



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA
Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERIA ELECTRICA

**SOFTWARE ACADÉMICO PARA LA RESOLUCIÓN DE COMPONENTES
SIMÉTRICAS EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO ELECTRICO**

AUTOR: ALBERTO RAFAEL SARES REYES

DIRECTOR: ING. PABLO DANILO ARIAS REYES

CUENCA - ECUADOR

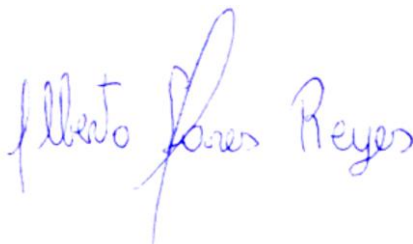
2020

*Yo me gradué en
los 50 años de La Cato!
... y sostuve la Universidad*

DECLARACIÓN

Yo, Alberto Rafael Sares Reyes, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento; y eximo expresamente a la Universidad Católica de Cuenca y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

La Universidad Católica de Cuenca puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y la normatividad institucional vigente.



Alberto Rafael Sares Reyes

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Alberto Rafael Sares Reyes, bajo mi supervisión.



Ing. Pablo Arias Reyes MsC.
DIRECTOR

AGRADECIMIENTOS

A Dios por guiar mi camino, brindarme salud y sabiduría para culminar con éxito mi carrera profesional. A mis padres Alberto y Patricia porque con su esfuerzo y enseñanzas me han formado como un hombre de bien. A mi esposa Mayra y a mi hijo Bastian por ser mi pilar en los momentos difíciles. A mis hermanos Gustavo y Jaime por compartir conmigo los buenos y malos momentos en Cuenca. A mis amigos Alexis E., Bismar C., Paul R., Ángel C., Jonathan I. por el apoyo incondicional. Al grupo Consenso con sus empresas Indurama y Marcimex por permitirme estudiar y culminar mi carrera durante todos estos años de trabajo. A mi director de tesis el Ing. Pablo Arias por haberme orientado en todos los momentos que necesité sus consejos para culminar mi tesis. A la Universidad Católica de Cuenca por ser la sede de todo el conocimiento adquirido en estos años.

DEDICATORIA

A Dios, mis padres, mi esposa, mi hijo y mis hermanos que siempre estuvieron conmigo, que me dieron fuerzas para continuar, que sacrificaron mucho para que yo logre esta meta. Les dedico este logro con todo mi corazón.

RESUMEN

El presente trabajo de tesis consiste en desarrollar e implementar un software, que realiza el cálculo de componentes simétricas, mediante el ingreso de variables descritas en un sistema trifásico tales como voltajes, corrientes, cargas, etc. Para el desarrollo del software, se analizó diferentes textos sobre sistemas de potencias y componentes simétricas.

El trabajo se divide en cinco capítulos. El primer capítulo describen los antecedentes, objetivos y justificaciones del porque surge este trabajo de tesis. En el segundo capítulo se presenta el marco teórico, donde se tiene toda la información correspondiente al método de componentes simétricas, el cual permite analizar fallas en sistemas trifásicos de tipo asimétricas en las diferentes conexiones existentes. El capítulo tres presenta la descripción del software en su totalidad, es decir, las indicaciones de funcionamiento. Para luego en el siguiente capítulo poner en práctica el software mediante la simulación de ejercicios, los cuales también cuentan con la resolución matemática, y así comprobar el correcto funcionamiento del software mediante la comparación de las respuestas. Finalmente se analiza los resultados obtenidos, alcanzando así una mejor interpretación de la teoría.

En conclusión, el software desarrollado permitirá a los estudiantes conocer de manera más sencilla como se aplica la teoría de componentes simétricas en un sistema eléctrico de potencia.

PALABRAS CLAVE: SISTEMAS TRIFÁSICOS, COMPONENTES SIMÉTRICAS, SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA, SIMULACION.

ABSTRACT

The following thesis work consists of the development and implementation of a software that allows symmetrical components calculation, entering variables described in a triphasic system such as voltages, currents, electric charges, among others. For the development of the software, different texts on power systems and symmetrical components were analyzed.

This work is divided into five chapters. In the first chapter the background information, the objective, and justifications of the emergence of this work. The second chapter is the theoretical framework where all the information inherent to the symmetrical components methods is contained, which allows analyzing failures in triphasic systems of asymmetrical nature in different existent connections. The third chapter contains the software complete description, that is to say, the software operation instructions so that in the next chapter implement the software through exercises simulation, which also has mathematical troubleshooting to verify its correct functioning by answers comparison. Finally, the obtained results are analyzed attaining, in this manner, a better interpretation of the theory.

In conclusion, the developed software will permit students to know in a more straightforward way how the symmetric components theory is applied to an electric power system.

KEYWORDS: TRIPHASIC SYSTEM, SYMMETRICAL COMPONENTS, ELECTRIC POWER SYSTEMS, SIMULATION.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN.....	ii
CERTIFICACIÓN.....	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
DEDICATORIA	v
RESUMEN.....	vi
ABSTRACT.....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
LISTA DE TABLAS.....	xvi
CAPITULO 1. INTRODUCCION	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Objetivos	1
1.2.1. Objetivo principal.....	1
1.2.2. Objetivos específicos.	1
1.3. Justificación	2
CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO	3
2.1. Conceptos generales.....	3
2.1.1. Sistema eléctrico de potencia.....	3
2.1.2. Sistema de distribución.....	4
2.1.2.1. Subestación de distribución	4
2.1.2.2. Sistema de distribución media tensión	5
2.1.3 Análisis de corto circuito.	5
2.1.3.1. Sistema en por unidad	6
2.1.3.2. Cálculo de fallas	6
2.1.3.2.1. Falla monofásica (fase a tierra).....	7
2.1.3.2.2. Falla bifásica.....	8
2.1.3.2.3. Falla bifásica a tierra	9

2.1.3.2.4. Falla trifásica.....	10
2.1.3.3. Componentes simétricas.....	10
2.1.3.3.1. Teoría de componentes simétricas	11
2.1.3.3.2. Operador <<a>>	12
2.1.3.4. Estudio de circuitos trifásicos mediante componentes simétricas	12
2.1.3.4.1. Estrella-Estrella con neutro.	13
2.1.3.4.2. Estrella-Estrella sin neutro	14
2.1.3.4.3. Estrella-Triangulo	14
2.1.3.4.4. Triangulo-Estrella	15
2.1.3.5. Estudio de circuitos trifásicos con cargas estáticas desequilibradas.....	15
2.1.3.5.1. Estrella-Estrella con neutro	15
2.1.3.5.2. Estrella-Estrella sin neutro	18
2.1.3.5.3. Estrella-Triangulo	19
2.1.3.5.4. Triangulo-triangulo.....	21
2.1.3.5.5. Triangulo-Estrella	23
CAPITULO 3. DESCRIPCION DEL SOFTWARE	25
3.1. Introducción	25
3.2. Descripción del programa.....	25
3.3. Requerimientos de software y hardware.....	26
3.4. Instalación y Ejecución de COMSIM	27
3.4.1. Acceso a botón estrella-estrella.....	28
3.4.1.1. Menú.....	29
3.4.1.2. Herramientas	30
3.4.1.2.1. Conversor de coordenadas	30
3.4.1.2.2. Simétricas	32
3.4.1.3. Ventana de ejecución del programa	34
3.4.1.3.1. Generación	34
3.4.1.3.2. Cargas	35
3.4.1.3.3. Impedancias de línea y neutro	35

3.4.1.3.4. Corrientes	36
3.4.1.3.5. Impedancia de generador	36
3.4.1.3.6. Calcular	37
3.4.1.3.7. Graficar resultado	37
3.4.1.4. Ventana de resultados	38
3.4.1.4.1. Resultados de componentes simétricas	38
3.4.1.4.2. Resultados de fasores.....	39
3.4.1.4.3. Resultados de voltajes y corrientes de línea	39
3.4.1.4.4. Resultados de corriente de neutro	40
3.4.1.5. Ventana de gráficos	40
3.4.1.5.1. Gráfica de diagrama fasorial	40
3.4.1.5.2. Gráfica de diagrama temporal.....	41
3.4.2. Acceso al botón estrella-delta.....	42
3.4.2.1. Ventana de ejecución del programa	43
3.4.2.1.1. Generación	43
3.4.2.1.2. Cargas	43
3.4.2.1.3. Impedancias de Línea	44
3.4.2.1.4. Corrientes	44
3.4.2.1.5. Impedancia de generador	44
3.4.2.1.6. Calcular.....	45
3.4.2.1.7. Gráfica de resultados	45
3.4.2.2. Ventana de resultados	45
3.4.2.2.1. Resultados de componentes simétricas	46
3.4.2.2.2. Resultados de fasores.....	47
3.4.2.2.3. Resultados de voltajes y corrientes de línea	47
3.4.2.3. Ventana de gráfica	47
3.4.2.3.1. Grafica de diagrama fasorial	48
3.4.2.3.2. Gráfica de diagrama temporal.....	49
3.4.3. Acceso a botón delta-estrella.....	49

3.4.3.1. Ventana de ejecución del programa	50
3.4.3.1.1. Generación	51
3.4.3.1.2. Cargas	51
3.4.3.1.3. Impedancias de Línea	51
3.4.3.1.4. Corrientes	52
3.4.3.1.5. Impedancia de generador	52
3.4.3.1.6. Calcular	53
3.4.3.1.7. Gráfica de resultados	53
3.4.3.2. Ventana de resultados	53
3.4.3.2.1. Resultados de componentes simétricas	54
3.4.3.2.2. Resultados de fasores.....	55
3.4.3.2.3. Resultados de voltajes y corrientes de línea	55
3.4.3.3. Ventana de gráfica	55
3.4.3.3.1. Grafica de diagrama fasorial	56
3.4.3.3.2. Grafica de diagrama temporal.....	57
3.4.4. Acceso a botón delta-delta.	57
3.4.4.1. Ventana de ejecución del programa	58
3.4.4.1.1. Generación	59
3.4.4.1.2. Cargas	59
3.4.4.1.3. Impedancias de Línea	59
3.4.4.1.4. Corrientes	60
3.4.4.1.5. Impedancia de generador	60
3.4.4.1.6. Calcular	60
3.4.4.1.7. Gráfica de resultados	61
3.4.4.2. Ventana de resultados	61
3.4.4.2.1. Resultados de componentes simétricas	62
3.4.4.2.2. Resultados de fasores.....	63
3.4.4.2.3. Resultados de voltajes y corrientes de línea	63
3.4.4.3. Ventana de gráfica	64

3.4.4.3.1. Gráfica de diagrama fasorial	64
3.4.4.3.2. Grafica de diagrama temporal.....	65
CAPITULO 4. SIMULACION DE EJERCICIOS	67
4.1. Introducción	67
4.2. Simulación y resultados.....	67
4.2.1. Ejercicio 1.....	68
4.2.2. Ejercicio 2.....	70
4.2.2. Ejercicio 3.....	74
4.2.4. Ejercicio 4.....	77
4.2.5. Ejercicio 5.....	78
4.2.6. Ejercicio 6.....	81
CAPITULO 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	84
5.1. Introducción	84
5.2. Análisis De Resultados.....	84
5.2.1. Ejercicio 1.....	84
5.2.2. Ejercicio 2.....	85
5.2.3. Ejercicio 3.....	88
5.2.4. Ejercicio 4.....	89
5.2.5. Ejercicio 5.....	90
5.2.6. Ejercicio 6.....	91
CONCLUSIONES.....	92
RECOMENDACIONES	93
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	94

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sistema eléctrico de potencia (SEP), específicamente Sistema Trifásico y sus elementos constitutivos.....	4
Figura 2. Orden de los tipos de fallas.	7
Figura 3. Falla en una fase.....	8
Figura 4. Falla bifásica	9
Figura 5. Falla bifásica a tierra	9
Figura 6. Falla trifásica	10
Figura 7. Componentes simétricas	11
Figura 8. Diversas composiciones fasoriales del operador a.....	12
Figura 9. Conexión estrella-estrella con neutro	13
Figura 10. Conexión estrella-estrella sin neutro	14
Figura 11. Conexión estrella-estrella con neutro desequilibrado	18
Figura 12. Conexión estrella-estrella sin neutro desequilibrado	19
Figura 13. Conexión estrella-triángulo desequilibrado	21
Figura 14. Conexión triángulo-triángulo desequilibrado	22
Figura 15. Conexión triángulo- estrella desequilibrado.	24
Figura 16. Ventana principal	27
Figura 17. Ventana principal de la configuración Estrella-Estrella.....	28
Figura 18. Opciones del botón menú.....	29
Figura 19. Opciones del botón Ir a.....	30
Figura 20. Opciones Herramientas	30
Figura 21. Conversor de coordenadas polares a Cartesianas.....	31
Figura 22. Conversor de coordenadas Cartesianas a polares.....	31
Figura 23. Ventana de herramienta simétrica.....	32
Figura 24. Ventana de herramientas simétricas opción corriente	33
Figura 25. Ventana de herramientas simétricas opción Graficar	34
Figura 26. Apartado de generación.....	35
Figura 27. Apartado de cargas.....	35
Figura 28. Apartado de impedancias de línea y neutro.....	36
Figura 29. Apartado de corrientes.....	36
Figura 30. Apartado de impedancias de generador	37
Figura 31. Apartado de cálculos	37
Figura 32. Apartado graficar resultados.....	37
Figura 33. Ventana de resultados	38

Figura 34. Apartado de resultados de componentes simétricas	39
Figura 35. Apartado de resultados de fasores.....	39
Figura 36. Apartado de resultados de voltajes y corrientes de línea	39
Figura 37. Apartado de resultados de corriente de neutro	40
Figura 38. Ventana de resultados gráficos	40
Figura 39. Apartado ventana de resultado fasorial.....	41
Figura 40. Apartado ventana de resultado de diagrama temporal.....	41
Figura 41. Ventana principal de la configuración Estrella-Delta	42
Figura 42. Apartado de generación.....	43
Figura 43. Apartado de cargas.....	43
Figura 44. Apartado de Impedancias de línea.....	44
Figura 45. Apartado de Corrientes.....	44
Figura 46. Apartado de impedancia de generador	45
Figura 47. Apartado de gráfica de resultados.....	45
Figura 48. Ventana de resultados	46
Figura 49. Apartado de resultados de componentes simétricas	46
Figura 50. Apartado de resultados de fasores.....	47
Figura 51. Apartado de resultados de voltajes y corrientes de línea	47
Figura 52. Ventana de gráfica.....	48
Figura 53. Apartado de gráfica fasorial.....	48
Figura 54. Apartado de gráfica de diagrama temporal	49
Figura 55. Ventana de conexión delta-estrella	50
Figura 56. Apartado de generación.....	51
Figura 57. Apartado de carga.....	51
Figura 58. Apartado de impedancias de línea	52
Figura 59. Apartado de corrientes.....	52
Figura 60. Apartado de impedancias de generador	52
Figura 61. Apartado de calcular	53
Figura 62. Apartado de grafica de resultados.....	53
Figura 63. Ventana de resultados	54
Figura 64. Apartado de resultado de componentes simétricas	55
Figura 65. Apartado de resultado de fasores	55
Figura 66. Apartado de resultado de voltajes y corrientes de línea	55
Figura 67. Ventana de gráfica	56
Figura 68. Apartado de ventana de gráfica de diagrama fasorial	56
Figura 69. Apartado de ventana de gráfica de diagrama temporal.....	57
Figura 70. Ventana de conexión delta-delta	58

Figura 71. Apartado de generación.....	59
Figura 72. Apartado de carga.....	59
Figura 73. Apartado de impedancias de línea	60
Figura 74. Apartado de corrientes.....	60
Figura 75. Apartado de impedancia de generación.....	60
Figura 76. Apartado de cálculos	61
Figura 77. Apartado de gráfica de resultados.....	61
Figura 78. Ventana de tabla de resultados	62
Figura 79. Apartado de ventana de resultados de componentes simétricas.....	63
Figura 80. Apartado de ventana de resultados de fasores	63
Figura 81. Apartado de ventana de resultados de voltajes y corrientes de línea	63
Figura 82. Ventana de resultado gráficos	64
Figura 83. Apartado de ventana de grafica fasorial.....	65
Figura 84. Apartado de ventana de grafica temporal	65
Figura 85. Ventana de soluciones del ejercicio	70
Figura 86. Ventana de resultado grafico del ejercicio	70
Figura 87. Ventana de resultado de ejercicios	72
Figura 88. Ventana de resultado gráficos del ejercicio.....	72
Figura 89. Ventana de resultado de coordenadas del ejercicio.	73
Figura 90. Ventana de resultado del ejercicio	73
Figura 91. Ventana de resultado gráficos del ejercicio.....	74
Figura 92. Ventana de ingreso de datos del ejercicio	76
Figura 93. Ventana de resultado del ejercicio	77
Figura 94. Ventana de resultado del ejercicio	78
Figura 95. Ventana de ingreso de datos del ejercicio	80
Figura 96. Ventana de resultado del ejercicio	81
Figura 97. Diagrama de ejercicio	81
Figura 98. Ventana de ingreso de datos del ejercicio	82
Figura 99. Ventana de resultado del ejercicio	83
Figura 100. Ventana de resultado del ejercicio 1	85
Figura 101. Ventana de resultado del ejercicio 2	86
Figura 102. Ventana de resultado del ejercicio 2 literal b.....	87
Figura 103. Ventana de resultado del ejercicio 2 literal b.....	87
Figura 104. Ventana de resultado del ejercicio 3	88
Figura 105. Ventana de resultado del ejercicio 4	89
Figura 106. Ventana de resultado del ejercicio 5	90
Figura 107. Ventana de resultado del ejercicio 6	91

LISTA DE TABLAS

Tabla 1	5
Tabla 2	26
Tabla 3	68

CAPITULO 1. INTRODUCCION

1.1. Antecedentes

El gran desarrollo que ha generado la industria eléctrica en estos últimos tiempos ha impulsado nuevos métodos para el estudio de cortocircuitos. En un comienzo se utilizó analizadores de redes analógicos formados por resistencias, reactancias, fuentes de tensión y corriente lo que permitía tener una réplica a escala de un sistema eléctrico de potencia (SEP). Luego del desarrollo de los SEP, estos ya de gran tamaño y complejidad; se utilizaban analizadores digitales que realizaban operaciones lógicas y matemáticas con mayor velocidad y exactitud.

Con el continuo crecimiento de los SEP se tiene como principal reto hacer que estos cálculos sean de mayor exactitud, esto crea la necesidad de crear un software que realice más cálculos de manera más eficiente, económica y rápida; ayudando así a un mayor entendimiento sobre todo de los cortocircuitos en los sistemas eléctricos de gran tamaño.

Sabiendo que las tensiones y corrientes deben ser analizadas en distintas condiciones de operación de un SEP, sean estas condiciones estables o transitorias, se presentan problemas de desarrollo matemático por su gran magnitud y complejidad, por ende estos deben ser orientados a métodos computacionales para su desarrollo y solución.

Este trabajo de investigación tiene como objeto el estudio de componentes simétricas en SEP, por medio del desarrollo de un software para uso académico que ejecute de manera exacta y rápida este tipo de operaciones, para esto se utilizará la herramienta informática MATLAB.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo principal.

Desarrollar una herramienta informática académica que permita a los estudiantes de la carrera de ingeniería eléctrica de la Universidad Católica de Cuenca calcular el comportamiento de las componentes simétricas en un sistema eléctrico de potencia, utilizando el lenguaje matemático Matlab.

1.2.2. Objetivos específicos.

- Investigar la teoría del cálculo de las componentes simétricas para automatizarlas en la aplicación a desarrollar.
- Desarrollar una interfaz gráfica en Matlab para la simulación y obtención de los resultados.

- Crear un módulo de herramientas que permita la conversión de coordenadas polares a rectangulares y realizar el cálculo de las componentes simétricas básicas.
- Desarrollar el módulo de representación gráfica de las componentes simétricas calculadas para verificar con los valores numéricos obtenidos.
- Proveer a la carrera de ingeniería eléctrica de la Universidad Católica de Cuenca el software COMSIM para su difusión académica.

1.3. Justificación

Los sistemas eléctricos de potencia (SEP) han presentado crecimiento en su infraestructura y componentes, gracias al desarrollo eléctrico que se ha dado a través de la historia. Estos cambios han generado inconvenientes en el análisis de sistemas de energía trifásicos no balanceados, esto presenta un campo de estudio interesante; con la elaboración de este software se ayudará a que los estudiantes desarrollen más habilidades y obtengan más conocimientos, reforzando lo enseñado por el docente.

A pesar de que se trabaja bajo Matlab el código fuente será de acceso libre, por lo que los estudiantes venideros pueden realizar modificaciones para mejorar el software y ampliarlo, promoviendo el aprendizaje aplicado en los sistemas eléctricos de potencia.

CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO

En este capítulo, se describen las bases teóricas y conceptuales que permitan llevar a cabo el cumplimiento y desarrollo cabal del presente proyecto, el mismo hace énfasis a los sistemas eléctricos y de potencia que se desarrollan en el presente proyecto.

2.1. Conceptos generales

2.1.1. Sistema eléctrico de potencia.

El sistema eléctrico de potencia es un conjunto de elementos que tiene como fin generar, transformar, transmitir, distribuir y consumir la energía eléctrica, logrando así la mayor calidad al menor costo posible. Un sistema eléctrico de potencia consta de plantas generadoras que producen la energía eléctrica consumida por las cargas, una red de transmisión y de distribución para transportar esa energía de las plantas a los puntos de consumo, así como el equipo adicional necesario para lograr que el suministro de energía se realice con las características de continuidad de servicio, regulación de tensión y control de frecuencia requeridas. En la Figura 1, se encuentra el ejemplo de la gráfica del sistema eléctrico de potencia (SEP), que contienen los elementos constitutivos de un sistema trifásico.

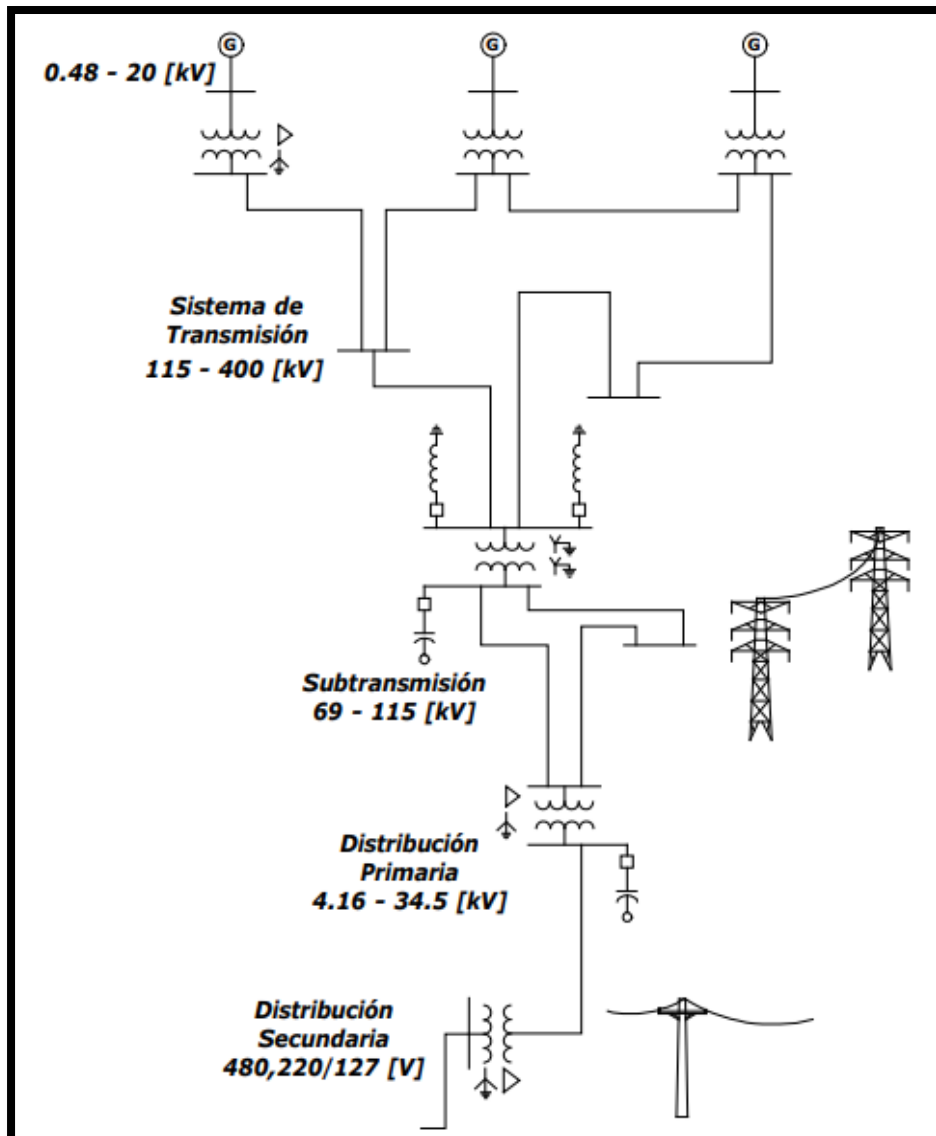


Figura 1. Sistema eléctrico de potencia (SEP), específicamente Sistema Trifásico y sus elementos constitutivos.

Fuente: Alberto Sares.

2.1.2. Sistema de distribución.

El sistema de distribución de energía eléctrica, definida por Morón (2009), como el conjunto de elementos encargado de conducir la energía desde una subestación de potencia, es decir, una subestación de distribución, hasta el usuario. Básicamente, según lo que explica el mismo autor, “la distribución de energía eléctrica comprende las líneas primarias de distribución, los transformadores de distribución, las líneas secundarias de distribución, además de las acometidas y medidores” (p.2).

2.1.2.1. Subestación de distribución.

Con respecto a las subestaciones eléctricas de distribución, Harper (2011) explica que “son parte integral de un sistema de potencia y forman eslabones importantes entre las centrales de generación, los sistemas de transmisión, los sistemas de distribución y las

cargas” (p.61). En efecto, las subestaciones eléctricas pueden ser clasificadas por su nivel de tensión, por su ubicación en exterior o interior o incluso, basada en su configuración, entre otras características.

2.1.2.2. Sistema de distribución media tensión.

Por otra parte, el sistema de distribución en media tensión, según el NATSIM (Normas de Acometidas Cuartos de Transformadores y Sistemas de medición para el suministro de electricidad), indica que el distribuidor suministra el servicio eléctrico a un nivel de media tensión en los siguientes casos, independiente si la medición se encuentra en el lado primario o secundario del transformador:

Sistema Monofásico (una sola fase) a $13.8/\sqrt{3}$ kV; este servicio se suministra cuando la demanda de un predio es mayor a 30 kW y menor a 90 kW y su capacidad total instalada no exceda 100 kVA monofásico.

Sistema Trifásico a 13.8 kV; este servicio se suministra al voltaje indicado cuando la demanda física del predio sea mayor a 30kW y menor a 1000 kW (Empresa Eléctrica, 2012, p.11).

Además, los datos del catálogo digital de redes de distribución de energía eléctrica, explican que la cobertura del servicio eléctrico y el incremento de la demanda, han unificado el nivel de tensión para sistemas de distribución en valores normalizados superiores a 13.8 KV, sobre la base de las normativas de la Comisión Electrónica Internacional (IEC por sus siglas en inglés). En Ecuador, se ha considerado definir los siguientes niveles de voltaje nominal:

*Tabla 1
Niveles de voltaje normalizados en Ecuador*

Medio Voltaje	Bajo Voltaje
6.300 (V)	Red bifásica 120/240 (V)
13.800 GRDY / 7.967 (V)	Red trifásica 127/220 (V)
22.000 GRDY / 12.700 (V)	
22.860 GRDY / 13.200 (V)	
34.500 GRDY / 19.920 (V)	

Fuente: Alberto Sares

2.1.3 Análisis de corto circuito.

Los cortocircuitos como explica Glover (2003), ocurren en los sistemas de potencia debido a varias causas: cuando falla el aislamiento del equipo, debido a sobre voltajes del sistema, descargas atmosféricas, variaciones por maniobras de interruptores, a contaminación del aislamiento (roció salino o polvo) o a otras causas mecánicas. El cortocircuito resultante o la corriente de “falla” se determina por los voltajes internos de las

maquinas síncronas y por las impedancias del sistema entre los voltajes de máquinas y la falla. Las corrientes de cortocircuito, pueden ser mucho más grandes que las corrientes de operación normales y si continúan podrían causar daños térmicos al equipo. Los devanados y barras colectoras también podrían sufrir daño mecánico debido a altas fuerzas magnéticas durante las fallas. Por consiguiente, es necesario eliminar del servicio las secciones con falla de un sistema de potencia, tan pronto como sea posible. El mismo el autor, indica “El equipo de protección estándar se diseña para eliminar las fallas dentro de los 3 ciclos (50ms a 60Hz). El equipo de protección de bajo voltaje opera con más lentitud (por ejemplo, 5 a 20 ciclos)” (p.319).

Al respecto, tres ciclos hacen referencia al tiempo mínimo de interrupción de las corrientes en cortocircuito, en un sistema de alta tensión de 245kV a 145kV, tres ciclos equivalen a 50ms o 0,05sg.

2.1.3.1. Sistema en por unidad.

El porcentaje es cien veces por cada unidad. Ambos se utilizan por conveniencia o elección personal y es importante designar ya sea el porcentaje o el por unidad (p.u). El valor por unidad de cualquier cantidad es la razón de esa cantidad a su valor base, la razón expresada como un número decimal no dimensional. Por lo tanto, cantidades reales, tales como voltaje (V), corriente (I), potencia (P), potencia reactiva (Q), voltios-amperios (VA), resistencia (R), reactancia (X) e impedancia (Z), se pueden expresar en por unidad o porcentaje como se observa en las ecuaciones 2.1 y 2.2.

$$\text{cantidad en por unidad} = \frac{\text{cantidad real}}{\text{valor base de cantidad}} \quad (2.1)$$

$$\text{cantidad en porcentaje} = (\text{cantidad en por unidad}) \times 100 \quad (2.2)$$

Donde "cantidad real" es el valor escalar o complejo de una cantidad expresada en sus unidades adecuadas, como voltios, amperios, ohmios, o vatios. El "valor base de la cantidad" se refiere a una referencia arbitraria o conveniente de la misma cantidad elegida y designada como base. Por lo tanto, por unidad y porcentaje son proporciones adimensionales que pueden ser números escalares o complejos.

2.1.3.2. Cálculo de fallas.

La mayoría de las fallas que ocurren en un sistema de potencia involucran una de las fases ocasionando desbalance en el sistema. Este cortocircuito es del tipo desequilibrado y denominado cortocircuito asimétrico. Además, se presentan otros tipos de falla que involucran dos o tres de las fases. También se presentan otros tipos de fallos debido a la mala operación de interruptores, en los cuales uno o dos de sus polos no cierran, dejando

momentáneamente la fase abierta, este fallo es denominado serie. Los tipos de fallas asimétricas son los siguientes:

- Línea a tierra.
- Línea a línea
- Línea a línea a tierra.

La trayectoria a tierra puede o no contener una impedancia, a este último caso se le denomina falla sólida a tierra y el valor de la impedancia de falla se le asigna un valor igual a cero, generalmente es así debido a la dificultad para obtener dicho valor. Además, al considerar la impedancia de falla cero se da un margen de seguridad en la obtención de la corriente de falla. La impedancia de falla es determinada a través de ensayos experimentales.

Por otra parte, Montoya (2012) explica que la falla serie, ocurre cuando uno o dos conductores abiertos ocasionan fallas asimétricas serie que pueden presentarse debido a la ruptura de una o dos de las fases, a una inadecuada operación de interruptores, fusibles u otros mecanismos que no pueden abrir las tres fases simultáneamente.

Estas fallas, se pueden clasificar de la siguiente manera, como se muestra en la Figura 2.

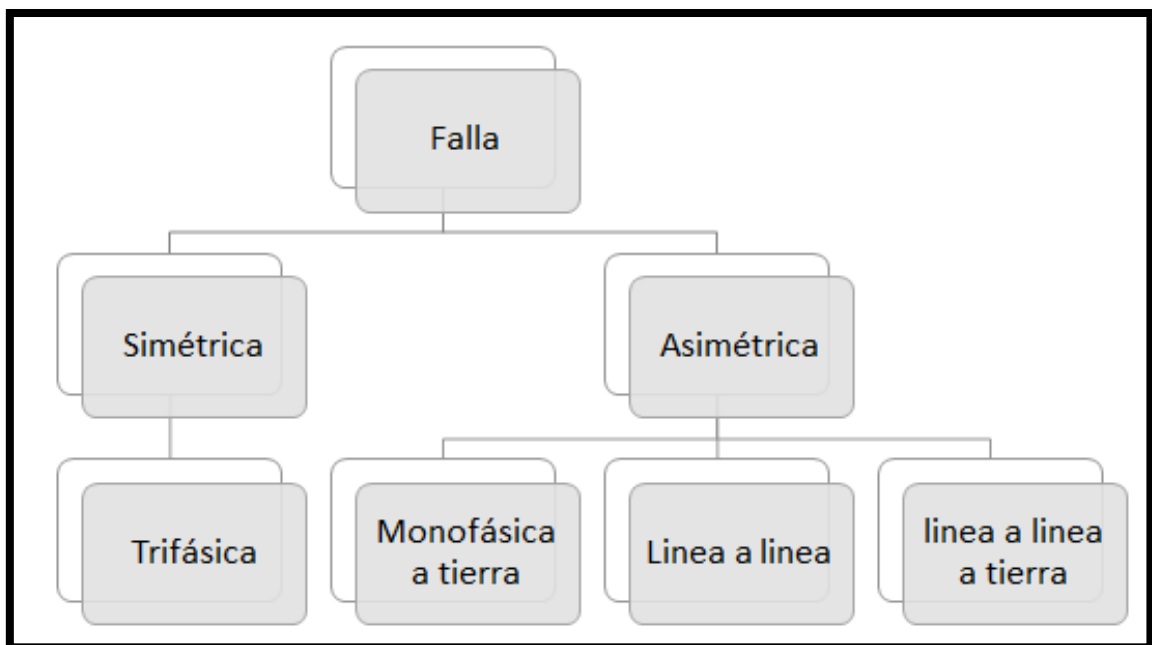


Figura 2. Orden de los tipos de fallas.
Fuente: Alberto Sares.

2.1.3.2.1. Falla monofásica (fase a tierra).

La falla monofásica de línea a tierra, explicada por Grainger & Stevenson (2001) es el tipo de falla más común originada por las descargas atmosféricas o por los conductores al hacer contacto con las estructuras aterrizadas. Es decir, según los mismos autores “Las

relaciones por desarrollar para este tipo de falla, solo se aplican cuando una y solo una fase falla” (p.452). Esto se puede evidenciar en la Figura 3.

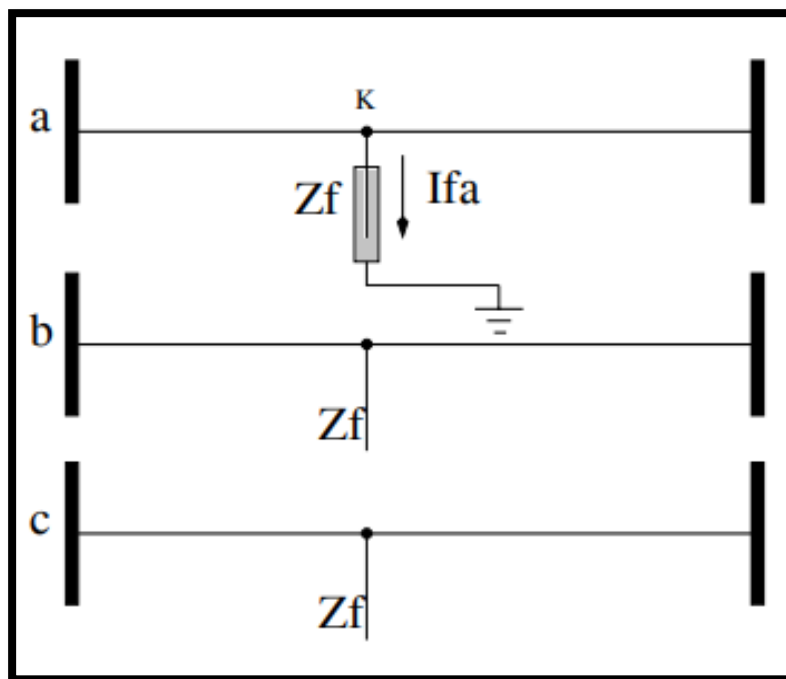


Figura 3. Falla en una fase.
Fuente: Alberto Sares.

2.1.3.2.2. Falla bifásica.

La falla bifásica o falla línea a línea a través de una impedancia Z , se origina cuando dos líneas están cortocircuitadas, se la puede representar con la Figura 4, en la que se observa la falla línea **a** línea en las fases **b** y **c**.

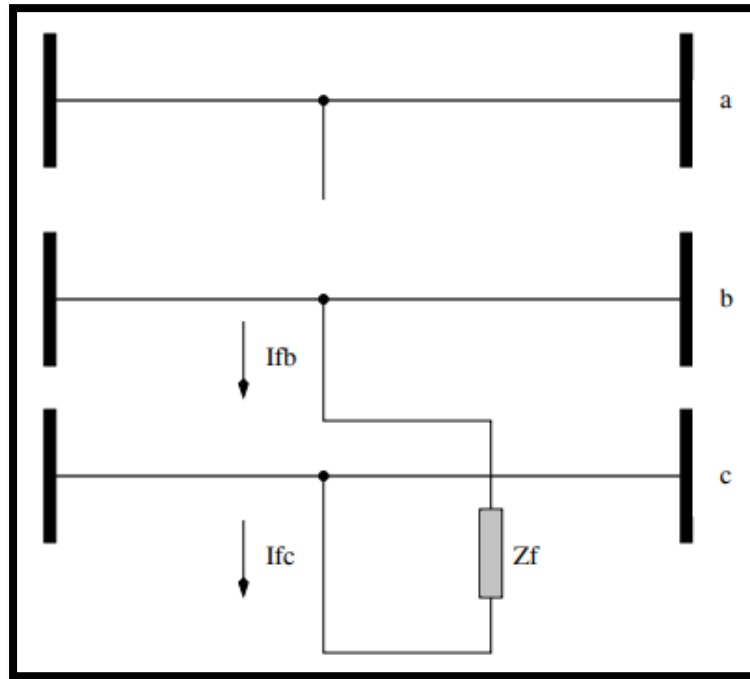


Figura 4. Falla bifásica.
Fuente: Alberto Sares.

2.1.3.2.3. Falla bifásica a tierra.

La falla entre dos líneas de fase y la tierra es conocida como falla bifásica a tierra. Esto se origina cuando dos líneas energizadas de un sistema trifásico tocan tierra en el mismo momento. La representación gráfica se la puede revisar en la Figura 5.

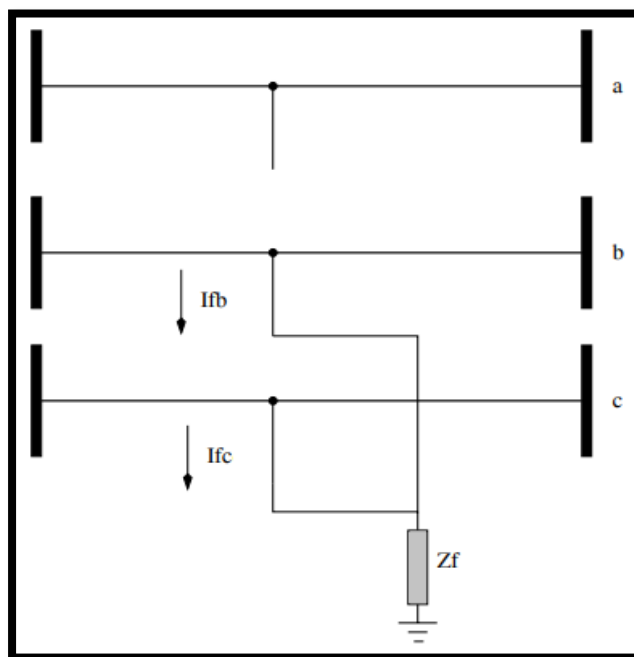


Figura 5. Falla bifásica a tierra.
Fuente: Alberto Sares.

2.1.3.2.4. *Falla trifásica.*

La falla trifásica o también conocida como falla simétrica, es cuando todas las fases son cortocircuitadas entre sí y a menudo a tierra. Esta falla es equilibrada ya que el sistema permanece simétrico, eso indica que las líneas se desplazan en un ángulo igual. Esta falla involucra grandes corrientes y es muy poco frecuente. Por este motivo, se realiza un cálculo equilibrado del cortocircuito para determinar las corrientes y los fallos. La representación gráfica se la puede revisar en la Figura 6.

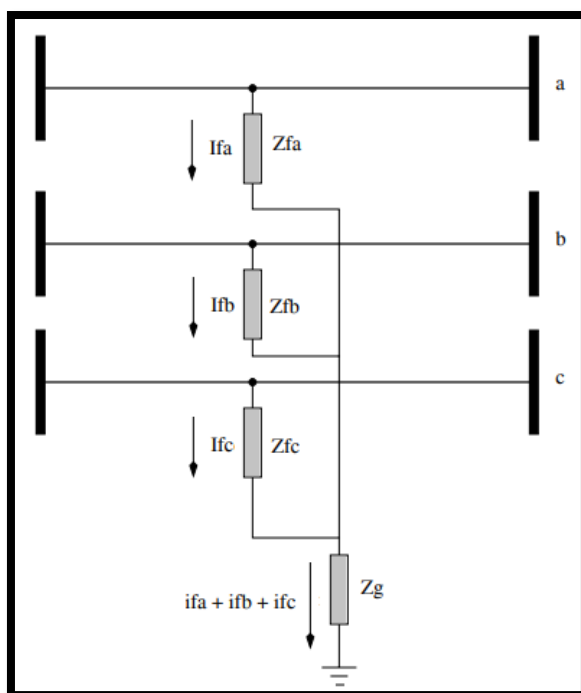


Figura 6. Falla trifásica.
Fuente: Alberto Sares.

2.1.3.3. *Componentes simétricas.*

Las componentes simétricas constituyen un procedimiento analítico de gran valor para determinar el rendimiento de ciertos tipos de circuitos trifásicos desequilibrados (o polifásicos en general) que contienen máquinas eléctricas rotativas. Aunque se pueden utilizar para resolver redes estáticas desequilibradas. En cambio, para circuitos desequilibrados que contienen máquinas eléctricas rotativas, el método de las componentes simétricas constituye el único procedimiento práctico para determinar los efectos de los desequilibrios en estas máquinas y por ello es ampliamente utilizado.

También resulta imprescindible su aplicación en el estudio de fallas en la red: cortocircuitos asimétricos, desconexión de alguna fase, entre otros. Igualmente, el método de las componentes simétricas se basa en el Teorema de C. L. Fortescue (como se citó en

Mora, 2012) el cual, al “ser aplicado a una red trifásica, establece que un sistema trifásico desequilibrado se puede descomponer en tres sistemas equilibrados o simétricos” (p.346).

2.1.3.3.1. Teoría de componentes simétricas.

El uso de Componentes Simétricas del Teorema de Fortescue, según plantea Blackburn (2006), es un “método de transformación lineal que consiste básicamente en descomponer un conjunto de fasores desbalanceados en otro conjunto de fasores de características tales que permitan un análisis de una manera más sencilla que el problema original” (p.106).

En un caso hipotético, se tiene un conjunto de voltajes trifásicos designados V_a , V_b y V_c . Según Fortescue (citado en Glover, 2003), estos voltajes de fase se separan en los siguientes tres conjuntos de componentes de secuencia:

Componentes de secuencia cero, que consisten en tres fasores con magnitudes iguales y con desplazamiento de fase cero, como se observa en la Figura 7.

Componentes de secuencia positiva, que constan de tres fasores con magnitudes iguales, desplazamiento de fase de $\pm 120^\circ$ y secuencia positiva, como en Figura 7.

Componentes de secuencia negativa, que consisten en tres fasores con magnitudes iguales, desplazamiento de fase de $\pm 120^\circ$ y secuencia negativa, como en Figura 7.

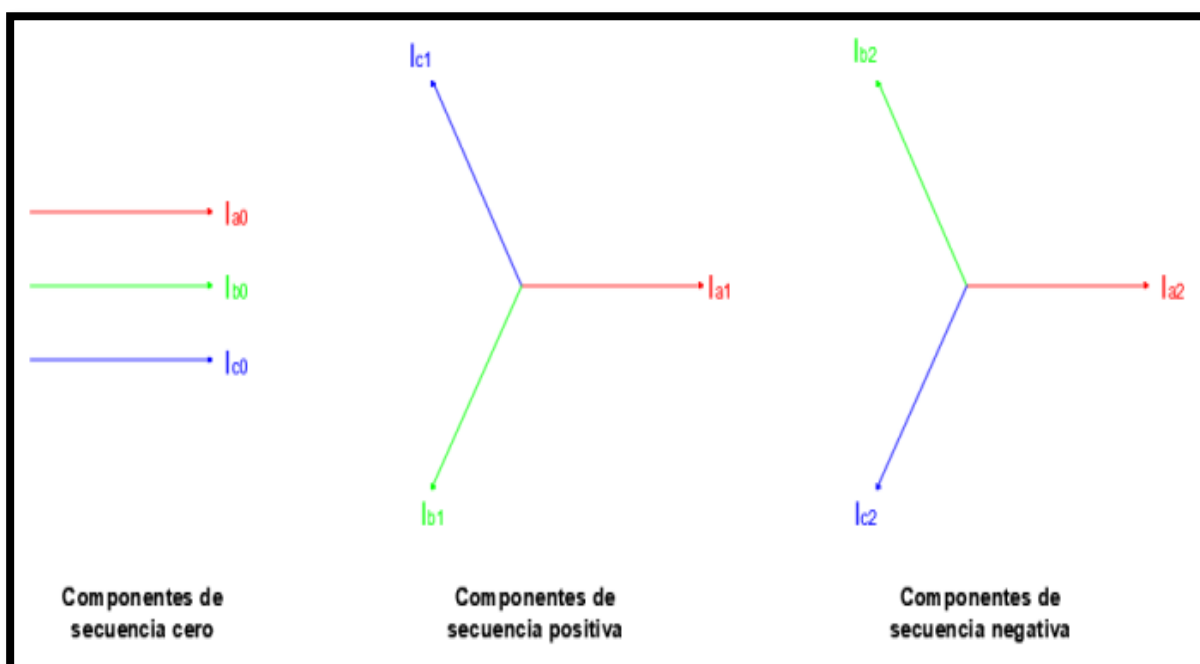


Figura 7. Componentes simétricas.
Fuente: Alberto Sares.

2.1.3.3.2. Operador <<a>>.

Comúnmente, según Grainger & Stevenson (2001), la letra **a** se usa para designar el operador que origina una rotación de 120° en la dirección contraria a la de las manecillas del reloj. Tal operador es un número complejo de magnitud unitaria con un ángulo de 120°, y se define por la ecuación 2.3.

$$a = 1\angle 120^\circ = 1e^{j2\pi/3} = -0.5 + j0.866 \quad (2.3)$$

Si se aplica dos veces sucesivas el operador **a** a un fasor, el fasor rotará 240°. Tres aplicaciones sucesivas de **a** rotan el fasor 360°. Así, se puede ver las ecuaciones 2.4 y 2.5

$$a^2 = 1\angle 240^\circ = 1e^{j4\pi/3} = -0.5 - j0.866 \quad (2.4)$$

$$a^3 = 1\angle 360^\circ = 1e^{j2\pi} = 1\angle 0^\circ = 1 \quad (2.5)$$

Es evidente que $1+a+a^2=0$.

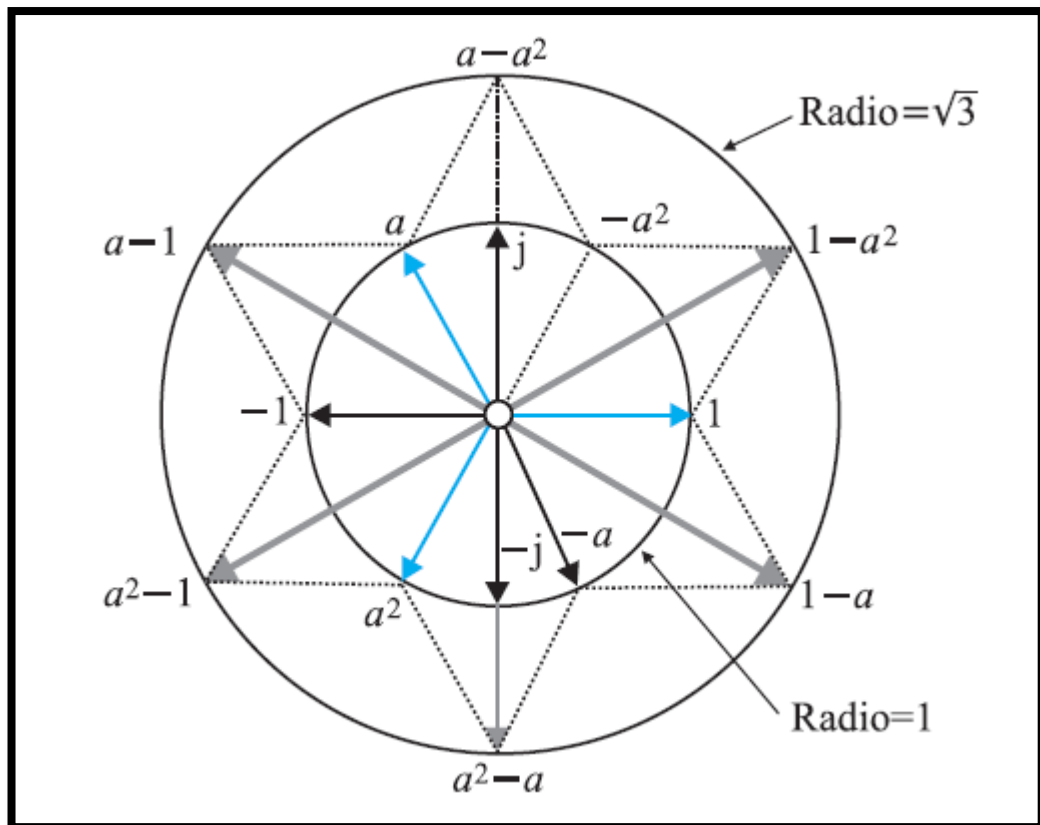


Figura 8. Diversas composiciones fasoriales del operador a.
Fuente: Autor: Mora, J. F. (2012).

2.1.3.4. Estudio de circuitos trifásicos mediante componentes simétricas.

Se comienza el estudio considerando una carga equilibrada y sus distintas conexiones que pueden emplearse, lo cual permitirá reducir el cálculo al de una sola fase (equivalente monofásico).

2.1.3.4.1. Estrella-Estrella con neutro.

Si las componentes de las fuerzas electromotrices son E^0 , E^+ y E^- las impedancias de secuencia Z_g^0 , Z_g^+ y Z_g^- la impedancia de línea Z_l y la del neutro Z_n y la de carga Z_R , las corrientes debidas a las componentes homopolares se observan en la ecuación 2.6.

$$I^0 = \frac{E^0}{Z_T} = \frac{E^0}{Z_g^0 + Z_l + Z_R + 3Z_n} \quad (2.6)$$

Igual para todas las fases, pues el neutro es $I_n = 3I^0$ como se observa en la ecuación 2.7.

$$V_n = 3I_0 \cdot Z_n = I_0(3Z_n) \quad (2.7)$$

La corriente de secuencia positiva será la expresada en la ecuación 2.8.

$$I^+ = \frac{E_1^+}{Z_g^+ + Z_l + Z_R} \quad (2.8)$$

Y para la secuencia negativa será descrita en la ecuación 2.9.

$$I^- = \frac{E_1^-}{Z_g^- + Z_l + Z_R} \quad (2.9)$$

Para la tensión de carga indicada en la ecuación 2.10

$$[V_{R_c}^S] = Z_R [I_{R_e}^S] = Z_R \begin{bmatrix} I^0 \\ I_1^+ \\ I_1^- \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

Y la tensión de línea es la expresada en la ecuación 2.11.

$$[V_l^S] = [M_v] [V_{R_e}^S] \quad (2.11)$$

Una vez conocidas las componentes simétricas de la primera fase, haciendo uso de matriz [S] podremos tener todas las corrientes y tensiones reales de generador, línea o carga. Se lo puede representar según la Figura 9.

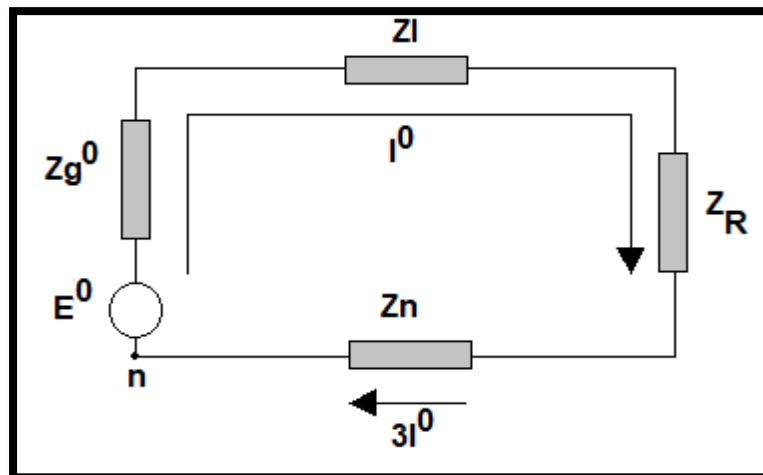


Figura 9. Conexión estrella-estrella con neutro.
Fuente: Alberto Sares.

2.1.3.4.2. Estrella-Estrella sin neutro.

Es igual que el circuito anterior, con la diferencia que este es $I^0=0$, pues equivale a considerar que la impedancia de neutro es igual a infinito, gráficamente se evidencia en la Figura 10.

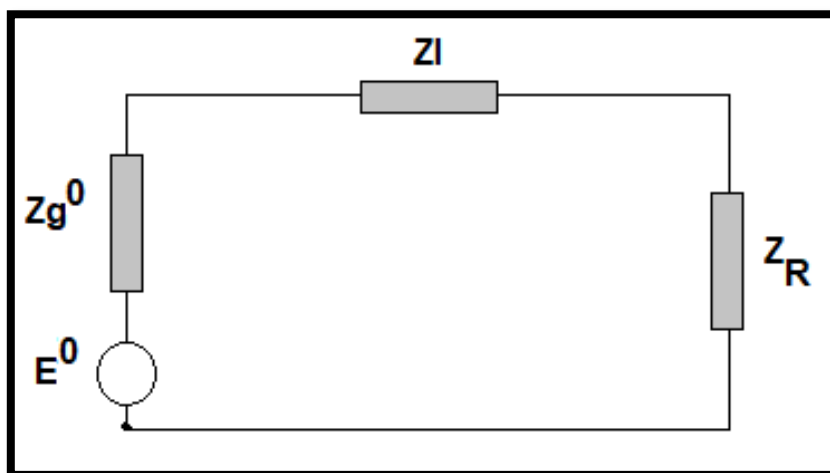


Figura 10. Conexión estrella-estrella sin neutro.
Fuente: Alberto Sares.

2.1.3.4.3. Estrella-Triangulo.

Se transforma el triángulo en estrella, es decir, si la impedancia del triángulo es Z_R , la de la estrella será $\frac{Z_R}{3}$ y las corrientes de línea son las ecuaciones expresadas en 2.12.

$$I^0 = 0; \quad I_1^+ = \frac{E_1^+}{Z_g^+ + Z_l + \frac{Z_R}{3}}; \quad I_1^- = \frac{E_1^-}{Z_g^- + Z_l + \frac{Z_R}{3}} \quad (2.12)$$

La tensión de carga y línea, indicada en las ecuaciones 2.13.

$$V^0 = 0 \quad V_{12}^+ = I_1^+ \frac{Z_R}{\sqrt{3}} \bullet 1 \angle 30^\circ \quad V_{12}^- = I_1^- \frac{Z_R}{\sqrt{3}} \bullet 1 \angle -30^\circ \quad (2.13)$$

Y las corrientes de carga son las descritas en 2.14.

$$I_R^0 = 0 \quad I_{12}^+ = \frac{I_1^+}{\sqrt{3}} \bullet 1 \angle 30^\circ \quad I_{12}^- = \frac{I_1^-}{\sqrt{3}} \bullet 1 \angle -30^\circ \quad (2.14)$$

2.1.3.4.4. Triangulo-Estrella.

La corriente homopolar del generador es: $I_g^0 = \frac{E_g^0}{Z_g^0}$, la corriente homopolar de línea es $I_a^0 = 0$, se transforma las componentes de secuencia positiva y negativa del generador de triangulo a estrella, se obtiene las ecuaciones 2.15 y 2.16.

$$E_a^+ = \frac{E_{ab}^+}{1-a^2} \quad E_a^- = \frac{E_{ab}^-}{1-a} \quad (2.15)$$

$$Z_{gY}^+ = \frac{Z_{g\Delta}^+}{3} \quad Z_{gY}^- = \frac{Z_{g\Delta}^-}{3} \quad (2.16)$$

2.1.3.4.5. Triangulo-Triangulo.

Como en el caso anterior podemos describir las ecuaciones como se indica en 2.17.

$$I_g^0 = \frac{E_g^0}{Z_g^0} \quad e \quad I_L^0 = I_R^0 = 0 \quad (2.17)$$

Y transformando las fuerzas electromotrices de secuencia positiva y negativa y las cargas en estrella, se habrá pasado al caso estrella-estrella, luego bastará cambiar en el caso anterior Z_R por $\frac{Z_R}{3}$, para tener el problema resuelto.

Únicamente se recuerda que cuando los circuitos son equilibrados, las corrientes de carga son igual a las corrientes del generador si ambos están en triangulo, y podemos expresarlas tal como se indica las ecuaciones 2.18.

$$I_{12R}^+ = I_{12g}^+ \quad I_{12R}^- = I_{12g}^- \quad (2.18)$$

2.1.3.5. Estudio de circuitos trifásicos con cargas estáticas desequilibradas.

Existen dos métodos de resolución, el primer método es considerar las componentes simétricas del generador y determinar independientemente las corrientes producidas, por cada una de las secuencias. La corriente total será la suma de las producidas por cada una de las secuencias.

El segundo método consiste en reducir el estudio a una sola fase, mediante el empleo de las componentes simétricas de las impedancias de carga. Las conexiones para hacer uso de este método se revisan a continuación:

2.1.3.5.1. Estrella-Estrella con neutro.

Los cálculos se basan en la Figura 11, en este caso las tensiones y las corrientes de carga están relacionadas directamente por la ecuación 2.19.

$$V_A = Z_A I_a \quad V_B = Z_B I_b \quad V_C = Z_C I_c \quad (2.19)$$

Esto lo podemos describir matricialmente como se indica en 2.20, 2.21 y 2.22.

$$\begin{bmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_A & 0 & 0 \\ 0 & Z_B & 0 \\ 0 & 0 & Z_C \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad [I_F] = [A][I_F^S] \quad (2.20)$$

$$\begin{bmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_A & 0 & 0 \\ 0 & Z_B & 0 \\ 0 & 0 & Z_C \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a^0 \\ I_a^+ \\ I_a^- \end{bmatrix} \quad [V_F^S] = [A]^{-1}[V_F] \quad (2.21)$$

$$\begin{bmatrix} V_A^0 \\ V_A^+ \\ V_A^- \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_A & 0 & 0 \\ 0 & Z_B & 0 \\ 0 & 0 & Z_C \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a^0 \\ I_a^+ \\ I_a^- \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

Dónde:

[VA, VB, VC] es Matriz columna de voltajes

La matriz de transformación [A] se define por 2.23.

$$[A] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \quad (2.23)$$

La matriz de voltajes está definida por 2.24.

$$\begin{bmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \end{bmatrix} \quad (2.24)$$

La matriz de impedancias esta descrita por 2.25.

$$\begin{bmatrix} Z_A & 0 & 0 \\ 0 & Z_B & 0 \\ 0 & 0 & Z_C \end{bmatrix} \quad (2.25)$$

La matriz $[I_F^S]$ es la corriente de fase representada en componentes simétricas y descritas matricialmente por 2.26.

$$\begin{bmatrix} I_a^0 \\ I_a^+ \\ I_a^- \end{bmatrix} \quad (2.26)$$

Luego de la resolución matemática obtenemos las componentes simétricas de las impedancias de carga como se observa en el grupo de ecuaciones 2.27.

$$\begin{cases} Z^0 = \frac{1}{3}(Z_A + Z_B + Z_C) \\ Z^+ = \frac{1}{3}(Z_A + aZ_B + a^2Z_C) \\ Z^- = \frac{1}{3}(Z_A + a^2Z_B + aZ_C) \end{cases} \quad (2.27)$$

También las podemos representar como lo indica la ecuación 2.28

$$\begin{bmatrix} Z^0 \\ Z^+ \\ Z^- \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_A \\ Z_B \\ Z_C \end{bmatrix} \quad (2.28)$$

Por lo que los denominadores, componentes simétricas de las impedancias desequilibradas, la ecuación anterior se la puede representar como lo indica la ecuación 2.29.

$$\begin{bmatrix} V_A^0 \\ V_A^+ \\ V_A^- \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z^0 & Z^- & Z^+ \\ Z^+ & Z^0 & Z^- \\ Z^- & Z^+ & Z^0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a^0 \\ I_a^+ \\ I_a^- \end{bmatrix} \quad (2.29)$$

Y escrito mediante un sistema de ecuaciones según 2.30.

$$\begin{cases} V_A^0 = Z^0 I_a^0 + Z^- I_a^+ + Z^+ I_a^- \\ V_A^+ = Z^+ I_a^0 + Z^0 I_a^+ + Z^- I_a^- \\ V_A^- = Z^- I_a^0 + Z^+ I_a^+ + Z^0 I_a^- \end{cases} \quad (2.30)$$

Esto muestra claramente que las componentes de una secuencia no son independientes de las demás secuencias, pues por ejemplo V_A depende de I_a de I_a^+ y de I_a^- .

Sin embargo, si el sistema es equilibrado $Z_A=Z_B=Z_C$ serán $Z^+=Z^-=0$, por lo que $V_a^0=Z^0 I_a^0=Z I_a^0$ y como ya se sabe las secuencias son independientes.

Por otra parte, las impedancias de línea están equilibradas al igual que las impedancias internas de cada secuencia, por lo que la caída de tensión en ellas es independiente para cada secuencia y debido a ello podemos describir según ecuación 2.31

$$\begin{cases} V_A^0 = E_a^0 - (Z_g^0 + Z_l + 3Z_n) I_a^0 \\ V_A^+ = E_a^+ - (Z_g^+ + Z_l) I_a^+ \\ V_A^- = E_a^- - (Z_g^- + Z_l) I_a^- \end{cases} \quad (2.31)$$

Si se sustituye estos resultados en la ecuación 2.16 se obtiene las ecuaciones 2.32.

$$\begin{cases} (Z_g^0 + Z_l + 3Z_n + Z^0) I_a^0 + Z^- I_a^+ + Z^+ I_a^- = E_a^0 \\ Z^+ I_a^0 + (Z_g^+ + Z_l + Z^0) I_a^+ + Z^- I_a^- = E_a^+ \\ Z^- I_a^0 + Z^+ I_a^+ + (Z_g^- + Z_l + Z^0) I_a^- = E_a^- \end{cases} \quad (2.32)$$

Resolviendo este sistema, tendremos las tres componentes de la corriente de la primera fase y son inmediatas las determinaciones de corriente en las demás fases.

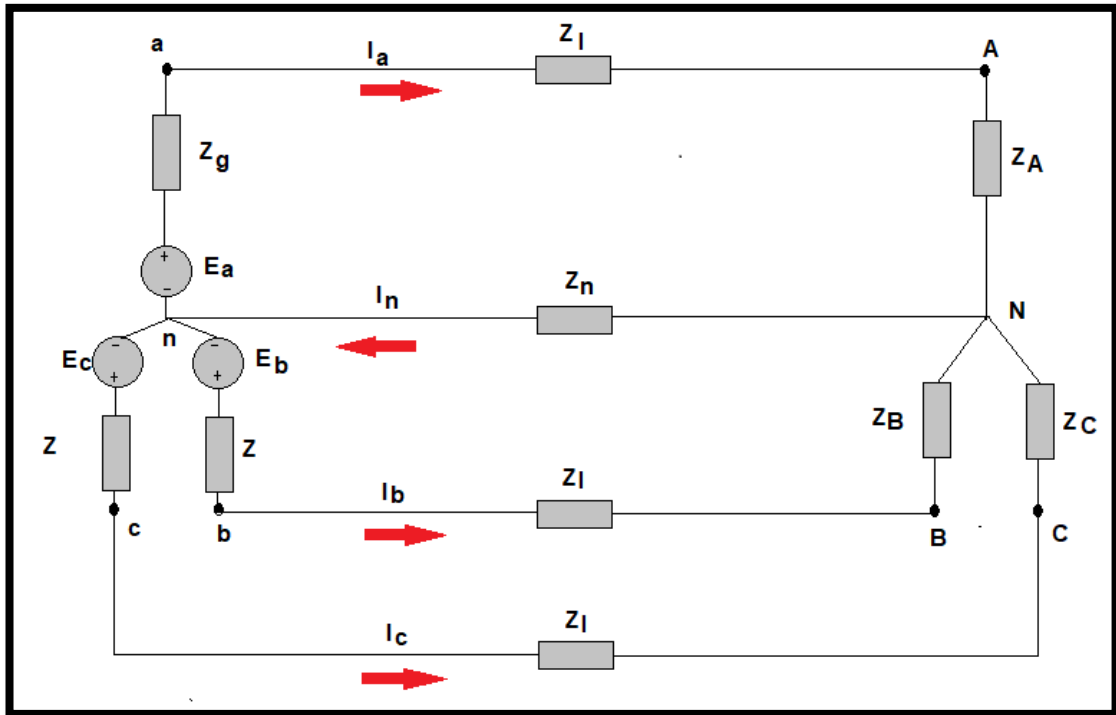


Figura 11. Conexión estrella-estrella con neutro desequilibrado.
Fuente: Alberto Saes.

2.1.3.5.2. Estrella-Estrella sin neutro.

Los cálculos se basan en la Figura 12, en este caso se toma en consideración que es $I^0=0$ y haciendo uso del sistema anterior se obtiene la ecuación 2.23.

$$\begin{cases} V_A^+ = E_a^+ - (Z_g^+ + Z_l)I_a^+ \\ V_A^- = E_a^- - (Z_g^- + Z_l)I_a^- \end{cases} \quad (2.33)$$

Las componentes del voltaje de fase en la carga son las descritas en la ecuación 2.34.

$$\begin{cases} V_A^0 = Z^- I_a^+ + Z^+ I_a^- \\ V_A^+ = Z^0 I_a^+ + Z^- I_a^- \\ V_A^- = Z^+ I_a^+ + Z^0 I_a^- \end{cases} \quad (2.34)$$

Después de combinar la ecuación 2.34 y la 2.33 se logra la ecuación 2.35.

$$\begin{cases} (Z_g^+ + Z_l + Z^0)I_a^+ + Z^- I_a^- = E_a^+ \\ Z^+ I_a^+ + (Z_g^- + Z_l + Z^0)I_a^- = E_a^- \end{cases} \quad (2.35)$$

En donde:

E_{a+} y E_{a-} es la tensión de generación en secuencia positiva y negativa
 Z_{g+} y Z_{g-} son las impedancias de generación en secuencia positiva y negativa.

Z_l es la impedancia de línea.

Z_+ , Z_- y Z_0 son las impedancias de carga en secuencias positiva, negativa y cero.

I_a+ I_a- y I_a0 son las corrientes en secuencia positiva, negativa y cero.

Resolviendo por componentes simétricas se determinan todas las corrientes y tensiones reales del sistema.

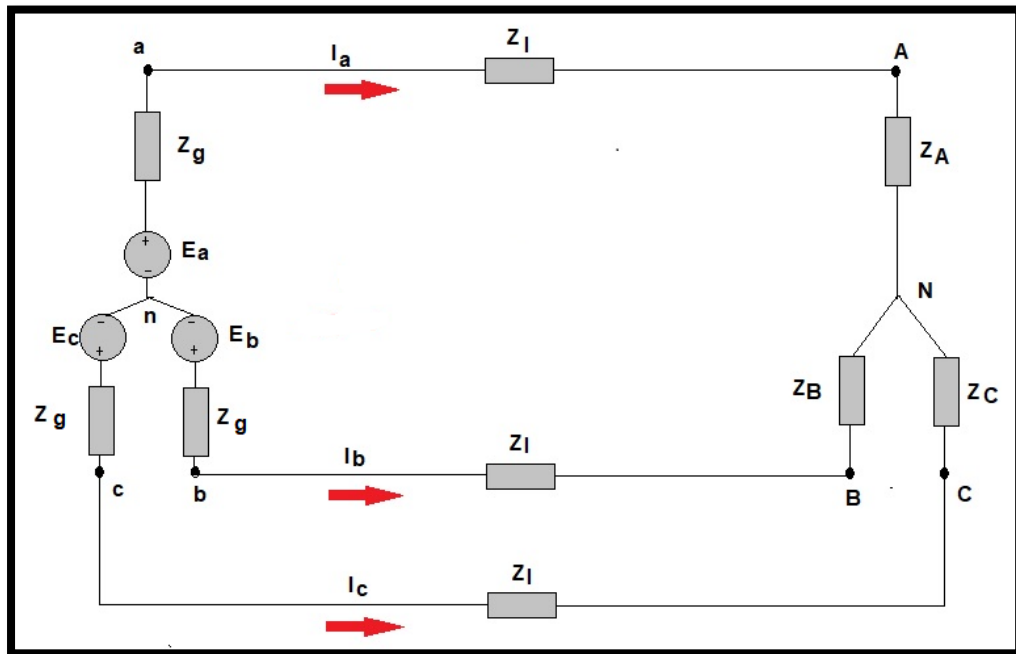


Figura 12. Conexión estrella-estrella sin neutro desequilibrado.
Fuente: Alberto Sares.

2.1.3.5.3. Estrella-Triangulo.

Los cálculos se basan en la Figura 13, análogamente a los casos anteriores se obtiene las ecuaciones 2.36 y 2.37.

$$\begin{cases} V_{AB} = Z_{AB} I_{AB} \\ V_{BC} = Z_{BC} I_{BC} \\ V_{CA} = Z_{CA} I_{CA} \end{cases} \quad (2.36)$$

$$\begin{bmatrix} Z^0 \\ Z^+ \\ Z^- \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_{AB} \\ Z_{BC} \\ Z_{CA} \end{bmatrix} \quad (2.37)$$

En donde la matriz de impedancias en secuencia positiva, negativa y cero, esta descrita por 2.38

$$\begin{bmatrix} Z^0 \\ Z^+ \\ Z^- \end{bmatrix} \quad (2.38)$$

La matriz de impedancias conectadas en triangulo definida por 2.39.

$$\begin{bmatrix} Z_{AB} \\ Z_{BC} \\ Z_{CA} \end{bmatrix} \quad (2.39)$$

La matriz de voltajes en secuencia conectada en triangulo definida por 2.40.

$$\begin{bmatrix} V_{AB}^0 \\ V_{AB}^+ \\ V_{AB}^- \end{bmatrix} \quad (2.40)$$

La matriz de corrientes en secuencia en las impedancias en triangulo está definida por:

$$\begin{bmatrix} I_{AB}^0 \\ I_{AB}^+ \\ I_{AB}^- \end{bmatrix} \quad (2.41)$$

Z_g^+ , Z_g^- , Z_g^0 son las impedancias de generación en secuencia positiva, negativa y cero.

Z_l es la impedancia de línea.

Las ecuaciones que relacionan las componentes simétricas del voltaje y de la corriente en la carga es la misma que en los anteriores casos, solo cambian los subíndices tal como se indica en 2.42.

$$\begin{bmatrix} V_{AB}^0 \\ V_{AB}^+ \\ V_{AB}^- \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z^0 & Z^- & Z^+ \\ Z^+ & Z^0 & Z^- \\ Z^- & Z^+ & Z^0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{AB}^0 \\ I_{AB}^+ \\ I_{AB}^- \end{bmatrix} \quad (2.42)$$

Y escrito mediante un sistema de ecuaciones representada por 2.43.

$$\begin{cases} 0 = Z^0 I_{AB}^0 + Z^- I_{AB}^+ + Z^+ I_{AB}^- \\ V_{AB}^+ = Z^+ I_{AB}^0 + Z^0 I_{AB}^+ + Z^- I_{AB}^- \\ V_{AB}^- = Z^- I_{AB}^0 + Z^+ I_{AB}^+ + Z^0 I_{AB}^- \end{cases} \quad (2.43)$$

En donde se puede observar que V_{AB}^0 es igual a 0, por otro lado, en la malla del circuito tenemos la ecuación 2.44.

$$\begin{cases} V_{AB}^+ = (1 - a^2)E_a^+ - 3(Z_g^+ + Z_l)I_{AB}^+ \\ V_{AB}^- = (1 - a)E_a^- - 3(Z_g^- + Z_l)I_{AB}^- \end{cases} \quad (2.44)$$

Sustituyendo estos resultados en la ecuación (2.39) se obtiene la ecuación 2.45

$$\begin{cases} Z^0 I_{AB}^0 + Z^- I_{AB}^+ + Z^+ I_{AB}^- = 0 \\ Z^+ I_{AB}^0 + (3Z_g^+ + 3Z_l + Z^0)I_{AB}^+ + Z^- I_{AB}^- = (1 - a^2)E_a^+ \\ Z^- I_{AB}^0 + (3Z_g^- + 3Z_l + Z^0)I_{AB}^- + Z^+ I_{AB}^+ = (1 - a)E_a^- \end{cases} \quad (2.45)$$

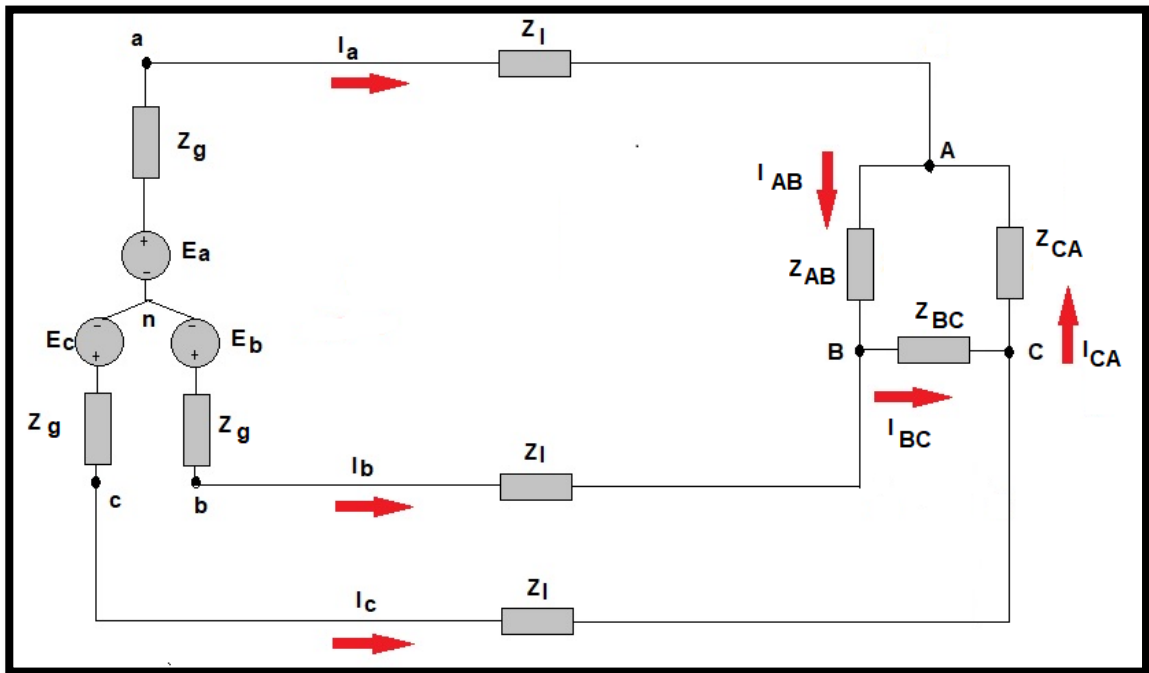


Figura 13. Conexión estrella-triángulo desequilibrado.
Fuente: Alberto Saes.

2.1.3.5.4. Triángulo-triángulo.

Los cálculos se basan en la Figura 14, debido a que la relación entre las componentes simétricas de tensión y corriente en la carga son iguales a lo que se revisó anteriormente.

$$\begin{cases} 0 = Z^0 I_{AB}^0 + Z^- I_{AB}^+ + Z^+ I_{AB}^- \\ V_{AB}^+ = Z^+ I_{AB}^0 + Z^0 I_{AB}^+ + Z^- I_{AB}^- \\ V_{AB}^- = Z^- I_{AB}^0 + Z^+ I_{AB}^+ + Z^0 I_{AB}^- \end{cases} \quad (2.46)$$

En donde

I_{AB}^+ , I_{AB}^- y I_{AB}^0 son las corrientes de secuencia en las impedancias de triángulo.

I_{gac} , I_{gba} y I_{gcb} son las corrientes de generación.

I_{gba}^+ , I_{gba}^- son las corrientes de secuencia de generación

Z^+ , Z^- y Z^0 son las impedancias de carga en secuencias positiva, negativa y cero.

Z_g^+ , Z_g^- , Z_g^0 son las impedancias de generación en secuencia positiva, negativa y cero.

Z_l es la impedancia de línea

Luego se tiene que revisar el circuito y obtenemos las siguientes ecuaciones de secuencia según ecuación 2.47.

$$\begin{cases} V_{AB}^+ = E_{ab}^+ - Z_g^+ I_{gba}^+ - Z_l (I_a^+ - I_b^+) \\ V_{AB}^- = E_{ab}^- - Z_g^- I_{gba}^- - Z_l (I_a^- - I_b^-) \end{cases} \quad (2.47)$$

Teniendo en cuentas las relaciones expresadas en 2.48.

$$I_a^+ - I_b^+ = 3I_{AB}^+ \quad I_a^- - I_b^- = 3I_{AB}^- \quad (2.48)$$

Además, en un sistema equilibrado Δ - Δ las corrientes del generador coinciden con las de la carga según 2.49.

$$I_{gba}^+ = I_{AB}^+ \quad I_{gba}^- = I_{AB}^- \quad (2.49)$$

Remplazando en la ecuación 2.44 se obtiene la ecuación 2.50.

$$\begin{cases} V_{AB}^+ = E_{ab}^+ - (Z_g^+ + 3Z_l)I_{AB}^+ \\ V_{AB}^- = E_{ab}^- - (Z_g^- + 3Z_l)I_{AB}^- \end{cases} \quad (2.50)$$

Combinando las dos ecuaciones tenemos la ecuaciones 2.51.

$$\begin{cases} Z^0 I_{AB}^0 + Z^- I_{AB}^+ + Z^+ I_{AB}^- = 0 \\ Z^+ I_{AB}^0 + (Z_g^+ + 3Z_l + Z^0)I_{AB}^+ + Z^- I_{AB}^- = E_{ab}^+ \\ Z^- I_{AB}^0 + (Z_g^- + 3Z_l + Z^0)I_{AB}^- + Z^+ I_{AB}^+ = E_{ab}^- \end{cases} \quad (2.51)$$

Cuando se resuelve se obtiene las corrientes simétricas y con este resultado el resto de variables, la corriente homopolar en el generador es: $I_g^0 = \frac{E_{ab}^0}{Z_g^0}$, las componentes de secuencia positiva y negativa de la corriente en el generador coinciden con las de la carga.

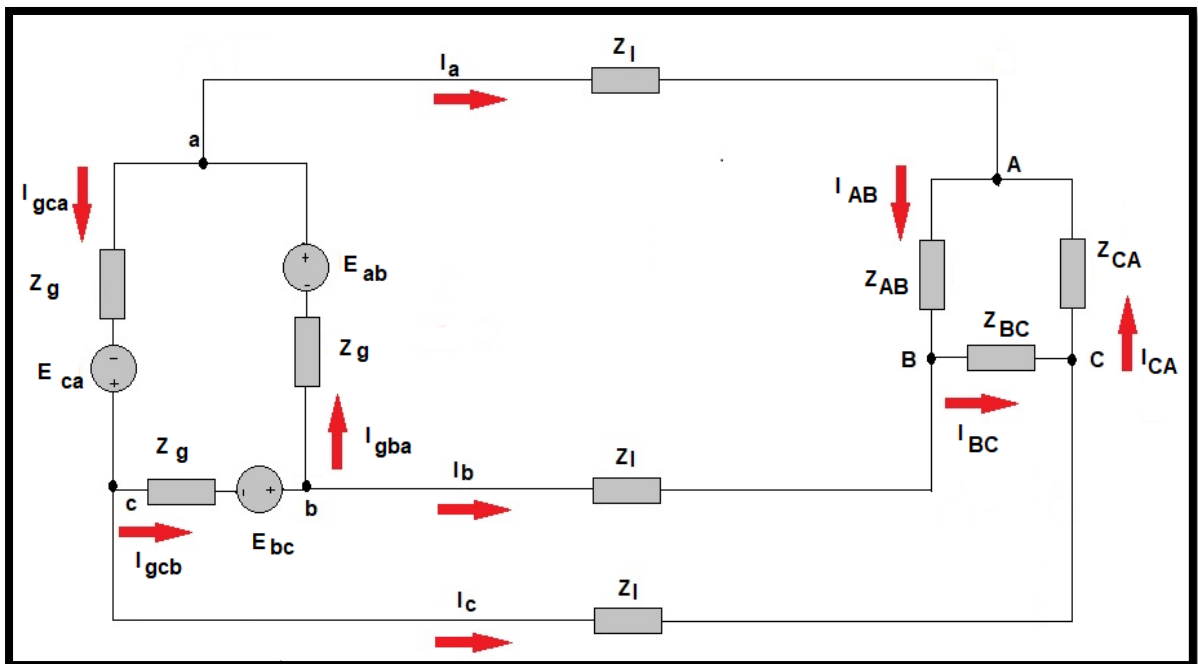


Figura 14. Conexión triángulo-triángulo desequilibrado.
Fuente: Alberto Sares.

2.1.3.5.5. Triangulo-Estrella.

Los cálculos se basan en la Figura 15, en este caso, debido a que no existe neutro, el sistema que relaciona las componentes de corrientes de carga con las componentes de tensiones de carga es la ecuación 2.52 del circuito estrella-estrella sin neutro pues $I^0=0$.

$$\begin{cases} V_A^+ = Z^0 I_a^+ + Z^- I_a^- \\ V_A^- = Z^+ I_a^+ + Z^0 I_a^- \end{cases} \quad (2.52)$$

Después de revisar el circuito se obtiene la ecuación 2.53

$$\begin{cases} V_{AB}^+ = E_{ab}^+ - Z_g^+ I_{gba}^+ - Z_l (I_a^+ - I_b^+) \\ V_{AB}^- = E_{ab}^- - Z_g^- I_{gba}^- - Z_l (I_a^- - I_b^-) \end{cases} \quad (2.53)$$

Se tiene, además la ecuación 2.54.

$$\begin{cases} V_{AB}^+ = (1 - a^2) V_A^+ \\ V_{AB}^- = (1 - a) V_A^- \end{cases} \quad (2.54)$$

Si se iguala la ecuación 2.49 y 2.50 se obtiene la ecuación 2.55.

$$\begin{cases} V_A^+ = \frac{E_{ab}^+}{1 - a^2} - \left(\frac{Z_g^+}{3} + Z_l \right) I_a^+ \\ V_A^- = \frac{E_{ab}^-}{1 - a} - \left(\frac{Z_g^-}{3} + Z_l \right) I_a^- \end{cases} \quad (2.55)$$

Esto equivale a transformar las componentes simétricas de las tensiones de triangulo a estrella, luego de igualar las ecuaciones se logra la ecuación 2.56.

$$\begin{cases} \left(\frac{Z_g^+}{3} + Z_l + Z^0 \right) I_a^+ + Z^- I_a^- = \frac{E_{ab}^+}{1 - a^2} \\ \left(\frac{Z_g^-}{3} + Z_l + Z^0 \right) I_a^- + Z^+ I_a^+ = \frac{E_{ab}^-}{1 - a} \end{cases} \quad (2.56)$$

Encontramos corrientes simétricas, los voltajes simétricos, etc. También se pueden encontrar las corrientes en el generador serían las indicadas en la ecuación 2.57.

$$I_{gba}^0 = \frac{E_{ab}^0}{Z_g^0} \quad I_{gba}^+ = \frac{I_a^+}{1 - a} \quad I_{gba}^- = \frac{I_a^-}{1 - a^2} \quad (2.57)$$

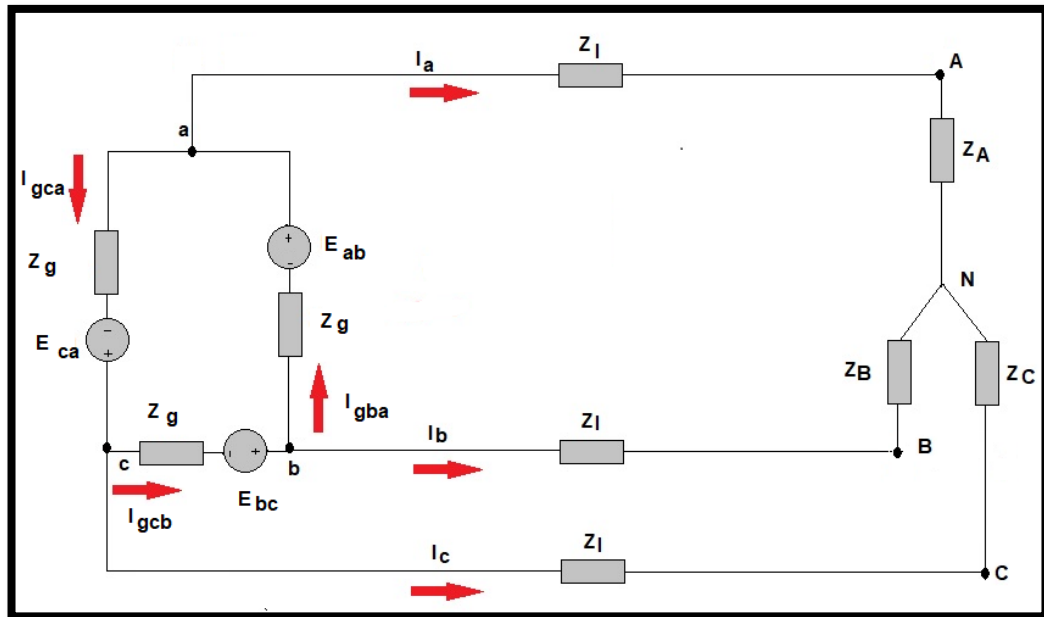


Figura 15. Conexión triángulo- estrella desequilibrada.
Fuente: Alberto Sares.

En el capítulo que concluye, se analizó la teoría de las componentes simétricas, su utilización para representar los circuitos trifásicos desbalanceados y la representación de voltajes, corrientes e impedancias. Se definió al operador “a” el cual ayuda a la mejor interpretación de matrices en la modelación de las componentes simétricas; adicional, se definió las nomenclaturas de las fórmulas utilizadas en cada una de las representaciones de los circuitos.

El modelamiento de cualquier tipo de circuitos trifásicos ya sean balanceados o desbalanceados puede ser realizado mediante la aplicación de las componentes simétricas. Para tal efecto, se ha utilizado el software Matlab creando una aplicación, en la cual se realizará el proceso matemático y presentará las repuestas en una interface amigable con el usuario, la descripción de este software se revisará en el siguiente capítulo.

CAPITULO 3. DESCRIPCION DEL SOFTWARE

3.1. Introducción

Para el desarrollo de este trabajo de investigación, se aplicó la teoría de las componentes simétricas mediante la programación matricial en Matlab. En este capítulo se describe la instalación, ejecución y manejo del software académico para la resolución de Componentes Simétricas en Sistemas Eléctricos de Potencia (**COMSIM**).

En el contenido de este capítulo, se explica a modo de tutorial la forma de funcionamiento y aplicación del programa COMSIM, el mismo que describe la solución de ejercicios académicos de componentes simétricas en sistemas eléctricos de potencia, así mismo graficas que representan los diagramas fasoriales y diagramas con respecto al tiempo, indicando así de forma detallada los resultados que se necesitan en la resolución de ejercicios académicos de SEP.

Antes del inicio de cálculo de componentes simétricas mediante el software basado en MATLAB, se tienen que tener en cuenta las variables a utilizar en este software, las mismas que son necesarias para el desarrollo del código.

3.2. Descripción del programa

El software desarrollado en este trabajo de tesis se ha denominado COMSIM (Software académico para la resolución de ejercicios de componentes simétricas en sistemas eléctricos de potencia), el mismo que fue elaborado en su totalidad bajo lenguaje de MATLAB (MATrix LABORatory) versión R2018b, el uso de este software como base de programación se debió a la gran cantidad de aplicativos internos de uso con la que cuenta que ayuda a procesar la información ingresada y requerida de manera más rápida así mismo la facilidad que presenta este lenguaje para el tratamiento de los datos en forma matricial.

El programa se lo divide en dos partes y 4 sub partes cada uno, para diferentes tipos de sistemas eléctricos:

- **Balanceado**
 - Estrella – Estrella
 - Estrella – Delta
 - Delta – Estrella
 - Delta – Delta

- **Desbalanceado**
- Estrella – Estrella
- Estrella – Delta
- Delta – Estrella
- Delta – Delta

3.3. Requerimientos de software y hardware

Para que el software COMSIM se ejecute de buena manera y tenga un buen desempeño se debe tener en cuenta los siguientes requerimientos de software y hardware:

Tabla 2
Requerimientos para el correcto funcionamiento del software.

Sistema Operativo	Procesador	Espacio en HDD	Memoria RAM	Tarjeta Grafica
Windows 7, 10	Minimo	Minimo	Minimo	Minimo
	Procesador Intel o AMD x86-64	3 GB de espacio en disco duro solo para MATLAB, 5-8 GB para una instalación típica	4GB	Sin tarjeta específica
	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado
	Cualquier procesador Intel o AMD x86-64 con cuatro núcleos lógicos y soporte de conjunto de instrucciones AVX2	Un SSD es recomendado Una instalación completa de todos MathWorks los productos pueden tomar hasta 23 GB de disco espacio	8GB	Se recomienda una tarjeta gráfica acelerada por hardware compatible con OpenGL 3.3 con una memoria GPU de 1 GB.
MacOS Catalina, Mojave, High Sierra	Minimo	Minimo	Minimo	Minimo
	Procesador Intel o AMD x86-64	3 GB de espacio en disco duro solo para MATLAB, 5-8 GB para una instalación típica	4GB	Sin tarjeta específica
	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado
	Cualquier procesador Intel o AMD x86-64 con cuatro núcleos lógicos y soporte de conjunto de instrucciones AVX2	Un SSD es recomendado Una instalación completa de todos MathWorks los productos pueden tomar hasta 23 GB de disco espacio	8GB	Se recomienda una tarjeta gráfica acelerada por hardware compatible con OpenGL 3.3 con una memoria GPU de 1 GB.

Fuente: Alberto Sares.

Cabe recalcar que se está tomando en cuenta los sistemas operativos más conocidos, pero puede ejecutarse sin ningún problema también en LINUX que cuente con las mismas especificaciones de Hardware que en el caso de MacOs y Windows. Los requerimientos se basan en los necesitados para que MATLAB se ejecute.

3.4. Instalación y Ejecución de COMSIM

El programa es un archivo ejecutable directo que no necesita de instalación pero que, si necesita tener previamente instalado MATLAB versión R2018b en adelante, la ejecución la puede realizar directamente desde el CD-ROM o copiar la carpeta del programa al HDD de su ordenador o laptop, dentro de la carpeta estarán los archivos que contienen los diferentes códigos fuente para la correcta ejecución del programa, así como el ejecutable principal (COMSIM.MLAPP).

Si se elimina un archivo que se encuentra dentro de la carpeta del programa este no se ejecutará de manera adecuada pudiendo presentar algún error, por lo que se tendría que copiar nuevamente desde el CD de instalación.

Luego de realizar la ejecución del programa COMSIM se presentará la pantalla principal, representada en la Figura 16.

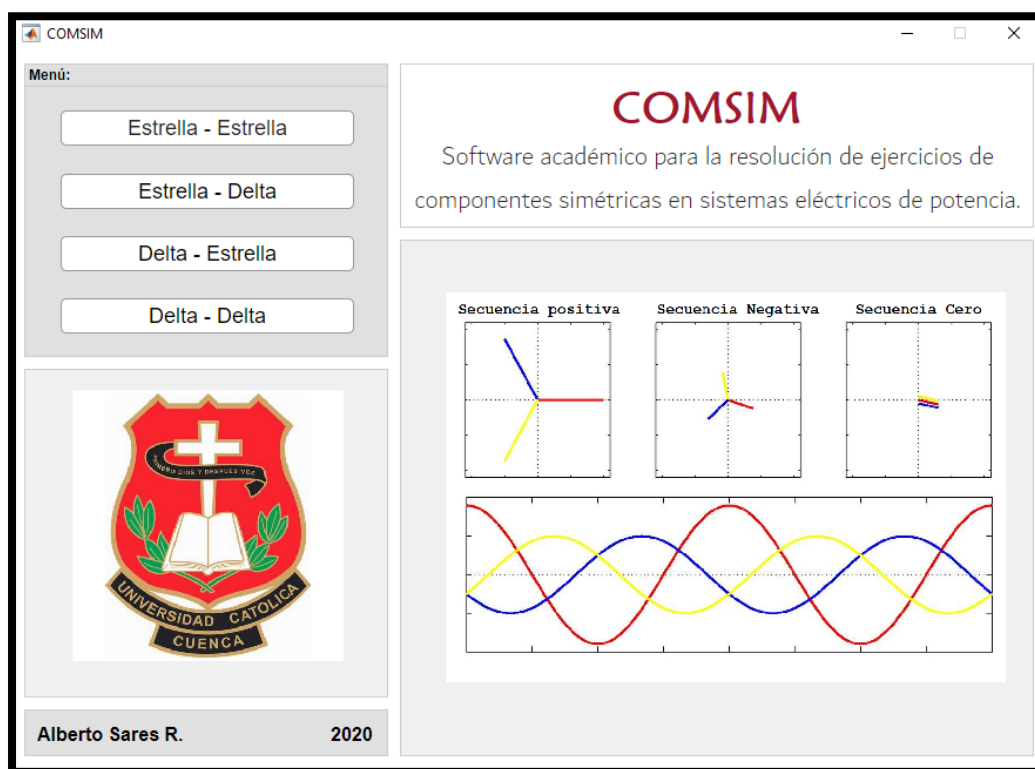


Figura 16. Ventana principal.
Fuente: Alberto Sares.

Como se puede observar en la pantalla principal en el lado izquierdo superior se tiene un menú que se divide en:

- Estrella – Estrella
- Estrella – Delta
- Delta – Estrella
- Delta – Delta

Adicional se tiene el nombre del programa, una imagen que hace referencia al mismo, el escudo de nuestra prestigiosa Universidad y el nombre del creador del software.

3.4.1. Acceso a botón estrella-estrella.

Dentro de este menú se encuentra la siguiente ventana representada en la Figura 17.

Estrella-Estrella

Menu Herramientas

Generación: (127,-120)

Ea [Volts]: 110, 0 [°]

Eb [Volts]: 110, -120 [°]

Ec [Volts]: 110, 120 [°]

Cargas:

Za [Ω]: 59.5+76j

Zb [Ω]: 39.5+26j

Zc [Ω]: 19.5+11j

Impedancias de Línea y Neutro:

ZL [Ω]: 0.4+3.2j

Zn [Ω]: 10

Calculos:

Linea de Neutro

Corrientes:

Ia [Amps]:

Ib [Amps]:

Ic [Amps]:

In [Amps]:

Impedancia Generadores:

Zga [Ω]: 0.1+0.8j

Zgb [Ω]: 0.1+0.8j

Zgc [Ω]: 0.1+0.8j

Graficación de Resultados:

Corriente de Fase

Figura 17. Ventana principal de la configuración Estrella-Estrella.
Fuente: Alberto Sares.

Dentro de esta ventana en la parte superior están las siguientes opciones:

- Menú
- Herramientas

Y al resto de las ventanas se denominarán:

- Ventana de ejecución del programa
- Ventanas de resultados
- Ventana de gráficos

3.4.1.1. Menú.

En esta opción se abrirán dos opciones que son:

Sistema: en donde se tiene las sub opciones (Ver Figura 18).

- Balanceado
- Desbalanceado

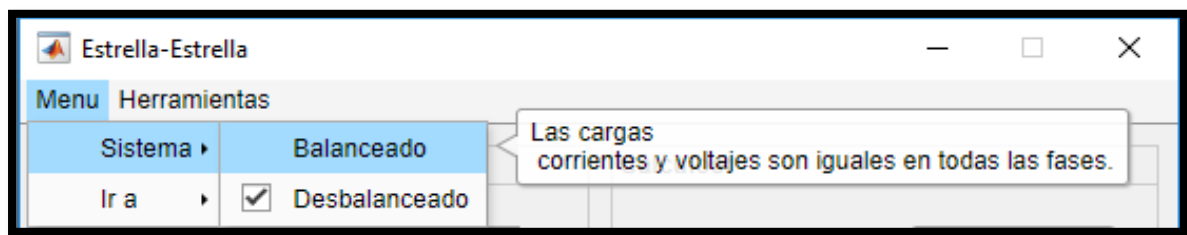


Figura 18. Opciones del botón menú.
Fuente: Alberto Sares.

En esta opción se puede escoger si el sistema es balanceado o desbalanceado, así mismo se colocó una guía para que el estudiante tenga la definición exacta de cada una de las opciones.

Ir a: Dentro están las sub opciones:

- Home
- Estrella-Estrella
- Estrella-Delta
- Delta-Estrella
- Delta-Delta

En esta opción se puede escoger la opción Home que redirige a la ventana principal; así mismo, se puede escoger los demás tipos de circuitos e inmediatamente se abrirá la ventana del circuito escogido, como se puede evidenciar en la Figura 19.



Figura 19. Opciones del botón Ir a.
Fuente: Alberto Sares.

3.4.1.2. Herramientas.

En esta opción se abrirán dos opciones, las cuales se pueden observar en la Figura 20.

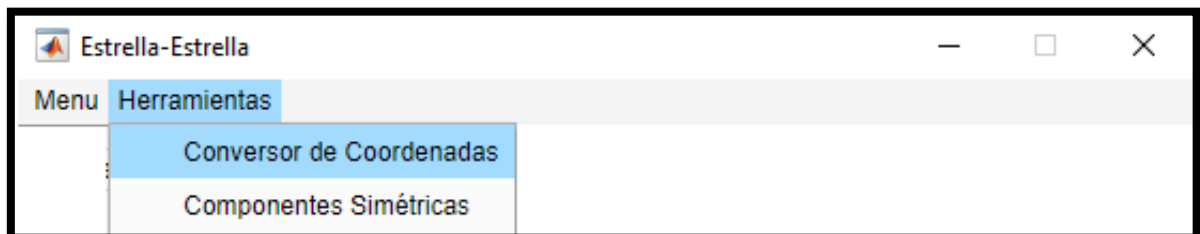


Figura 20. Opciones Herramientas.
Fuente: Alberto Sares.

3.4.1.2.1. Convertor de coordenadas.

Se puede realizar la conversión de coordenadas polares a cartesianas y de coordenadas cartesianas a polares. En el caso de conversión de polares a cartesianas se completan los campos magnitud y fase con un campo de resultados llamado cartesiano que da la respuesta después de presionar el botón de convertir, permitiendo hasta 3 decimales como se observa en la Figura 21.



Figura 21. Convertor de coordenadas polares a Cartesianas.
Fuente: Alberto Sares.

Para el caso de conversión de cartesianas a polares se tiene los campos a llenar que son reales e imaginarios con un campo de resultados llamado polar que da la respuesta después de presionar el botón de convertir, permitiendo hasta 3 decimales.

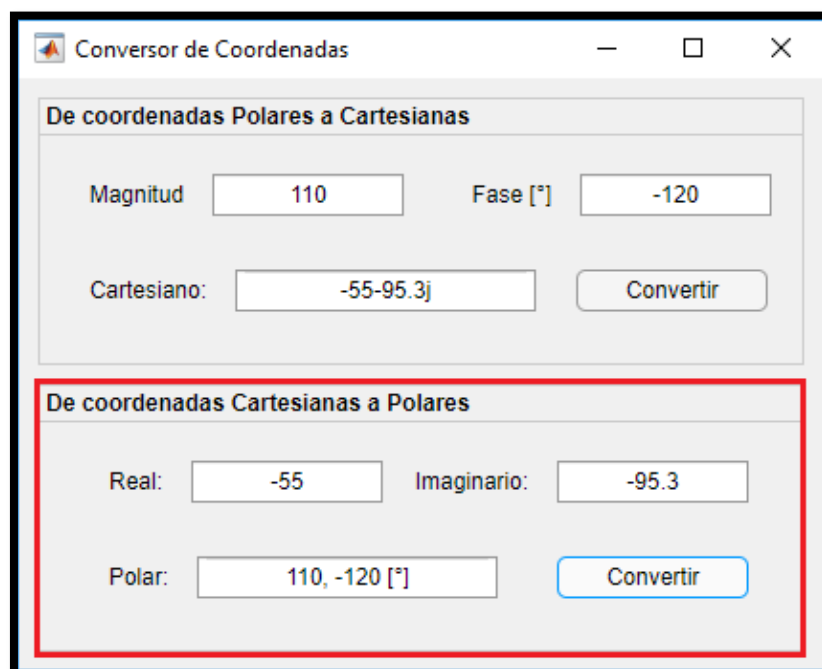


Figura 22. Convertor de coordenadas Cartesianas a polares.
Fuente: Alberto Sares.

3.4.1.2.2. Simétricas.

En esta ventana se puede realizar cálculos de componentes simétricas en voltaje y corriente de un sistema trifásico de manera simple contando con valores de inicio que pueden ser V_a , V_b y V_c o I_a , I_b e I_c .

Para realizar los cálculos de voltajes simétricos se activa el **check** en voltaje, se coloca los fasores correspondientes en V_a , V_b y V_c ; luego se presiona el botón **Convertir** para obtener las componentes simétricas. Así mismo, se puede borrar los datos en fasores y colocar valores en Componentes simétricas en los campos V_{a0} , V_{a+} y V_{a-} , con esto se obtienen los voltajes en V_a , V_b y V_c (Ver Figura 23).

The screenshot shows a software window titled "Simétricas" with three main sections:

- Cálculos:** Contains two radio buttons: "Voltaje" (selected) and "Corriente". To the right are two buttons: "Convertir" and "Graficar".
- Fasores:** Contains three input fields for phasors:
 - Va [Volts]: 180, 0 [°]
 - Vb [Volts]: 100, -120 [°]
 - Vc [Volts]: 110, 120 [°]
- Componentes Simétricas:** Contains three input fields for symmetrical components:
 - Va0 [Volts]: 25.2, 6.59 [°]
 - Va+ [Volts]: 130, 0 [°]
 - Va- [Volts]: 25.2, -6.59 [°]

Figura 23. Ventana de herramienta simétrica
Fuente: Alberto Sares.

Para realizar los cálculos de corrientes simétricas se presiona el **check** en corriente, colocar los fasores correspondientes en I_a , I_b e I_c ; luego presionar el botón **Convertir** y se obtienen las componentes simétricas. Así mismo, se pueden borrar los datos en fasores y

colocar valores en componentes simétricas en los campos I_{a0} , I_{a+} e I_{a-} con esto obtendremos las corrientes en I_a , I_b e I_c (Ver Figura 24).

The image shows a software window titled "Simétricas" with a standard Windows interface (minimize, maximize, close buttons). The window is divided into three main sections:

- Cálculos:** Contains two radio buttons: "Voltaje" (unselected) and "Corriente" (selected and highlighted with a red box). To the right are two buttons: "Convertir" and "Graficar".
- Fasores:** Contains three input fields for phasor values:
 - I_a [Amps]: 180, 0 [°]
 - I_b [Amps]: 100, -110 [°]
 - I_c [Amps]: 120, 120 [°]
- Componentes Simétricas:** This section is highlighted with a red border and contains three input fields for symmetrical components:
 - I_{a0} [Amps]: 28.8, 6.62 [°]
 - I_{a+} [Amps]: 133, 2.5 [°]
 - I_{a-} [Amps]: 20.7, -26.1 [°]

Figura 24. Ventana de herramientas simétricas opción corriente
Fuente: Alberto Saes.

Adicional a los cálculos ya generados, se puede obtener las gráficas del diagrama fasorial y el diagrama en el tiempo presionando el botón **graficar**, ya sea en el caso de cálculos en voltaje como en corriente, como se observa en la Figura 25.

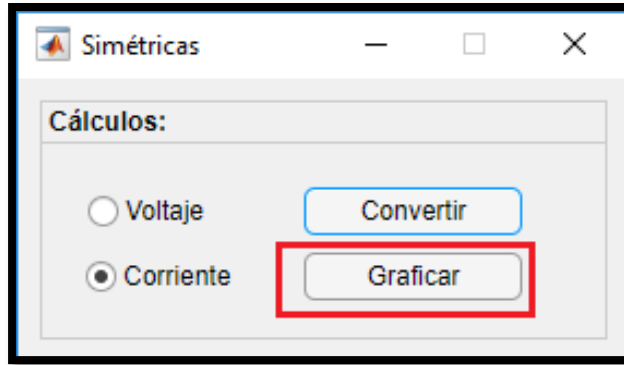


Figura 25. Ventana de herramientas simétricas opción Graficar.
Fuente: Alberto Sares.

NOTA: El ingreso de datos van separados con “,” en el caso de valores polares ej. (127,-120) que equivalen a 127 a un ángulo de -120 grados. Mientras que en los valores cartesianos se ingresan con la “j” en el valor imaginario ej. (60+76j) que equivalen a 60 reales más 76 imaginarios.

3.4.1.3. Ventana de ejecución del programa.

En la ventana de ejecución se encuentran los campos de:

- Generación
- Cargas
- Impedancias de línea y neutro
- Corrientes
- Impedancias de generador
- Cálculos
- Graficar resultados

3.4.1.3.1. Generación.

En este apartado se coloca la tensión de los generadores en ***Ea***, ***Eb*** y ***Ec*** en voltios y coordenadas polares, como se evidencia en la Figura 26.

Generación: (127,-120)

Ea [Volts]:

Eb [Volts]:

Ec [Volts]:

Figura 26. Apartado de generación.
Fuente: Alberto Sares.

3.4.1.3.2. Cargas.

En este apartado se coloca las cargas del circuito **Za**, **Zb** y **Zc** en ohmios y coordenadas cartesianas, como se puede observar en la Figura 27.

Cargas:

Za [Ω]:

Zb [Ω]:

Zc [Ω]:

Figura 27. Apartado de cargas.
Fuente: Alberto Sares.

3.4.1.3.3. Impedancias de línea y neutro.

En este apartado se colocará las Impedancias de Línea y de Neutro, **ZL** y **Zn** respectivamente; en ohmios y coordenadas cartesianas como se observa en la Figura 28.

Impedancias de Línea y Neutro:

ZL [Ω]:

Zn [Ω]:

Figura 28. Apartado de impedancias de línea y neutro.
Fuente: Alberto Sares

Nota: La opción de neutro se habilita siempre y cuando se active la casilla “Línea de Neutro”.

3.4.1.3.4. Corrientes.

En este apartado se colocará las corrientes ***la***, ***lb***, ***lc***, ***ln*** en amperios y coordenadas polares, como se puede observar en la Figura 29.

Corrientes:

la [Amps]:

lb [Amps]:

lc [Amps]:

ln [Amps]:

Figura 29. Apartado de corrientes.
Fuente: Alberto Sares.

Nota: La opción de neutro se habilita siempre y cuando se active la casilla “Línea de Neutro”.

3.4.1.3.5. Impedancia de generador.

En este apartado se coloca las cargas del circuito ***Zga***, ***Zgb*** y ***Zgc*** en ohmios y coordenadas Cartesianas, como se evidencia en la Figura 30.

Impedancia Generadores:

Zga [Ω]:

Zgb [Ω]:

Zgc [Ω]:

Figura 30. Apartado de impedancias de generador.
Fuente: **Alerto Sares.**

3.4.1.3.6. Calcular.

En esta opción se puede habilitar la línea de neutro para el ingreso de datos si es que el ejercicio es con neutro, o deshabilitarla si es sin neutro; además, se cuenta con un botón para obtener los resultados llamado **“Calcular”** como se observa en la Figura 31.

Calculos:

Linea de Neutro

Figura 31. Apartado de cálculos.
Fuente: **Alberto Sares.**

3.4.1.3.7. Graficar resultado.

En este apartado se puede escoger el tipo de respuesta gráfica, estas pueden ser: Corrientes de fase, Voltajes línea neutro, Voltajes de fase y Voltajes de línea. Luego de seleccionar la opción requerida se marca el botón **“Mostrar”** para ver con más detalle los resultados gráficos (Ver Figura 32).

Graficación de Resultados:

Figura 32. Apartado graficar resultados.
Fuente: **Alberto Sares.**

3.4.1.4. Ventana de resultados.

Después de colocar los datos y presionar el botón de “**Calcular**” se apertura una nueva ventana que muestra los resultados del ejercicio planteado (Ver Figura 33).

Tabla de Resultados

Componentes Simétricas:

	E_a	I_a	V_a	V_{ab}	Z	Z_g
0	0, 0 [°]	0.585, 124 [°]	18, -48.3 [°]	0, 0 [°]	54.6, 43.6 [°]	0.806, 82.9 [°]
+	110, -0 [°]	2.42, -37.7 [°]	105, -3.04 [°]	181, 27 [°]	25.6, 77.2 [°]	0, 0 [°]
-	0, 0 [°]	0.975, -177 [°]	3.15, 86.1 [°]	5.45, 56.1 [°]	19.6, 43.1 [°]	0, 0 [°]

Fasores:

	E_g	I	Z	V_f
A	110, 0 [°]	1.22, -59.7 [°]	96.5, 51.9 [°]	118, -7.73 [°]
B	110, -120 [°]	2.39, -148 [°]	47.3, 33.4 [°]	113, -115 [°]
C	110, 120 [°]	3.78, 83.4 [°]	22.4, 29.4 [°]	84.7, 113 [°]

Voltajes y Corrientes de Línea:

	I_L	V_L
AB	1.22, -59.7 [°]	186, 27.8 [°]
BC	2.39, -148 [°]	181, -94.8 [°]
CA	3.78, 83.4 [°]	177, 148 [°]

Corriente de Neutro: $I_n = 1.75, 124 [°]$ [Amps]

Figura 33. Ventana de resultados.

Fuente: Alberto Sares.

En la ventana se muestra:

- Resultados de componentes simétricas.
- Resultados de fasores.
- Resultados de voltajes y corrientes de línea.
- Resultados de corriente de Neutro (Cuando aplique).

3.4.1.4.1. Resultados de componentes simétricas.

En la tabla de resultados se encuentran las respuestas en componentes simétricas de E_a , I_a , V_a , V_{ab} , Z y Z_g . Todas las respuestas están dadas en fasores y expresadas de tal

manera que las respuestas se puedan interpretar conforme la teoría estudiada, como se observa en la Figura 34.

Componentes Simétricas:						
	Ea	Ia	Va	Vab	Z	Zg
0	0, 0 [°]	0.585, 124 [°]	18, -48.3 [°]	0, 0 [°]	54.6, 43.6 [°]	0.806, 82.9 [°]
+	110, -0 [°]	2.42, -37.7 [°]	105, -3.04 [°]	181, 27 [°]	25.6, 77.2 [°]	0, 0 [°]
-	0, 0 [°]	0.975, -177 [°]	3.15, 86.1 [°]	5.45, 56.1 [°]	19.6, 43.1 [°]	0, 0 [°]

Figura 34. Apartado de resultados de componentes simétricas.
Fuente: Alberto Sares.

3.4.1.4.2. Resultados de fasores.

En la Figura 35 de resultados se encuentran las respuestas de **Eg, I, Z, Vf** en **A, B y C**. Todas las respuestas están dadas en fasores y expresadas de tal manera que las respuestas se puedan interpretar de buena manera.

Fasores:				
	Eg	I	Z	Vf
A	110, 0 [°]	1.22, -59.7 [°]	96.5, 51.9 [°]	118, -7.73 [°]
B	110, -120 [°]	2.39, -148 [°]	47.3, 33.4 [°]	113, -115 [°]
C	110, 120 [°]	3.78, 83.4 [°]	22.4, 29.4 [°]	84.7, 113 [°]

Figura 35. Apartado de resultados de fasores.
Fuente: Alberto Sares.

3.4.1.4.3. Resultados de voltajes y corrientes de línea.

En la tabla de resultados se encuentran las respuestas de **IL** y **VL** en **AB, BC y CA**. Todas las respuestas están dadas en fasores y expresadas de tal manera que las respuestas se puedan interpretar de buena manera, así lo ejemplifica la Figura 36.

Voltajes y Corrientes de Línea:		
	IL	VL
AB	1.22, -59.7 [°]	186, 27.8 [°]
BC	2.39, -148 [°]	181, -94.8 [°]
CA	3.78, 83.4 [°]	177, 148 [°]

Figura 36. Apartado de resultados de voltajes y corrientes de línea.
Fuente: Alberto Sares.

3.4.1.4.4. Resultados de corriente de neutro.

Esta respuesta solo se muestra si se activa la casilla de “**línea de neutro**” esta activada, esto se usa en algunos ejercicios académicos.

Corriente de Neutro: $I_n = 1.75, 124 [^\circ]$ [Amps]

Figura 37. Apartado de resultados de corriente de neutro.
Fuente: Alberto Sares.

3.4.1.5. Ventana de gráficos.

Las respuestas graficas se obtiene después de haber escogido la opción deseada en el menú que se describió anteriormente, y después de dar click en la opción “**Mostrar**” como se observa en la Figura 38.

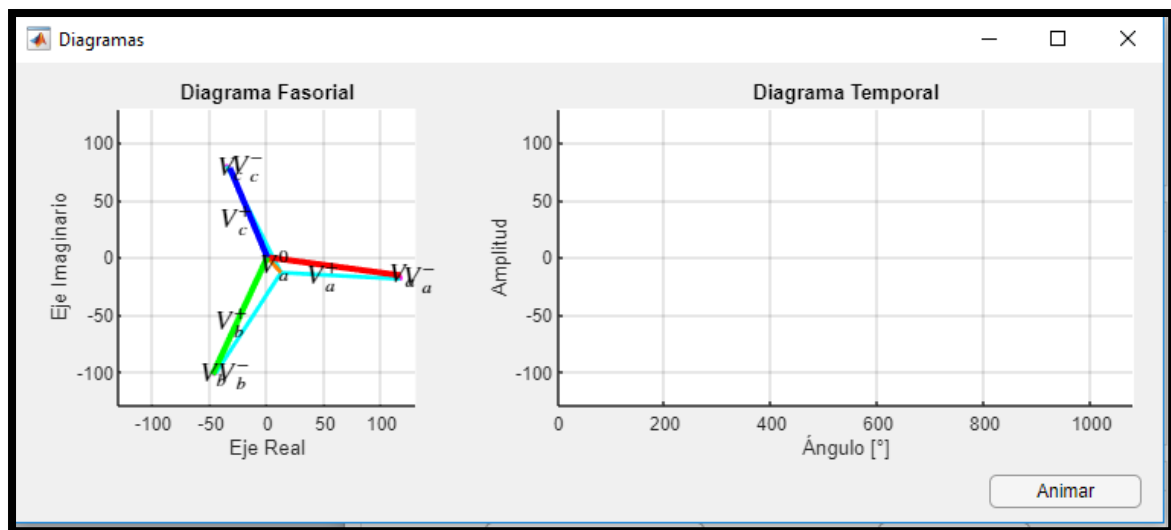


Figura 38. Ventana de resultados gráficos.
Fuente: Alberto Sares.

En la ventana inicial se encuentra:

- Gráfica de diagrama fasorial
- Gráfica de diagrama temporal

3.4.1.5.1. Gráfica de diagrama fasorial.

En la gráfica se puede determinar las componentes simétricas en secuencia positiva, secuencia negativa y secuencia cero mediante un diagrama fasorial, como lo ejemplifica la Figura 39.

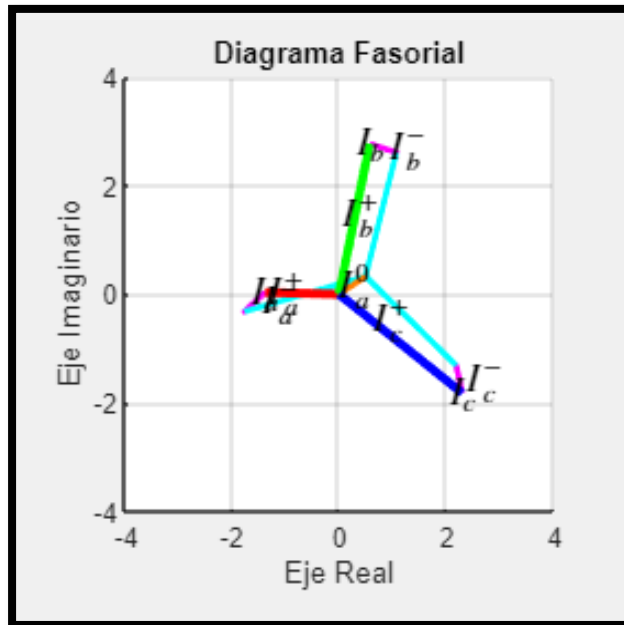


Figura 39. Apartado ventana de resultado fasorial.
Fuente: Alberto Sares.

3.4.1.5.2. Gráfica de diagrama temporal.

En la gráfica se puede determinar el comportamiento de la amplitud y el ángulo del resultado en el dominio del tiempo (Ver Figura 40).

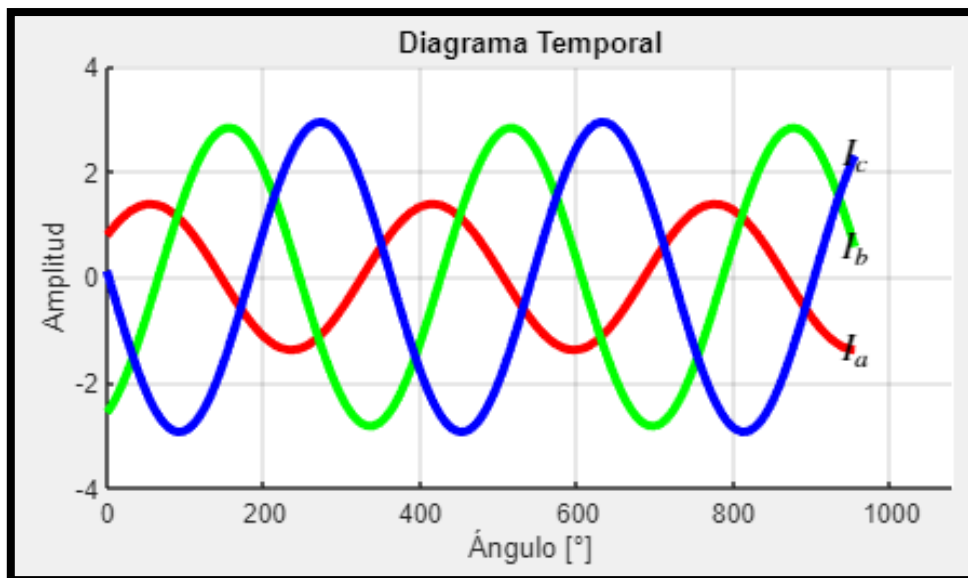


Figura 40. Apartado ventana de resultado de diagrama temporal.
Fuente: Alberto Sares.

En la ventana gráfica también se puede activar la animación de las gráficas presionando el botón **“Animar”** la función dará otra perspectiva del comportamiento de los vectores y de las curvas que representan los resultados de los ejercicios propuestos, esta animación

también puede detenerse en cualquier momento con el botón “Detener” que se encuentra en la ventana.

3.4.2. Acceso al botón estrella-delta.

Dentro de este menú se encuentra la siguiente ventana representada en la Figura 41.

- Ventana de ejecución del programa
- Ventanas de resultados
- Ventana de gráficos

The screenshot shows a software window titled "Estrella-Delta" with a menu bar containing "Menu" and "Herramientas". The window is divided into several sections for configuring and calculating a star-delta circuit:

- Generación:** Three input fields for phase voltages: Ea [Volts]: 110, 0 [°]; Eb [Volts]: 110, -120 [°]; Ec [Volts]: 110, 120 [°].
- Cargas:** Three input fields for line impedances: Zab [Ω]: 59.5+76j; Zbc [Ω]: 39.5+26j; Zca [Ω]: 19.5+11j.
- Impedancias de Línea:** One input field for line impedance: ZL [Ω]: 0.4+3.2j.
- Calculos:** A "Calcular" button.
- Corrientes:** Three input fields for phase currents: Ia [Amps]: 7.97, -62.3 [°]; Ib [Amps]: 4.53, -155 [°]; Ic [Amps]: 8.99, 87.5 [°].
- Impedancias de los Generadores:** Three input fields for generator impedances: Zga [Ω]: 0.1+0.8j; Zgb [Ω]: 0.1+0.8j; Zgc [Ω]: 0.1+0.8j.
- Graficación de Resultados:** A dropdown menu set to "Corriente de Fase" and a "Mostrar" button.

Figura 41. Ventana principal de la configuración Estrella-Delta.
Fuente: Alberto Sares.

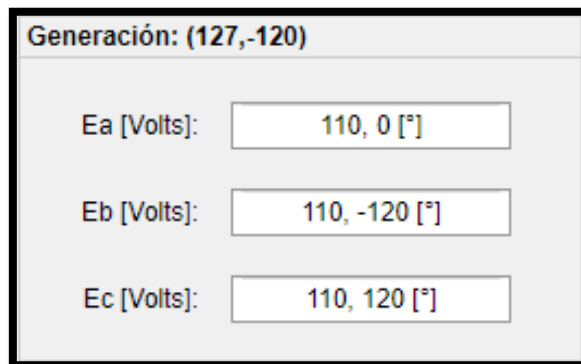
3.4.2.1. Ventana de ejecución del programa.

En la ventana de ejecución se encuentran los campos de:

- Generación
- Cargas
- Impedancias de línea y neutro
- Corrientes
- Impedancias de generador
- Cálculos
- Gráfica de resultados

3.4.2.1.1. Generación.

En este apartado se coloca la tensión de los generadores en **Ea**, **Eb** y **Ec** en voltios y coordenadas polares (Ver Figura 42).

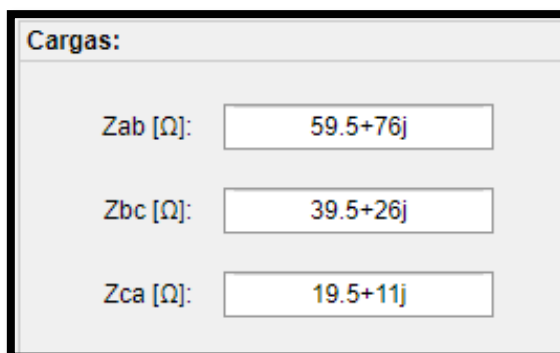


Generación: (127,-120)	
Ea [Volts]:	110, 0 [°]
Eb [Volts]:	110, -120 [°]
Ec [Volts]:	110, 120 [°]

Figura 42. Apartado de generación.
Fuente: Alberto Sares.

3.4.2.1.2. Cargas.

En este apartado se coloca las cargas del circuito **Zab**, **Zbc** y **Zca** en Ohmios y coordenadas Cartesianas, como se observa en la Figura 43.

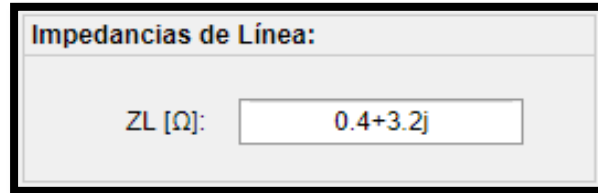


Cargas:	
Zab [Ω]:	59.5+76j
Zbc [Ω]:	39.5+26j
Zca [Ω]:	19.5+11j

Figura 43. Apartado de cargas.
Fuente: Alberto Sares.

3.4.2.1.3. Impedancias de Línea.

En este apartado se colocará las Impedancias de Línea Z_L en ohmios y coordenadas cartesianas como se observa en la Figura 44.



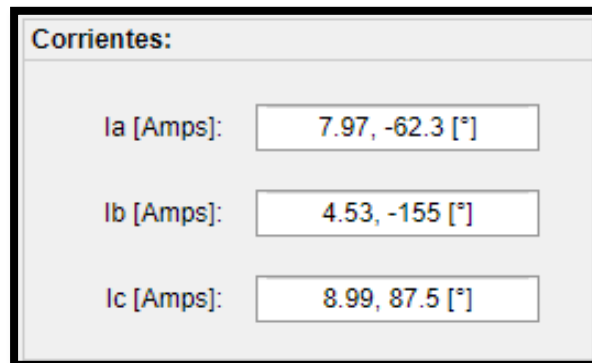
Impedancias de Línea:

ZL [Ω]:

Figura 44. Apartado de Impedancias de línea.
Fuente: Alberto Sares.

3.4.2.1.4. Corrientes.

En este apartado se colocará las corrientes I_a , I_b e I_c en Amperios y coordenadas polares, como se ejemplifica en la Figura 45.



Corrientes:

I_a [Amps]:

I_b [Amps]:

I_c [Amps]:

Figura 45. Apartado de Corrientes.
Fuente: Alberto Sares.

3.4.2.1.5. Impedancia de generador.

En este apartado se coloca las cargas del circuito Z_{ga} , Z_{gb} y Z_{gc} en ohmios y coordenadas Cartesianas, como se observa en la Figura 46.

Impedancia Generadores:

Zga [Ω]:

Zgb [Ω]:

Zgc [Ω]:

Figura 46. Apartado de impedancia de generador.
Fuente: Alberto Sares.

3.4.2.1.6. Calcular.

Presionando este botón (Ver Figura 47) se obtiene los resultados del ejercicio planteado.

Calculos:

Figura 47. Apartado de calcular.
Fuente: Alberto Sares.

3.4.2.1.7. Gráfica de resultados.

En este apartado, se puede escoger el tipo de respuesta grafica que se necesita, estas pueden ser corrientes de fase, voltajes línea neutro, voltajes de fase y voltajes de línea. Luego de escoger la opción, se presiona el botón **“Mostrar”**, esto permite ver con más detalles los resultados gráficos que se generan en esta opción (Ver Figura 47).

Graficación de Resultados:

▼

Figura 47. Apartado de gráfica de resultados.
Fuente: Alberto Sares.

3.4.2.2. Ventana de resultados.

Después de colocar los datos y presionar el botón de **“Calcular”** se apertura una nueva ventana que muestra los resultados que dependiendo del ejercicio se necesitan. (Ver Figura 48).

Tabla de Resultados						
Componentes Simétricas:						
	Ea	Ia	Vab	Iab	Z	Zg
0	0, 0 [°]	0, 0 [°]	0, 0 [°]	1.47, 138 [°]	54.6, 43.6 [°]	0.806, 82.9 [°]
+	110, -0 [°]	6.95, -44 [°]	162, 21.4 [°]	4.01, -14 [°]	25.6, 77.2 [°]	0, 0 [°]
-	0, 0 [°]	2.58, -120 [°]	14.4, 113 [°]	1.49, -150 [°]	19.6, 43.1 [°]	0, 0 [°]
Fasores:						
	Eg	I	Z			
A	110, 0 [°]	7.97, -62.3 [°]	96.5, 51.9 [°]			
B	110, -120 [°]	4.53, -155 [°]	47.3, 33.4 [°]			
C	110, 120 [°]	8.99, 87.5 [°]	22.4, 29.4 [°]			
Voltajes y Corrientes de Línea:						
	IL	VL				
AB	7.97, -62.3 [°]	162, 26.4 [°]				
BC	4.53, -155 [°]	175, -101 [°]				
CA	8.99, 87.5 [°]	150, 138 [°]				

Figura 48. Ventana de resultados.
Fuente: Alberto Sares.

En la ventana se puede encontrar:

- Resultados de componentes simétricas.
- Resultados de fasores.
- Resultados de voltajes y corrientes de línea.

3.4.2.2.1. Resultados de componentes simétricas.

En la tabla de resultados se encuentran las respuestas en componentes simétricas de **Ea**, **Ia**, **Vab**, **Iab**, **Z** y **Zg**. Todas las respuestas están dadas en fasores y expresadas de tal manera que las respuestas se puedan interpretar correctamente como se observa en la Figura 49.

Componentes Simétricas:						
	Ea	Ia	Vab	Iab	Z	Zg
0	0, 0 [°]	0, 0 [°]	0, 0 [°]	1.47, 138 [°]	54.6, 43.6 [°]	0.806, 82.9 [°]
+	110, -0 [°]	6.95, -44 [°]	162, 21.4 [°]	4.01, -14 [°]	25.6, 77.2 [°]	0, 0 [°]
-	0, 0 [°]	2.58, -120 [°]	14.4, 113 [°]	1.49, -150 [°]	19.6, 43.1 [°]	0, 0 [°]

Figura 49. Apartado de resultados de componentes simétricas.
Fuente: Alberto Sares.

3.4.2.2.2. Resultados de fasores.

En la tabla de resultados se encuentran las respuestas de **Eg, I y Z en A, B y C**. Todas las respuestas están dadas en fasores y expresadas de tal manera que las respuestas se puedan interpretar de buena forma (Ver Figura 50).

Fasores:			
	Eg	I	Z
A	110, 0 [°]	7.97, -62.3 [°]	96.5, 51.9 [°]
B	110, -120 [°]	4.53, -155 [°]	47.3, 33.4 [°]
C	110, 120 [°]	8.99, 87.5 [°]	22.4, 29.4 [°]

Figura 50. Apartado de resultados de fasores.
Fuente: Alberto Sares.

3.4.2.2.3. Resultados de voltajes y corrientes de línea.

En la tabla de resultados se encuentran las respuestas de **IL y VL en AB, BC y CA**. Todas las respuestas están dadas en fasores y expresadas de tal manera, que las respuestas se puedan interpretar de forma correcta (Ver Figura 51).

Voltajes y Corrientes de Línea:		
	IL	VL
AB	7.97, -62.3 [°]	162, 26.4 [°]
BC	4.53, -155 [°]	175, -101 [°]
CA	8.99, 87.5 [°]	150, 138 [°]

Figura 51. Apartado de resultados de voltajes y corrientes de línea.
Fuente: Alberto Sares.

3.4.2.3. Ventana de gráfica.

Las respuestas graficas se obtienen después de haber escogido la opción deseada en el menú que se describió anteriormente, y después de dar click en la opción **“Mostrar”** (Ver Figura 52).

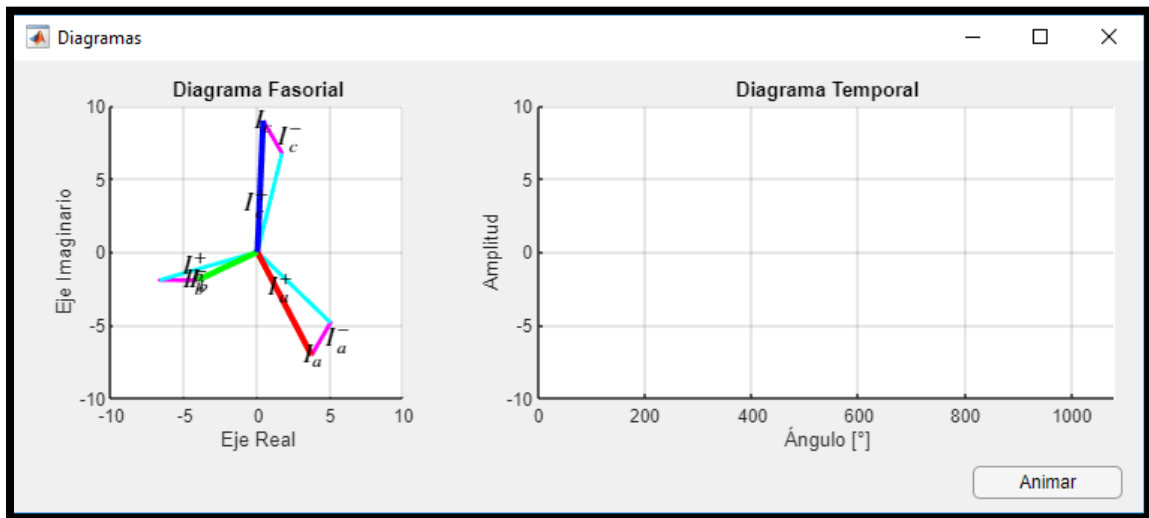


Figura 52. Ventana de gráfica.
Fuente: Alberto Sares.

En la ventana inicial encontramos:

- Grafica de diagrama fasorial
- Grafica de diagrama temporal

3.4.2.3.1. Grafica de diagrama fasorial.

En la gráfica se puede determinar las componentes simétricas en secuencia positiva, secuencia negativa y secuencia cero mediante un diagrama fasorial (Ver Figura 53).

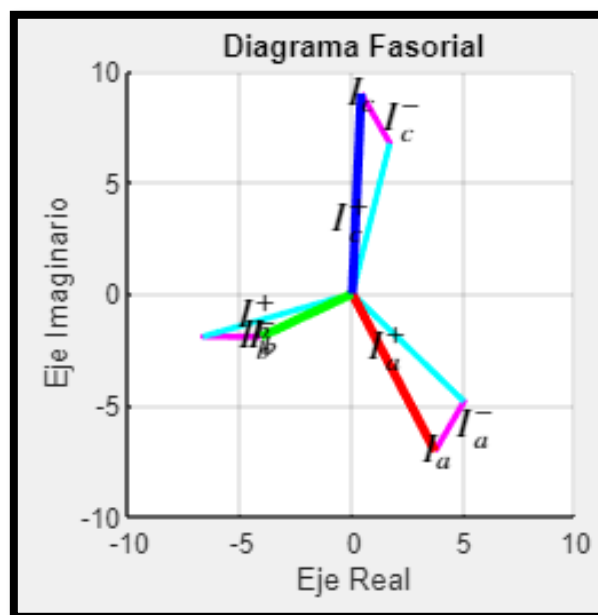


Figura 53. Apartado de gráfica fasorial.
Fuente: Alberto Sares.

3.4.2.3.2. Gráfica de diagrama temporal.

En la gráfica se puede determinar el comportamiento de la amplitud y el ángulo del resultado en el dominio del tiempo (Ver Figura 54).

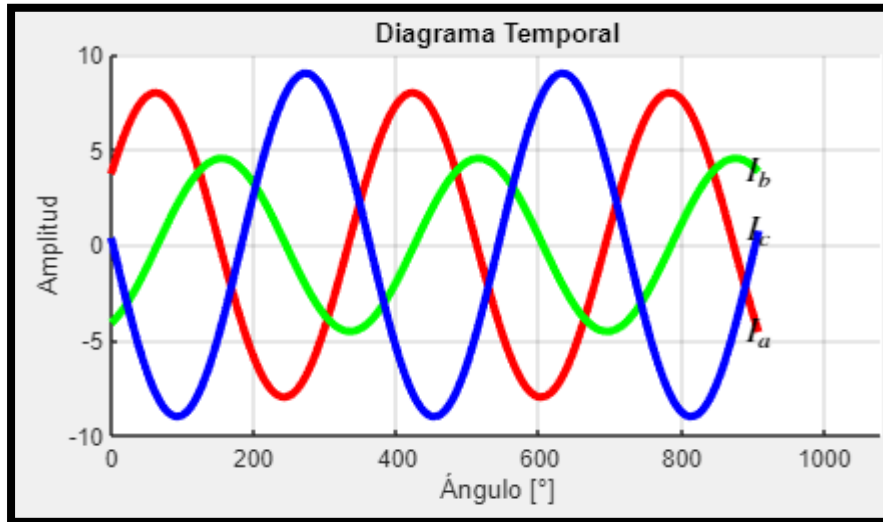


Figura 54. Apartado de gráfica de diagrama temporal.
Fuente: Alberto Sares.

En la ventana grafica también se puede activar la animación de las gráficas presionando el botón "**Animar**", la función dará otra perspectiva del comportamiento de los vectores y de las curvas que representan los resultados de los ejercicios propuestos, esta animación también puede detenerse en cualquier momento con el botón "**Detener**" que se encuentra en la ventana.

3.4.3. Acceso a botón delta-estrella.

Dentro de este menú se encuentra la siguiente ventana (Ver Figura 55):

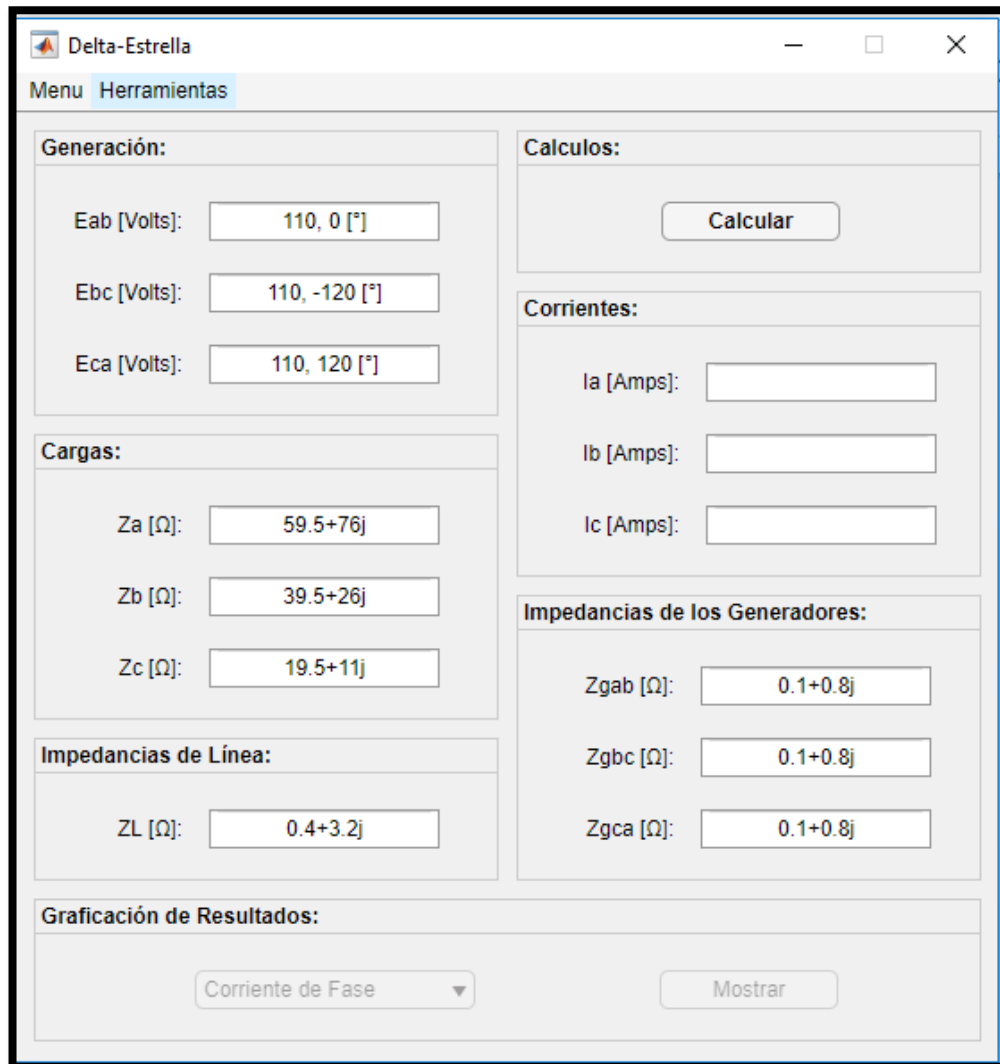


Figura 55. Ventana de conexión delta-estrella.
Fuente: Alberto Sares.

- Ventana de ejecución del programa
- Ventanas de resultados
- Ventana de gráfica

3.4.3.1. Ventana de ejecución del programa.

En la ventana de ejecución se encuentran los campos de:

- Generación
- Cargas
- Impedancias de línea y neutro
- Corrientes
- Impedancias de generador

- Cálculos
- Gráfica de resultados

3.4.3.1.1. Generación.

En este apartado se coloca la tensión de los generadores en ***Eab***, ***Ebc*** y ***Eca*** en voltios y coordenadas polares (Ver Figura 56).

The screenshot shows a window titled "Generación:" with three rows of input fields. Each row consists of a label and a text box containing a value and an angle in degrees. The first row is "Eab [Volts]: 110, 0 [°]", the second is "Ebc [Volts]: 110, -120 [°]", and the third is "Eca [Volts]: 110, 120 [°]".

Figura 56. Apartado de generación.
Fuente: Alberto Sares.

3.4.3.1.2. Cargas.

En este apartado se coloca las cargas del circuito ***Za***, ***Zb*** y ***Zc*** en Ohmios y coordenadas cartesianas (Ver Figura 57).

The screenshot shows a window titled "Cargas:" with three rows of input fields. Each row consists of a label and a text box containing a complex number representing impedance. The first row is "Za [Ω]: 59.5+76j", the second is "Zb [Ω]: 39.5+26j", and the third is "Zc [Ω]: 19.5+11j".

Figura 57. Apartado de carga.
Fuente: Alberto Sares.

3.4.3.1.3. Impedancias de Línea.

En este apartado se colocará las Impedancias de Línea ***ZL*** en ohmios y coordenadas cartesianas (Ver Figura 58).

Impedancias de Línea:

ZL [Ω]:

Figura 58. Apartado de impedancias de línea.
Fuente: Alberto Sares.

3.4.3.1.4. Corrientes.

En este apartado se colocará las corrientes ***la***, ***lb*** e ***lc*** en Amperios y coordenadas polares (Ver Figura 59).

Corrientes:

la [Amps]:

lb [Amps]:

lc [Amps]:

Figura 59. Apartado de corrientes.
Fuente: Alberto Sares.

3.4.3.1.5. Impedancia de generador.

En este apartado se coloca las cargas del circuito ***Zga***, ***Zgb*** y ***Zgc*** en ohmios y coordenadas cartesianas (Ver Figura 60).

Impedancias de los Generadores:

Zgab [Ω]:

Zgbc [Ω]:

Zgca [Ω]:

Figura 60. Apartado de impedancias de generador.
Fuente: Alberto Sares.

3.4.3.1.6. Calcular.

Presionando este botón (Ver Figura 61) se obtienen los resultados del ejercicio planteado.

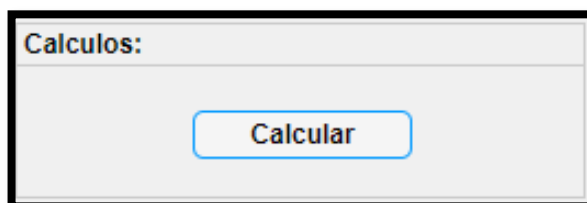


Figura 61. Apartado de calcular.
Fuente: Alberto Sares.

3.4.3.1.7. Gráfica de resultados.

En este apartado se puede escoger el tipo de respuesta grafica que se necesita, estas pueden ser corrientes de fase, voltajes línea neutro, voltajes de fase y voltajes de línea. Luego de escoger la opción que se necesita, se presiona el botón **“Mostrar”** (Ver Figura 62); más adelante se puede ver con más detalles los resultados gráficos que se obtienen en esta opción.

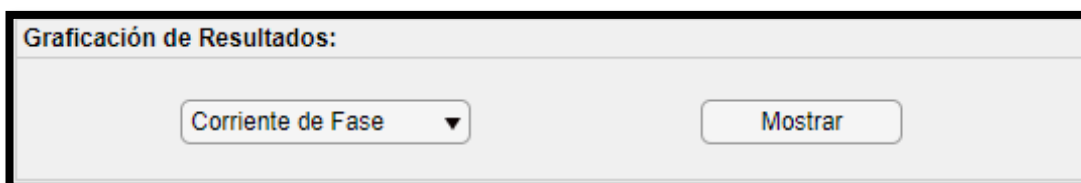


Figura 62. Apartado de grafica de resultados.
Fuente: Alberto Sares.

3.4.3.2. Ventana de resultados.

Después de colocar los datos y presionar el botón de **“Calcular”** se apertura una nueva ventana que muestra los resultados que dependiendo del ejercicio se necesitan (Ver Figura 63).

Tabla de Resultados						
Componentes Simétricas:						
	Ea	Ia	Vab	Igba	Z	Zg
0	0, 0 [°]	0, 0 [°]	0, 0 [°]	0, 0 [°]	54.6, 43.6 [°]	0.806, 82.9 [°]
+	110, -0 [°]	1.28, -70.8 [°]	105, -62.6 [°]	0, 0 [°]	25.6, 77.2 [°]	0, 0 [°]
-	0, 0 [°]	0.574, 141 [°]	3.2, 73.6 [°]	0.739, -101 [°]	19.6, 43.1 [°]	0, 0 [°]
Fasores:						
	Eg	I	Z			
A	110, 0 [°]	0.846, -91.5 [°]	96.5, 51.9 [°]			
B	110, -120 [°]	1.39, -166 [°]	47.3, 33.4 [°]			
C	110, 120 [°]	1.8, 40.5 [°]	22.4, 29.4 [°]			
Voltajes y Corrientes de Línea:						
	IL	VL				
AB	0.846, -91.5 [°]	103, -61.4 [°]				
BC	1.39, -166 [°]	108, 178 [°]				
CA	1.8, 40.5 [°]	104, 55.7 [°]				

Figura 63. Ventana de resultados.
Fuente: Alberto Sares.

En la ventana podemos encontrar:

- Resultados de componentes simétricas.
- Resultados de fasores.
- Resultados de voltajes y corrientes de línea.

3.4.3.2.1. Resultados de componentes simétricas.

En la tabla de resultados se encuentran las respuestas en componentes simétricas de **Ea, Ia, Vab, Igba, Z** y **Zg** (Ver Figura 64). Todas las respuestas están dadas en fasores y expresadas de tal manera que las respuestas se puedan interpretar de buena forma.

Componentes Simétricas:						
	Ea	Ia	Vab	Igba	Z	Zg
0	0, 0 [°]	0, 0 [°]	0, 0 [°]	0, 0 [°]	54.6, 43.6 [°]	0.806, 82.9 [°]
+	110, -0 [°]	1.28, -70.8 [°]	105, -62.6 [°]	0, 0 [°]	25.6, 77.2 [°]	0, 0 [°]
-	0, 0 [°]	0.574, 141 [°]	3.2, 73.6 [°]	0.739, -101 [°]	19.6, 43.1 [°]	0, 0 [°]

Figura 64. Apartado de resultado de componentes simétricas.
Fuente: Alberto Sares.

3.4.3.2.2. Resultados de fasores.

En la tabla de resultados se encuentran las respuestas de **Eg, I** y **Z** en **A, B** y **C**. Todas las respuestas están dadas en fasores y expresadas de tal manera que las respuestas se puedan interpretar de buena forma (Ver Figura 65).

Fasores:			
	Eg	I	Z
A	110, 0 [°]	7.97, -62.3 [°]	96.5, 51.9 [°]
B	110, -120 [°]	4.53, -155 [°]	47.3, 33.4 [°]
C	110, 120 [°]	8.99, 87.5 [°]	22.4, 29.4 [°]

Figura 65. Apartado de resultado de fasores.
Fuente: Alberto Sares.

3.4.3.2.3. Resultados de voltajes y corrientes de línea.

En la tabla de resultados se encuentran las respuestas de **IL** y **VL** en **AB, BC** y **CA**. Todas las respuestas están dadas en fasores y expresadas, de tal manera que las respuestas se puedan interpretar de buena manera (Ver Figura 66).

Voltajes y Corrientes de Línea:		
	IL	VL
AB	7.97, -62.3 [°]	162, 26.4 [°]
BC	4.53, -155 [°]	175, -101 [°]
CA	8.99, 87.5 [°]	150, 138 [°]

Figura 66. Apartado de resultado de voltajes y corrientes de línea.
Fuente: Alberto Sares.

3.4.3.3. Ventana de gráfica.

Las respuestas graficas se obtienen después de haber escogido la opción deseada en el menú que se describió anteriormente, y después de dar click en la opción **“Mostrar”** (Ver Figura 67).

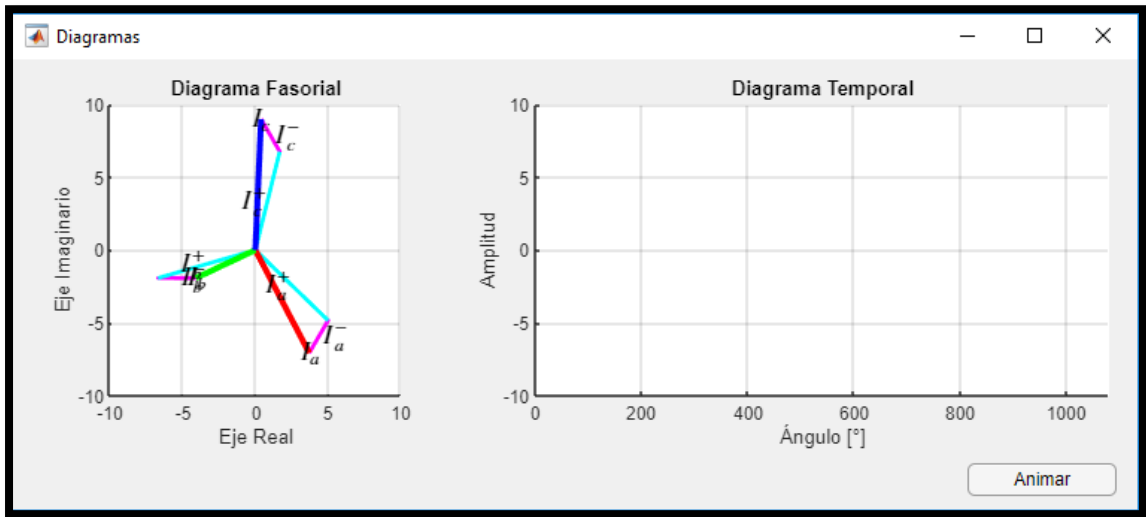


Figura 67. Ventana de gráfica.
Fuente: Alberto Sares.

En la ventana inicial encontramos:

- Grafica de diagrama fasorial
- Grafica de diagrama temporal

3.4.3.3.1. Grafica de diagrama fasorial.

En la gráfica se puede determinar las componentes simétricas en secuencia positiva, secuencia negativa y secuencia cero mediante un diagrama fasorial (Ver Figura 68).

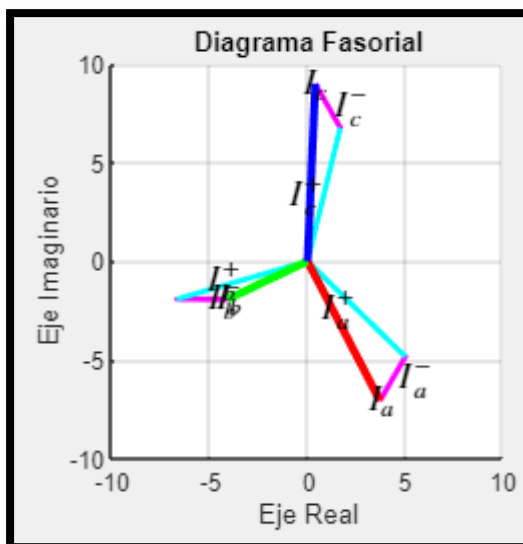


Figura 68. Apartado de ventana de gráfica de diagrama fasorial.
Fuente: Alberto Sares.

3.4.3.3.2. Grafica de diagrama temporal.

En la gráfica se puede determinar el comportamiento de la amplitud y el ángulo del resultado en el dominio del tiempo (Ver Figura 69).

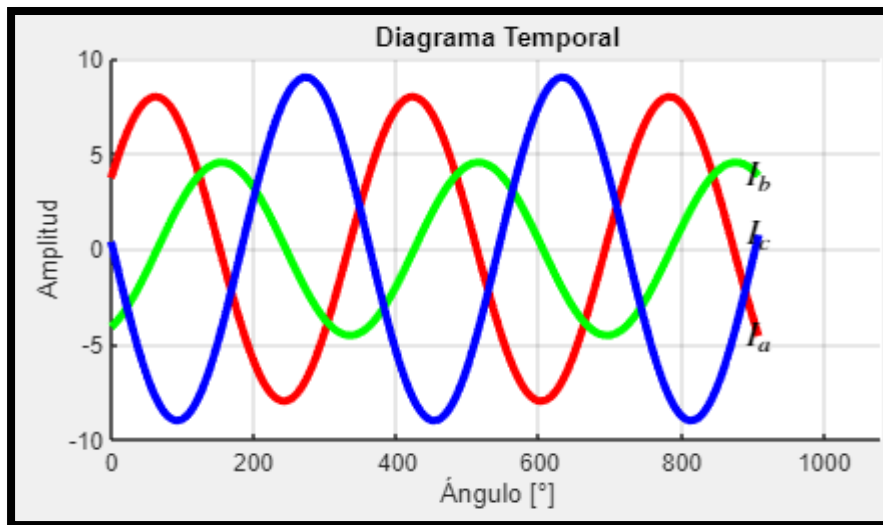


Figura 69. Apartado de ventana de gráfica de diagrama temporal.
Fuente: Alberto Sares.

En la ventana grafica también se puede activar la animación de las gráficas presionando el botón "**Animar**" la función dará otra perspectiva del comportamiento de los vectores y de las curvas que representan los resultados de los ejercicios propuestos, esta animación también puede detenerse en cualquier momento con el botón "**Detener**" que se encuentra en la ventana.

3.4.4. Acceso a botón delta-delta.

Dentro de este menú se encuentra la siguiente ventana (Ver Figura 70):

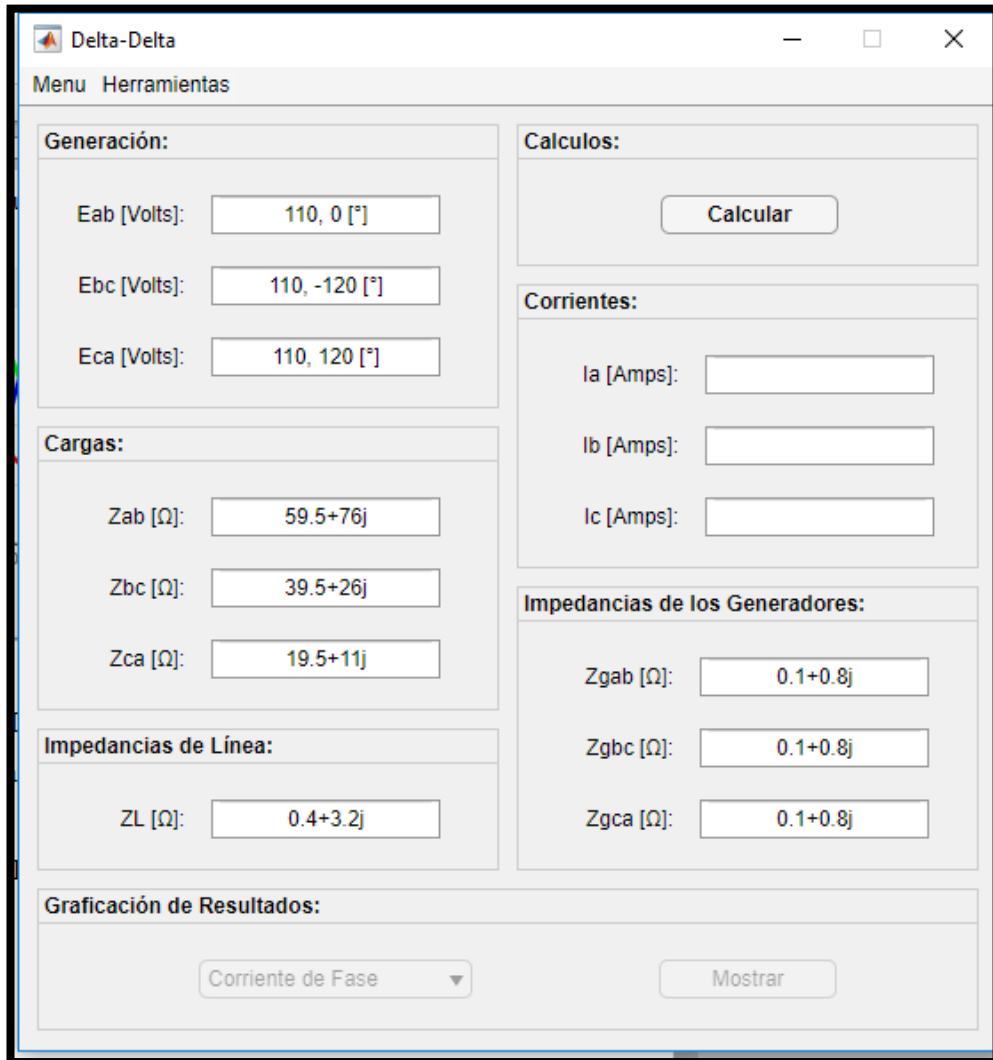


Figura 70. Ventana de conexión delta-delta.
Fuente: Alberto Sares.

- Ventana de ejecución del programa
- Ventanas de resultados
- Ventana de gráfica

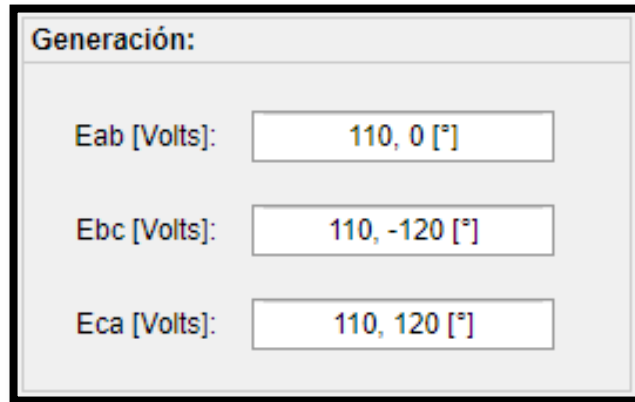
3.4.4.1. Ventana de ejecución del programa.

En la ventana de ejecución se encuentran los campos de:

- Generación
- Cargas
- Impedancias de línea y neutro
- Corrientes
- Impedancias de generador
- Cálculos
- Gráfica de resultados

3.4.4.1.1. Generación.

En este apartado se coloca la tensión de los generadores en **Eab**, **Ebc** y **Eca** en voltios y coordenadas polares (Ver Figura 71).

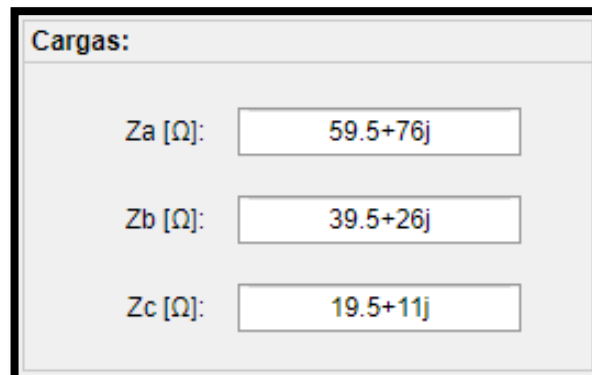


Generación:	
Eab [Volts]:	110, 0 [°]
Ebc [Volts]:	110, -120 [°]
Eca [Volts]:	110, 120 [°]

Figura 71. Apartado de generación.
Fuente: Alberto Sares.

3.4.4.1.2. Cargas.

En este apartado se coloca las cargas del circuito **Za**, **Zb** y **Zc** en ohmios y coordenadas cartesianas (Ver Figura 72).



Cargas:	
Za [Ω]:	59.5+76j
Zb [Ω]:	39.5+26j
Zc [Ω]:	19.5+11j

Figura 72. Apartado de carga.
Fuente: Alberto Sares.

3.4.4.1.3. Impedancias de Línea.

En este apartado se colocará las Impedancias de Línea **ZL** en ohmios y coordenadas cartesianas (Ver Figura 73).

Impedancias de Línea:

ZL [Ω]:

Figura 73. Apartado de impedancias de línea.
Fuente: Alberto Sares.

3.4.4.1.4. Corrientes.

En este apartado se colocará las corrientes ***la***, ***lb*** e ***lc*** en amperios y coordenadas polares (Ver Figura 74).

Corrientes:

la [Amps]:

lb [Amps]:

lc [Amps]:

Figura 74. Apartado de corrientes.
Fuente: Alberto Sares.

3.4.4.1.5. Impedancia de generador.

En este apartado se coloca las cargas del circuito ***Zga***, ***Zgb*** y ***Zgc*** en ohmios y coordenadas cartesianas (Ver Figura 75).

Impedancias de los Generadores:

Zgab [Ω]:

Zgbc [Ω]:

Zgca [Ω]:

Figura 75. Apartado de impedancia de generación.
Fuente: Alberto Sares.

3.4.4.1.6. Calcular.

Presionando este botón (Ver Figura 76) se obtienen los resultados del ejercicio planteado.

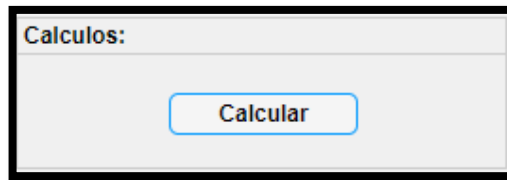


Figura 76. Apartado de cálculos.
Fuente: Alberto Sares.

3.4.4.1.7. Gráfica de resultados.

En este apartado se puede escoger el tipo de respuesta grafica que se necesita, estas pueden ser corrientes de fase, voltajes línea neutro, voltajes de fase y voltajes de línea. Luego de escoger la opción que se necesita, se presiona el botón **“Mostrar”** (Ver Figura 77), más adelante se podrá ver con más detalles los resultados gráficos que obtienen en esta opción.



Figura 77. Apartado de gráfica de resultados.
Fuente: Alberto Sares.

3.4.4.2. Ventana de resultados.

Después de colocar los datos y presionar el botón de **“Calcular”**, se apertura una nueva ventana que muestra los resultados que dependiendo del ejercicio se necesitan (Ver Figura 78).

Tabla de Resultados						
Componentes Simétricas:						
	E_a	I_a	V_{ab}	I_{gba}	Z	Z_g
0	0, 0 [°]	0, 0 [°]	0, 0 [°]	0, 0 [°]	54.6, 43.6 [°]	0.806, 82.9 [°]
+	110, -0 [°]	1.28, -70.8 [°]	105, -62.6 [°]	0, 0 [°]	25.6, 77.2 [°]	0, 0 [°]
-	0, 0 [°]	0.574, 141 [°]	3.2, 73.6 [°]	0.739, -101 [°]	19.6, 43.1 [°]	0, 0 [°]
Fasores:						
	E_g	I	Z			
A	110, 0 [°]	0.846, -91.5 [°]	96.5, 51.9 [°]			
B	110, -120 [°]	1.39, -166 [°]	47.3, 33.4 [°]			
C	110, 120 [°]	1.8, 40.5 [°]	22.4, 29.4 [°]			
Voltajes y Corrientes de Línea:						
	I_L	V_L				
AB	0.846, -91.5 [°]	103, -61.4 [°]				
BC	1.39, -166 [°]	108, 178 [°]				
CA	1.8, 40.5 [°]	104, 55.7 [°]				

Figura 78. Ventana de tabla de resultados.
Fuente: Alberto Sares.

En la ventana podemos encontrar:

- Resultados de componentes simétricas.
- Resultados de fasores.
- Resultados de voltajes y corrientes de línea.

3.4.4.2.1. Resultados de componentes simétricas.

En la tabla de resultados se encuentran las respuestas en componentes simétricas de **E_a , I_a , V_{ab} , I_{gba} , Z y Z_g** . Todas las respuestas están dadas en fasores y expresadas de tal manera, que las respuestas se puedan interpretar de forma correcta (Ver Figura 79).

Componentes Simétricas:						
	Ea	Ia	Vab	Igba	Z	Zg
0	0, 0 [°]	0, 0 [°]	0, 0 [°]	0, 0 [°]	54.6, 43.6 [°]	0.806, 82.9 [°]
+	110, -0 [°]	1.28, -70.8 [°]	105, -62.6 [°]	0, 0 [°]	25.6, 77.2 [°]	0, 0 [°]
-	0, 0 [°]	0.574, 141 [°]	3.2, 73.6 [°]	0.739, -101 [°]	19.6, 43.1 [°]	0, 0 [°]

Figura 79. Apartado de ventana de resultados de componentes simétricas.
Fuente: Alberto Sares.

3.4.4.2.2. Resultados de fasores.

En la tabla de resultados se encuentran las respuestas de **Eg, I** y **Z** en **A, B y C**. Todas las respuestas están dadas en fasores y expresadas de tal manera que las respuestas se puedan interpretar de forma correcta (Ver Figura 80).

Fasores:			
	Eg	I	Z
A	110, 0 [°]	7.97, -62.3 [°]	96.5, 51.9 [°]
B	110, -120 [°]	4.53, -155 [°]	47.3, 33.4 [°]
C	110, 120 [°]	8.99, 87.5 [°]	22.4, 29.4 [°]

Figura 80. Apartado de ventana de resultados de fasores.
Fuente: Alberto Sares.

3.4.4.2.3. Resultados de voltajes y corrientes de línea.

En la tabla de resultados se encuentran las respuestas de **IL** y **VL** en **AB, BC y CA**. Todas las respuestas están dadas en fasores y expresadas de tal manera que las respuestas se puedan interpretar de forma correcta (Ver Figura 81).

Voltajes y Corrientes de Línea:		
	IL	VL
AB	7.97, -62.3 [°]	162, 26.4 [°]
BC	4.53, -155 [°]	175, -101 [°]
CA	8.99, 87.5 [°]	150, 138 [°]

Figura 81. Apartado de ventana de resultados de voltajes y corrientes de línea.
Fuente: Alberto Sares.

3.4.4.3. Ventana de gráfica.

Las respuestas graficas se obtienen después de haber escogido la opción deseada en el menú que se describió anteriormente, y después de dar click en la opción **“Mostrar”** (Ver Figura 82).

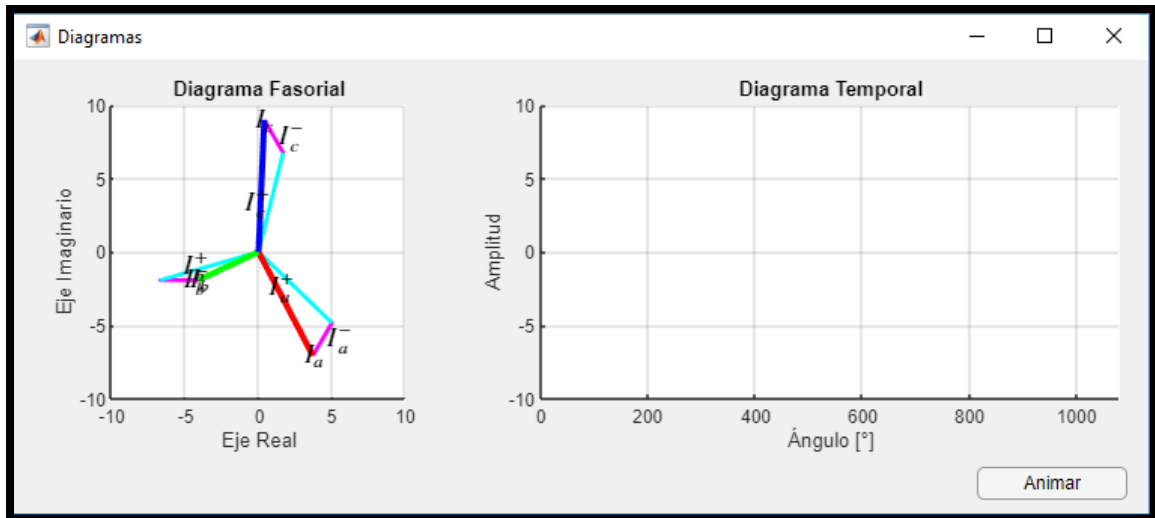


Figura 82. Ventana de resultado gráficos.

Fuente: Alberto Sares.

En la ventana inicial encontramos:

- Grafica de diagrama fasorial
- Grafica de diagrama temporal

3.4.4.3.1. Gráfica de diagrama fasorial.

En la gráfica se puede determinar las componentes simétricas en secuencia positiva, secuencia negativa y secuencia cero mediante un diagrama fasorial (Ver Figura 83).

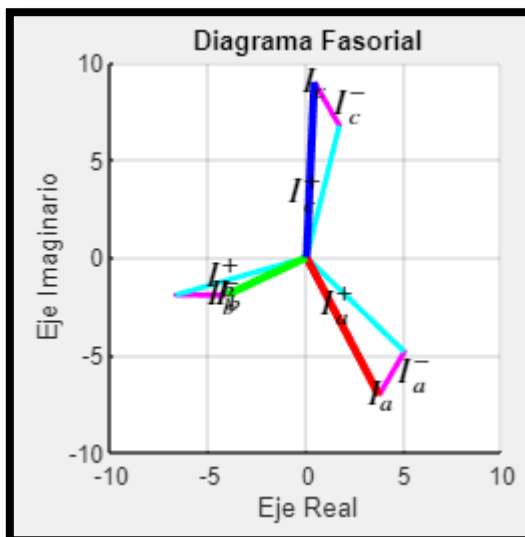


Figura 83. Apartado de ventana de grafica fasorial.
Fuente: Alberto Sares.

3.4.4.3.2. Grafica de diagrama temporal.

En la gráfica se puede determinar el comportamiento de la amplitud y el ángulo del resultado en el dominio del tiempo (Ver Figura 84).

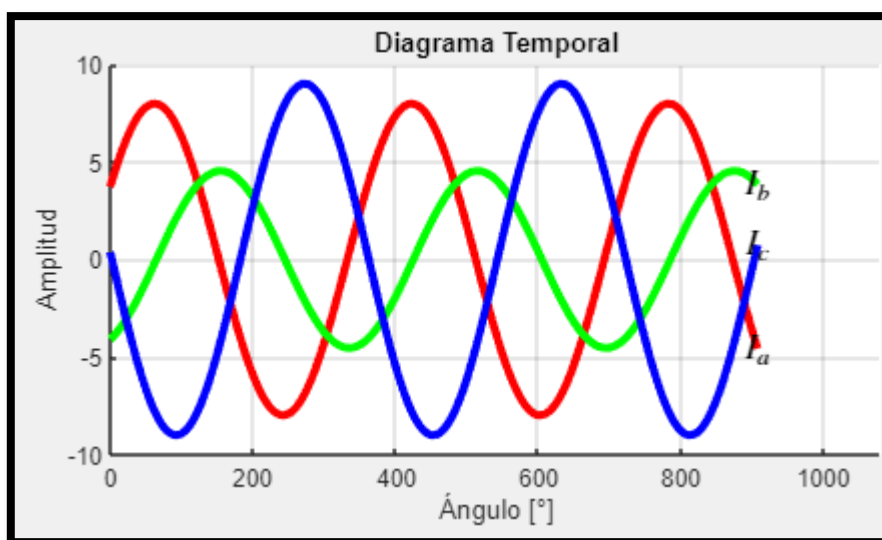


Figura 84. Apartado de ventana de grafica temporal.
Fuente: Alberto Sares.

En la ventana gráfica también se puede activar la animación de las gráficas presionando el botón **“Animar”** la función dará otra perspectiva del comportamiento de los vectores y de las curvas que representan los resultados de los ejercicios propuestos, esta animación también puede detenerse en cualquier momento con el botón **“Detener”** que se encuentra en la ventana.

En este capítulo se pudo analizar el funcionamiento del programa que se diseñó, tomando en cuenta las variables de ingreso y las variables de salida en cada uno de las

representaciones de los circuitos trifásicos desbalanceados. Así mismo, se analizó las herramientas adicionales creadas para facilitar el entendimiento de los ejercicios planteados en el siguiente capítulo.

En la siguiente sección de este trabajo se realizan varios ejemplos de textos conocidos tanto en Circuitos Eléctricos Trifásicos, Sistemas de generación, Transmisión y Distribución, textos de Componentes simétricas y de ejemplos para Cortocircuitos, se detallan las referencias de los libros de donde fueron tomados dichos ejercicios. Se demuestra que el programa COMSIS funciona para dichos ejercicios y cualquier otro que sea planteado, mientras cumpla con los campos requeridos para que el programa funcione de correcta forma.

CAPITULO 4. SIMULACION DE EJERCICIOS

4.1. Introducción

En muchos de los resultados obtenidos en las simulaciones, en los que se ha usado COMSIm para la resolución de diversos ejercicios, se demuestra que brindó resultados más exactos (decimales) y rápidos que los métodos tradicionales empleados para resolver este tipo de ejercicios de forma manual o con calculadora científica, razón por la que se desarrolló este software en la enseñanza tradicional de la materia de sistemas eléctricos de potencia, así como incentivar a aquellos que muestren interés en este trabajo de tesis a investigar más a fondo y mejorarlo, implementando más módulos de cálculos para tener un software académico de mayor rango educativo.

Como un primer paso hacia la investigación de nuevas alternativas tecnológicas basadas en programación y pensando en brindar un aporte al desarrollo académico de los estudiantes en este tipo de área técnica, y como se comentó anteriormente se pretende ampliar el camino hacia la investigación, desarrollo y mejora de nuevos softwares de uso académico.

Debido a la facilidad y flexibilidad de programación en MATLAB, se puede resolver diferentes tipos de problemas, se puede modificar el código fuente y manipular diferentes bibliotecas para poder tener el programa más completo y con más funciones para diferentes áreas de la Ingeniería Eléctrica de Potencia como ser: Generación, transmisión y distribución. Además de otras ramas de la Ingeniería como la Mecánica, Telecomunicaciones, Electrónica, Sistemas distribuidos, etc.

4.2. Simulación y resultados

Para las simulaciones se han seleccionado seis ejercicios tipo de determinados textos académicos, en cada uno de los ejercicios se han utilizado las variables propuestas y se encontraran las respuestas solicitadas en el ejercicio. La siguiente Tabla 3, es un resumen de los ejercicios, su fuente, sinopsis del ejercicio y donde está ubicado en el presente informe.

Tabla 3
Resumen de ejercicios.

	LIBRO	PAGINA	SINOPSIS DEL EJERCICIO
EJERCICIO 1	Glover, J. D. (2003). Sistemas de Potencia Analisis y diseño	361	Circuito trifasico con carga en Y con fase abierta, corrientes de linea como dato, se solicita las corrientes simetricas y de neutro.
EJERCICIO 2	Glover, J. D. (2003). Sistemas de Potencia Analisis y diseño	390	Circuito trifasico, corrientes como dato, se solicita encontrar las corrientes trifasicas en sus dos literales
EJERCICIO 3	Glover, J. D. (2003). Sistemas de Potencia Analisis y diseño	391	Circuito trifasico desbalanceado con carga en Y balaceada e impedancia de neutro, se solicita las corrientes simetricas.
EJERCICIO 4	Grainger , J., & Stevenson, W. (2001). Analisis de sitemas de potencia	438	Circuito trifasico con un generador con terminal abierta y los otros dos generadores en cortocircuito a tierra, tenemos las corrientes simetricas, se solicita las corrientes de fase
EJERCICIO 5	Grainger , J., & Stevenson, W. (2001). Analisis de sitemas de potencia	438	Circuito trifasico con voltajes en delta y cargas en Y, se solicita encontrar las corrientes de linea usando componentes simetricas.
EJERCICIO 6	Nilsson, J. W. (2012). Circuitos Electricos	551	Circuito trifasico balanceado con carga desbalanceada, impedancias de linea y generacion, adicional impedancia de neutro, se solicita coorrientes de linea, corrientes de neutro mediante componentes simetricas

Fuente: Alberto Sares.

4.2.1. Ejercicio 1.

Una línea trifásica que alimenta una carga equilibrada conectada en Y tiene abierta una de sus fases (fase b). El neutro de la carga esta aterrizada y las corrientes de línea balanceadas son (Glover, 2003) según ecuación 4.1.

$$I_P = \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 10 \angle 0^\circ \\ 0 \\ 10 \angle 120^\circ \end{bmatrix} A \quad (4.1)$$

Calcule las corrientes de simétricas y corriente de neutro

La resolución Matemática de este ejercicio se observan en las ecuaciones 4.2 a 4.4.

$$I_{a0} = \frac{1}{3} [10 \angle 0^\circ + 0 + 10 \angle 120^\circ]$$
$$\underline{\underline{I_{a0} = 3.333 \angle 60^\circ A}} \quad (4.2)$$

$$I_{a+} = \frac{1}{3} [10 \angle 0^\circ + 0 + 10 \angle 120^\circ + 240^\circ]$$
$$\underline{\underline{I_{a+} = 6.667 \angle 0^\circ A}} \quad (4.3)$$

$$I_{a-} = \frac{1}{3} [10 \angle 0^\circ + 0 + 10 \angle 120^\circ + 120^\circ]$$
$$\underline{\underline{I_{a-} = 3.333 \angle -60^\circ A}} \quad (4.4)$$

La resolución en el **COMSIM** del ejercicio es más sencilla, ya que solo se introducen los campos de las variables que el ejercicio da como datos: **la, lb e lc**. Se escoge la opción en herramientas "simétrica" se presiona convertir y automáticamente se presenta la tabla de resultados, en la Figura 85 se puede observar el ingreso de datos y los resultados del ejercicio.

Es obvio que la herramienta obtiene resultados, pero el usuario, en este caso el estudiante de la asignatura, deberá conocer previamente la Teoría de Componentes Simétricas, así como haber resuelto de manera manual los ejercicios previamente, para que la aplicación del software sea entendida y aplicada (Ver Figura 86).

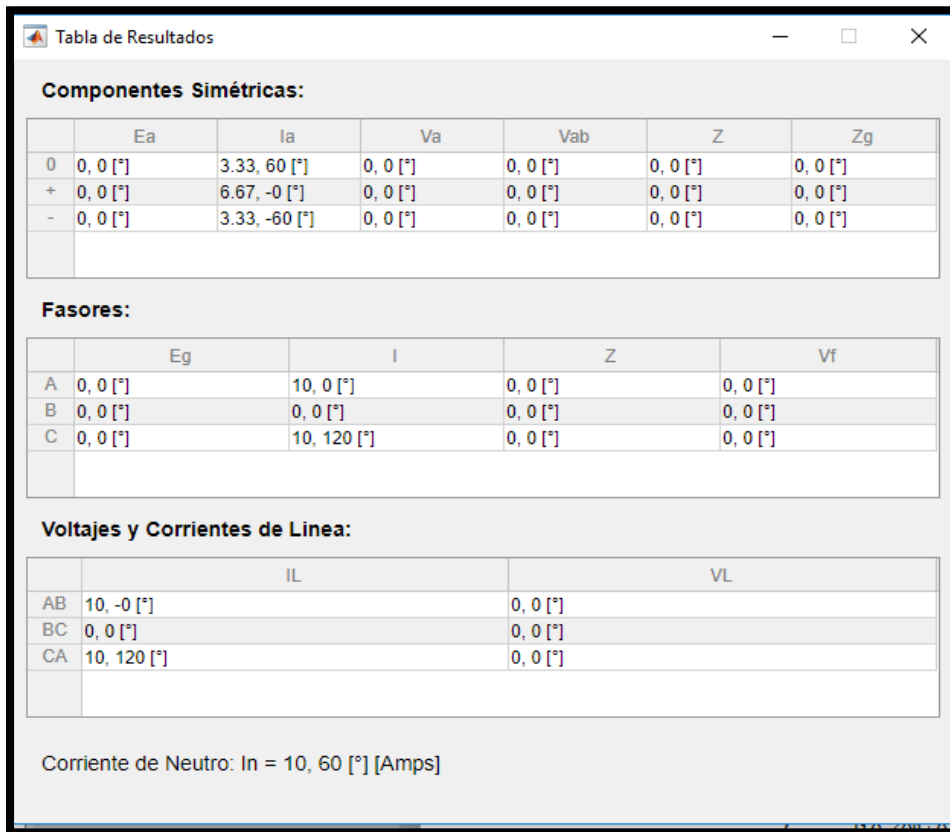


Figura 85. Ventana de soluciones del ejercicio.
Fuente: Alberto Sares.

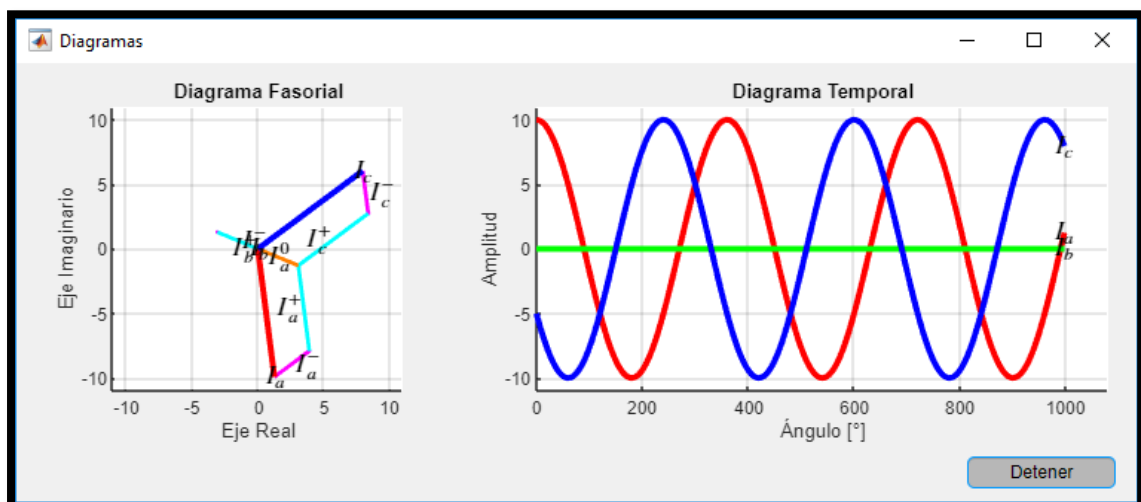


Figura 86. Ventana de resultado grafico del ejercicio.
Fuente: Alberto Sares.

4.2.2. Ejercicio 2.

Determine las componentes simétricas de las siguientes corrientes de línea a) $I_a = 10 \angle 90^\circ, I_b = 10 \angle 340^\circ, I_c = 10 \angle 200^\circ$ A b) $I_a = 100, I_b = j100, I_c = 0$ A. (Glover, 2003)

La resolución Matemática de este ejercicio se observan en las ecuaciones 4.5 y 4.6.

$$\begin{aligned}
 a) \begin{bmatrix} I_0 \\ I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} &= \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 10\angle 90^\circ \\ 10\angle 340^\circ \\ 10\angle 200^\circ \end{bmatrix} = \frac{10}{3} \begin{bmatrix} 1\angle 90^\circ + 1\angle 340^\circ + 1\angle 200^\circ \\ 1\angle 90^\circ + 1\angle 100^\circ + 1\angle 80^\circ \\ 1\angle 90^\circ + 1\angle 220^\circ + 1\angle 320^\circ \end{bmatrix} \\
 &= \frac{10}{3} \begin{bmatrix} 0 + j0.316 \\ 0 + j2.9696 \\ 0 - j0.2896 \end{bmatrix} = \underline{\underline{\begin{bmatrix} 1.0533\angle 90^\circ \\ 9.8987\angle 90^\circ \\ 0.9520\angle -90^\circ \end{bmatrix} A}} \tag{4.5}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 b) \begin{bmatrix} I_0 \\ I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} &= \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 100\angle 0^\circ \\ 100\angle 90^\circ \\ 0 \end{bmatrix} = \frac{100}{3} \begin{bmatrix} 1\angle 0^\circ + 1\angle 90^\circ \\ 1\angle 0^\circ + 1\angle 210^\circ \\ 1\angle 0^\circ + 1\angle 330^\circ \end{bmatrix} \\
 &= \frac{100}{3} \begin{bmatrix} \sqrt{2}\angle 45^\circ \\ 0.9176\angle -75^\circ \\ 01.9319\angle -15^\circ \end{bmatrix} = \underline{\underline{\begin{bmatrix} 47.13\angle 45^\circ \\ 17.253\angle -75^\circ \\ 64.4\angle -15^\circ \end{bmatrix} A}} \tag{4.6}
 \end{aligned}$$

Para la resolución en el COMSOL del ejercicio es más sencilla ya que solo se introducen los campos de las variables que el ejercicio proporciona, en este caso son **la**, **lb** e **lc**. Se escoge la opción en herramientas “simétrica” (Ver Figura 87), al presionar convertir (Ver Figura 89 y 90), automáticamente se presenta la tabla de resultados y la ventana de gráficos de resultados, en las Figura 88 y 91, en donde se observa el ingreso de datos y los resultados del ejercicio.

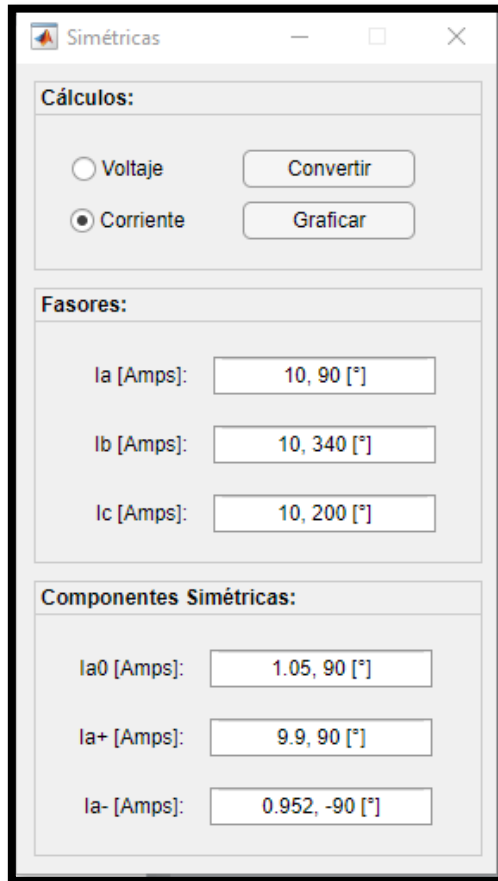


Figura 87. Ventana de resultado de ejercicios.
Fuente: Alberto Sares.

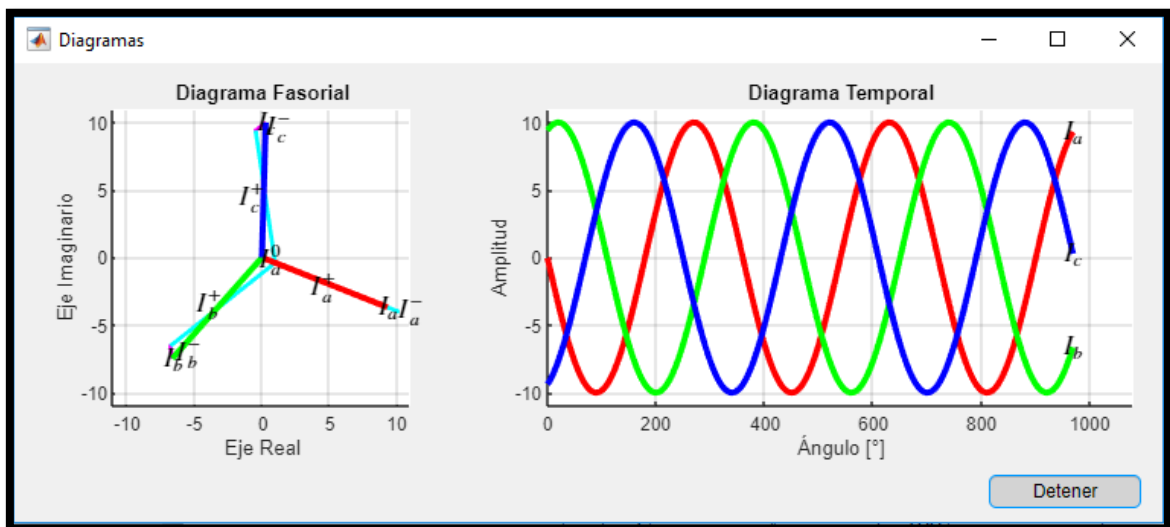


Figura 88. Ventana de resultado gráficos del ejercicio.
Fuente: Alberto Sares.



Figura 89. Ventana de resultado de coordenadas del ejercicio.
Fuente: Alberto Sares.



Figura 90. Ventana de resultado del ejercicio.
Fuente: Alberto Sares.

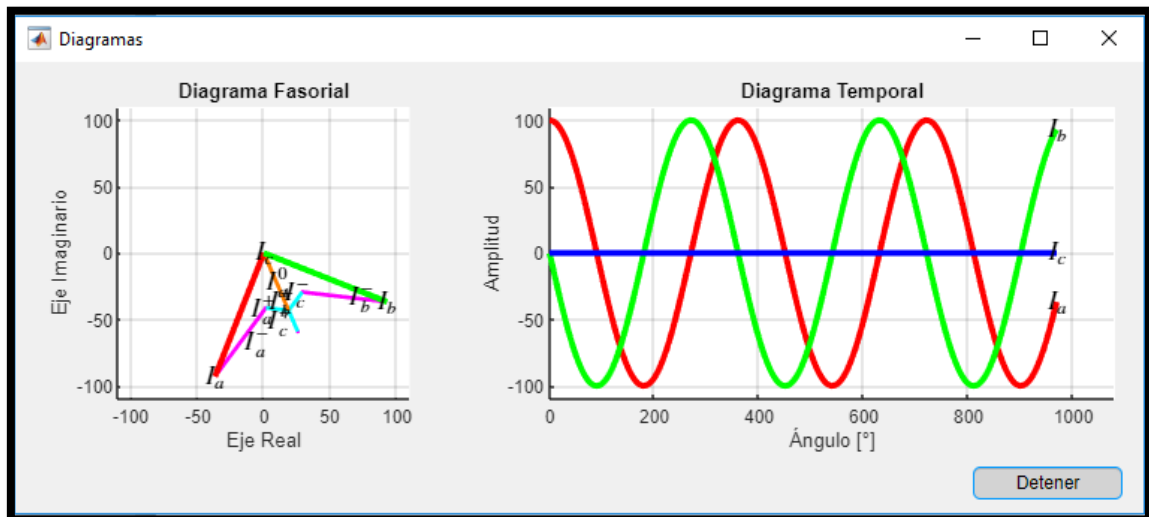


Figura 91. Ventana de resultado gráficos del ejercicio.
Fuente: Alberto Sares.

4.2.2. Ejercicio 3.

Los siguientes voltajes desbalanceados de línea a tierra se aplican a la carga Y balanceada: $V_{ag} = 100\angle 0^\circ$, $V_{bg} = 75\angle 180^\circ$, $V_{cg} = 50\angle 90^\circ$ V. La carga Y tiene $Z_Y = 3 + j4\Omega$ por fase con impedancia al neutro $Z_n = j1\Omega$. Calcule las corrientes de línea I_a, I_b, I_c usando componentes simétricas (Glover, 2003). Se observa el mismo ejercicio a través de las ecuaciones, en las ventanas del software (Ver Figura 92).

$$\begin{cases} V_{ag} = Z_Y I_a + Z_n (I_a + I_b + I_c) \\ V_{bg} = Z_Y I_b + Z_n (I_a + I_b + I_c) \\ V_{cg} = Z_Y I_c + Z_n (I_a + I_b + I_c) \end{cases} \quad (4.7)$$

$$\begin{bmatrix} (Z_Y + Z_n) & Z_n & Z_n \\ Z_n & (Z_Y + Z_n) & Z_n \\ Z_n & Z_n & (Z_Y + Z_n) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{ag} \\ V_{bg} \\ V_{cg} \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

$$\begin{bmatrix} (3 + j5) & j1 & j1 \\ j1 & (3 + j5) & j1 \\ j1 & j1 & (3 + j5) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 100\angle 0^\circ \\ 75\angle 180^\circ \\ 50\angle 90^\circ \end{bmatrix} \quad (4.9)$$

$$\begin{bmatrix} V_{g0} \\ V_{g1} \\ V_{g2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 100\angle 0^\circ \\ 75\angle 180^\circ \\ 50\angle 90^\circ \end{bmatrix} \quad (4.10)$$

$$\begin{bmatrix} V_{g0} \\ V_{g1} \\ V_{g2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 100\angle 0^\circ & 75\angle 180^\circ & 50\angle 90^\circ \\ 100\angle 0^\circ & 75\angle 300^\circ & 50\angle 330^\circ \\ 100\angle 0^\circ & 75\angle 60^\circ & 50\angle 210^\circ \end{bmatrix} \quad (4.11)$$

$$\begin{bmatrix} V_{g0} \\ V_{g1} \\ V_{g2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 8.33 + j16.667 \\ 60.27 - j29.98 \\ 31.40 + j13.32 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 18.63 \angle 63.43^\circ \\ 67.32 \angle -26.45^\circ \\ 34.11 \angle 22.99^\circ \end{bmatrix} V \quad (4.12)$$

$$I_0 = \frac{V_{g0}}{Z_0} = \frac{V_{g0}}{Z_y + 3Z_n} = \frac{18.63 \angle 63.43^\circ}{3 + j7} = \frac{18.63 \angle 63.43^\circ}{7.616 \angle 66.80^\circ} \quad (4.13)$$

$$I_0 = \underline{\underline{2.446 \angle -3.37^\circ A}}$$

$$I_1 = \frac{V_{g1}}{Z_1} = \frac{67.32 \angle -26.45^\circ}{3 + j4} = \frac{67.32 \angle -26.45^\circ}{5 \angle 53.13^\circ} = \underline{\underline{13.46 \angle -79.58^\circ A}} \quad (4.14)$$

$$I_2 = \frac{V_{g2}}{Z_2} = \frac{34.11 \angle 22.99^\circ}{5 \angle 53.13^\circ} = \underline{\underline{6.822 \angle -30.14^\circ A}} \quad (4.15)$$

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 2.446 \angle -3.37^\circ \\ 13.46 \angle -79.58^\circ \\ 6.82 \angle -30.14^\circ \end{bmatrix} \quad (4.16)$$

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.446 \angle -3.37^\circ & 13.46 \angle -79.58^\circ & 6.82 \angle -30.14^\circ \\ 2.446 \angle -3.37^\circ & 13.46 \angle 160.42^\circ & 6.82 \angle 89.86^\circ \\ 2.446 \angle -3.37^\circ & 13.46 \angle 40.42^\circ & 6.82 \angle 209.86^\circ \end{bmatrix} \quad (4.17)$$

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 10.78 - j16.81 \\ -10.22 + j11.19 \\ 6.773 + j5.187 \end{bmatrix} \quad (4.18)$$

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \underline{\underline{\begin{bmatrix} 19.97 \angle -57.32^\circ \\ 15.15 \angle 132.4^\circ \\ 8.531 \angle 37.45^\circ \end{bmatrix} A}} \quad (4.19)$$

Estrella-Estrella

Menu Herramientas

Generación: (127,-120)

Ea [Volts]:

Eb [Volts]:

Ec [Volts]:

Cargas:

Za [Ω]:

Zb [Ω]:

Zc [Ω]:

Impedancias de Línea y Neutro:

ZL [Ω]:

Zn [Ω]:

Calculos:

Línea de Neutro

Corrientes:

Ia [Amps]:

Ib [Amps]:

Ic [Amps]:

In [Amps]:

Impedancia Generadores:

Zga [Ω]:

Zgb [Ω]:

Zgc [Ω]:

Graficación de Resultados:

Figura 92. Ventana de ingreso de datos del ejercicio.
Fuente: Alberto Sares.

Tabla de Resultados						
Componentes Simétricas:						
	Ea	Ia	Va	Vab	Z	Zg
0	18.6, 63.4 [°]	2.45, -3.37 [°]	12.2, 49.8 [°]	0, 0 [°]	5, 53.1 [°]	0, 0 [°]
+	67.3, -26.5 [°]	13.5, -79.6 [°]	67.3, -26.5 [°]	117, 3.55 [°]	0, 0 [°]	0, 0 [°]
-	34.1, 23 [°]	6.82, -30.1 [°]	34.1, 23 [°]	59.1, -7.02 [°]	0, 0 [°]	0, 0 [°]
Fasores:						
	Eg	I	Z	Vf		
A	100, 0 [°]	20, -57.3 [°]	5, 53.1 [°]	99.8, -4.21 [°]		
B	75, 180 [°]	15.2, 132 [°]	5, 53.1 [°]	75.8, -174 [°]		
C	50, 90 [°]	8.54, 37.4 [°]	5, 53.1 [°]	42.7, 90.6 [°]		
Voltajes y Corrientes de Línea:						
	IL		VL			
AB	20, -57.3 [°]		175, -0 [°]			
BC	15.2, 132 [°]		90.1, -146 [°]			
CA	8.54, 37.4 [°]		112, 153 [°]			
Corriente de Neutro: In = 7.34, -3.37 [°] [Amps]						

Figura 93. Ventana de resultado del ejercicio.
Fuente: Alberto Sares.

4.2.4. Ejercicio 4.

Cuando un generador tiene una terminal **a** abierta y las otras dos terminales se conectan una a otra para crear un cortocircuito a tierra, se tienen los siguientes valores típicos para las componentes simétricas de la corriente en la fase **a**, $I_a^+ = 600 \angle -90^\circ$, $I_a^- = 250 \angle 90^\circ$ e $I_a^0 = 350 \angle 90^\circ$ A. Encontrar las corrientes de cada fase. (Grainger & Stevenson, 2001)

La resolución Matemática de este ejercicio es la siguiente:

$$I_a = -j600 + j250 + j350$$

$$\underline{\underline{I_a = 0A}} \tag{4.19}$$

$$I_b^+ = 600 \angle 150^\circ = -519.6 + j300$$

$$I_b^- = 250 \angle 210^\circ = -216.5 - j125$$

$$I_b^0 = 350 \angle 90^\circ = 0 + j350$$

$$I_b = -736.1 + j525$$

$$\underline{\underline{I_b = 904.1 \angle 144.5^\circ A}} \tag{4.20}$$

$$I_c^+ = 600 \angle 30^\circ = 519.6 + j300$$

$$I_c^- = 250 \angle 330^\circ = 216.5 - j125$$

$$I_c^0 = 350 \angle 90^\circ = 0 + j350$$

(4.21)

$$I_c = 736.1 + j525$$

$$\underline{I_c = 904.1 \angle 35.5^\circ A}$$

Para la resolución en el COMSOL del ejercicio es más sencilla ya que solo se introducen los campos de las variables que el ejercicio genera, en este caso son $I_a^+ = 600 \angle -90^\circ$, $I_a^- = 250 \angle 90^\circ$ e $I_a^0 = 350 \angle 90^\circ A$, se selecciona la opción en herramientas "SIMETRICA" (Ver Figura 94), luego convertir y automáticamente se visualiza la ventana de resultados.

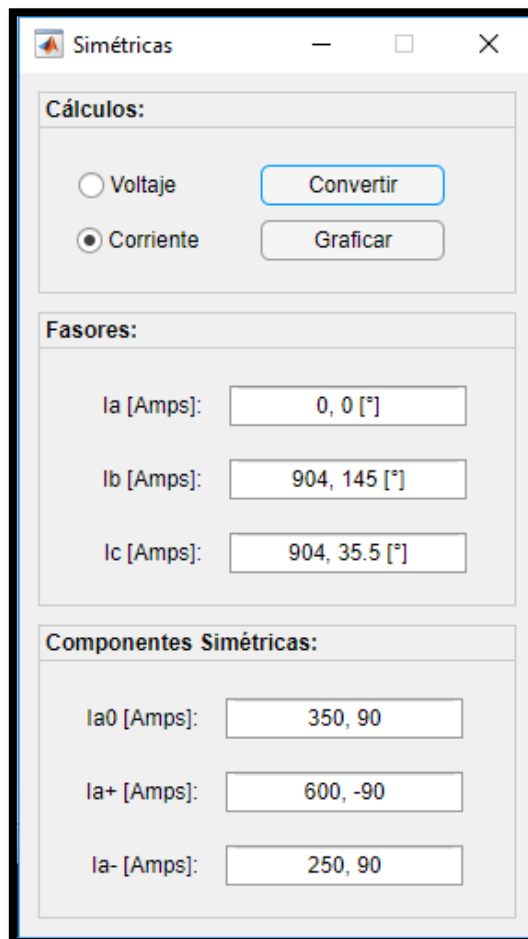


Figura 94. Ventana de resultado del ejercicio.
Fuente: Alberto Sares.

4.2.5. Ejercicio 5.

Los Voltajes en Delta en las terminales de una carga balanceada que consiste en tres resistencias de 10 ohm que están conectadas en Y son

$V_{ab} = 100\angle 0^\circ$, $V_{bc} = 80.8\angle -121.44^\circ$ y $V_{ca} = 90\angle 130^\circ V$. Encuentre las corrientes de línea a partir de las componentes simétricas de los voltajes de línea dados, bajo la suposición que no hay conexiones al neutro en la carga (Grainger & Stevenson, 2001).

La resolución Matemática de este ejercicio se observan en las ecuaciones 4.22 a 4.26.

$$\begin{aligned}
 V_{ab}^+ &= \frac{1}{3}(100\angle 0^\circ + 80.8\angle -1.44^\circ + 90\angle 370^\circ) \\
 V_{ab}^+ &= \frac{1}{3}(100 + 80.77 - j2.03 + 88.63 + j15.63) \\
 V_{ab}^+ &= 89.8 + j4.53 \\
 \underline{\underline{V_{ab}^+}} &= \underline{\underline{89.91\angle 2.89^\circ}}
 \end{aligned} \tag{4.22}$$

$$\begin{aligned}
 V_{ab}^- &= \frac{1}{3}(100\angle 0^\circ + 80.8\angle 118.56^\circ + 90\angle 250^\circ) \\
 V_{ab}^- &= \frac{1}{3}(100 - 38.63 + j270.97 - 30.78 - j84.57) \\
 V_{ab}^- &= 10.2 - j4.53 \\
 \underline{\underline{V_{ab}^-}} &= \underline{\underline{11.16\angle -23.95^\circ}}
 \end{aligned} \tag{4.23}$$

No hay componente en secuencia cero

$$\begin{aligned}
 V_{an}^+ &= \frac{89.91}{\sqrt{3}} \angle -27.11^\circ = 46.21 - j23.66 \\
 V_{an}^- &= \frac{11.16}{\sqrt{3}} \angle 6.05^\circ = 6.41 - j0.68 \\
 V_{an} &= 57.42\angle -23.59^\circ \\
 I_a &= \frac{57.42\angle -23.59^\circ}{10} \\
 \underline{\underline{I_a}} &= \underline{\underline{5.74\angle -23.59^\circ A}}
 \end{aligned} \tag{4.24}$$

$$\begin{aligned}
 V_{bn}^+ &= \frac{89.91}{\sqrt{3}} \angle 212.89^\circ = -43.59 - j28.19 \\
 V_{bn}^- &= \frac{11.16}{\sqrt{3}} \angle 126.05^\circ = -3.79 - j5.27 \\
 V_{bn} &= 52.66\angle -154.13^\circ \\
 I_b &= \frac{52.66\angle -154.13^\circ}{10} \\
 \underline{\underline{I_b}} &= \underline{\underline{5.27\angle -154.13^\circ A}}
 \end{aligned} \tag{4.25}$$

$$V_{cn}^+ = \frac{89.91}{\sqrt{3}} \angle 92.89^\circ = -2.62 - j51.84$$

$$V_{cn}^- = \frac{11.16}{\sqrt{3}} \angle 246.05^\circ = -2.62 - j5.89$$

$$V_{cn} = 46.25 \angle 96.51^\circ$$

$$I_c = \frac{46.25 \angle 96.51^\circ}{10}$$

$$I_c = 4.63 \angle 96.51^\circ \text{ A}$$

(4.26)

Para la resolución en el COMSIM del ejercicio es más sencilla, ya que solo introducimos los campos de las variables que el ejercicio indica, que en este caso son $V_{ab} = 100 \angle 0^\circ$, $V_{bc} = 80.8 \angle -121.44^\circ$ y $V_{ca} = 90 \angle 130^\circ \text{ V}$. y 10 ohm de resistencia balanceada. Se puede observar el ejercicio realizado anteriormente utilizando el software (Ver Figuras 95 y 96).

The screenshot shows the 'Delta-Estrella' software window. It has a menu bar with 'Menu' and 'Herramientas'. The main area is divided into several sections:

- Generación:**
 - Eab [Volts]: 100, 0 [°]
 - Ebc [Volts]: 80.8, -121 [°]
 - Eca [Volts]: 90, 130 [°]
- Calculos:**
 - Calcular button
- Corrientes:**
 - Ia [Amps]: 5.74, -23.6 [°]
 - Ib [Amps]: 5.27, -154 [°]
 - Ic [Amps]: 4.63, 96.5 [°]
- Cargas:**
 - Za [Ω]: 10
 - Zb [Ω]: 10
 - Zc [Ω]: 10
- Impedancias de los Generadores:**
 - Zgab [Ω]: 0
 - Zgbc [Ω]: 0
 - Zgca [Ω]: 0
- Impedancias de Línea:**
 - ZL [Ω]: 0
- Graficación de Resultados:**
 - Voltaje LN dropdown menu
 - Mostrar button

Figura 95. Ventana de ingreso de datos del ejercicio.
Fuente: Alberto Sares.

Tabla de Resultados

Componentes Simétricas:

	Ea	Ia	Vab	Igba	Z	Zg
0	0.00224, 63.4 [°]	0, 0 [°]	0, 0 [°]	0, 0 [°]	10, 0 [°]	0, 0 [°]
+	89.9, 2.89 [°]	5.19, -27.1 [°]	89.9, -57.1 [°]	0, 0 [°]	0, 0 [°]	0, 0 [°]
-	11.2, -24 [°]	0.645, 6.06 [°]	11.2, 36 [°]	3, -57.1 [°]	0, 0 [°]	0, 0 [°]

Fasores:

	Eg	I	Z
A	100, 0 [°]	5.74, -23.6 [°]	10, 0 [°]
B	80.8, -121 [°]	5.27, -154 [°]	10, 0 [°]
C	90, 130 [°]	4.63, 96.5 [°]	10, 0 [°]

Voltajes y Corrientes de Línea:

	IL	VL
AB	5.74, -23.6 [°]	90, -50 [°]
BC	5.27, -154 [°]	100, 180 [°]
CA	4.63, 96.5 [°]	80.8, 58.6 [°]

Figura 96. Ventana de resultado del ejercicio.
Fuente: Alberto Saes.

4.2.6. Ejercicio 6.

Calcular las corrientes de línea y la corriente del neutro aplicando componentes simétricas, se puede observar en la Figura 97 (Nilsson, 2012).

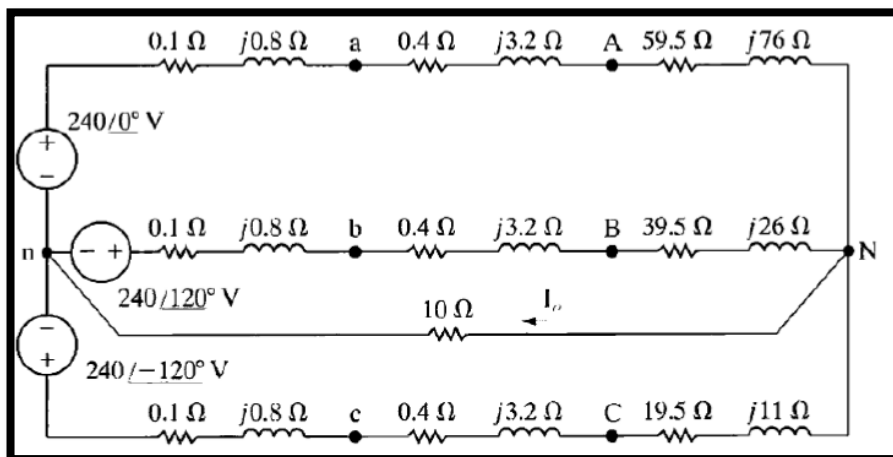


Figura 97. Diagrama de ejercicio.
Fuente: Nilsson, 2012.

Estrella-Estrella

Menu Herramientas

Generación: (127,-120)

Ea [Volts]:

Eb [Volts]:

Ec [Volts]:

Cargas:

Za [Ω]:

Zb [Ω]:

Zc [Ω]:

Impedancias de Línea y Neutro:

ZL [Ω]:

Zn [Ω]:

Calculos:

Línea de Neutro

Corrientes:

Ia [Amps]:

Ib [Amps]:

Ic [Amps]:

In [Amps]:

Impedancia Generadores:

Zga [Ω]:

Zgb [Ω]:

Zgc [Ω]:

Graficación de Resultados:

▼

Figura 98. Ventana de ingreso de datos del ejercicio.
Fuente: Alberto Sares.

Tabla de Resultados

Componentes Simétricas:

	Ea	Ia	Va	Vab	Z	Zg
0	0, 0 [°]	1.44, -155 [°]	44.4, 32.1 [°]	0, 0 [°]	54.6, 43.6 [°]	0.806, 82.9 [°]
+	0, 0 [°]	2, 121 [°]	6.44, 23.8 [°]	11.2, 53.8 [°]	25.6, 77.2 [°]	0, 0 [°]
-	240, -0 [°]	5.29, -37.7 [°]	228, -3.04 [°]	395, -33 [°]	19.6, 43.1 [°]	0, 0 [°]

Fasores:

	Eg	I	Z	Vf
A	240, 0 [°]	2.82, -49 [°]	96.5, 51.9 [°]	272, 2.98 [°]
B	240, 120 [°]	4.88, 73.4 [°]	47.3, 33.4 [°]	231, 107 [°]
C	240, -120 [°]	8.4, -149 [°]	22.4, 29.4 [°]	188, -119 [°]

Voltajes y Corrientes de Línea:

	IL	VL
AB	2.82, -49 [°]	396, -31.4 [°]
BC	4.88, 73.4 [°]	386, 86.2 [°]
CA	8.4, -149 [°]	405, -154 [°]

Corriente de Neutro: In = 4.33, -155 [°] [Amps]

Figura 99. Ventana de resultado del ejercicio.
Fuente: Alberto Sares.

CAPITULO 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. Introducción

Después de haber revisado el marco teórico, la simulación de los ejercicios y los resultados obtenidos en el capítulo anterior, se procedió en la disposición de comprobar si los resultados obtenidos son los correctos. En esta parte del capítulo, se realizará una comparación entre los resultados obtenidos mediante el software académico para la resolución de ejercicios de componentes simétricas en sistemas eléctricos de potencias (COMSIM), y los resultados obtenidos mediante cálculos matemáticos.

Es así que se compararan los resultados dados por el COMSIM y los dados por los ejercicios bajo las distintas consideraciones de cada uno de ellos. Además, se presentarán los gráficos de las soluciones en los casos que sean requeridos, con el fin de representar las respuestas de mejor manera y de mejor entendimiento para los estudiantes.

5.2. Análisis De Resultados

5.2.1. Ejercicio 1.

En el ejercicio 1 se solicita como incógnita las corrientes simétricas y la corriente de neutro, como dato se tiene las corrientes de línea balanceadas. Lo que se tiene que tener presente es que opción de resolución del ejercicio se tiene que escoger para obtener las respuestas correctas. En este caso, se selecciona la opción Estrella-Estrella, luego la opción de neutro puesto que exige la corriente de neutro; se completan las corrientes como valores a ingresar y se presiona "Calcular". Los resultados presentados en la ventana, son los resultados esperados y los encontrados matemáticamente (Ver Figura 100).

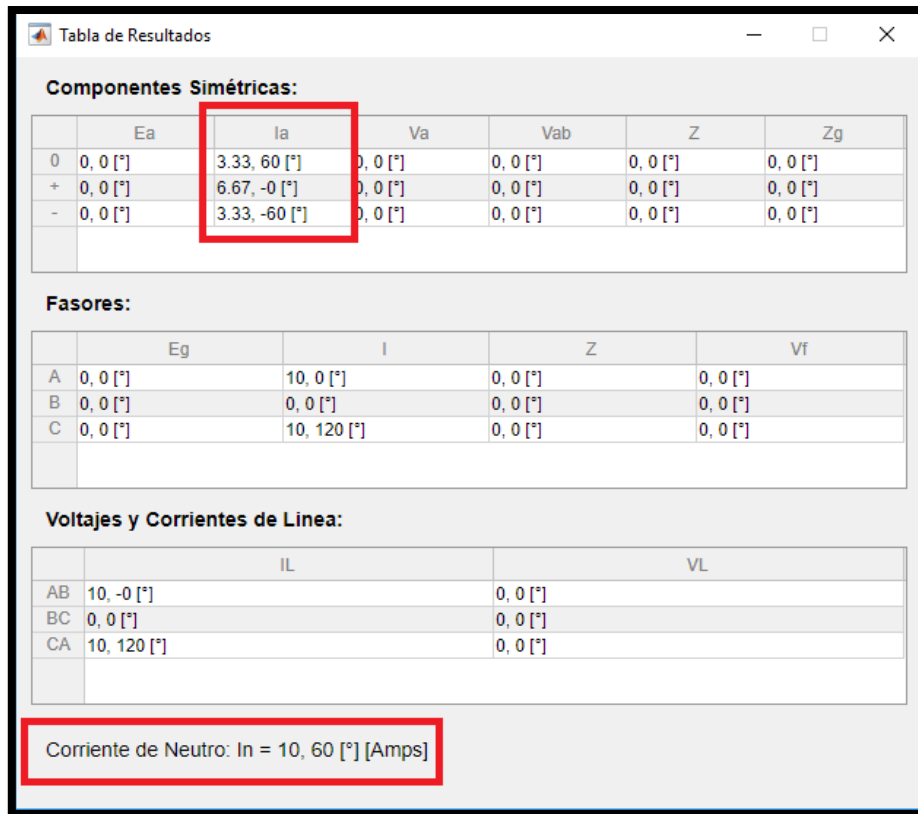


Figura 100. Ventana de resultado del ejercicio 1.
Fuente: Alberto Sares.

Con las soluciones de componentes simétricas y la corriente de neutro, en este ejercicio, solo se realizó la descomposición de la corriente y se encuentra la corriente de neutro adicional; se presenta la gráfica en la cual se denotan los diagramas de cada una de las componentes simétricas y el diagrama en tiempo de las corrientes de línea. Los resultados son los marcados con rojo en la Figura 100.

5.2.2. Ejercicio 2.

En el ejercicio número dos se tienen dos requerimientos en el literal "a" las incógnitas son las corrientes simétricas, como dato se tiene las corrientes de línea balanceadas. Lo que se tiene que tener presente es que opción de resolución del ejercicio se tiene que escoger para obtener las respuestas correctas. En este caso, se selecciona la herramienta "Componentes simétricas", luego la opción corriente y se introducen los valores que fueron proporcionados como datos; luego, se presiona "Convertir" los resultados y son presentados en la misma ventana donde se colocaron los datos. Finalmente, los resultados son los esperados y los encontrados matemáticamente.



Figura 101. Ventana de resultado del ejercicio 2.
Fuente: Alberto Sares.

Las soluciones de componentes simétricas se obtuvieron, en este ejercicio solo se realizó la descomposición de la corriente; se presenta la gráfica en la cual se denota los diagramas de cada una de las componentes simétricas y el diagrama en tiempo de las corrientes de línea. Los resultados son los marcados con rojo en la Figura 101.

En el literal “b” las incógnitas son las corrientes simétricas, como dato se tiene las corrientes de línea balanceada, pero con valores cartesianos imaginarios. Lo que se tiene que tener presente es que opción de resolución del ejercicio se tiene que escoger para obtener las respuestas correctas. En este caso, se selecciona la herramienta “Componentes simétricas”, adicional se presiona “Convertidor de coordenadas”. Se realiza como primer paso la conversión de coordenadas en el conversor, luego se accede a la herramienta de componentes simétricas, se selecciona la opción corriente y se introduce los valores obtenidos como datos, finalmente se presiona “Convertir”. Los resultados son presentados en la misma ventana donde se introdujeron los datos, los resultados son los esperados y los encontrados matemáticamente.

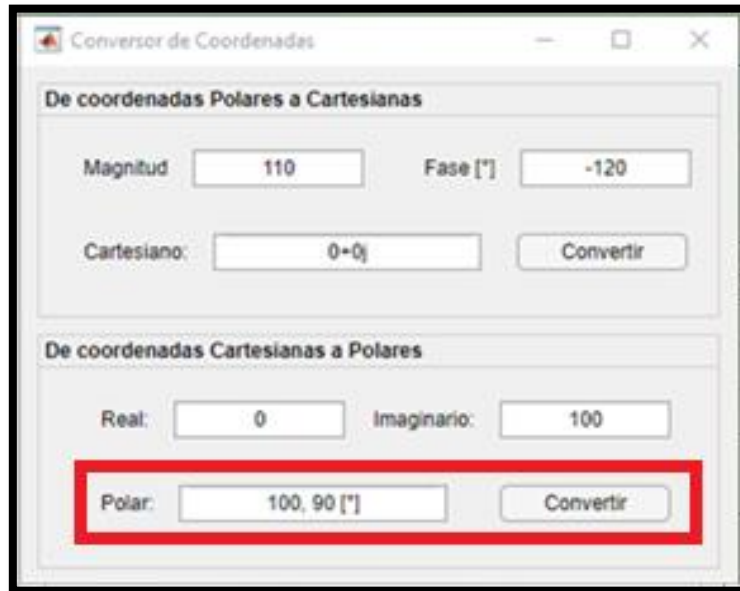


Figura 102. Ventana de resultado del ejercicio 2, literal b.
Fuente: Alberto Sares.



Figura 103. Ventana de resultado del ejercicio 2, literal b.
Fuente: Alberto Sares

Se obtienen las soluciones de componentes simétricas, en este ejercicio solo se realizó la descomposición de la corriente, se presenta la gráfica en la cual se denota los diagramas de cada una de las componentes simétricas y el diagrama en tiempo de las corrientes de línea. Los resultados son los marcados con rojo en las Figuras 102 y 103.

5.2.3. Ejercicio 3.

En el ejercicio número tres se solicita encontrar las corrientes de línea por el método de componentes simétricas, contando con los voltajes de generación V_a , V_b y V_c . Adicional, se indican las cargas que se encuentran conectadas en estrella y una impedancia de neutro, como en los ejercicios anteriores lo que se considera es tener presente el tipo de circuito que representa para escoger la opción adecuada en el menú del programa; en este caso, se tiene el circuito Estrella-Estrella con neutro, se procede a ingresar los valores en la ventana y se presiona el botón de “Calcular”. Los resultados presentados en la ventana de soluciones son los esperados e idénticos a los encontrados matemáticamente.

Tabla de Resultados

Componentes Simétricas:

	Ea	Ia	Va	Vab	Z	Zg
0	18.6, 63.4 [°]	2.45, -3.37 [°]	2.2, 49.8 [°]	0, 0 [°]	5, 53.1 [°]	0, 0 [°]
+	67.3, -26.5 [°]	13.5, -79.6 [°]	7.3, -26.5 [°]	117, 3.55 [°]	0, 0 [°]	0, 0 [°]
-	34.1, 23 [°]	6.82, -30.1 [°]	4.1, 23 [°]	59.1, -7.02 [°]	0, 0 [°]	0, 0 [°]

Fasores:

	Eg	I	Z	Vf
A	100, 0 [°]	20, -57.3 [°]	5, 53.1 [°]	99.8, -4.21 [°]
B	75, 180 [°]	15.2, 132 [°]	5, 53.1 [°]	75.8, -174 [°]
C	50, 90 [°]	8.54, 37.4 [°]	5, 53.1 [°]	42.7, 90.6 [°]

Voltajes y Corrientes de Línea:

	IL	VL
AB	20, -57.3 [°]	175, -0 [°]
BC	15.2, 132 [°]	90.1, -146 [°]
CA	8.54, 37.4 [°]	112, 153 [°]

Corriente de Neutro: In = 7.34, -3.37 [°] [Amps]

Figura 104. Ventana de resultado del ejercicio 3.
Fuente: Alberto Sares.

En la ventana de resultados (Ver Figura 104), se observan las respuestas de todo el circuito, pero lo que solicita el ejercicio son las corrientes de línea mediante las

componentes simétricas que también se encuentran en la tabla de resultados, siendo estas correctas y las mismas que se obtuvieron matemáticamente.

5.2.4. Ejercicio 4.

En este ejercicio en particular los datos que se proporcionan son las componentes simétricas de la fase a, se solicita encontrar las corrientes de línea, como se indicó en el análisis de los ejercicios anteriores; lo primordial es saber escoger la opción adecuada para poder encontrar las soluciones que se necesitan, en este caso; se escoge la herramienta “Componentes simétricas”, luego la opción corriente pero colocando los valores en el campo de componentes simétricas ya que las incógnitas son las corrientes de línea, se presiona “Convertir”. Los resultados son presentados en la misma ventana donde se colocaron los datos, los resultados son los esperados y los encontrados matemáticamente.

The screenshot shows a software window titled "Simétricas" with a standard Windows-style title bar (minimize, maximize, close). The window is divided into three main sections:

- Cálculos:** Contains two radio buttons: "Voltaje" (unselected) and "Corriente" (selected). To the right of "Voltaje" is a "Convertir" button, and to the right of "Corriente" is a "Graficar" button.
- Fasores:** This section is highlighted with a red border. It contains three input fields for phase currents:
 - I_a [Amps]: 0, 0 [°]
 - I_b [Amps]: 904, 145 [°]
 - I_c [Amps]: 904, 35.5 [°]
- Componentes Simétricas:** Contains three input fields for symmetrical components:
 - I_{a0} [Amps]: 350, 90
 - I_{a+} [Amps]: 600, -90
 - I_{a-} [Amps]: 250, 90

Figura 105. Ventana de resultado del ejercicio 4.
Fuente: Alberto Sares.

Se obtuvieron las soluciones de corrientes de línea, en este ejercicio solo se realizó la suma de la descomposición de las corrientes, se presenta la gráfica en la cual se denota los

diagramas de cada una de las componentes simétricas y el diagrama en tiempo de las corrientes de línea. Los resultados son los marcados con rojo en la Figura 105.

5.2.5. Ejercicio 5.

El ejercicio cinco indica que se tiene una conexión de voltajes en delta **Vab**, **Vbc** y **Vca** y carga balanceadas en estrella como datos y solicitan encontrar las corrientes de línea usando componentes simétricas, después el análisis del ejercicio se llega a la conclusión de usar la configuración del programa Delta-Estrella; se colocan los valores en los casilleros para luego presionar el botón **“Calcular”**, los resultados presentados en la ventana de soluciones son los esperados e idénticos a los encontrados matemáticamente.

Tabla de Resultados

Componentes Simétricas:

	Ea	ia	Vab	Igba	Z	Zg
0	0.00224, 63.4 [°]	0, 0 [°]	0, 0 [°]	0, 0 [°]	10, 0 [°]	0, 0 [°]
+	89.9, 2.89 [°]	5.19, -27.1 [°]	89.9, -57.1 [°]	0, 0 [°]	0, 0 [°]	0, 0 [°]
-	11.2, -24 [°]	0.645, 6.06 [°]	11.2, 36 [°]	8, -57.1 [°]	0, 0 [°]	0, 0 [°]

Fasores:

	Eg	I	Z
A	100, 0 [°]	5.74, -23.6 [°]	10, 0 [°]
B	80.8, -121 [°]	5.27, -154 [°]	10, 0 [°]
C	90, 130 [°]	4.63, 96.5 [°]	10, 0 [°]

Voltajes y Corrientes de Línea:

	IL	VL
AB	5.74, -23.6 [°]	90, -50 [°]
BC	5.27, -154 [°]	100, 180 [°]
CA	4.63, 96.5 [°]	80.8, 58.6 [°]

Figura 106. Ventana de resultado del ejercicio 5.
Fuente: Alberto Sares.

En la tabla de resultados (Ver Figura 106) se encuentran todas las respuestas del circuito, pero las que se necesitan son las corrientes de línea que en este caso son las correctas; sin embargo, las repuestas de la tabla concuerdan con las respuestas del proceso de solución matemática en las corrientes simétricas y los voltajes en componentes simétricas.

5.2.6. Ejercicio 6.

El sexto ejercicio es denotado de manera gráfica y se solicitan las corrientes de línea mediante componentes simétricas y la corriente de neutro. Observando el circuito se revisa que hay voltajes trifásicos en estrella con conexión a neutro, así mismo, hay inductancias de generación y de línea, las cargas están conectadas en estrella. Luego de analizar el circuito, se denota que la configuración a escoger en el programa es el de estrella-estrella con neutro, luego se introducen los valores en los casilleros para luego presionar el botón "Calcular", los resultados presentados en la ventana de soluciones son los esperados e idénticos a los encontrados matemáticamente.

Tabla de Resultados

Componentes Simétricas:

	Ea	la	Va	Vab	Z	Zg
0	0, 0 [°]	1.44, -155 [°]	44.4, 32.1 [°]	0, 0 [°]	54.6, 43.6 [°]	0.806, 82.9 [°]
+	0, 0 [°]	2, 121 [°]	6.44, 23.8 [°]	11.2, 53.8 [°]	25.6, 77.2 [°]	0, 0 [°]
-	240, -0 [°]	5.29, -37.7 [°]	228, -3.04 [°]	395, -33 [°]	19.6, 43.1 [°]	0, 0 [°]

Fasores:

	Eg	I	Z	Vf
A	240, 0 [°]	2.82, -49 [°]	96.5, 51.9 [°]	272, 2.98 [°]
B	240, 120 [°]	4.88, 73.4 [°]	47.3, 33.4 [°]	231, 107 [°]
C	240, -120 [°]	8.4, -149 [°]	22.4, 29.4 [°]	188, -119 [°]

Voltajes y Corrientes de Línea:

	IL	VL
AB	2.82, -49 [°]	396, -31.4 [°]
BC	4.88, 73.4 [°]	386, 86.2 [°]
CA	8.4, -149 [°]	405, -154 [°]

Corriente de Neutro: In = 4.33, -155 [°] [Amps]

Figura 107. Ventana de resultado del ejercicio 6.
Fuente: Alberto Sares.

En la tabla de resultados encontramos todas las respuestas del circuito, pero las que solicita el ejercicio son las corrientes de línea, la corriente de neutro que en este caso son las correctas, pero podemos darnos cuenta que las repuestas de la tabla dan un panorama más claro de las soluciones del ejercicio.

CONCLUSIONES

El presente trabajo de tesis ha cumplido con el objetivo general, el cual fue proporcionar al estudiante una herramienta informática en entorno MATLAB para que obtenga conocimientos sobre el comportamiento de las componentes simétricas en un sistema eléctrico de potencia mediante la resolución de ejercicios que se encuentran en textos académicos.

El software de componentes simétricas COMSIM en el presente trabajo muestra la facilidad y sencillez con la que se puede resolver un problema desbalanceado mediante el uso de herramientas informáticas. Si bien la implementación del software resulta laboriosa en cuanto a la programación en Matlab, esto se ve compensado por los resultados satisfactoriamente obtenidos.

Los resultados obtenidos mediante la aplicación de este nuevo software de componentes simétricas, muestran resultados comprobables con respecto a los datos obtenidos matemáticamente. Los factores que intervienen en el correcto funcionamiento del software COMSIM son: Escoger correctamente la opción del circuito según un análisis previo del ejercicio, colocar los valores correctamente según las indicaciones, activar o desactivar la opción de tierra según el ejercicio, activar la animación grafica para mejor visualización de los resultados. Esto implica un conocimiento profundo de la Teoría de Componentes Simétricas y su funcionamiento y operación para resolverlo de manera manual, previa a su aplicación en el programa.

Tomando en cuenta que el código es de libre acceso, estudiantes de la carrera podrían aumentar nuevas funciones de resolución de problemas ligados a las componentes simétricas, potenciando de esta manera a la herramienta y así contribuir al aprendizaje de los estudiantes de la carrera en este campo.

RECOMENDACIONES

- Al tratarse de resolución de ejercicios por software, el tiempo de ejecución del programa y resolución de los ejercicios depende de los elementos de hardware del computador. Lo recomendable es cumplir con los requisitos mínimos indicados en el tercer capítulo de la presente tesis.
- Los datos necesarios para iniciar con el cálculo de las componentes simétricas deberán ser ingresados correctamente previo análisis del ejercicio, tanto en el tipo de circuitos y en los valores ingresados, ya que en caso contrario los resultados obtenidos serán erróneos.
- La recomendación principal es que los estudiantes mejoren el programa adicionando nuevas características y funciones para que este se convierta en una herramienta estudiantil que sirva no solo a estudiantes de últimos ciclos sino a todos los niveles de estudio de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Católica de Cuenca.
- Practicar la simulación de diferentes ejercicios propuestos, ya que es la manera más idónea de aprender a usar el software y evitar errores en el momento de la ejecución.
- Promover el uso de software académicos basados en las herramientas de programación matemática ya que esto ayuda a direccionar al estudiante hacia la automatización de resultados y mejor entendimiento de la teoría.


REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, M. A. (2012). *Análisis de sistemas eléctricos de potencia*. Colombia: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA.
- Blackburn, J. L. (2006). *Protective Relaying: Principles and Application*. Boca Raton: CRC Press.
- Empresa Eléctrica, G. (2012). *Normas de acometidas cuartos de transformadores y sistemas de medición para el suministro de electricidad*. Guayaquil.
- Glover, J. D. (2003). *Sistemas de Potencia Análisis y diseño*. Mexico: Thomson.
- Grainger, J., & Stevenson, W. (2001). *Análisis de sistemas de potencia*. Mexico: MCGRAW-HILL.
- Harper, G. E. (2011). *Manual del técnico en Subestaciones Eléctricas Industriales*. Mexico: Limusa.
- Mora, J. F. (2012). *Circuitos Eléctricos*. Madrid: Person Educación, S.A.
- Morón, J. A. (2009). *SISTEMAS ELÉCTRICOS DE DISTRIBUCIÓN*. Mexico: Reverté Ediciones S.A.
- Nilsson, J. W. (2012). *Circuitos Eléctricos*. Mexico: Pearson.

AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, **Alberto Rafael Sares Reyes** portador de la cédula de ciudadanía N° 0703838318. En calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“SOFTWARE ACADÉMICO PARA LA RESOLUCIÓN DE COMPONENTES SIMÉTRICAS EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de éste trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 07 de Agosto del 2020



Alberto Rafael Sares Reyes
0703838318