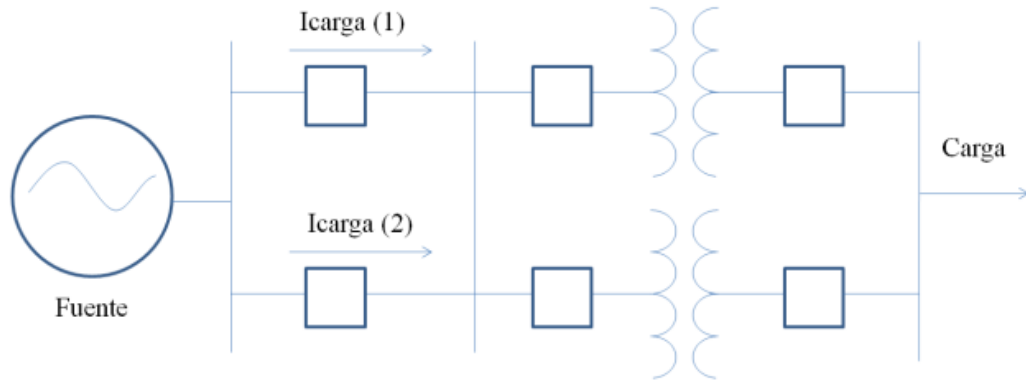


Fig. 2.2 Topología Anillo

- Mallada: Esta topología permite la transferencia de potencia entre fuentes y cargas por distintas trayectorias aumentando la confiabilidad del sistema, la Fig. 2.3 ejemplifica una topología mallada.

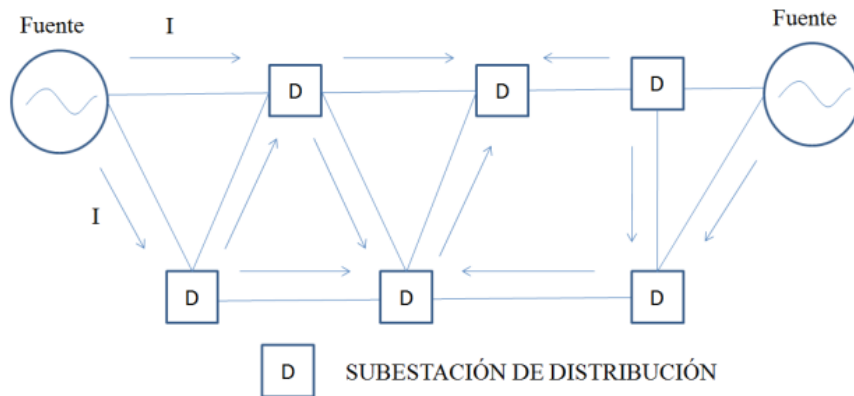


Fig. 2.3 Topología Mallada

Las caídas de voltaje se presentan en cualquier tipo de configuración de la red de distribución como las mencionadas anteriormente, debido a la impedancia asociada a los materiales de cada uno de los elementos que conforman la red. Estas caídas de voltaje varían principalmente al aumento en la demanda-carga de energía eléctrica, por lo cual se requiere una metodología para mitigar el abatimiento de voltaje, tal como la reconfiguración de red.

2.2 Reconfiguración de Red.

La reconfiguración en un sistema de distribución, son opciones o trayectorias de posibles alternativas para el flujo de la energía, la cual se realiza con la finalidad de restaurar el mayor número de zonas afectadas por anomalías o para mejorar el funcionamiento de la red, para lo cual se deberá identificar la opción de reconfiguración adecuada, a través de la cual se restablezca ó mejore el suministro en la sección afectada [6].

Para realizar reconfiguraciones en un sistema de distribución se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- 1.- Sobrecargas en alimentadores.
- 2.- Caídas de Voltajes.
- 3.- Pérdidas eléctricas mínimas.
- 4.- Número de maniobras.
- 5.- Evolución de la demanda en alimentadores.
- 6.- Consideración de cargas prioritarias y confiabilidad del sistema reconfigurado.
- 7.- Tiempo para realizar las acciones de reconfiguración.
- 8.- Especificación del tiempo en que operara el sistema de reconfigurado
- 9.- Confiabilidad del sistema reconfigurado
- 10.- Nivel de complejidad de la reconfiguración.

Estas consideraciones dan lugar a que se diseñen varias reconfiguraciones debido a los intereses del entorno para el cual deben operar y son basados en varios conceptos tales como:

- *Definición de 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 bajos voltajes.
- *Selección de la mejor opción.* Se realiza mediante la aplicación de alguna metodología que satisfaga tanto en ingeniería como en economía el sistema analizado.

Estas tareas se aplican dependiendo de las condiciones operativas y recursos de cada sistema en particular una vez planteado y entendido el problema.

Existen otros planteamientos base para trabajos de reconfiguración de redes como los presentados en las referencias [7- 10]. En [7] se presentan dos metodologías con el propósito de restauración de servicio por puesta a falla y balanceo de carga para suprimir sobrecargas en el sistema, 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. Por otro lado, una metodología planteada en reconfigurar la red de distribución por medio de operaciones de cambio para minimizar las pérdidas resistivas en las líneas por medio de técnicas heurísticas de optimización tomando en consideración que el sistema debe quedar en forma radial es presentada en [8]. Adicionalmente en la referencia [9] se desarrolla un método para la reconfiguración por medio de redes neuronales en combinación con algoritmos genéticos con el fin de reducir los costos de operación del sistema en un lapso de tiempo específico, proponiendo primeramente tomar en cuenta las siguientes consideraciones: *a)* Solo contempla la operación de interruptores controlados remotamente, *b)* considerar un límite de operaciones de interrupción, *c)* el objetivo es reducir el costo de operación del sistema en un periodo de tiempo específico, más que minimizar las pérdidas resistivas para un punto de operación fijo y *d)* verificar la solución con un programa de coordinación de protecciones en tiempo real para asegurar la adecuada protección para la nueva configuración del sistema. Otra metodología enfocada en determinar el número mínimo posible de operaciones interruptivas necesarias para el

restablecimiento de los ramales de la red aisladas debido a fueras de servicio programadas o imprevistas es presentada en [10], este algoritmo garantiza que las siguientes restricciones no sean violadas con la reconfiguración del sistema: 1) los alimentadores resultantes deben quedar conectados en forma radial, 2) el servicio es restablecido a las ramas que hayan sido aisladas del área afectada, 3) el número de operaciones interruptivas se encuentra dentro del límite especificado por el operador del sistema y 4) los límites de ampacidad de las líneas y capacidad de los alimentadores no son sobrepasados.

Esta tesis se enfoca en reconfigurar la red en base a caídas de voltaje tomando en consideración el nivel de complejidad de dicha reconfiguración, basándose en acortar el trayecto de la potencia a los nodos con abatimiento de voltaje esto a través de líneas entre nodos que no estaban conectados y abriendo otras líneas, las ramas seleccionadas para la reconfiguración deben tener las mismas fases. La obtención de los voltajes en la red se realiza mediante el método de barrido progresivo-regresivo que se describe en el capítulo 3.

CAPÍTULO 3. MÉTODO SOLUCIÓN.

En este apartado se describen las ecuaciones básicas del cálculo de la impedancia serie, la admitancia en derivación, la técnica de barrido progresivo-regresivo y la forma de modelar las cargas.

3.1 Modelado de líneas aéreas

Para realizar un modelo de las líneas de distribución es necesario calcular la impedancia serie y la admitancia en derivación de las líneas del sistema. La impedancia serie de una línea de distribución consiste en la resistencia de los conductores y de las reactancias inductivas propia y mutua resultante de los campos magnéticos que rodean a los conductores [12] expresadas en las ecuaciones (3.1a) y (3.1b) respectivamente.

$$\hat{z}_{ii} = r_i + 0.09530 + j0.12134 \left(\ln \frac{1}{GMR_i} + 7.93402 \right) \quad \Omega / \text{milla} \quad (3.1a)$$

$$\hat{z}_{ij} = 0.09530 + j0.12134 \left(\ln \frac{1}{D_{ij}} + 7.93402 \right) \quad \Omega / \text{milla} \quad (3.1b)$$

Dónde:

- \hat{z}_{ii} Impedancia propia del conductor i en Ω/milla
- \hat{z}_{ij} Impedancia mutua entre conductores i y j Ω/milla
- r_i Resistencia del conductor Ω/milla (tablas)
- GMR_i Radio medio geométrico del conductor
- D_{ij} Distancia entre los conductores i y j en ft .

En la ecuación (3.1b) D_{ij} puede ser obtenido de especificaciones graficas de la disposición de los conductores en el poste de distribución, un ejemplo es mostrado en la figura 3.1

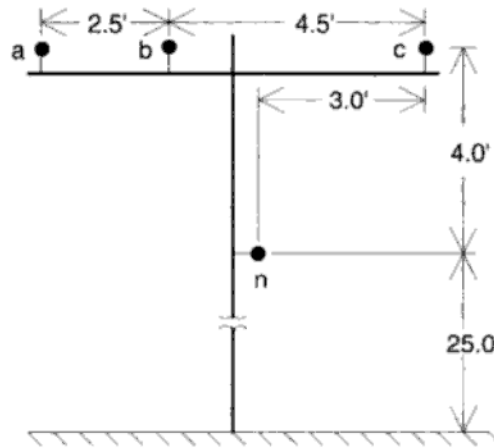


Figura 3.1 Distribución Geométrica de Líneas Trifásicas

Las ecuaciones (3.1a) y (3.1b) aplicadas a una conexión trifásica, como la mostrada en la figura 3.1, dará como resultado un sistema de ecuaciones que al disponerlo en forma matricial será de 4x4, la cual se tiene que reducir a un marco de 3x3, una forma es aplicando la reducción de Kron [13]. Para dos fases (Fase-V) y líneas monofásicas en un sistema estrella aterrizada, la reducción de Kron reducirá las matrices a 2x2 y de 1x1, estas matrices pueden expandirse a matrices de 3x3 en el “marco de referencia de fase” sumando filas y columnas que consisten en elementos cero para las fases inexistentes. La ecuación 3.2 muestra un ejemplo de torres trifásicas, bifásicas con fases a y c , y monofásicas con fase b , respectivamente, note las filas y columnas correspondientes con fases faltantes llenas de ceros.

$$[Z_{abc}] = \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} \\ Z_{ba} & Z_{bb} & Z_{bc} \\ Z_{ca} & Z_{cb} & Z_{cc} \end{bmatrix} \quad [Z_{abc}] = \begin{bmatrix} Z_{aa} & 0 & Z_{ac} \\ 0 & 0 & 0 \\ Z_{ca} & 0 & Z_{cc} \end{bmatrix} \quad [Z_{abc}] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_{bb} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

Para el cálculo de la admitancia en derivación se sigue un procedimiento similar al del cálculo de la impedancia serie. Las ecuaciones 3.2a y 3.2b son usadas para calcular los elementos de la matriz admitancia en derivación primitiva.

$$P_{ii} = 11.17689 \cdot \text{Ln} \left(\frac{S_{ii}}{RD_i} \right) \text{ milla}/\mu\text{F} \quad (3.2a)$$

$$P_{ij} = 11.17689 \cdot \text{Ln} \left(\frac{S_{ij}}{D_{ij}} \right) \text{ milla}/\mu\text{F} \quad (3.2b)$$

Dónde:

D_{ij} Distancia entre los conductores i y j en ft .

S_{ij} Distancia entre los conductores i y la imagen de j en ft .

RD_i Radio del conductor i en ft (*tablas*)

En caso de que la conexión sea estrella se deberá aplicar reducción por Kron. La inversa de la matriz resultante del paso anterior da como resultado la matriz capacitiva descrita en la ecuación 3.3.

$$[C_{abc}] = [P_{abc}]^{-1} \quad (3.3)$$

Finalmente la obtención de la matriz de admitancia en derivación está dada por la ecuación 3.4. Para secciones de líneas bifásicas y monofásicas se agregan ceros en filas y columnas, similar a lo mostrado en la figura 3.2.

$$[y_{abc}] = 0 + j \cdot \omega \cdot [C_{abc}] \quad \mu\text{S}/\text{milla} \quad (3.4)$$

Dónde:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = 2 \cdot \pi \cdot 60 = 376.9911 \text{ Para el sistema eléctrico mexicano.}$$

Las matrices de impedancia serie y admitancia en derivación de todos los segmentos de línea del sistema serán considerados como datos iniciales por lo que deben ser calculados previo al proceso iterativo de la técnica de barrido progresivo-regresivo.

3.2 Técnica de Barrido Progresivo - Regresivo.

El método de barrido progresivo-regresivo enumera cada nodo de la red sin importar si el nodo es una línea monofásica, bifásica o trifásica, los nodos son de preferencia enumerados comenzando en el nodo raíz, luego se ordena la red en capas, siendo la primera capa el nodo raíz y sucesivamente los demás nodos hasta llegar al nodo más alejado [11]. La Fig. 3.2 muestra la numeración de una red radial de 57 nodos y sus capas.

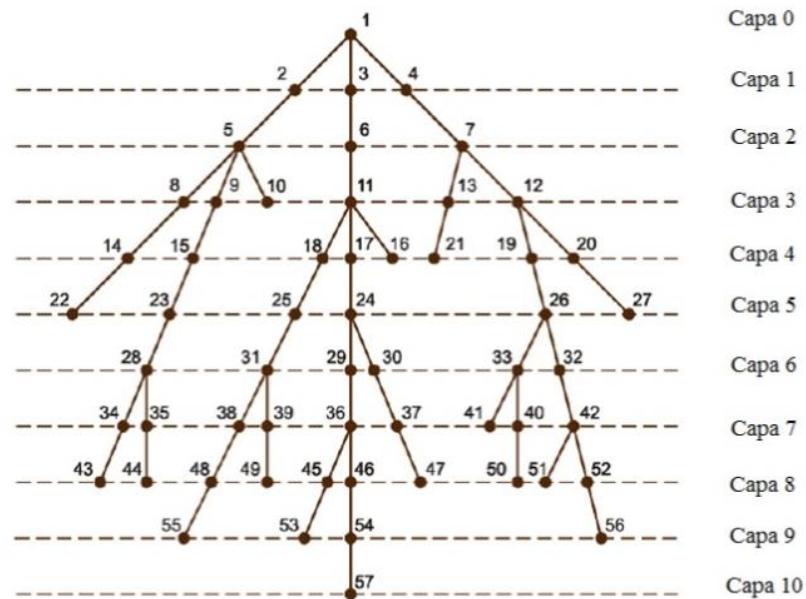


Fig. 3.2 Numeración de nodos para una red radial de 57 nodos, [11].

Antes de comenzar con el proceso iterativo se tienen que tomar en consideración dos aspectos importantes: 1) La impedancia de la línea y la admitancia en derivación de las líneas están dadas en matrices de 3×3 , (explicado a detalle en el apartado 3.1) y 3.2) El nodo raíz será el nodo compensador con las magnitudes de voltajes y ángulos conocidos.

Una vez que se tengan los datos iniciales, el algoritmo iterativo de barrido se divide en dos partes principales: barrido regresivo y barrido progresivo [11], [14].

Barrido regresivo:

Considerados buses en una capa determinada de una red radial, como se muestra en la Fig. 3.3, la corriente entrante en el bus de la izquierda I_m , es calculada a partir de las tensiones y corrientes desde el bus a la derecha (V_n e I_n) como:

$$\mathbf{I}_m = \mathbf{c}_{mn} \mathbf{V}_n + \mathbf{d}_{mn} \mathbf{I}_n, \quad (3.5)$$

Donde el coeficiente de matrices \mathbf{c}_{mn} y \mathbf{d}_{mn} implican parámetros de la línea situada entre los buses m y n :

$$\mathbf{c}_{mn} = \mathbf{Y} + \frac{1}{4} \mathbf{Y} \cdot \mathbf{Z} \cdot \mathbf{Y}, \quad (3.6a)$$

$$\mathbf{d}_{mn} = \mathbf{U} + \frac{1}{2} \cdot \mathbf{Z} \cdot \mathbf{Y}, \quad (3.6b)$$

En (3.6) \mathbf{Y} , \mathbf{Z} y \mathbf{U} denotan la admitancia en derivación, impedancia de línea y matriz identidad, respectivamente.

En adición y en concordancia con la Fig. 3.4

$$\mathbf{I}_n = \mathbf{I}_{n,carga} + \sum_{i=1}^q \mathbf{I}_{n,i}, \quad (3.7)$$

Donde, $\mathbf{I}_{n,inj}$ representa la corriente inyectada en el bus n , q el número de ramas conectadas al bus n e $I_{n,i}$ corresponde a corrientes de rama que entran al bus n .

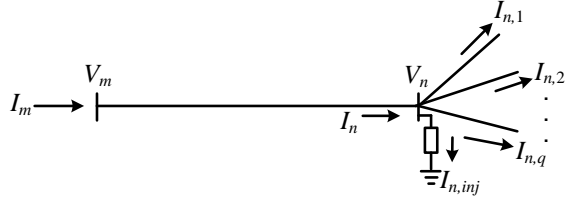


Fig. 3.3. Direcciones de referencia para la técnica de barrido.

Barrido progresivo:

Basado en las direcciones de referencia de la Fig.3.3, ahora las tensiones se calculan de izquierda a derecha como:

$$\mathbf{V}_n = \mathbf{A}_{mn} \mathbf{V}_m + \mathbf{B}_{mn} \cdot \mathbf{I}_m, \quad (3.8)$$

Donde el coeficiente de matrices \mathbf{A}_{mn} y \mathbf{B}_{mn} implican parámetros de la línea situada entre los buses m y n :

$$\mathbf{A}_{mn} = (\mathbf{d}_{mn})^{-1}, \quad (3.9a)$$

$$\mathbf{B}_{mn} = (\mathbf{d}_{mn})^{-1} \cdot \mathbf{Z}. \quad (3.9b)$$

Note que las ecuaciones (3.5) a (3.9) son matrices de 3 x 3 representando un modelado trifásico de la red.

Carga en potencia contante real y reactiva: Este tipo de carga se modela con la ecuación:

$$\mathbf{I}_{n,carga} = \left(\frac{S_n}{V_n} \right)^*, \quad (3.10)$$

En (3.10), * denota conjugado y se agrega al esquema iterativo en (3.7).

CAPÍTULO 4. REDES DE ESTUDIO

Dos ejemplos numéricos muestran la reconfiguración en redes de distribución para la regulación de la tensión a un nivel aceptable. En los dos casos se considera como condiciones iniciales una red de distribución con bajo nivel de voltaje. Las redes constan de 8 y 34 nodos.

4.1 Estudio de Reconfiguración en una Red de 8 nodos.

La Figura 4.1 muestra una red de 8 nodos con una configuración radial, típica de las redes de distribución, la cual será el objeto de estudio.

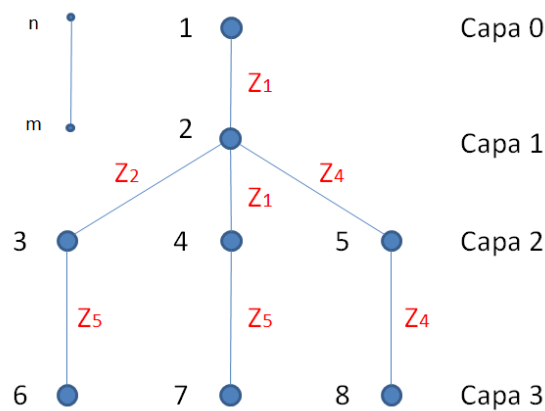


Fig. 4.1 Sistema de distribución de 8 nodos.

Como se muestra en la Fig. 4.1 los nodos están numerados, las matrices de impedancia Z en las líneas se muestran a continuación:

$$Z_1 = \begin{bmatrix} 0.1312 + 0.3856j & 0.0591 + 0.1900j & 0.0598 + 0.1605j \\ 0.0591 + 0.1900j & 0.1278 + 0.3969j & 0.0581 + 0.1458j \\ 0.0598 + 0.1605j & 0.0581 + 0.1458j & 0.1293 + 0.3920j \end{bmatrix}$$

$$Z_2 = \begin{bmatrix} 0.0713 + 0.1119j & 0.0150 + 0.0401j & 0.0148 + 0.0475j \\ 0.0150 + 0.0401j & 0.0708 + 0.1135j & 0.0145 + 0.0364j \\ 0.0148 + 0.0475j & 0.0145 + 0.0634j & 0.0704 + 0.1147j \end{bmatrix}$$

$$Z4 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.0252 + 0.0255j & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$Z5 = \begin{bmatrix} 0.0656 + 0.1928j & 0.0295 + 0.0950j & 0.0299 + 0.0802j \\ 0.0295 + 0.0950j & 0.0639 + 0.1984j & 0.0291 + 0.0729j \\ 0.0299 + 0.0802j & 0.0291 + 0.0729j & 0.0647 + 0.1960j \end{bmatrix}$$

Las cargas en los nodos en potencia constante $P+jQ$ se expresan en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Cargas en nodos de la red de la Fig. 4.1

Nodo	"P+ jQ" en kW y kVAR, respectivamente		
	Fase a	Fase b	Fase c
2	17+10j	66+38j	117+68j
3	20+10j	15+7j	30+9j
4	8624+ 4928j	8624+ 4928j	8624+ 4928j
5	0	170+125j	0
6	160+110j	120+90j	120+90j
7	1900+950j	950+475j	1900+950j
8	0	230+132j	0

Al calcular los voltajes en el sistema de la Fig. 4.1, bajo las condiciones de carga expuestas en la Tabla 4.1 se obtienen los voltajes expresados en la Tabla 4.2. Para una mejor visualización los voltajes mostrados en la Tabla 4.2 se grafican en la Fig.4.4. En el sistema de prueba el límite de caída de voltaje para considerarse aceptable (10% de la fuente) equivale a 6,480 V, el cual es representado por una línea continua en la figura 4.4.

Tabla 4.2. Voltajes calculados antes de la reconfiguración

NODOS	IVI fase a	IVI fase b	IVI fase c
1	7200	7200	7200
2	6897	6999	6853
3	6895	6997	6851
4	6611	6834	6517
5	0	6997	0
6	6892	6996	6849
7	6589	6837	6479
8	0	6995	0

En la Tabla 4.2 se puede observar que la fase c del nodo 7, presenta una caída de voltaje mayor al 10%. En el sistema de prueba la caída de voltaje de 10% equivale a 6480 V, por lo cual se requiere elevar el nivel de tensión en dicha fase, la propuesta de esta tesis es elevar este nivel de tensión por medio de reconfiguración de la red.

En el sistema bajo estudio se observa que la rama que comprende los nodos 5 y 8 solo cuentan con la fase b (ver Fig. 4.1 y Z4), por lo tanto se propone reconfigurar el nodo 7 a la rama formada por los nodos 3 y 6, ver Fig. 4.2.

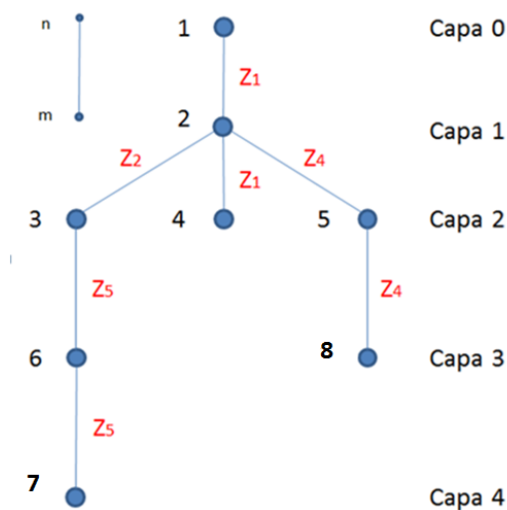


Fig. 4.2. Sistema de distribución reconfigurado.

Con la red reconfigurada como se muestra en la Fig. 4.2, se calculan nuevamente los voltajes nodales. En la Tabla 4.3 observamos que las caídas de tensión en los nodos del sistema son menores al 10% requerido para considerarse aceptable.

Tabla 4.3. Voltajes calculados después de la reconfiguración.

NODOS	IVI fase a	IVI fase b	IVI fase c
1	7200	7200	7200
2	6905	6996	6865
3	6883	6988	6836
4	6667	6823	6611
5	0	6994	0
6	6858	6990	6797
7	6837	6992	6761
8	0	6993	0

Los voltajes de las fases *a*, *b* y *c* en la rama *a* formada por los nodos 1, 2, 3 y 6 antes de la reconfiguración (Fig. 4.1) y de la rama formada por los nodos 1, 2, 3, 6, y 7, después de la reconfiguración (Fig. 4.2) son graficados en la Fig. 4.3.

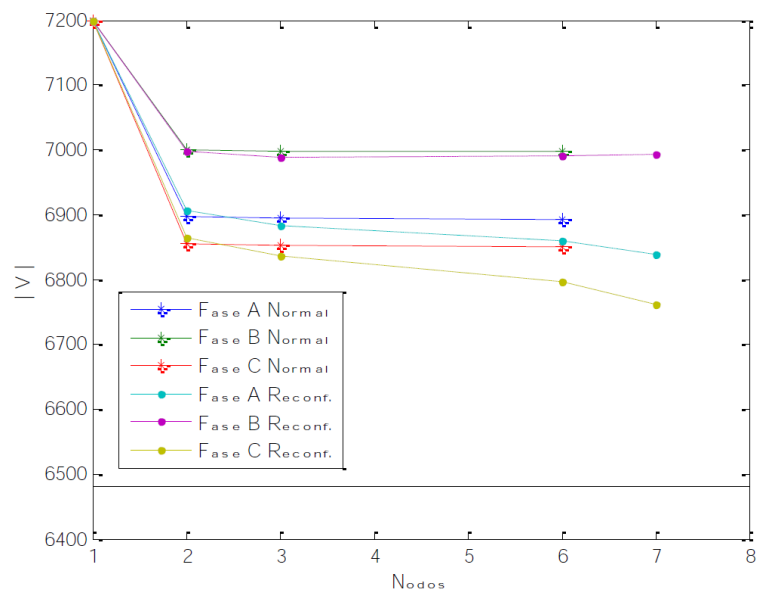


Fig. 4.3 Voltajes calculados en la rama *a*, antes y después de la reconfiguración.

Los voltajes de las fases *a*, *b* y *c* en la rama *b* formada por los nodos 1, 2, 4 y 7 antes de la reconfiguración (Fig. 4.1) y de la rama formada por los nodos 1, 2 y 4, después de la reconfiguración (Fig. 4.2) son graficados en la Fig. 4.4.

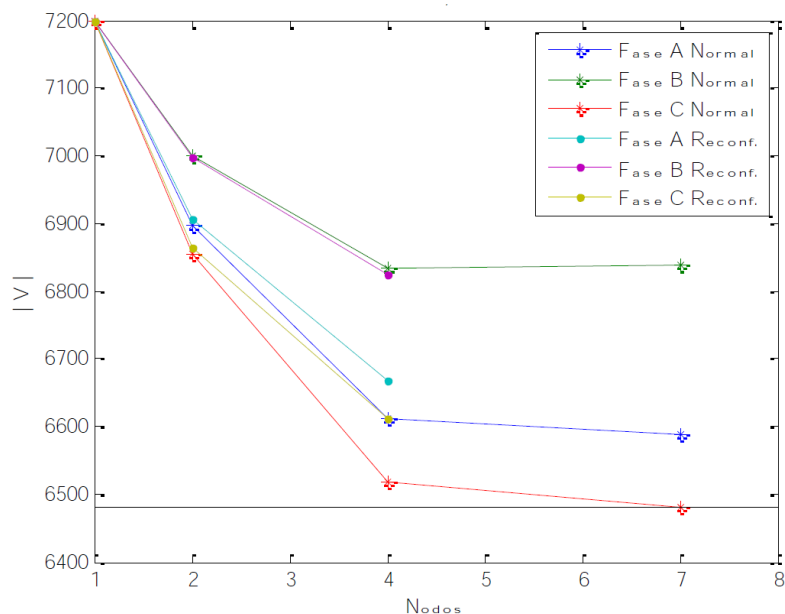


Fig. 4.4 Voltajes en los nodos rama b, antes y después de la reconfiguración.

En la figura 4.4 se aprecia claramente que los perfiles de voltaje son elevados a niveles considerados aceptables.

4.2 Estudio de Reconfiguración en una Red de 34 nodos.

La Fig. 4.5 muestra una red de 34 nodos con una configuración radial, la cual será objeto del estudio en este apartado.

$$Z4 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1.9217 + 1.4212j & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Las cargas de los nodos en potencia constante $P+jQ$ se expresan en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4. Cargas en nodos de la red de la fig. 4.5

Nodo	"P+ jQ" en kW y kVAR, respectivamente		
	Fase a	Fase b	Fase c
802	0	0	0
806	0	11.4 + 5.7j	9.5 + 5.32j
808	0	0	0
810	0	6.08 + 3.04j	0
812	0	0	0
814	0	0	0
850	0	0	0
816	0	0	0
818	0	0	0
820	12.92 + 6.46j	0	0
822	51.3 +26.6j	0	0
824	0	1.9 + 0.76j	0
826	0	15.2 + 7.6j	0
828	0	0	1.52 + 0.76j
830	6.46 + 3.04j	3.8 + 1.9j	9.5 + 3.8j
854	0	0	0
856	0	1.52 + 0.76j	0
852	0	0	0
832	0	0	0
888	0	0	0
890	57 +28.5j	57 +28.5j	57 +28.5j
858	2.66 + 1.14j	0.76 + 0.38j	2.28 + 1.14j
864	0.76 + 0.38j	0	0
834	1.52 + 0.76j	5.7 + 3.04j	4.94 + 2.66j
842	0	0	0
844	71.68 +54.758j	67.203 +52.27j	67.203 +52.27j
846	0	12.45 + 5.97j	9.95 + 5.47j
848	9.95 + 7.965j	21.4 +13.44j	9.95 + 7.965j
860	17.92 + 11.947j	19.91 + 12.94j	64.71 +35.34j
840	13.44 + 7.96j	15.43 + 8.96j	4.48 + 3.484j

836	14.93 + 7.46j	4.97 + 2.98j	20.9 + 10.95j
862	0	0	0
838	0	13.938 + 6.969j	0

Al calcular los voltajes en el sistema de la Fig. 4.5, bajo las condiciones de carga expuestas en la Tabla 4.4 se obtienen los resultados de caída de voltaje expresados en la Tabla 4.5. Los cálculos mostrados en la Tabla 4.5 se realizan con el método de barrido progresivo-regresivo.

Tabla 4.5. Voltajes antes de la reconfiguración.

NODOS	IVI fase a	IVI fase b	IVI fase c
800	14376	14376	14376
802	14362	14363	14361
806	14353	14354	14351
808	14176	14202	14166
810	0	14200	0
812	13967	14027	13945
814	13798	13886	13768
850	13798	13886	13768
816	13796	13884	13765
818	13791	0	0
820	13643	0	0
822	13608	0	0
824	13738	13809	13684
826	0	13807	0
828	13734	13803	13677
830	13618	13664	13512
854	13615	13661	13508
856	0	13660	0
852	13412	13412	13219
832	13412	13412	13219
888	13412	13412	13219
890	13398	13400	13205
858	13393	13387	13189
864	13392	0	0
834	13370	13356	13153
842	13370	13355	13152
844	13366	13351	13148

846	13365	13346	13147
848	13365	13346	13146
860	13368	13353	13147
836	13366	13350	13145
840	13365	13350	13145
862	13366	13350	13145
838	0	13347	0

En la Tabla 4.5. Se puede observar que se presentan caídas de voltaje mayores al 7% que es el porcentaje requerido para considerarse aceptable [2], es decir que el voltaje cae por debajo de los 13369 V con respecto al nodo raíz.

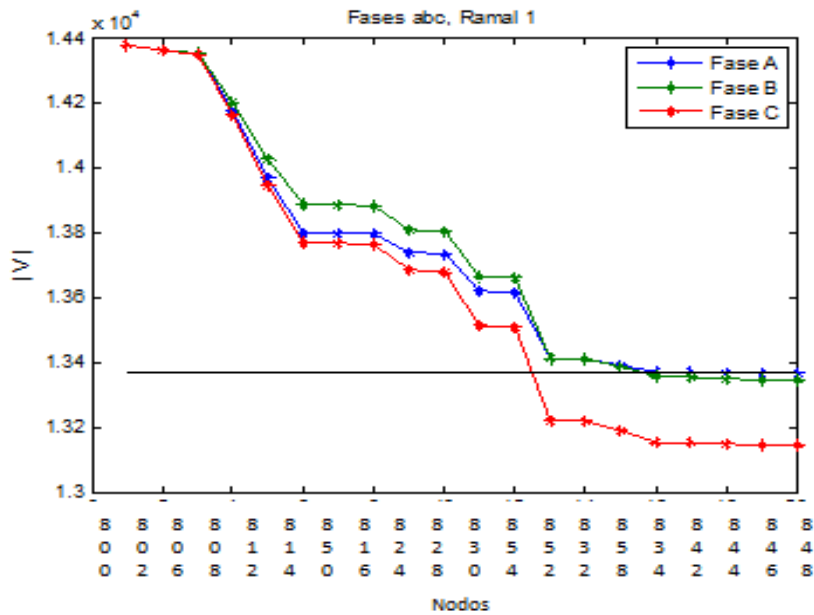


Fig. 4.6 Voltajes calculados en el Ramal 1 antes de la reconfiguración.

Los voltajes en las fases *a*, *b* y *c* del camino del flujo de corriente formado entre el nodo raíz 800 y el nodo 848 (nombrado "ramal 1"), son graficados en la Fig. 4.6. Además una línea continua en 13369 V que denota una caída de voltaje del 7%.

De la tabla 4.5 y la Fig. 4.6 se aprecia que la Fase C del nodo 852 al 848; la fase B del nodo 834 al 848 y la Fase A del nodo 844 al 848 caen por debajo del 7% permisible, por lo cual se requiere elevar el nivel de tensión.

Los voltajes en las fases *a*, *b* y *c* del camino del flujo de corriente formado entre el nodo raíz 800 y el nodo 838 (nombrado "ramal 2") son graficados en la Fig. 4.7. Además una línea continua en 13369 V denota el límite permisible.

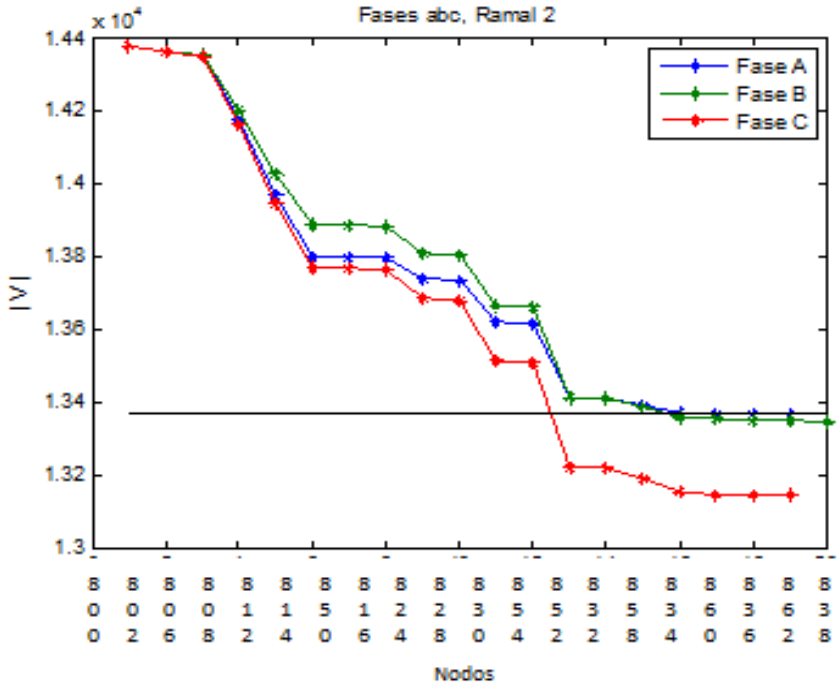


Fig. 4.7 Voltajes calculados en el Ramal 2 antes de la reconfiguración.

En la Fig. 4.7 se aprecian nuevamente nodos con voltaje por debajo de 13369 V. La propuesta de esta tesis es elevar este nivel de tensión por medio de una reconfiguración de la red.

En el sistema bajo estudio se observa que por condiciones geográficas y la disposición de fases, se propone reconfigurar tendiendo un tramo de línea del nodo 824 al nodo 858 y abriendo del nodo 832 al 858, quedando la red como se muestra en la Fig. 4.8.

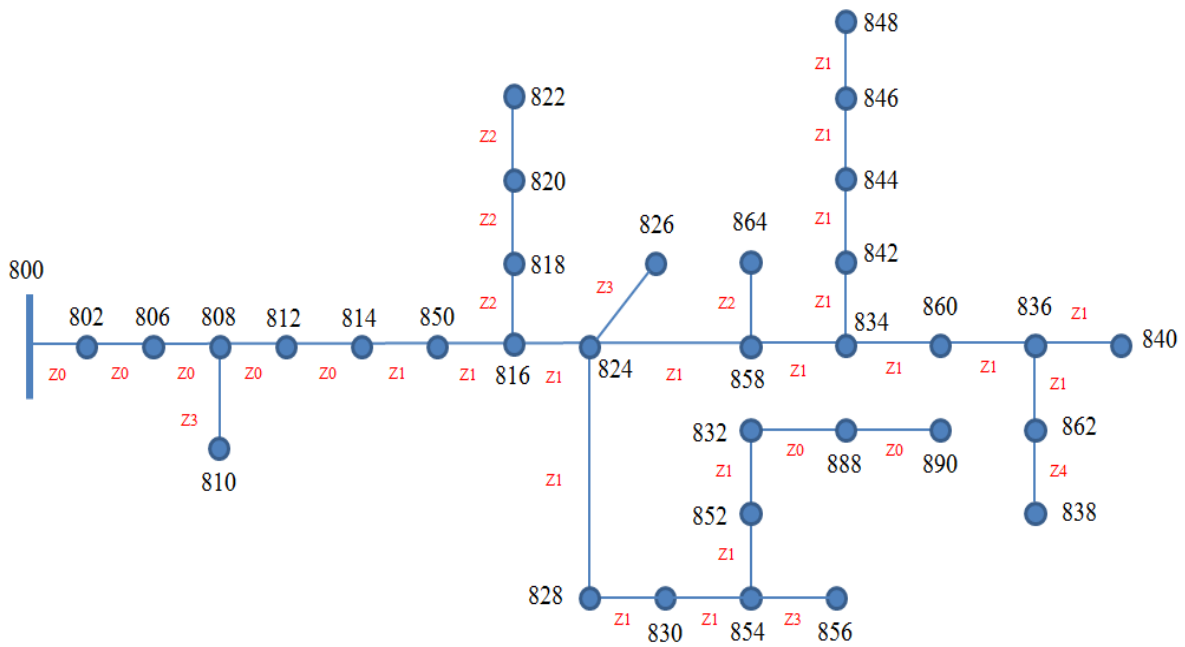


Fig. 4.8. Sistema de distribución reconfigurado.

Con la red reconfigurada como se muestra en la Fig. 4.8, se calculan nuevamente los voltajes nodales.

En la Tabla 4.6 observamos que las caídas de tensión en los nodos del sistema son menores al 7% requerido para considerarse aceptable [2]. Es decir 13369 V.

Tabla 4.6. Voltajes calculados después de la reconfiguración.

NODOS	IVI fase a	IVI fase b	IVI fase c
800	14376	14376	14376
802	14362	14363	14361
806	14353	14355	14352
808	14179	14208	14175
810	0	142206	0
812	13974	14039	13963
814	13808	13903	13793
850	13808	13903	13793
816	13806	13901	13791
818	13800	0	0
820	13653	0	0

822	13619	0	0
824	13749	13828	13713
826	0	13826	0
828	13748	13827	13711
830	13713	13795	13673
854	13712	13794	13672
856	0	13793	0
852	13652	13738	13612
832	13652	13738	13612
888	13652	13738	13612
890	13639	13727	13599
858	13731	13803	13684
864	13731	0	0
834	13709	13774	13650
842	13708	13773	13649
844	13705	13769	13645
846	13704	13765	13643
848	13703	13764	13643
860	13707	13771	13644
836	13705	13768	13642
840	13704	13768	13642
862	13705	13768	13642
838	0	13765	0

Los voltajes de las fases *a*, *b* y *c* en la ramal 1, son graficados en la Fig. 4.9.

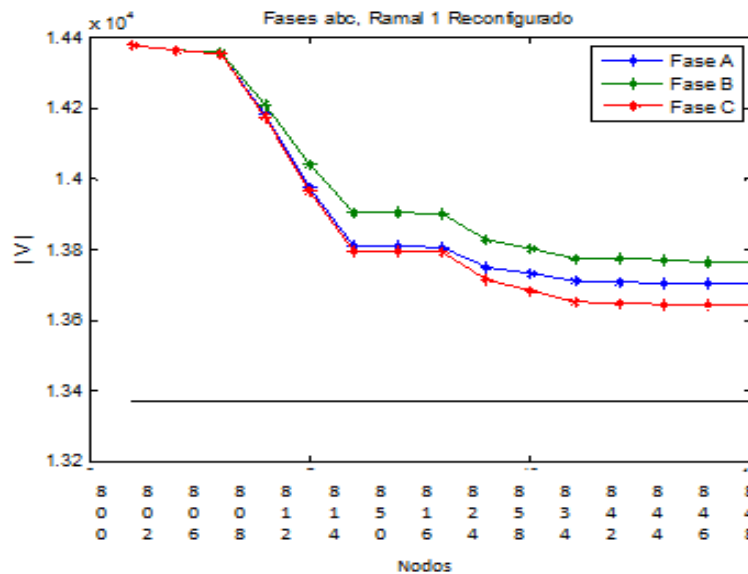


Fig. 4.9 Voltajes calculados en el Ramal 1, después de la reconfiguración.

Los voltajes de las fases *a*, *b* y *c* en la ramal 2, son graficados en la Fig. 4.10.

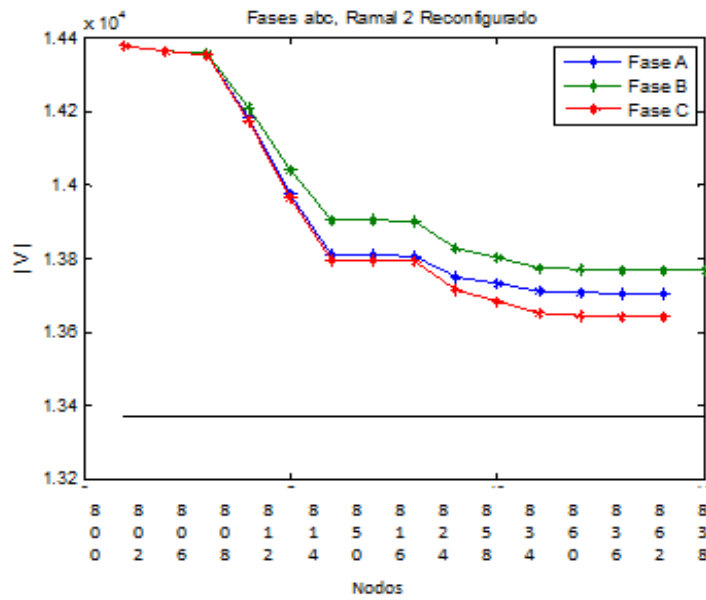


Fig. 4.10 Voltajes calculados en el Ramal 2, después de la reconfiguración.

En la figura 4.9 y 4.10 se aprecia claramente que los perfiles de voltaje son elevados a niveles considerados aceptables.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este estudio muestran como a través de la reconfiguración de las redes radiales se reducen las pérdidas resistivas y se logran optimizar los niveles de tensión para que de esta forma se cumpla con los requisitos de un sistema estable tomando en cuenta la topología del sistema para la reconfiguración.

Se consideraron redes de distribución de 8 y 34 nodos, con la reconfiguración de la red en los dos casos, los problemas de caídas de voltaje que presentaban fueron resueltos de manera satisfactoria demostrando ser viable.

Con el estudio realizado se hace evidente la importancia y la necesidad de realizar estudios de reconfiguración para obtener mayor eficiencia, con el objetivo de brindar un servicio de mayor calidad.

TRABAJO PUBLICADO

- [1]. **J. M. Sánchez** y Eric Morales A, “Reconfiguración de Redes de Distribución en Base a Caídas de Voltaje”, *REUNION INTERNACIONAL DE VERANO, RVP-AI/2014*, Acapulco Gro., del 20 al 26 de julio del 2014.

RECOMENDACIONES

Se aconseja combinar la técnica de reconfiguración de redes con otras técnicas para la solución del abatimiento de voltaje como por ejemplo la inclusión de bancos de capacitores con la finalidad de alcanzar de una manera mejor el nivel de tensión.

REFERENCIAS

- [1]. Diario Oficial de la Federación, “Reglamento de la Ley de Servicio Público de Energía Eléctrica”, México. Diciembre 2011.
- [2]. CFE L0000-70, Calidad de la Energía: “Características y Límites de las Perturbaciones de los Parámetros de la Energía Eléctrica”, México. Febrero 2014.
- [3]. GOD 3532. “Procedimiento de Pruebas a Esquemas de Protección.” CFE, México, 2007.
- [4]. W. H. Kersting, “*Distribution System Modeling and Analysis*”, Boca Raton, Florida, CRC Press 2002.
- [5]. Gonen, T., *Electric Power Distribution System Engineering*, McGraw Hill, Inc. 1986.
- [6]. 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.
- [7]. Qin Zhou, Darius Shirmohammadi, W. h. Edwin Liu, "Distribution Feeder Reconfiguration for Service Restoration and Load Balancing", *IEEE Transaction on PWRS*, Vol. 12, No. 2, May1997, pp. 724-729.
- [8]. D. Shirmohammadi, H. W. Hong, "Reconfiguration of electric Distribution Network for resistive line loss Reduction", *IEEE Transaction on Power Delivery*, Vol. 4, No. 2, April 1989
- [9]. S. Civanlar, J. J. Gringer, H. Yin, S. S. H. Lee, "Distribution Reconfiguration for Loss Reduction" *IEEE Transaction on Power Delivery*, Vol. 3, No. 2, May 1988.
- [10]. D. Shirmohammadi, "Service restoration in Distribution Networks Via network reconfiguration ", *IEEE Transaction on PWRS*, Vol. 7, No. 2, April 1992, pp. 952-958.

- [11]. C.S. Cheng and D. Shirmohammadi, "A three-phase power flow method for real-time distribution system analysis," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 10, no. 2, May 1995.
- [12]. Carson, John R., Wave propagation in overhead wires with ground return, *Bell System Technical Journal*, Vol. 5, New York, 1926.
- [13]. Kron, G., Tensorial analysis of integrated transmission systems, Part I, the six basic reference frames, *AIEE Trans.*, Vol. 71, 1952.
- [14]. D. Shirmohammadi, H. W. Hong, A. Semlyen, and G. X. Luo, "A compensation-based power flow method for weakly Meshed distribution and transmission networks", *IEEE Trans. Power syst.*, vol. 3, no. 2, May 1988.

APENDICE A.PROGRAMA DE MATLAB RED 34 NODOS ANTES DE LA RECONFIGURACION

Rutina.- Valores Iniciales

```
I_nodo802=[0;
           0;
           0];

I_nodo806=I_nodo802;
I_nodo804=I_nodo802;
I_nodo808=I_nodo802;
I_nodo810=I_nodo802;
I_nodo812=I_nodo802;
I_nodo814=I_nodo802;
I_nodo850=I_nodo802;
I_nodo816=I_nodo802;
I_nodo818=I_nodo802;
I_nodo820=I_nodo802;
I_nodo822=I_nodo802;
I_nodo824=I_nodo802;
I_nodo826=I_nodo802;
I_nodo828=I_nodo802;
I_nodo830=I_nodo802;
I_nodo854=I_nodo802;
I_nodo856=I_nodo802;
I_nodo852=I_nodo802;
I_nodo832=I_nodo802;
I_nodo888=I_nodo802;
I_nodo890=I_nodo802;
I_nodo858=I_nodo802;
I_nodo864=I_nodo802;
I_nodo834=I_nodo802;
I_nodo842=I_nodo802;
I_nodo844=I_nodo802;
I_nodo846=I_nodo802;
I_nodo848=I_nodo802;
I_nodo860=I_nodo802;
I_nodo836=I_nodo802;
I_nodo840=I_nodo802;
I_nodo862=I_nodo802;
I_nodo838=I_nodo802;

I_carga838=zeros(3,1);
I_carga840=zeros(3,1);
I_carga862=zeros(3,1);
I_carga836=zeros(3,1);
I_carga860=zeros(3,1);
I_carga834=zeros(3,1);
I_carga842=zeros(3,1);
I_carga844=zeros(3,1);
I_carga846=zeros(3,1);
```

```

I_carga848=zeros(3,1);
I_carga864=zeros(3,1);
I_carga858=zeros(3,1);
I_carga890=zeros(3,1);
I_carga888=zeros(3,1);
I_carga832=zeros(3,1);
I_carga852=zeros(3,1);
I_carga856=zeros(3,1);
I_carga854=zeros(3,1);
I_carga830=zeros(3,1);
I_carga828=zeros(3,1);
I_carga826=zeros(3,1);
I_carga824=zeros(3,1);
I_carga816=zeros(3,1);
I_carga818=zeros(3,1);
I_carga820=zeros(3,1);
I_carga822=zeros(3,1);
I_carga850=zeros(3,1);
I_carga814=zeros(3,1);
I_carga812=zeros(3,1);
I_carga810=zeros(3,1);
I_carga808=zeros(3,1);
I_carga806=zeros(3,1);
I_carga802=zeros(3,1);

```

Rutina.- Datos

```
%INCREMENTO DE POTENCIA EN LOS NODOS
```

```
decremento=0.38;
```

```
incremento=1.31;
```

```

%      A      B      C
S802=[ 0;      0;      0 ]*decremento;
S806=[ 0;      30+15j;  25+14j]*decremento;
S808=[ 0;      0;      0 ]*decremento;
S810=[ 0;      16+8j;   0 ]*decremento;
S812=[ 0;      0;      0 ]*decremento;
S814=[ 0;      0;      0 ]*decremento;
S850=[ 0;      0;      0 ]*decremento;
S816=[ 0;      0;      0 ]*decremento;
S818=[ 0;      0;      0 ]*decremento;
S820=[34+17j;   0;      0 ]*decremento;
S822=[135+70j;  0;      0 ]*decremento;
S824=[ 0;      5+2j;   0 ]*decremento;
S826=[ 0;      40+20j;  0 ]*decremento;
S828=[ 0;      0;      4+2j]*decremento;
S830=[17+8j;   10+5j;  25+10j]*decremento;
S854=[ 0;      0;      0 ]*decremento;
S856=[ 0;      4+2j;   0 ]*decremento;
S852=[ 0;      0;      0 ]*decremento;
S832=[ 0;      0;      0 ]*decremento;

```

```

S888=[ 0;      0 ;      0 ]*decremento;
S890=[150+75j; 150+75j; 150+75j]*decremento;
S858=[ 7+3j;   2+1j;   6+3j]*decremento;
S864=[ 2+1j;   0 ;      0 ]*decremento;
S834=[ 4+2j;   15+8j;   13+7j]*decremento;
S842=[ 0;      0 ;      0 ]*decremento*incremento;
S844=[144+110j; 135+105j; 135+105j]*decremento*incremento;
S846=[ 0;      25+12j;  20+11j]*decremento*incremento;
S848=[20+16j;  43+27j;  20+16j]*decremento*incremento;
S860=[36+24j;  40+26j;  130+71j]*decremento*incremento;
S840=[27+16j;  31+18j;  9+7j]*decremento*incremento;
S836=[30+15j;  10+6j;   42+22j]*decremento*incremento;
S862=[ 0;      0 ;      0 ]*decremento*incremento;
S838=[ 0;      28+14j;   0]*decremento*incremento;

```

```

      A      B      C
S2=[17+10j;  66+38j;  117+68j];
S3=[20+10j;  15+7j;   30+9j];
S4=[385+220j; 385+220j; 385+220j]*1.1;
S5=[0;       170+125j; 0];
S6=[160+110j; 120+90j; 120+90j];
S7=[100+50j;  50+25j;  100+50j]*1.1;
S8=[ 0;       230+132j;  0];

```

```

OLC300=[1.3368+1.3343j 0.2101+0.5779j 0.2130+0.5015j;
        0.2101+0.5779j 1.3238+1.3569j 0.2066+0.4591j;
        0.2130+0.5015j 0.2066+0.4591j 1.3294+1.3471j];

```

```

OLC301=[1.9300+1.4115j 0.2327+0.6442j 0.2359+0.5691j;
        0.2327+0.6442j 1.9157+1.4281j 0.2288+0.5238j;
        0.2359+0.5691j 0.2288+0.5238j 1.9219+1.4209j];

```

```

OLC302=[2.7995+1.4855j      0      0;
        0      0      0;
        0      0      0];

```

```

OLC303=[      0+0j      0+0j0+0j;
        0+0j      2.7995+1.4855j      0+0j;
        0+0j      0+0j0+0j      ];

```

```

OLC304=[      0+0j      0+0j0+0j;
        0+0j      1.9217+1.4212j      0+0j;
        0+0j      0+0j0+0j      ];

```

```

V800=[14376*(cos(0)+sin(0)*1i);
      14376*(cos((-120*(pi/180)))+sin((-120*(pi/180)))*1i);
      14376*(cos((120*(pi/180)))+sin((120*(pi/180)))*1i)];
%abs(V1) %saca magnitud para voltajes
%angle(V1)*(180/pi) %saca angulo en grados

```

```

A300=[1 0 0;
      0 1 0;

```

```

    0 0 1];

A301=[1 0 0;
      0 1 0;
      0 0 1];

A302=[1 0 0;
      0 0 0;
      0 0 0];

A303=[0 0 0;
      0 1 0;
      0 0 0];

A304=[0 0 0;
      0 1 0;
      0 0 0];

C300=[0+5.3350j 0-1.5313j 0-0.9943j;
      0-1.5313j 0+5.0979j 0-0.6212j;
      0-0.9943j 0-0.6212j 0+4.8880j]*0.000001;

C301=[5.1207j -1.4364j -0.9402j;
      -1.4364j 4.9055j -0.5951j;
      -0.9402j -0.5951j 4.7154j]*0.000001;

C302=[0+4.2251j 0 0;
      0 0 0;
      0 0 0]*0.000001;

C303=[ 0 0 0;
      0 0+4.2251j 0;
      0 0 0]*0.000001;

C304=[ 0 0 0;
      0 0+4.3637j 0;
      0 0 0]*0.000001;

d300=A300;
d301=A301;
d302=A302;
d303=A303;
d304=A304;

FT=(1/5278.97);

Z802=2580*FT*OLC300;
Z806=1730*FT*OLC300;
Z808=32230*FT*OLC300;
Z810=5804*FT*OLC303;
Z812=37500*FT*OLC300;
Z814=29730*FT*OLC300;
Z850=10*FT*OLC301;
Z816=310*FT*OLC301;

```

Z818=1710*FT*OLC302;
 Z820=48150*FT*OLC302;
 Z822=13740*FT*OLC302;
 Z824=10210*FT*OLC301;
 Z826=3030*FT*OLC303;
 Z828=840*FT*OLC301;
 Z830=20440*FT*OLC301;
 Z854=520*FT*OLC301;
 Z856=23330*FT*OLC303;
 Z852=36830*FT*OLC301;
 Z832=10*FT*OLC301;
 Z888=1*FT*OLC300;
 Z890=10560*FT*OLC300;
 Z858=4900*FT*OLC301;
 Z864=1620*FT*OLC302;
 Z834=5830*FT*OLC301;
 Z842=280*FT*OLC301;
 Z844=1350*FT*OLC301;
 Z846=3640*FT*OLC301;
 Z848=530*FT*OLC301;
 Z860=2020*FT*OLC301;
 Z836=2680*FT*OLC301;
 Z840=860*FT*OLC301;
 Z862=280*FT*OLC301;
 Z838=4860*FT*OLC304;

CALCULANDO LA ADMITANCIA EN DERIVACIÓN DE $C=Y+1/4*Y*Z*Y$ EC 6.17 LIBRO
 KERSTING

Y800=2580*FT*C300;
 Y802=1730*FT*C300;
 Y806=32230*FT*C300;
 Y808_810=5804*FT*C303;
 Y808_812=37500*FT*C300;
 Y812=29730*FT*C300;
 Y814=10*FT*C301;
 Y850=310*FT*C301;
 Y816_824=10210*FT*C301;
 Y816_818=1710*FT*C302;
 Y824_828=840*FT*C301;
 Y824_826=3030*FT*C303;
 Y818=48150*FT*C302;
 Y820=13740*FT*C302;
 Y828=20440*FT*C301;
 Y830=520*FT*C301;
 Y854_852=36830*FT*C301;
 Y854_856=23330*FT*C303;
 Y852=10*FT*C301;
 Y832_858=4900*FT*C301;
 Y832_888=1*FT*C300;
 Y858_864=1620*FT*C302;
 Y858_834=5830*FT*C301;
 Y888=10560*FT*C300;
 Y834_842=280*FT*C301;

Y834_860=2020*FT*C301;
 Y842=1350*FT*C301;
 Y844=3640*FT*C301;
 Y846=530*FT*C301;
 Y860=2680*FT*C301;
 Y836_862=280*FT*C301;
 Y836_840=860*FT*C301;
 Y862=4860*FT*C304;

C800=Y800+(1/4)*Y800*Z802*Y800;
 C802=Y802+(1/4)*Y802*Z806*Y802;
 C806=Y806+(1/4)*Y806*Z808*Y806;
 C808_810=Y808_810+(1/4)*Y808_810*Z810*Y808_810;
 C808_812=Y808_812+(1/4)*Y808_812*Z812*Y808_812;
 C812=Y812+(1/4)*Y812*Z814*Y812;
 C814=Y814+(1/4)*Y814*Z850*Y814;
 C850=Y850+(1/4)*Y850*Z816*Y850;
 C816_824=Y816_824+(1/4)*Y816_824*Z824*Y816_824;
 C816_818=Y816_818+(1/4)*Y816_818*Z818*Y816_818;
 C824_828=Y824_828+(1/4)*Y824_828*Z828*Y824_828;
 C824_826=Y824_826+(1/4)*Y824_826*Z826*Y824_826;
 C818=Y818+(1/4)*Y818*Z820*Y818;
 C820=Y820+(1/4)*Y820*Z822*Y820;
 C828=Y828+(1/4)*Y828*Z830*Y828;
 C830=Y830+(1/4)*Y830*Z854*Y830;
 C854_852=Y854_852+(1/4)*Y854_852*Z852*Y854_852;
 C854_856=Y854_856+(1/4)*Y854_856*Z856*Y854_856;
 C852=Y852+(1/4)*Y852*Z832*Y852;
 C832_858=Y832_858+(1/4)*Y832_858*Z858*Y832_858;
 C832_888=Y832_888+(1/4)*Y832_888*Z888*Y832_888;
 C858_864=Y858_864+(1/4)*Y858_864*Z864*Y858_864;
 C858_834=Y858_834+(1/4)*Y858_834*Z834*Y858_834;
 C888=Y888+(1/4)*Y888*Z890*Y888;
 C834_842=Y834_842+(1/4)*Y834_842*Z842*Y834_842;
 C834_860=Y834_860+(1/4)*Y834_860*Z860*Y834_860;
 C842=Y842+(1/4)*Y842*Z844*Y842;
 C844=Y844+(1/4)*Y844*Z846*Y844;
 C846=Y846+(1/4)*Y846*Z848*Y846;
 C860=Y860+(1/4)*Y860*Z836*Y860;
 C836_862=Y836_862+(1/4)*Y836_862*Z862*Y836_862;
 C836_840=Y836_840+(1/4)*Y836_840*Z840*Y836_840;
 C862=Y862+(1/4)*Y862*Z838*Y862;

CALCULANDO LA MATRIZ [d]

[d]= [U]+(1/2)*[Zabc]*[Yabc]

d800=A300+(1/2)*Z802*Y800;
 d802=A300+(1/2)*Z806*Y802;
 d806=A300+(1/2)*Z808*Y806;
 d808_810=A303+(1/2)*Z810*Y808_810;
 d808_812=A300+(1/2)*Z812*Y808_812;
 d812=A300+(1/2)*Z814*Y812;
 d814=A301+(1/2)*Z850*Y814;

d850=A301+(1/2)*Z816*Y850;
d816_818=A302+(1/2)*Z818*Y816_818;
d818=A302+(1/2)*Z820*Y818;
d820=A302+(1/2)*Z822*Y820;
d816_824=A301+(1/2)*Z824*Y816_824;
d824_826=A303+(1/2)*Z826*Y824_826;
d824_828=A301+(1/2)*Z828*Y824_828;
d828=A301+(1/2)*Z830*Y828;
d830=A301+(1/2)*Z854*Y830;
d854_856=A303+(1/2)*Z856*Y854_856;
d854_852=A301+(1/2)*Z852*Y854_852;
d852=A301+(1/2)*Z832*Y852;
d832_888=A300+(1/2)*Z888*Y832_888;
d890_888=A300+(1/2)*Z890*Y888;
d832_858=A301+(1/2)*Z858*Y832_858;
d858_864=A302+(1/2)*Z864*Y858_864;
d858_834=A301+(1/2)*Z834*Y858_834;
d834_842=A301+(1/2)*Z842*Y834_842;
d842=A301+(1/2)*Z844*Y842;
d844=A301+(1/2)*Z846*Y844;
d846=A301+(1/2)*Z848*Y846;
d834_860=A301+(1/2)*Z860*Y834_860;
d860=A301+(1/2)*Z836*Y860;
d836_840=A301+(1/2)*Z840*Y836_840;
d836_862=A301+(1/2)*Z862*Y836_862;
d838_862=A304+(1/2)*Z838*Y862;

a800=d800;
a802=d802;
a806=d806;
a808_810=d808_810;
a808_812=d808_812;
a812=d812;
a814=d814;
a850=d850;
a816_818=d816_818;
a818=d818;
a820=d820;
a816_824=d816_824;
a824_826=d824_826;
a824_828=d824_828;
a828=d828;
a830=d830;
a854_856=d854_856;
a854_852=d854_852;
a852=d852;
a832_888=d832_888;
a890_888=d890_888;
a832_858=d832_858;
a858_864=d858_864;
a858_834=d858_834;
a834_842=d834_842;
a842=d842;

```
a844=d844;  
a846=d846;  
a834_860=d834_860;  
a860=d860;  
a836_840=d836_840;  
a836_862=d836_862;  
a838_862=d838_862;
```

Se calcula la inversa de la matriz de identidad [a]

```
A800=inv(a800);  
A802=inv(a802);  
A806=inv(a806);  
A808_812=inv(a808_812);  
A812=inv(a812);  
A814=inv(a814);  
A850=inv(a850);  
A816_824=inv(a816_824);  
A824_828=inv(a824_828);  
A828=inv(a828);  
A830=inv(a830);  
A854_852=inv(a854_852);  
A852=inv(a852);  
A832_888=inv(a832_888);  
A890_888=inv(a890_888);  
A832_858=inv(a832_858);  
A858_834=inv(a858_834);  
A834_842=inv(a834_842);  
A842=inv(a842);  
A844=inv(a844);  
A846=inv(a846);  
A834_860=inv(a834_860);  
A860=inv(a860);  
A836_840=inv(a836_840);  
A836_862=inv(a836_862);
```

Se calcula la inversa de la matriz solo con la fase a

```
A816_818=zeros(3,3);  
A816_818(1,1)=inv(a816_818(1,1));
```

```
A818=zeros(3,3);  
A818(1,1)=inv(a818(1,1));
```

```
A820=zeros(3,3);  
A820(1,1)=inv(a820(1,1));
```

```
A858_864=zeros(3,3);  
A858_864(1,1)=inv(a858_864(1,1));
```

Se calcula la inversa de la matriz solo con la fase b

```
A808_810=zeros(3,3);
```

```
A808_810(2,2)=inv(a808_810(2,2));
```

```
A824_826=zeros(3,3);  
A824_826(2,2)=inv(a824_826(2,2));
```

```
A854_856=zeros(3,3);  
A854_856(2,2)=inv(a854_856(2,2));
```

```
A838_862=zeros(3,3);  
A838_862(2,2)=inv(a838_862(2,2));
```

[B]=[a]-1*[b] dado que $A = a^{-1}$, se utiliza A para simplificar
[B]=[A]*[b]

```
B800=A800*Z802;  
B802=A802*Z806;  
B806=A806*Z808;  
B808_812=A808_812*Z812;  
B812=A812*Z814;  
B814=A814*Z850;  
B850=A850*Z816;  
B816_824=A816_824*Z824;  
B824_828=A824_828*Z828;  
B828=A828*Z830;  
B830=A830*Z854;  
B854_852=A854_852*Z852;  
B852=A852*Z832;  
B832_888=A832_888*Z888;  
B890_888=A890_888*Z890;  
B832_858=A832_858*Z858;  
B858_834=A858_834*Z834;  
B834_842=A834_842*Z842;  
B842=A842*Z844;  
B844=A844*Z846;  
B846=A846*Z848;  
B834_860=A834_860*Z860;  
B860=A860*Z836;  
B836_840=A836_840*Z840;  
B836_862=A836_862*Z862;  
B808_810=A808_810*Z810;  
B824_826=A824_826*Z826;  
B854_856=A854_856*Z856;  
B838_862=A838_862*Z838;  
B816_818=A816_818*Z818;  
B818=A818*Z820;  
B820=A820*Z822;  
B858_864=A858_864*Z864;
```

Rutina.- main

```
clc
clearall

datos_34n

valores_iniciales

iter_max=100;
tol=0.00001;
Error=1;
iter=0;

while Error>tol&&iter_max>iter

Barrido Progresivo

    V802=A800*V800-B800*I_nodo802;
V806=A802*V802-B802*I_nodo806;
    V808=A806*V806-B806*I_nodo808;
V810=A808_810*V808-B808_810*I_nodo810;
V812=A808_812*V808-B808_812*I_nodo812;
V814=A812*V812-B812*I_nodo814;
V850=A814*V814-B814*I_nodo850;
V816=A850*V850-B850*I_nodo816;
V818=A816_818*V816-B816_818*I_nodo818;
V820=A818*V818-B818*I_nodo820;
V822=A820*V820-B820*I_nodo822;
V824=A816_824*V816-B816_824*I_nodo824;
V826=A824_826*V824-B824_826*I_nodo826;
V828=A824_828*V824-B824_828*I_nodo828;
V830=A828*V828-B828*I_nodo830;
V854=A830*V830-B830*I_nodo854;
V856=A854_856*V854-B854_856*I_nodo856;
V852=A854_852*V854-B854_852*I_nodo852;
V832=A852*V852-B852*I_nodo832;
V888=A832_888*V832-B832_888*I_nodo888;
V890=A890_888*V888-B890_888*I_nodo890;
V858=A832_858*V832-B832_858*I_nodo858;
V864=A858_864*V858-B858_864*I_nodo864;
V834=A858_834*V858-B858_834*I_nodo834;
V842=A834_842*V834-B834_842*I_nodo842;
V844=A842*V842-B842*I_nodo844;
V846=A844*V844-B844*I_nodo846;
V848=A846*V846-B846*I_nodo848;
V860=A834_860*V834-B834_860*I_nodo860;
V836=A860*V860-B860*I_nodo836;
V862=A836_862*V836-B836_862*I_nodo862;
V838=A838_862*V862-B838_862*I_nodo838;
V840=A836_840*V836-B836_840*I_nodo840;
```

Barrido Regresivo

Capa 19

```
I_carga838=zeros(3,1);
I_carga838(1,1)=conj((S838(1,1)*1000)/V838(1,1));
I_carga838(2,1)=conj((S838(2,1)*1000)/V838(2,1));
I_carga838(3,1)=conj((S838(3,1)*1000)/V838(3,1));
I_nodo838=I_carga838;

I_carga848=zeros(3,1);
I_carga848(1,1)=conj((S848(1,1)*1000)/V848(1,1));
I_carga848(2,1)=conj((S848(2,1)*1000)/V848(2,1));
I_carga848(3,1)=conj((S848(3,1)*1000)/V848(3,1));
I_nodo848=I_carga848;
```

Capa 18

```
I_rama862=C862*V838+d838_862*I_nodo838;
I_carga862=zeros(3,1);
I_carga862(1,1)=conj((S862(1,1)*1000)/V862(1,1));
I_carga862(2,1)=conj((S862(2,1)*1000)/V862(2,1));
I_carga862(3,1)=conj((S862(3,1)*1000)/V862(3,1));
I_nodo862=I_carga862+I_rama862;

I_rama846=C846*V848+d846*I_nodo848;
I_carga846=zeros(3,1);
I_carga846(1,1)=conj((S846(1,1)*1000)/V846(1,1));
I_carga846(2,1)=conj((S846(2,1)*1000)/V846(2,1));
I_carga846(3,1)=conj((S846(3,1)*1000)/V846(3,1));
I_nodo846=I_carga846+I_rama846;

I_carga840=zeros(3,1);
I_carga840(1,1)=conj((S840(1,1)*1000)/V840(1,1));
I_carga840(2,1)=conj((S840(2,1)*1000)/V840(2,1));
I_carga840(3,1)=conj((S840(3,1)*1000)/V840(3,1));
I_nodo840=I_carga840;
```

Capa 17

```
I_rama836_862=C836_862*V862+d836_862*I_nodo862;
I_rama836_840=C836_840*V840+d836_840*I_nodo840;
I_carga836=zeros(3,1);
I_carga836(1,1)=conj((S836(1,1)*1000)/V836(1,1));
I_carga836(2,1)=conj((S836(2,1)*1000)/V836(2,1));
I_carga836(3,1)=conj((S836(3,1)*1000)/V836(3,1));
I_nodo836=I_carga836+I_rama836_862+I_rama836_840;

I_rama844=C844*V846+d844*I_nodo846;
I_carga844=zeros(3,1);
I_carga844(1,1)=conj((S844(1,1)*1000)/V844(1,1));
I_carga844(2,1)=conj((S844(2,1)*1000)/V844(2,1));
I_carga844(3,1)=conj((S844(3,1)*1000)/V844(3,1));
I_nodo844=I_carga844+I_rama844;
```

Capa16

```
I_rama860=C860*V836+d860*I_nodo836;
I_carga860=zeros(3,1);
    I_carga860(1,1)=conj((S860(1,1)*1000)/V860(1,1));
I_carga860(2,1)=conj((S860(2,1)*1000)/V860(2,1));
    I_carga860(3,1)=conj((S860(3,1)*1000)/V860(3,1));
    I_nodo860=I_carga860+I_rama860;

    I_rama842=C842*V844+d842*I_nodo844;
I_carga842=zeros(3,1);
    I_carga842(1,1)=conj((S842(1,1)*1000)/V842(1,1));
I_carga842(2,1)=conj((S842(2,1)*1000)/V842(2,1));
    I_carga842(3,1)=conj((S842(3,1)*1000)/V842(3,1));
    I_nodo842=I_carga842+I_rama842;
```

Capa 15

```
I_rama834_842=C834_842*V842+d834_842*I_nodo842;
    I_rama834_860=C834_860*V860+d834_860*I_nodo860;
I_carga834=zeros(3,1);
    I_carga834(1,1)=conj((S834(1,1)*1000)/V834(1,1));
I_carga834(2,1)=conj((S834(2,1)*1000)/V834(2,1));
    I_carga834(3,1)=conj((S834(3,1)*1000)/V834(3,1));
    I_nodo834=I_rama834_842+I_rama834_860+I_carga834;

I_carga864=zeros(3,1);
    I_carga864(1,1)=conj((S864(1,1)*1000)/V864(1,1));
I_carga864(2,1)=conj((S864(2,1)*1000)/V864(2,1));
    I_carga864(3,1)=conj((S864(3,1)*1000)/V864(3,1));
    ind2=find(isnan(I_carga864));
    I_carga864(ind2)=0;
    I_nodo864=I_carga864;

I_carga890=zeros(3,1);
    I_carga890(1,1)=conj((S890(1,1)*1000)/V890(1,1));
    I_carga890(2,1)=conj((S890(2,1)*1000)/V890(2,1));
    I_carga890(3,1)=conj((S890(3,1)*1000)/V890(3,1));
    I_nodo890=I_carga890;
```

Capa 14

```
I_rama888=C888*V890+d890_888*I_nodo890;
    I_carga888=zeros(3,1);
    I_carga888(1,1)=conj((S888(1,1)*1000)/V888(1,1));
I_carga888(2,1)=conj((S888(2,1)*1000)/V888(2,1));
    I_carga888(3,1)=conj((S888(3,1)*1000)/V888(3,1));
    I_nodo888=I_carga888+I_rama888;

    I_rama858_864=C858_864*V864+d858_864*I_nodo864;
    I_rama858_834=C858_834*V834+d858_834*I_nodo834;
I_carga858=zeros(3,1);
    I_carga858(1,1)=conj((S858(1,1)*1000)/V858(1,1));
```

```

I_carga858(2,1)=conj((S858(2,1)*1000)/V858(2,1));
I_carga858(3,1)=conj((S858(3,1)*1000)/V858(3,1));
I_nodo858=I_rama858_864+I_rama858_834+I_carga858;

```

Capa 13

```

I_rama832_858=C832_858*V858+d832_858*I_nodo858;
I_rama832_888=C832_888*V888+d832_888*I_nodo888;
I_carga832=zeros(3,1);
I_carga832(1,1)=conj((S832(1,1)*1000)/V832(1,1));
I_carga832(2,1)=conj((S832(2,1)*1000)/V832(2,1));
I_carga832(3,1)=conj((S832(3,1)*1000)/V832(3,1));
I_nodo832=I_rama832_858+I_rama832_888+I_carga832;

```

Capa 12

```

I_rama852=C852*V832+d852*I_nodo832;
I_carga852=zeros(3,1);
I_carga852(1,1)=conj((S852(1,1)*1000)/V852(1,1));
I_carga852(2,1)=conj((S852(2,1)*1000)/V852(2,1));
I_carga852(3,1)=conj((S852(3,1)*1000)/V852(3,1));
I_nodo852=I_carga852+I_rama852;

```

```

I_carga856=zeros(3,1);
I_carga856(1,1)=conj((S856(1,1)*1000)/V856(1,1));
I_carga856(2,1)=conj((S856(2,1)*1000)/V856(2,1));
I_carga856(3,1)=conj((S856(3,1)*1000)/V856(3,1));
ind3=find(isnan(I_carga856));
I_carga856(ind3)=0;
I_nodo856=I_carga856;

```

Capa 11

```

I_rama854_852=C854_852*V852+d854_852*I_nodo852;
I_rama854_856=C854_856*V856+d854_856*I_nodo856;
I_carga854=zeros(3,1);
I_carga854(1,1)=conj((S854(1,1)*1000)/V854(1,1));
I_carga854(2,1)=conj((S854(2,1)*1000)/V854(2,1));
I_carga854(3,1)=conj((S854(3,1)*1000)/V854(3,1));
I_nodo854=I_carga854+I_rama854_852+I_rama854_856;

```

Capa 10

```

I_rama830=C830*V854+d830*I_nodo854;
I_carga830=zeros(3,1);
I_carga830(1,1)=conj((S830(1,1)*1000)/V830(1,1));
I_carga830(2,1)=conj((S830(2,1)*1000)/V830(2,1));
I_carga830(3,1)=conj((S830(3,1)*1000)/V830(3,1));
I_nodo830=I_carga830+I_rama830;

```

```

I_carga822=zeros(3,1);
I_carga822(1,1)=conj((S822(1,1)*1000)/V822(1,1));
I_carga822(2,1)=conj((S822(2,1)*1000)/V822(2,1));
I_carga822(3,1)=conj((S822(3,1)*1000)/V822(3,1));

```

```

ind4=find(isnan(I_carga822));
I_carga822(ind4)=0;
I_nodo822=I_carga822;

```

Capa 9

```

I_carga828=zeros(3,1);
I_rama828=C828*V830+d828*I_nodo830;
I_carga828(1,1)=conj((S828(1,1)*1000)/V828(1,1));
I_carga828(2,1)=conj((S828(2,1)*1000)/V828(2,1));
I_carga828(3,1)=conj((S828(3,1)*1000)/V828(3,1));
I_nodo828=I_carga828+I_rama828;

I_rama820=C820*V822+d820*I_nodo822;
I_carga820=zeros(3,1);
I_carga820(1,1)=conj((S820(1,1)*1000)/V820(1,1));
I_carga820(2,1)=conj((S820(2,1)*1000)/V820(2,1));
I_carga820(3,1)=conj((S820(3,1)*1000)/V820(3,1));
ind5=find(isnan(I_carga820));
I_carga820(ind5)=0;
I_nodo820=I_carga820+I_rama820;

I_carga826=zeros(3,1);
I_carga826(1,1)=conj((S826(1,1)*1000)/V826(1,1));
I_carga826(2,1)=conj((S826(2,1)*1000)/V826(2,1));
I_carga826(3,1)=conj((S826(3,1)*1000)/V826(3,1));
ind6=find(isnan(I_carga826));
I_carga826(ind6)=0;
I_nodo826=I_carga826;

```

Capa 8

```

I_rama818=C818*V820+d818*I_nodo820;
I_carga818=zeros(3,1);
I_carga818(1,1)=conj((S818(1,1)*1000)/V818(1,1));
I_carga818(2,1)=conj((S818(2,1)*1000)/V818(2,1));
I_carga818(3,1)=conj((S818(3,1)*1000)/V818(3,1));
ind7=find(isnan(I_carga818));
I_carga818(ind7)=0;
I_nodo818=I_carga818+I_rama818;

I_rama824_826=C824_826*V826+d824_826*I_nodo826;
I_rama824_828=C824_828*V828+d824_828*I_nodo828;
I_carga824=zeros(3,1);
I_carga824(1,1)=conj((S824(1,1)*1000)/V824(1,1));
I_carga824(2,1)=conj((S824(2,1)*1000)/V824(2,1));
I_carga824(3,1)=conj((S824(3,1)*1000)/V824(3,1));
I_nodo824=I_carga824+I_rama824_826+I_rama824_828;

```

Capa 7

```

I_rama816_818=C816_818*V818+d816_818*I_nodo818;
I_rama816_824=C816_824*V824+d816_824*I_nodo824;
I_carga816=zeros(3,1);

```

```

    I_carga816(1,1)=conj((S816(1,1)*1000)/V816(1,1));
I_carga816(2,1)=conj((S816(2,1)*1000)/V816(2,1));
    I_carga816(3,1)=conj((S816(3,1)*1000)/V816(3,1));
    I_nodo816=I_carga816+I_rama816_818+I_rama816_824;

```

Capa 6

```

I_rama850=C850*V816+d850*I_nodo816;
I_carga850=zeros(3,1);
    I_carga850(1,1)=conj((S850(1,1)*1000)/V850(1,1));
I_carga850(2,1)=conj((S850(2,1)*1000)/V850(2,1));
    I_carga850(3,1)=conj((S850(3,1)*1000)/V850(3,1));
    I_nodo850=I_carga850+I_rama850;

```

Capa 5

```

    I_rama814=C814*V850+d814*I_nodo850;
I_carga814=zeros(3,1);
    I_carga814(1,1)=conj((S814(1,1)*1000)/V814(1,1));
I_carga814(2,1)=conj((S814(2,1)*1000)/V814(2,1));
    I_carga814(3,1)=conj((S814(3,1)*1000)/V814(3,1));
    I_nodo814=I_carga814+I_rama814;

```

Capa 4

```

I_rama812=C812*V814+d812*I_nodo814;
I_carga812=zeros(3,1);
    I_carga812(1,1)=conj((S812(1,1)*1000)/V812(1,1));
I_carga812(2,1)=conj((S812(2,1)*1000)/V812(2,1));
    I_carga812(3,1)=conj((S812(3,1)*1000)/V812(3,1));
    I_nodo812=I_carga812+I_rama812;

```

```

I_carga810=zeros(3,1);
    I_carga810(1,1)=conj((S810(1,1)*1000)/V810(1,1));
I_carga810(2,1)=conj((S810(2,1)*1000)/V810(2,1));
    I_carga810(3,1)=conj((S810(3,1)*1000)/V810(3,1));
    ind8=find(isnan(I_carga810));
    I_carga810(ind8)=0;
    I_nodo810=I_carga810;

```

Capa 3

```

I_rama808_812=C808_812*V812+d808_812*I_nodo812;
    I_rama808_810=C808_810*V810+d808_810*I_nodo810;
I_carga808=zeros(3,1);
    I_carga808(1,1)=conj((S808(1,1)*1000)/V808(1,1));
I_carga808(2,1)=conj((S808(2,1)*1000)/V808(2,1));
    I_carga808(3,1)=conj((S808(3,1)*1000)/V808(3,1));
    I_nodo808=I_carga808+I_rama808_812+I_rama808_810;

```

Capa 2

```

I_rama806=C806*V808+d806*I_nodo808;
I_carga806=zeros(3,1);

```

```

    I_carga806(1,1)=conj((S806(1,1)*1000)/V806(1,1));
    I_carga806(2,1)=conj((S806(2,1)*1000)/V806(2,1));
    I_carga806(3,1)=conj((S806(3,1)*1000)/V806(3,1));
    I_nodo806=I_carga806+I_rama806;

    Capa 1

    I_rama802=C802*V806+d802*I_nodo806;
    I_carga802=zeros(3,1);
    I_carga802(1,1)=conj((S802(1,1)*1000)/V802(1,1));
    I_carga802(2,1)=conj((S802(2,1)*1000)/V802(2,1));
    I_carga802(3,1)=conj((S802(3,1)*1000)/V802(3,1));
    I_nodo802=I_carga802+I_rama802;

    Capa 0

    I_rama800=C800*V802+d800*I_nodo802;
    I_nodo800=I_rama800;

    V800_comp=A300*V802+OLC300*I_nodo802;
    V800_comp=a800*V802+Z802*I_nodo800;

    Error=norm(abs(V800-V800_comp)/14376);

    iter=iter+1;

    V_error(iter)=Error;

end

iter
Error;
V_error;

mag848=abs(V848); % saca magnitud para voltajes
ang848=angle(V848)*(180/pi); %saca angulo en grados

mag838=abs(V838); % saca magnitud para voltajes
ang838=angle(V838)*(180/pi); %saca angulo en grados

mag806=abs(V806); % saca magnitud para voltajes
ang806=angle(V806)*(180/pi); %saca angulo en grados

```

APENDICE B. PROGRAMA DE MATLAB RED 34 NODOS DESPUES DE LA RECONFIGURACION

Rutina.-Valores iniciales

```
I_nodo802=[0;  
          0;  
          0];  
  
I_nodo806=I_nodo802;  
I_nodo804=I_nodo802;  
I_nodo808=I_nodo802;  
I_nodo810=I_nodo802;  
I_nodo812=I_nodo802;  
I_nodo814=I_nodo802;  
I_nodo850=I_nodo802;  
I_nodo816=I_nodo802;  
I_nodo818=I_nodo802;  
I_nodo820=I_nodo802;  
I_nodo822=I_nodo802;  
I_nodo824=I_nodo802;  
I_nodo826=I_nodo802;  
I_nodo828=I_nodo802;  
I_nodo830=I_nodo802;  
I_nodo854=I_nodo802;  
I_nodo856=I_nodo802;  
I_nodo852=I_nodo802;  
I_nodo832=I_nodo802;  
I_nodo888=I_nodo802;  
I_nodo890=I_nodo802;  
I_nodo858=I_nodo802;  
I_nodo864=I_nodo802;  
I_nodo834=I_nodo802;  
I_nodo842=I_nodo802;  
I_nodo844=I_nodo802;  
I_nodo846=I_nodo802;  
I_nodo848=I_nodo802;  
I_nodo860=I_nodo802;  
I_nodo836=I_nodo802;  
I_nodo840=I_nodo802;  
I_nodo862=I_nodo802;  
I_nodo838=I_nodo802;  
  
I_carga838=zeros(3,1);  
I_carga840=zeros(3,1);  
I_carga862=zeros(3,1);  
I_carga836=zeros(3,1);  
I_carga860=zeros(3,1);  
I_carga834=zeros(3,1);  
I_carga842=zeros(3,1);  
I_carga844=zeros(3,1);  
I_carga846=zeros(3,1);  
I_carga848=zeros(3,1);
```

```

I_carga864=zeros(3,1);
I_carga858=zeros(3,1);
I_carga890=zeros(3,1);
I_carga888=zeros(3,1);
I_carga832=zeros(3,1);
I_carga852=zeros(3,1);
I_carga856=zeros(3,1);
I_carga854=zeros(3,1);
I_carga830=zeros(3,1);
I_carga828=zeros(3,1);
I_carga826=zeros(3,1);
I_carga824=zeros(3,1);
I_carga816=zeros(3,1);
I_carga818=zeros(3,1);
I_carga820=zeros(3,1);
I_carga822=zeros(3,1);
I_carga850=zeros(3,1);
I_carga814=zeros(3,1);
I_carga812=zeros(3,1);
I_carga810=zeros(3,1);
I_carga808=zeros(3,1);
I_carga806=zeros(3,1);
I_carga802=zeros(3,1);

```

Rutina.-Datos

```
%INCREMENTO DE POTENCIA EN LOS NODOS
```

```
decremento=0.38;
```

```
incremento=1.31;
```

```

%      A      B      C
S802=[ 0;      0;      0 ]*decremento;
S806=[ 0;      30+15j;  25+14j]*decremento;
S808=[ 0;      0;      0 ]*decremento;
S810=[ 0;      16+8j;   0 ]*decremento;
S812=[ 0;      0;      0 ]*decremento;
S814=[ 0;      0;      0 ]*decremento;
S850=[ 0;      0;      0 ]*decremento;
S816=[ 0;      0;      0 ]*decremento;
S818=[ 0;      0;      0 ]*decremento;
S820=[34+17j;   0;      0 ]*decremento;
S822=[135+70j;  0;      0 ]*decremento;
S824=[ 0;      5+2j;   0 ]*decremento;
S826=[ 0;      40+20j;  0 ]*decremento;
S828=[ 0;      0;      4+2j]*decremento;
S830=[17+8j;   10+5j;  25+10j]*decremento;
S854=[ 0;      0;      0 ]*decremento;
S856=[ 0;      4+2j;   0 ]*decremento;
S852=[ 0;      0;      0 ]*decremento;
S832=[ 0;      0;      0 ]*decremento;
S888=[ 0;      0;      0 ]*decremento;
S890=[150+75j; 150+75j; 150+75j]*decremento;
S858=[ 7+3j;   2+1j;   6+3j]*decremento;

```

```

S864=[ 2+1j;      0 ;      0 ]*decremento;
S834=[ 4+2j;     15+8j;     13+7j]*decremento;
S842=[ 0;        0 ;        0 ]*decremento*incremento;
S844=[144+110j; 135+105j; 135+105j]*decremento*incremento;
S846=[ 0;        25+12j;    20+11j]*decremento*incremento;
S848=[20+16j;   43+27j;    20+16j]*decremento*incremento;
S860=[36+24j;   40+26j;    130+71j]*decremento*incremento;
S840=[27+16j;   31+18j;    9+7j]*decremento*incremento;
S836=[30+15j;   10+6j;     42+22j]*decremento*incremento;
S862=[ 0;        0 ;        0 ]*decremento*incremento;
S838=[ 0;        28+14j;    0]*decremento*incremento;

```

```

OLC300=[1.3368+1.3343j 0.2101+0.5779j 0.2130+0.5015j;
        0.2101+0.5779j 1.3238+1.3569j 0.2066+0.4591j;
        0.2130+0.5015j 0.2066+0.4591j 1.3294+1.3471j];

```

```

OLC301=[1.9300+1.4115j 0.2327+0.6442j 0.2359+0.5691j;
        0.2327+0.6442j 1.9157+1.4281j 0.2288+0.5238j;
        0.2359+0.5691j 0.2288+0.5238j 1.9219+1.4209j];

```

```

OLC302=[2.7995+1.4855j      0      0;
        0      0      0;
        0      0      0];

```

```

OLC303=[ 0+0j      0+0j0+0j;
        0+0j      2.7995+1.4855j      0+0j;
        0+0j      0+0j0+0j      ];

```

```

OLC304=[ 0+0j      0+0j0+0j;
        0+0j      1.9217+1.4212j      0+0j;
0+0j      0+0j0+0j      ];

```

```

V800=[14376*(cos(0)+sin(0)*1i);
      14376*(cos((-120*(pi/180)))+sin((-120*(pi/180)))*1i);
      14376*(cos((120*(pi/180)))+sin((120*(pi/180)))*1i)];
abs(V1) % saca magnitud para voltajes
angle(V1)*(180/pi) %saca angulo en grados

```

```

A300=[1 0 0;
      0 1 0;
      0 0 1];

```

```

A301=[1 0 0;
      0 1 0;
      0 0 1];

```

```

A302=[1 0 0;
      0 0 0;
      0 0 0];

```

```

A303=[0 0 0;
      0 1 0;
      0 0 0];

A304=[0 0 0;
      0 1 0;
      0 0 0];

C300=[0+5.3350j 0-1.5313j 0-0.9943j;
      0-1.5313j 0+5.0979j 0-0.6212j;
      0-0.9943j 0-0.6212j 0+4.8880j]*0.000001;

C301=[5.1207j -1.4364j -0.9402j;
      -1.4364j 4.9055j -0.5951j;
      -0.9402j -0.5951j 4.7154j]*0.000001;

C302=[0+4.2251j 0 0;
      0 0 0;
      0 0 0]*0.000001;

C303=[ 0 0 0;
      0 0+4.2251j 0;
      0 0 0]*0.000001;

C304=[ 0 0 0;
      0 0+4.3637j 0;
      0 0 0]*0.000001;

d300=A300;
d301=A301;
d302=A302;
d303=A303;
d304=A304;

FT=(1/5278.97);

Z802=2580*FT*OLC300;
Z806=1730*FT*OLC300;
Z808=32230*FT*OLC300;
Z810=5804*FT*OLC303;
Z812=37500*FT*OLC300;
Z814=29730*FT*OLC300;
Z850=10*FT*OLC301;
Z816=310*FT*OLC301;
Z818=1710*FT*OLC302;
Z820=48150*FT*OLC302;
Z822=13740*FT*OLC302;
Z824=10210*FT*OLC301;
Z826=3030*FT*OLC303;
Z828=840*FT*OLC301;
Z830=20440*FT*OLC301;
Z854=520*FT*OLC301;
Z856=23330*FT*OLC303;
Z852=36830*FT*OLC301;

```

Z832=10*FT*OLC301;
Z888=1*FT*OLC300;
Z890=10560*FT*OLC300;
Z858=4900*FT*OLC301;
Z864=1620*FT*OLC302;
Z834=5830*FT*OLC301;
Z842=280*FT*OLC301;
Z844=1350*FT*OLC301;
Z846=3640*FT*OLC301;
Z848=530*FT*OLC301;
Z860=2020*FT*OLC301;
Z836=2680*FT*OLC301;
Z840=860*FT*OLC301;
Z862=280*FT*OLC301;
Z838=4860*FT*OLC304;

CALCULANDO LA ADMITANCIA EN DERIVACIÓN DE $C=Y+1/4*Y*Z*Y$ EC 6.17 LIBRO
KERSTING

Y800=2580*FT*C300;
Y802=1730*FT*C300;
Y806=32230*FT*C300;
Y808_810=5804*FT*C303;
Y808_812=37500*FT*C300;
Y812=29730*FT*C300;
Y814=10*FT*C301;
Y850=310*FT*C301;
Y816_824=10210*FT*C301;
Y816_818=1710*FT*C302;
Y824_828=840*FT*C301;
Y824_826=3030*FT*C303;
Y818=48150*FT*C302;
Y820=13740*FT*C302;
Y828=20440*FT*C301;
Y830=520*FT*C301;
Y854_852=36830*FT*C301;
Y854_856=23330*FT*C303;
Y852=10*FT*C301;
Y824_858=4900*FT*C301;
Y832_888=1*FT*C300;
Y858_864=1620*FT*C302;
Y858_834=5830*FT*C301;
Y888=10560*FT*C300;
Y834_842=280*FT*C301;
Y834_860=2020*FT*C301;
Y842=1350*FT*C301;
Y844=3640*FT*C301;
Y846=530*FT*C301;
Y860=2680*FT*C301;
Y836_862=280*FT*C301;
Y836_840=860*FT*C301;
Y862=4860*FT*C304;

Z802=2580*FT*OLC300; Y800=2580*FT*C300;
 Z806=1730*FT*OLC300; Y802=1730*FT*C300;
 Z808=32230*FT*OLC300; Y806=32230*FT*C300;
 Z810=5804*FT*OLC303; Y808_810=5804*FT*C303;
 Z812=37500*FT*OLC300; Y808_812=37500*FT*C300;
 Z814=29730*FT*OLC300; Y812=29730*FT*C300;
 Z850=10*FT*OLC301; Y814=10*FT*C301;
 Z816=310*FT*OLC301; Y850=310*FT*C301;
 Z818=1710*FT*OLC302; Y816_818=1710*FT*C302;
 Z820=48150*FT*OLC302; Y818=48150*FT*C302;
 Z822=13740*FT*OLC302; Y820=13740*FT*C302;
 Z824=10210*FT*OLC301; Y816_824=10210*FT*C301;
 Z826=3030*FT*OLC303; Y824_826=3030*FT*C303;
 Z828=840*FT*OLC301; Y824_828=840*FT*C301;
 Z830=20440*FT*OLC301; Y828=20440*FT*C301;
 Z854=520*FT*OLC301; Y830=520*FT*C301;
 Z856=23330*FT*OLC303; Y854_856=23330*FT*C303;
 Z852=36830*FT*OLC301; Y854_852=36830*FT*C301;
 Z832=10*FT*OLC301; Y852=10*FT*C301;
 Z888=1*FT*OLC300; Y832_888=1*FT*C300;
 Z890=10560*FT*OLC300; Y888=10560*FT*C300;
 Z858=4900*FT*OLC301; Y832_858=4900*FT*C301;
 Z864=1620*FT*OLC302; Y858_864=1620*FT*C302;
 Z834=5830*FT*OLC301; Y858_834=5830*FT*C301;
 Z842=280*FT*OLC301; Y834_842=280*FT*C301;
 Z844=1350*FT*OLC301; Y842=1350*FT*C301;
 Z846=3640*FT*OLC301; Y844=3640*FT*C301;
 Z848=530*FT*OLC301; Y846=530*FT*C301;
 Z860=2020*FT*OLC301; Y834_860=2020*FT*C301;
 Z836=2680*FT*OLC301; Y860=2680*FT*C301;
 Z840=860*FT*OLC301; Y836_840=860*FT*C301;
 Z862=280*FT*OLC301; Y836_862=280*FT*C301;
 Z838=4860*FT*OLC304; Y862=4860*FT*C304;

C800=Y800+(1/4)*Y800*Z802*Y800;
 C802=Y802+(1/4)*Y802*Z806*Y802;
 C806=Y806+(1/4)*Y806*Z808*Y806;
 C808_810=Y808_810+(1/4)*Y808_810*Z810*Y808_810;
 C808_812=Y808_812+(1/4)*Y808_812*Z812*Y808_812;
 C812=Y812+(1/4)*Y812*Z814*Y812;
 C814=Y814+(1/4)*Y814*Z850*Y814;
 C850=Y850+(1/4)*Y850*Z816*Y850;
 C816_824=Y816_824+(1/4)*Y816_824*Z824*Y816_824;
 C816_818=Y816_818+(1/4)*Y816_818*Z818*Y816_818;
 C824_828=Y824_828+(1/4)*Y824_828*Z828*Y824_828;
 C824_826=Y824_826+(1/4)*Y824_826*Z826*Y824_826;
 C818=Y818+(1/4)*Y818*Z820*Y818;
 C820=Y820+(1/4)*Y820*Z822*Y820;
 C828=Y828+(1/4)*Y828*Z830*Y828;
 C830=Y830+(1/4)*Y830*Z854*Y830;
 C854_852=Y854_852+(1/4)*Y854_852*Z852*Y854_852;
 C854_856=Y854_856+(1/4)*Y854_856*Z856*Y854_856;
 C852=Y852+(1/4)*Y852*Z832*Y852;
 C824_858=Y824_858+(1/4)*Y824_858*Z858*Y824_858;
 C832_888=Y832_888+(1/4)*Y832_888*Z888*Y832_888;
 C858_864=Y858_864+(1/4)*Y858_864*Z864*Y858_864;

```

C858_834=Y858_834+(1/4)*Y858_834*Z834*Y858_834;
C888=Y888+(1/4)*Y888*Z890*Y888;
C834_842= Y834_842+(1/4)*Y834_842*Z842*Y834_842;
C834_860= Y834_860+(1/4)*Y834_860*Z860*Y834_860;
C842=Y842+(1/4)*Y842*Z844*Y842;
C844=Y844+(1/4)*Y844*Z846*Y844;
C846=Y846+(1/4)*Y846*Z848*Y846;
C860=Y860+(1/4)*Y860*Z836*Y860;
C836_862=Y836_862+(1/4)*Y836_862*Z862*Y836_862;
C836_840=Y836_840+(1/4)*Y836_840*Z840*Y836_840;
C862=Y862+(1/4)*Y862*Z838*Y862;

```

CALCULANDO LA MATRIZ [d]

[d]= [U]+(1/2)*[Zabc]*[Yabc]

```

d800=A300+(1/2)*Z802*Y800;
d802=A300+(1/2)*Z806*Y802;
d806=A300+(1/2)*Z808*Y806;
d808_810=A303+(1/2)*Z810*Y808_810;
d808_812=A300+(1/2)*Z812*Y808_812;
d812=A300+(1/2)*Z814*Y812;
d814=A301+(1/2)*Z850*Y814;
d850=A301+(1/2)*Z816*Y850;
d816_818=A302+(1/2)*Z818*Y816_818;
d818=A302+(1/2)*Z820*Y818;
d820=A302+(1/2)*Z822*Y820;
d816_824=A301+(1/2)*Z824*Y816_824;
d824_826=A303+(1/2)*Z826*Y824_826;
d824_828=A301+(1/2)*Z828*Y824_828;
d828=A301+(1/2)*Z830*Y828;
d830=A301+(1/2)*Z854*Y830;
d854_856=A303+(1/2)*Z856*Y854_856;
d854_852=A301+(1/2)*Z852*Y854_852;
d852=A301+(1/2)*Z832*Y852;
d832_888=A300+(1/2)*Z888*Y832_888;
d890_888=A300+(1/2)*Z890*Y888;
d824_858=A301+(1/2)*Z858*Y824_858;
d858_864=A302+(1/2)*Z864*Y858_864;
d858_834=A301+(1/2)*Z834*Y858_834;
d834_842=A301+(1/2)*Z842*Y834_842;
d842=A301+(1/2)*Z844*Y842;
d844=A301+(1/2)*Z846*Y844;
d846=A301+(1/2)*Z848*Y846;
d834_860=A301+(1/2)*Z860*Y834_860;
d860=A301+(1/2)*Z836*Y860;
d836_840=A301+(1/2)*Z840*Y836_840;
d836_862=A301+(1/2)*Z862*Y836_862;
d838_862=A304+(1/2)*Z838*Y862;

```

```

a800=d800;
a802=d802;
a806=d806;
a808_810=d808_810;

```

```

a808_812=d808_812;
a812=d812;
a814=d814;
a850=d850;
a816_818=d816_818;
a818=d818;
a820=d820;
a816_824=d816_824;
a824_826=d824_826;
a824_828=d824_828;
a828=d828;
a830=d830;
a854_856=d854_856;
a854_852=d854_852;
a852=d852;
a832_888=d832_888;
a890_888=d890_888;
a824_858=d824_858;
a858_864=d858_864;
a858_834=d858_834;
a834_842=d834_842;
a842=d842;
a844=d844;
a846=d846;
a834_860=d834_860;
a860=d860;
a836_840=d836_840;
a836_862=d836_862;
a838_862=d838_862;

```

Se calcula la inversa de la matriz de identidad [a]

```

A800=inv(a800);
A802=inv(a802);
A806=inv(a806);
A808_812=inv(a808_812);
A812=inv(a812);
A814=inv(a814);
A850=inv(a850);
A816_824=inv(a816_824);
A824_828=inv(a824_828);
A828=inv(a828);
A830=inv(a830);
A854_852=inv(a854_852);
A852=inv(a852);
A832_888=inv(a832_888);
A890_888=inv(a890_888);
A824_858=inv(a824_858);
A858_834=inv(a858_834);
A834_842=inv(a834_842);
A842=inv(a842);
A844=inv(a844);
A846=inv(a846);
A834_860=inv(a834_860);
A860=inv(a860);

```

```
A836_840=inv(a836_840);
A836_862=inv(a836_862);
```

Se calcula la inversa de la matriz solo con la fase a

```
A816_818=zeros(3,3);
A816_818(1,1)=inv(a816_818(1,1));
```

```
A818=zeros(3,3);
A818(1,1)=inv(a818(1,1));
```

```
A820=zeros(3,3);
A820(1,1)=inv(a820(1,1));
```

```
A858_864=zeros(3,3);
A858_864(1,1)=inv(a858_864(1,1));
```

Se calcula la inversa de la matriz solo con la fase b

```
A808_810=zeros(3,3);
A808_810(2,2)=inv(a808_810(2,2));
```

```
A824_826=zeros(3,3);
A824_826(2,2)=inv(a824_826(2,2));
```

```
A854_856=zeros(3,3);
A854_856(2,2)=inv(a854_856(2,2));
```

```
A838_862=zeros(3,3);
A838_862(2,2)=inv(a838_862(2,2));
```

[B]=[a]-1*[b] dado que A = a-1, se utiliza A para simplificar
[B]=[A]*[b]

```
B800=A800*Z802;
B802=A802*Z806;
B806=A806*Z808;
B808_812=A808_812*Z812;
B812=A812*Z814;
B814=A814*Z850;
B850=A850*Z816;
B816_824=A816_824*Z824;
B824_828=A824_828*Z828;
B828=A828*Z830;
B830=A830*Z854;
B854_852=A854_852*Z852;
B852=A852*Z832;
B832_888=A832_888*Z888;
B890_888=A890_888*Z890;
B824_858=A824_858*Z858;
B858_834=A858_834*Z834;
B834_842=A834_842*Z842;
```

```

B842=A842*Z844;
B844=A844*Z846;
B846=A846*Z848;
B834_860=A834_860*Z860;
B860=A860*Z836;
B836_840=A836_840*Z840;
B836_862=A836_862*Z862;
B808_810=A808_810*Z810;
B824_826=A824_826*Z826;
B854_856=A854_856*Z856;
B838_862=A838_862*Z838;
B816_818=A816_818*Z818;
B818=A818*Z820;
B820=A820*Z822;
B858_864=A858_864*Z864;

```

Rutina.-main

```

clc
clearall

```

```

datos_34n

```

```

valores_iniciales

```

```

iter_max=100;
tol=0.00001;
Error=1;
iter=0;

```

```

while Error>tol&&iter_max>iter

```

Barrido Progresivo

```

V802=A800*V800-B800*I_nodo802;
V806=A802*V802-B802*I_nodo806;
V808=A806*V806-B806*I_nodo808;
V810=A808_810*V808-B808_810*I_nodo810;
V812=A808_812*V808-B808_812*I_nodo812;
V814=A812*V812-B812*I_nodo814;
V850=A814*V814-B814*I_nodo850;
V816=A850*V850-B850*I_nodo816;
V818=A816_818*V816-B816_818*I_nodo818;
V820=A818*V818-B818*I_nodo820;
V822=A820*V820-B820*I_nodo822;
V824=A816_824*V816-B816_824*I_nodo824;
V826=A824_826*V824-B824_826*I_nodo826;
V828=A824_828*V824-B824_828*I_nodo828;
V830=A828*V828-B828*I_nodo830;
V854=A830*V830-B830*I_nodo854;
V856=A854_856*V854-B854_856*I_nodo856;
V852=A854_852*V854-B854_852*I_nodo852;

```

```

V832=A852*V852-B852*I_nodo832;
V888=A832_888*V832-B832_888*I_nodo888;
V890=A890_888*V888-B890_888*I_nodo890;

V858=A824_858*V824-B824_858*I_nodo858;

V864=A858_864*V858-B858_864*I_nodo864;
V834=A858_834*V858-B858_834*I_nodo834;
V842=A834_842*V834-B834_842*I_nodo842;
V844=A842*V842-B842*I_nodo844;
V846=A844*V844-B844*I_nodo846;
V848=A846*V846-B846*I_nodo848;
V860=A834_860*V834-B834_860*I_nodo860;
V836=A860*V860-B860*I_nodo836;
V862=A836_862*V836-B836_862*I_nodo862;
V838=A838_862*V862-B838_862*I_nodo838;
V840=A836_840*V836-B836_840*I_nodo840;

```

Barrido Regresivo

Capa 19

```

I_carga838=zeros(3,1);
I_carga838(1,1)=conj((S838(1,1)*1000)/V838(1,1));
I_carga838(2,1)=conj((S838(2,1)*1000)/V838(2,1));
I_carga838(3,1)=conj((S838(3,1)*1000)/V838(3,1));
I_nodo838=I_carga838;

I_carga848=zeros(3,1);
I_carga848(1,1)=conj((S848(1,1)*1000)/V848(1,1));
I_carga848(2,1)=conj((S848(2,1)*1000)/V848(2,1));
I_carga848(3,1)=conj((S848(3,1)*1000)/V848(3,1));
I_nodo848=I_carga848;

```

Capa 18

```

I_rama862=C862*V838+d838_862*I_nodo838;
I_carga862=zeros(3,1);
I_carga862(1,1)=conj((S862(1,1)*1000)/V862(1,1));
I_carga862(2,1)=conj((S862(2,1)*1000)/V862(2,1));
I_carga862(3,1)=conj((S862(3,1)*1000)/V862(3,1));
I_nodo862=I_carga862+I_rama862;

I_rama846=C846*V848+d846*I_nodo848;
I_carga846=zeros(3,1);
I_carga846(1,1)=conj((S846(1,1)*1000)/V846(1,1));
I_carga846(2,1)=conj((S846(2,1)*1000)/V846(2,1));
I_carga846(3,1)=conj((S846(3,1)*1000)/V846(3,1));
I_nodo846=I_carga846+I_rama846;

I_carga840=zeros(3,1);
I_carga840(1,1)=conj((S840(1,1)*1000)/V840(1,1));
I_carga840(2,1)=conj((S840(2,1)*1000)/V840(2,1));
I_carga840(3,1)=conj((S840(3,1)*1000)/V840(3,1));

```

```
I_nodo840=I_carga840;
```

Capa 17

```
I_rama836_862=C836_862*V862+d836_862*I_nodo862;  
I_rama836_840=C836_840*V840+d836_840*I_nodo840;  
I_carga836=zeros(3,1);  
I_carga836(1,1)=conj((S836(1,1)*1000)/V836(1,1));  
I_carga836(2,1)=conj((S836(2,1)*1000)/V836(2,1));  
I_carga836(3,1)=conj((S836(3,1)*1000)/V836(3,1));  
I_nodo836=I_carga836+I_rama836_862+I_rama836_840;
```

```
I_rama844=C844*V846+d844*I_nodo846;  
I_carga844=zeros(3,1);  
I_carga844(1,1)=conj((S844(1,1)*1000)/V844(1,1));  
I_carga844(2,1)=conj((S844(2,1)*1000)/V844(2,1));  
I_carga844(3,1)=conj((S844(3,1)*1000)/V844(3,1));  
I_nodo844=I_carga844+I_rama844;
```

Capa16

```
I_rama860=C860*V836+d860*I_nodo836;  
I_carga860=zeros(3,1);  
I_carga860(1,1)=conj((S860(1,1)*1000)/V860(1,1));  
I_carga860(2,1)=conj((S860(2,1)*1000)/V860(2,1));  
I_carga860(3,1)=conj((S860(3,1)*1000)/V860(3,1));  
I_nodo860=I_carga860+I_rama860;
```

```
I_rama842=C842*V844+d842*I_nodo844;  
I_carga842=zeros(3,1);  
I_carga842(1,1)=conj((S842(1,1)*1000)/V842(1,1));  
I_carga842(2,1)=conj((S842(2,1)*1000)/V842(2,1));  
I_carga842(3,1)=conj((S842(3,1)*1000)/V842(3,1));  
I_nodo842=I_carga842+I_rama842;
```

Capa 15

```
I_rama834_842=C834_842*V842+d834_842*I_nodo842;  
I_rama834_860=C834_860*V860+d834_860*I_nodo860;  
I_carga834=zeros(3,1);  
I_carga834(1,1)=conj((S834(1,1)*1000)/V834(1,1));  
I_carga834(2,1)=conj((S834(2,1)*1000)/V834(2,1));  
I_carga834(3,1)=conj((S834(3,1)*1000)/V834(3,1));  
I_nodo834=I_rama834_842+I_rama834_860+I_carga834;
```

```
I_carga864=zeros(3,1);  
I_carga864(1,1)=conj((S864(1,1)*1000)/V864(1,1));  
I_carga864(2,1)=conj((S864(2,1)*1000)/V864(2,1));  
I_carga864(3,1)=conj((S864(3,1)*1000)/V864(3,1));  
ind2=find(isnan(I_carga864));  
I_carga864(ind2)=0;  
I_nodo864=I_carga864;
```

```
I_carga890=zeros(3,1);
```

```

I_carga890(1,1)=conj((S890(1,1)*1000)/V890(1,1));
I_carga890(2,1)=conj((S890(2,1)*1000)/V890(2,1));
I_carga890(3,1)=conj((S890(3,1)*1000)/V890(3,1));
I_nodo890=I_carga890;

```

Capa 14

```

I_rama888=C888*V890+d890_888*I_nodo890;
I_carga888=zeros(3,1);
I_carga888(1,1)=conj((S888(1,1)*1000)/V888(1,1));
I_carga888(2,1)=conj((S888(2,1)*1000)/V888(2,1));
I_carga888(3,1)=conj((S888(3,1)*1000)/V888(3,1));
I_nodo888=I_carga888+I_rama888;

```

```

I_rama858_864=C858_864*V864+d858_864*I_nodo864;
I_rama858_834=C858_834*V834+d858_834*I_nodo834;
I_carga858=zeros(3,1);
I_carga858(1,1)=conj((S858(1,1)*1000)/V858(1,1));
I_carga858(2,1)=conj((S858(2,1)*1000)/V858(2,1));
I_carga858(3,1)=conj((S858(3,1)*1000)/V858(3,1));
I_nodo858=I_rama858_864+I_rama858_834+I_carga858;

```

Capa 13

```

I_rama824_858=C824_858*V858+d824_858*I_nodo858;
I_rama832_888=C832_888*V888+d832_888*I_nodo888;
I_carga832=zeros(3,1);
I_carga832(1,1)=conj((S832(1,1)*1000)/V832(1,1));
I_carga832(2,1)=conj((S832(2,1)*1000)/V832(2,1));
I_carga832(3,1)=conj((S832(3,1)*1000)/V832(3,1));
I_nodo832=I_rama832_888+I_carga832;

```

Capa 12

```

I_rama852=C852*V832+d852*I_nodo832;
I_carga852=zeros(3,1);
I_carga852(1,1)=conj((S852(1,1)*1000)/V852(1,1));
I_carga852(2,1)=conj((S852(2,1)*1000)/V852(2,1));
I_carga852(3,1)=conj((S852(3,1)*1000)/V852(3,1));
I_nodo852=I_carga852+I_rama852;

```

```

I_carga856=zeros(3,1);
I_carga856(1,1)=conj((S856(1,1)*1000)/V856(1,1));
I_carga856(2,1)=conj((S856(2,1)*1000)/V856(2,1));
I_carga856(3,1)=conj((S856(3,1)*1000)/V856(3,1));
ind3=find(isnan(I_carga856));
I_carga856(ind3)=0;
I_nodo856=I_carga856;

```

Capa 11

```

I_rama854_852=C854_852*V852+d854_852*I_nodo852;
I_rama854_856=C854_856*V856+d854_856*I_nodo856;
I_carga854=zeros(3,1);

```

```

I_carga854(1,1)=conj((S854(1,1)*1000)/V854(1,1));
I_carga854(2,1)=conj((S854(2,1)*1000)/V854(2,1));
I_carga854(3,1)=conj((S854(3,1)*1000)/V854(3,1));
I_nodo854=I_carga854+I_rama854_852+I_rama854_856;

```

Capa 10

```

I_rama830=C830*V854+d830*I_nodo854;
I_carga830=zeros(3,1);
I_carga830(1,1)=conj((S830(1,1)*1000)/V830(1,1));
I_carga830(2,1)=conj((S830(2,1)*1000)/V830(2,1));
I_carga830(3,1)=conj((S830(3,1)*1000)/V830(3,1));
I_nodo830=I_carga830+I_rama830;

```

```

I_carga822=zeros(3,1);
I_carga822(1,1)=conj((S822(1,1)*1000)/V822(1,1));
I_carga822(2,1)=conj((S822(2,1)*1000)/V822(2,1));
I_carga822(3,1)=conj((S822(3,1)*1000)/V822(3,1));
ind4=find(isnan(I_carga822));
I_carga822(ind4)=0;
I_nodo822=I_carga822;

```

Capa 9

```

I_carga828=zeros(3,1);
I_rama828=C828*V830+d828*I_nodo830;
I_carga828(1,1)=conj((S828(1,1)*1000)/V828(1,1));
I_carga828(2,1)=conj((S828(2,1)*1000)/V828(2,1));
I_carga828(3,1)=conj((S828(3,1)*1000)/V828(3,1));
I_nodo828=I_carga828+I_rama828;

```

```

I_rama820=C820*V822+d820*I_nodo822;
I_carga820=zeros(3,1);
I_carga820(1,1)=conj((S820(1,1)*1000)/V820(1,1));
I_carga820(2,1)=conj((S820(2,1)*1000)/V820(2,1));
I_carga820(3,1)=conj((S820(3,1)*1000)/V820(3,1));
ind5=find(isnan(I_carga820));
I_carga820(ind5)=0;
I_nodo820=I_carga820+I_rama820;

```

```

I_carga826=zeros(3,1);
I_carga826(1,1)=conj((S826(1,1)*1000)/V826(1,1));
I_carga826(2,1)=conj((S826(2,1)*1000)/V826(2,1));
I_carga826(3,1)=conj((S826(3,1)*1000)/V826(3,1));
ind6=find(isnan(I_carga826));
I_carga826(ind6)=0;
I_nodo826=I_carga826;

```

Capa 8

```

I_rama818=C818*V820+d818*I_nodo820;
I_carga818=zeros(3,1);
I_carga818(1,1)=conj((S818(1,1)*1000)/V818(1,1));
I_carga818(2,1)=conj((S818(2,1)*1000)/V818(2,1));

```

```

I_carga818(3,1)=conj((S818(3,1)*1000)/V818(3,1));
ind7=find(isnan(I_carga818));
I_carga818(ind7)=0;
I_nodo818=I_carga818+I_rama818;

```

```

I_rama824_826=C824_826*V826+d824_826*I_nodo826;
I_rama824_828=C824_828*V828+d824_828*I_nodo828;
I_carga824=zeros(3,1);
I_carga824(1,1)=conj((S824(1,1)*1000)/V824(1,1));
I_carga824(2,1)=conj((S824(2,1)*1000)/V824(2,1));
I_carga824(3,1)=conj((S824(3,1)*1000)/V824(3,1));
I_nodo824=I_carga824+I_rama824_826+I_rama824_828+I_rama824_858;

```

Capa 7

```

I_rama816_818=C816_818*V818+d816_818*I_nodo818;
I_rama816_824=C816_824*V824+d816_824*I_nodo824;
I_carga816=zeros(3,1);
I_carga816(1,1)=conj((S816(1,1)*1000)/V816(1,1));
I_carga816(2,1)=conj((S816(2,1)*1000)/V816(2,1));
I_carga816(3,1)=conj((S816(3,1)*1000)/V816(3,1));
I_nodo816=I_carga816+I_rama816_818+I_rama816_824;

```

Capa 6

```

I_rama850=C850*V816+d850*I_nodo816;
I_carga850=zeros(3,1);
I_carga850(1,1)=conj((S850(1,1)*1000)/V850(1,1));
I_carga850(2,1)=conj((S850(2,1)*1000)/V850(2,1));
I_carga850(3,1)=conj((S850(3,1)*1000)/V850(3,1));
I_nodo850=I_carga850+I_rama850;

```

Capa 5

```

I_rama814=C814*V850+d814*I_nodo850;
I_carga814=zeros(3,1);
I_carga814(1,1)=conj((S814(1,1)*1000)/V814(1,1));
I_carga814(2,1)=conj((S814(2,1)*1000)/V814(2,1));
I_carga814(3,1)=conj((S814(3,1)*1000)/V814(3,1));
I_nodo814=I_carga814+I_rama814;

```

Capa 4

```

I_rama812=C812*V814+d812*I_nodo814;
I_carga812=zeros(3,1);
I_carga812(1,1)=conj((S812(1,1)*1000)/V812(1,1));
I_carga812(2,1)=conj((S812(2,1)*1000)/V812(2,1));
I_carga812(3,1)=conj((S812(3,1)*1000)/V812(3,1));
I_nodo812=I_carga812+I_rama812;

```

```

I_carga810=zeros(3,1);
    I_carga810(1,1)=conj((S810(1,1)*1000)/V810(1,1));
I_carga810(2,1)=conj((S810(2,1)*1000)/V810(2,1));
    I_carga810(3,1)=conj((S810(3,1)*1000)/V810(3,1));
    ind8=find(isnan(I_carga810));
    I_carga810(ind8)=0;
    I_nodo810=I_carga810;

```

Capa 3

```

I_rama808_812=C808_812*V812+d808_812*I_nodo812;
    I_rama808_810=C808_810*V810+d808_810*I_nodo810;
I_carga808=zeros(3,1);
    I_carga808(1,1)=conj((S808(1,1)*1000)/V808(1,1));
I_carga808(2,1)=conj((S808(2,1)*1000)/V808(2,1));
    I_carga808(3,1)=conj((S808(3,1)*1000)/V808(3,1));
    I_nodo808=I_carga808+I_rama808_812+I_rama808_810;

```

Capa 2

```

I_rama806=C806*V808+d806*I_nodo808;
I_carga806=zeros(3,1);
    I_carga806(1,1)=conj((S806(1,1)*1000)/V806(1,1));
I_carga806(2,1)=conj((S806(2,1)*1000)/V806(2,1));
    I_carga806(3,1)=conj((S806(3,1)*1000)/V806(3,1));
    I_nodo806=I_carga806+I_rama806;

```

Capa 1

```

    I_rama802=C802*V806+d802*I_nodo806;
I_carga802=zeros(3,1);
    I_carga802(1,1)=conj((S802(1,1)*1000)/V802(1,1));
I_carga802(2,1)=conj((S802(2,1)*1000)/V802(2,1));
    I_carga802(3,1)=conj((S802(3,1)*1000)/V802(3,1));
    I_nodo802=I_carga802+I_rama802;

```

Capa 0

```

    I_rama800=C800*V802+d800*I_nodo802;
    I_nodo800=I_rama800;

    V800_comp=A300*V802+OLC300*I_nodo802;
V800_comp=a800*V802+Z802*I_nodo800;

Error=norm(abs(V800-V800_comp)/14376);

iter=iter+1;

V_error(iter)=Error;

end

```

```
iter
Error;
V_error;

mag848=abs(V848); % saca magnitud para voltajes
ang848=angle(V848)*(180/pi); %saca angulo en grados

mag838=abs(V838); % saca magnitud para voltajes
ang838=angle(V838)*(180/pi); %saca angulo en grados

mag806=abs(V806); % saca magnitud para voltajes
ang806=angle(V806)*(180/pi); %saca angulo en grados
```