



**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**

**ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES**

**Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales**

**DESEQUILIBRIOS EN  
TRANSFORMACIONES TRIFÁSICAS**

**Autor:**

**Rey Valiente, Roberto**

**Tutor:**

**Parra Gonzalo, Eduardo  
Departamento de  
Ingeniería Eléctrica**

**Valladolid, noviembre de 2019.**



## Agradecimientos

En primer lugar, quisiera dar las gracias al técnico de laboratorio Jorge Montes, por su ayuda en el montaje de los equipos necesarios para los ensayos experimentales.

También, agradecer a los profesores Moisés L. San Martín y a J. Andrés Serrano; por su aportación de información y todos los programas del portal [aulamoisan.com](http://aulamoisan.com), que me han sido de gran utilidad para la elaboración de este trabajo.



## Resumen

Se trata del desarrollo de un software gráfico interactivo, para el entorno de Windows, que permita estudiar diferentes desequilibrios en transformaciones trifásicas.

La finalidad de este trabajo es proporcionar herramientas que permitan una formación complementaria en temas que se tratan de una manera tangencial en las enseñanzas regladas.

El programa se ha desarrollado en el entorno de Matlab, más específicamente a partir de la herramienta GUIDE (Interfaces Gráfica de Usuario); lo que permite una interacción intuitiva y sencilla con el mismo.

Se simulan los casos existentes de desequilibrios extremos producidos por cargas monofásicas en transformadores trifásicos, dándose la posibilidad de combinarse para obtener resultados de desequilibrios más complejos.

Finalmente, se realizó una serie de comprobaciones experimentales en el laboratorio, para validar los resultados obtenidos.

**Palabras clave:** transformaciones trifásicas, desequilibrios, interfaz gráfica, simulación, formación complementaria.

## Abstract

This is the development of interactive graphical software for the Windows environment, which allows to study different imbalances in three-phase transformations.

The aim of this work is to provide tools for further training in subjects dealt with in a tangential way in the regulated teachings.

The program has been developed in the Matlab environment, more specifically from the GUIDE (Graphical User Interfaces) tool; allowing an intuitive and simple interaction with it.

The existing cases of extreme imbalances produced by single-phase loads in three-phase transformers are simulated, giving the possibility to combine it to obtain results of more complex imbalances.

Finally, a series of experimental tests were carried out in the laboratory to validate the results obtained.

**Keywords:** three-phase transformations, imbalances, graphical interface, simulation, complementary training.



## Índice

<b>Introducción y objetivos.....</b>	<b>1</b>
<b>Desarrollo .....</b>	<b>3</b>
<b>1. El transformador trifásico. Estado del arte y generalidades.....</b>	<b>3</b>
<b>1.1    Introducción a los transformadores trifásicos .....</b>	<b>3</b>
<b>1.2    Tipos de transformaciones trifásicas .....</b>	<b>4</b>
<b>1.3    Aspectos constructivos. ....</b>	<b>5</b>
1.3.1    Núcleo. ....	5
1.3.2    Devanados. ....	5
1.3.3    Sistema de refrigeración. ....	6
1.3.4    Placa característica. ....	6
<b>1.4    Tipo de conexiones. ....</b>	<b>7</b>
1.4.1    Conexión en estrella. ....	8
1.4.2    Conexión en triángulo .....	8
1.4.3    Conexión en zig-zag. ....	9
<b>1.5    Ventajas y desventajas de las conexiones más típicas. ....</b>	<b>10</b>
1.5.1    Estrella-Estrella (Yy) .....	10
1.5.2    Estrella-Triángulo (Yd) .....	10
1.5.3    Triángulo-Estrella (Dy) .....	10
1.5.4    Triángulo-Triángulo (Dd).....	11
1.5.5    Estrella-Zigzag (Yz) .....	11
<b>1.6    Índices horarios.....</b>	<b>12</b>
<b>2. El transformador trifásico en régimen permanente desequilibrado .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1    Introducción a los desequilibrios en sistemas trifásicos. ....</b>	<b>15</b>
<b>2.2    Simetría y equilibrio en sistemas trifásicos. Centro de gravedad.....</b>	<b>15</b>
<b>2.3    Método de análisis de sistemas desequilibrados de Fortescue. Componentes simétricas .....</b>	<b>16</b>
2.3.1    Cálculos para la obtención de las componentes simétricas .....	18
2.3.2    Fundamento de la transformación de Fortescue.....	19
<b>2.4    Método aplicado para el estudio de desequilibrios en transformadores. ....</b>	<b>20</b>
2.4.1    Primera ley de Kirchhoff de los circuitos eléctricos .....	20
2.4.2    Segunda ley de Kirchhoff de los circuitos magnéticos .....	20

2.4.3	Descripción del método .....	21
2.4.4	Ejemplos de aplicación .....	22
<b>3.</b>	<b>Desarrollo de la GUI para la simulación del funcionamiento de transformadores trifásicos con cargas desequilibradas extremas.</b> .....	<b>27</b>
3.1	Introducción a la herramienta GUIDE de Matlab.....	27
3.2	Diseño de la Interfaz Gráfica de Usuario.....	28
3.2.1	Comenzar una aplicación GUI desde cero. ....	28
3.2.2	Primer diseño de la GUI para la simulación de desequilibrios extremos en transformadores trifásicos .....	31
3.2.3	Desarrollo de líneas de mejora de la <i>app</i> .....	37
3.3	Otros softwares utilizados para el diseño de la aplicación .....	40
<b>4.</b>	<b>Análisis de un sistema desequilibrado complejo a partir de la superposición de cargas desequilibradas entre fases. Suposición ..</b>	<b>43</b>
4.1	Desarrollo teórico del método. ....	43
4.2	Desarrollo de la aplicación GUI para esta nueva función. ....	48
<b>5.</b>	<b>Estudio y comprobación experimental de la aplicación y sus resultados.</b> .....	<b>55</b>
5.1	Material utilizado para los ensayos experimentales .....	55
5.2	Ensayo experimental de transformador Yy con cargas resistivas.....	59
5.3	Ensayo experimental de un transformador trifásico Dy con cargas desequilibradas inductivas, resistivas y capacitivas. ....	65
<b>6.</b>	<b>Repercusiones .....</b>	<b>75</b>
<b>7.</b>	<b>Estimación de presupuesto. ....</b>	<b>77</b>
	<b>Conclusiones.....</b>	<b>79</b>
	<b>Bibliografía.....</b>	<b>81</b>
<b>Anexo I.</b>	<b>Código del programa. ....</b>	<b>83</b>
Interfaz I.	Presentación de la <i>app</i> .....	83
Interfaz II.	GUI para la pedida de datos.....	84
Interfaz III.	GUI para la muestra de resultados. ....	91
Interfaz VIII.	Ayuda.....	115
Interfaz IX.	Muestra de resultados suma de los casos.....	135



## Índice de figuras

Figura 1. Banco de transformadores monofásicos desconectado [2].....	4
Figura 2. Transformador trifásico de tres columnas desconectado [2].....	4
Figura 3. Transformador trifásico de 5 columnas desconectado [2].....	5
Figura 4. Transformador trifásico Yd.....	7
Figura 5. Transformador trifásico Dz.....	8
Figura 6. Conexión en estrella [1].....	8
Figura 7. Conexión en triángulo [1].....	9
Figura 8. Conexión en zigzag [1].....	9
Figura 9. Transformador conectado en triángulo-estrella [5].....	12
Figura 10. Tensiones simples del primario [5].....	13
Figura 11. Tensiones simples del secundario [5].....	13
Figura 12. Superposición de ambas figuras. Índice horario 11 [5].....	13
Figura 13. Sistema de tensión trifásico.....	16
Figura 14. Sistema de tensiones en secuencia directa.....	17
Figura 15. Sistema de tensiones en secuencia inversa.....	17
Figura 16. Sistema de tensiones en secuencia cero u homopolar.....	17
Figura 17. Representación física del teorema de Fortescue y principio de superposición [11].....	18
Figura 18. Aplicación de la primera ley de Kirchhoff de los circuitos eléctricos [12].....	20
Figura 19. Flujos magnéticos a lo largo de un circuito [15].....	21
Figura 20. Transformador trifásico Yd con alimentación L1-L2-L3 y carga monofásica entre 1 y 2. Recorrido de las distintas corrientes por el transformador.....	22
Figura 21. Recorrido de los flujos magnéticos.....	23
Figura 22. Transformador trifásico Dz con alimentación L1-L2-L3 y carga monofásica entre 2 y 3. Recorrido de las distintas corrientes por el transformador.....	24
Figura 23. Recorrido de los flujos magnéticos Dz.....	25
Figura 24. Cuadro de inicio rápido de GUIDE para la creación de GUI desde cero.....	28
Figura 25. Interfaz vacía para el comienzo del desarrollo de GUI.....	29
Figura 26. Todos los elementos gráficos de las GUI.....	30

Figura 26a. <i>Push Button</i> .....	30
Figura 26b. <i>Radio Button</i> .....	30
Figura 26c. <i>Toggle Button</i> .....	30
Figura 26d. <i>Slider</i> .....	30
Figura 26e. <i>Static Text</i> .....	30
Figura 26f. <i>Editable Text</i> .....	30
Figura 26g. <i>Pop-Up Menu</i> .....	30
Figura 26h. <i>Listbox</i> .....	30
Figura 26i. <i>Check Box</i> .....	30
Figura 27. GUI introductoria a la aplicación.....	31
Figura 28. GUI de recogida de datos.....	32
Figura 29. Opciones de alimentación.....	32
Figura 30. Opciones de conexión en el primario.....	32
Figura 31. Opciones de conexión en el secundario.....	33
Figura 32. Opciones de conexión de la carga.....	33
Figura 33. GUI de recogida de datos con el transformador seleccionado.....	33
Figura 34. Recogida de tensiones e intensidad de la carga del transformador.....	34
Figura 35. GUI de recogida de datos con todos los datos dados por el usuario.....	34
Figura 36. Error dado por no digitar todos los campos.....	35
Figura 37. Error dado por introducir datos no validos.....	35
Figura 38. Error dado por introducir una conexión-carga no existente.....	36
Figura 39. GUI muestra de resultados.....	36
Figura 40. Botón que abre la GUI donde muestra las explicaciones del método.....	37
Figura 41. GUI explicación del método para hallar los resultados obtenidos.....	38
Figura 42. Botón que abre la GUI de recogida de nuevos datos.....	38
Figura 43. GUI de la nueva recogida de datos con el transformador seleccionado.....	39
Figura 44. GUI de muestra de resultados con las nuevas funciones implementadas..	40
Figura 45. Transformador trifásico Dy orden de fases 1-2-3.....	43
Figura 46. Sistema de tensiones del transformador Dy.....	44
Figura 47. Transformador Dy cargado entre 1 y 2.....	44

Figura 48. Representación fasorial de $I_{z1}$ .....	45
Figura 49. Transformador Dy cargado entre 2 y 3.....	45
Figura 50. Representación fasorial de $I_{z2}$ .....	46
Figura 51. Transformador Dy cargado entre 3 y 1.....	46
Figura 52. Representación fasorial de $I_{z3}$ .....	47
Figura 53. Transformador trifásico Dy con carga trifásica conectada en triángulo.....	48
Figura 54. GUI recopiladora de datos para el primer caso.....	49
Figura 55. GUI expositora de resultados para el primer caso.....	49
Figura 56. GUI recopiladora de datos para el segundo caso.....	50
Figura 57. GUI expositora de resultados para el segundo caso.....	50
Figura 58. GUI recopiladora de datos para el tercer caso.....	51
Figura 59. GUI expositora de resultados para el tercer caso.....	51
Figura 60. GUI expositora de resultados para el caso final.....	52
Figura 61. Transformador trifásico de tres columnas con conexión Dy.....	55
Figura 62. Fuente de alimentación trifásica basada en un autotransformador.....	56
Figura 63. Módulo de impedancias.....	57
Figura 64. Transductores eléctricos.....	57
Figura 64a. Transductor de corriente.....	57
Figura 64b. Transductor de tensión.....	57
Figura 65. Módulo CompactRIO conectado a través de sondas a los transductores...58	
Figura 66. Programa de lectura de datos una vez descargados en el PC.....	59
Figura 67. Tensiones e intensidades de línea del primario en el primer caso.....	60
Figura 68. Diagrama fasorial de las intensidades y tensiones de línea experimentales del primer caso.....	60
Figura 69. Tensiones e intensidades de línea del primario en el segundo caso.....	61
Figura 70. Diagrama fasorial de las intensidades y tensiones de línea experimentales del segundo caso.....	62
Figura 71. Tensiones e intensidades de línea del primario en el tercer caso.....	62
Figura 72. Diagrama fasorial de las intensidades y tensiones de línea experimentales del tercer caso.....	63

Figura 73. Tensiones e intensidades experimentales de línea del primario en el caso equilibrado en triángulo.....	63
Figura 74. Tensiones e intensidades teóricas de línea del primario en el caso equilibrado en triángulo.....	64
Figura 75. Diagrama fasorial de las intensidades y tensiones de línea experimentales del caso equilibrado.....	64
Figura 76. Diagrama fasorial de las intensidades y tensiones de línea teóricas del caso equilibrado.....	65
Figura 77. Representación de $I_{z1}$ y $V_{L1L2}$ frente al tiempo.....	66
Figura 78. Tensiones e intensidades de línea del primario en el primer caso.....	66
Figura 79. Diagrama fasorial de las intensidades y tensiones de línea experimentales del primer caso.....	67
Figura 80. Diagrama fasorial de las intensidades de línea teóricas del primer caso....	67
Figura 81. Tensiones e intensidades de línea del primario en el segundo caso.....	67
Figura 82. Diagrama fasorial de las intensidades y tensiones de línea experimentales del segundo caso.....	68
Figura 83. Diagrama fasorial de las intensidades de línea teóricas del segundo caso.	68
Figura 84. Representación de $I_{z3}$ y $V_{L3L1}$ frente al tiempo en el tercer caso.....	69
Figura 85. Tensiones e intensidades de línea del primario en el tercer caso.....	69
Figura 86. Diagrama fasorial de las intensidades y tensiones de línea experimentales del tercer caso.....	70
Figura 87. Diagrama fasorial de las intensidades de línea teóricas del tercer caso....	70
Figura 88. Equipo conectado para el ensayo.....	70
Figura 89. Equipo eléctrico conectado para el ensayo.....	71
Figura 90. Tensiones e intensidades experimentales de línea del primario en el caso.....	71
Figura 91. Comparación entre las tensiones $V_{L1L2}$ e intensidad $I_1$ de línea experimentales y teóricos.....	72
Figura 92. Comparación entre las tensiones $V_{L2L3}$ e intensidad $I_2$ de línea experimentales y teóricos.....	72
Figura 93. Comparación entre las tensiones $V_{L3L1}$ e intensidad $I_3$ de línea experimentales y teóricos.....	73
Figura 94. Comparación entre las tensiones e intensidades de línea experimentales y teóricos.....	73

## Índice de Tablas.

Tabla 1. Elementos gráficos de una GUI.....	30
Tabla 2. Costes por mano de obra.....	77
Tabla 3. Costes por licencia de software.....	77
Tabla 4. Costes totales.....	77



## Introducción y objetivos.

Este trabajo de Fin de Grado presenta el diseño de un programa elaborado con el entorno de Matlab; más específicamente con la herramienta GUIDE para el desarrollo de interfaces gráficas de usuario, el cual se va a usar para el estudio y simulación de todos los casos existentes de desequilibrios extremos producidos por cargas monofásicas en transformaciones trifásicas.

Para comenzar, se realizará un estudio acerca de las transformaciones trifásicas, sus tipos y grupos de conexión. Se analizará el método general de estudio de desequilibrios, propuesto por C.L.Fortescue; y se esbozará las líneas generales de un procedimiento simplificado empleando las ecuaciones de los circuitos eléctricos y magnéticos de los transformadores.

Posteriormente se comentará la herramienta de Matlab anteriormente mencionada, GUIDE, con la cual se ha desarrollado la interfaz y el código de la aplicación para la simulación de los circuitos de los transformadores con carga desequilibrada en todos los casos existentes.

Además, se analizarán algunos casos, en los cuales se visualizará el funcionamiento de esta interfaz gráfica y su aplicación.

Partiendo de los desequilibrios extremos, se desarrolla el método para el estudio de transformaciones con cargas desequilibradas más complejas. Se explicará el desarrollo teórico de este método y se implementarán las funciones requeridas en la *app*.

Finalmente, se realizarán comprobaciones experimentales, en el laboratorio de máquinas eléctricas, analizando los resultados obtenidos a partir de la aplicación programada y demostrando la validez de la metodología propuesta.

La finalidad de esta aplicación es la de proporcionar, una formación continua y complementaria a los alumnos, post graduados o a cualquier interesado en el conocimiento de este tema, mediante un proceso interactivo y secuencial. Para ello, se quiere hacer accesible esta aplicación a través de la página web del departamento.

Además, esta herramienta también servirá en la docencia reglada para el estudio de desequilibrios extremos producidos por cargas monofásicas, sin emplear excesivo tiempo en su desarrollo.

He de destacar que se ha realizado una búsqueda previa de los documentos más relevantes en los distintos archivos y bases de datos de Almena Discovery de la UVA, en los cuales se encontraron varios libros interesantes sobre transformaciones trifásicas, pero que trataban en muy poca profundidad los temas de los desequilibrios, por lo que, finalmente no sirvieron de gran utilidad para el fin de este trabajo.





## Desarrollo

### 1. El transformador trifásico. Estado del arte y generalidades.

En el siguiente capítulo se dará a conocer el transformador trifásico como la máquina eléctrica que es; a su vez, se explicarán definiciones sencillas sobre este, se realizará un estudio constructivo y se darán algunas ecuaciones que rigen el comportamiento del transformador.

#### 1.1 Introducción a los transformadores trifásicos

Un transformador, se trata de una máquina eléctrica estática, la cual, funcionando a partir de corriente alterna, está destinado a la transferencia de energía eléctrica, desde un arrollamiento que se denomina primario, hacia otro llamado secundario; permitiéndose así, transformar unas magnitudes  $V_p-I_p$  del primario, a otras  $V_s-I_s$ , generalmente con valores diferentes en el secundario.

Además, una peculiaridad muy importante de los transformadores es su reversibilidad, lo que quiere decir, que la energía se puede suministrar por el secundario, cediéndose esta al primario.

Para realizarse dicha transferencia de energía, los transformadores trifásicos están formados por tres pares de bobinas, construyéndose así tres circuitos eléctricos; que, a su vez, están acoplados magnéticamente mediante un flujo común. Para que se cree este flujo común entre los pares de bobinas acopladas, es utilizado habitualmente un núcleo de hierro u otro material diferente ferromagnético, ya que este posee una permeabilidad magnética muy elevada, facilitándose la conducción de flujo a través de él. Este flujo ha de ser variable temporalmente, induciéndose tensión desde un devanado a otro y, por ello, la corriente que lo cree debe ser variable en el tiempo también. Los tres flujos que son creados en los transformadores trifásicos, siempre que se tenga un sistema de alimentación equilibrado, como en los casos que se estudiarán a continuación, serán de igual magnitud, estando desfasados  $120^\circ$  en el tiempo.

La importancia de este tipo de máquina eléctrica radica [1], en que gracias a estos se ha desarrollado la utilización de la energía eléctrica; posibilitándose tanto desde el punto de vista práctico como desde el punto de vista económico, el transporte de energía en distancias muy grandes.

Generalmente, la transmisión de la energía eléctrica desde las centrales o lugares de producción de esta, hasta cualquiera de los distintos centros de consumo, es un proceso más económico cuanto más alta es la tensión en las líneas de distribución, haciéndose disminuir la intensidad de corriente y consecuentemente la sección de los conductores de línea. Por otro lado, las tensiones que se generan en las centrales eléctricas están aún muy limitadas, alcanzándose unos valores de alrededor de los 25kV; valores que no llegan a alcanzar la medida que se ha expuesto anteriormente para reducir los costos de distribución. A su vez, en sistemas de alta tensión, no se puede enviar la

corriente a los aparatos donde se vayan a utilizar, requiriendo estos, tensiones más bajas.

Por ello, son los transformadores los que se encargan de acomodar de forma eficiente estas necesidades contrarias; se responsabiliza de aumentar la tensión a la salida de los alternadores de las centrales eléctricas a razón de 400kV, transportándose la energía, mientras que en los centros receptores se desarrolla el proceso opuesto, donde otros transformadores reducen las tensiones hasta niveles de consumo de energía.

## 1.2 Tipos de transformaciones trifásicas

Existen tres tipos principales de transformaciones trifásicas de columnas de material ferromagnético: banco de transformadores monofásicos (Figura 1), transformador de tres columnas (Figura 2) y transformador de cinco columnas (Figura 3).

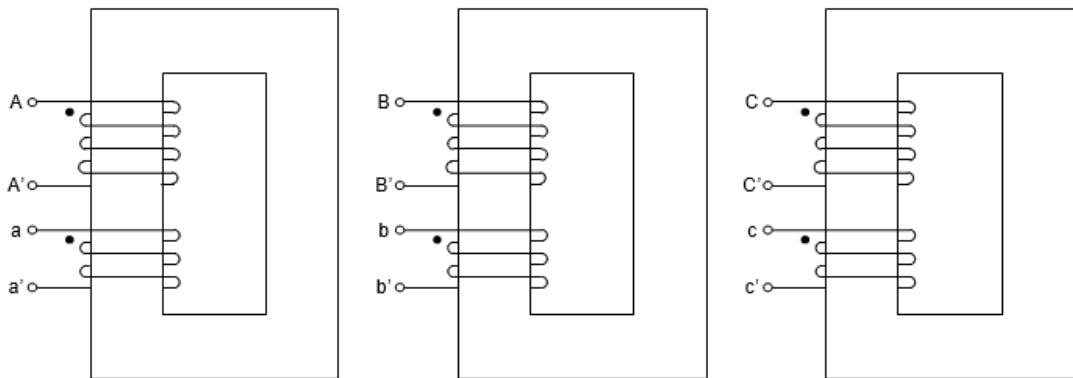


Figura 1. Banco de transformadores monofásicos desconectado [2]

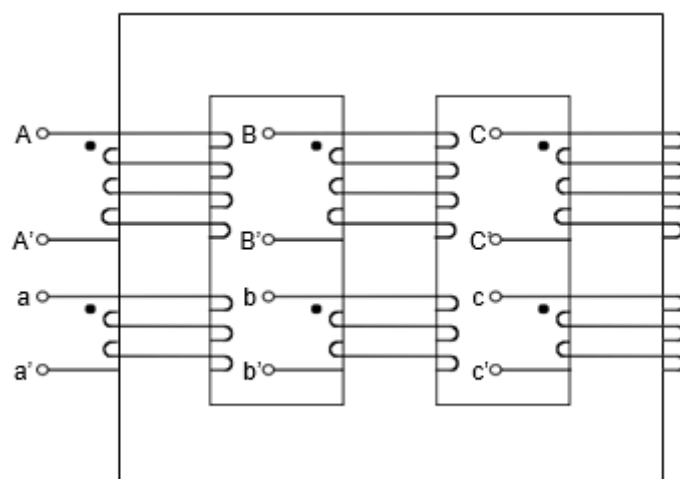


Figura 2. Transformador trifásico de tres columnas desconectado [2]

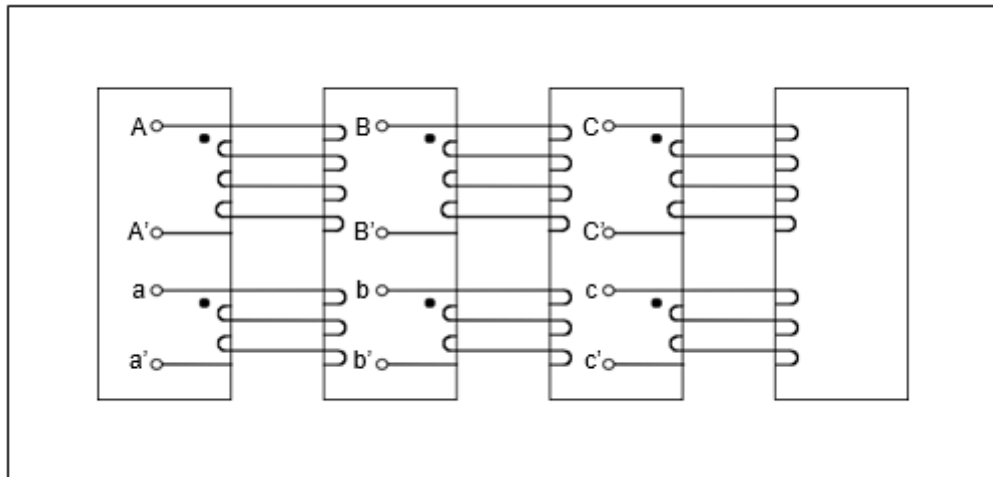


Figura 3. Transformador trifásico de 5 columnas desconectado [2]

Sin embargo, el transformador que se va a estudiar es el de tres columnas, ya que es el más común, además de contar con ventajas respecto a los otros dos, tales como el ahorro en el peso, el aspecto económico y las pérdidas por calor.

Aun así, este estudio es correcto para cualquier tipo de transformación, teniéndose que realizar operaciones muy similares y obteniéndose los mismos resultados.

### 1.3 Aspectos constructivos.

Un transformador trifásico, principalmente está constituido de las siguientes partes [1]:

#### 1.3.1 Núcleo.

Se trata del elemento por el que está formado en su mayor medida. Compone el sistema que da lugar a los circuitos magnéticos del transformador, encontrando en él, chapas de acero, tratadas por un proceso de laminación en frío y posteriormente expuestas a un proceso denominado “carlite” en el que se protege, aislándolo, y atenuándose así las pérdidas en el hierro.

Como se ha dicho anteriormente, estos circuitos magnéticos contienen en su mayor medida las columnas, donde se ubican los devanados, pero también contienen las culatas, que son aquellas partes donde se realiza la unión entre las columnas. Además, los espacios existentes entre estos, por donde los devanados transitan, son llamados ventanas de núcleo.

Las soldaduras entre las culatas y las columnas se conocen como juntas, las cuales, han de ser de espesor lo más ínfimas posibles, para poder evitar cualquier tipo de reluctancias en los circuitos magnéticos.

#### 1.3.2 Devanados.

Constituye los circuitos eléctricos del transformador, los cuales son realizados a partir de conductores de cobre, formándose dos bobinados. Estos

conductores también necesitan el recubrimiento de un aislador resistente que, en la mayoría de los casos, suele ser un barniz para pequeños transformadores.

### 1.3.3 Sistema de refrigeración.

Como en el resto de las máquinas eléctricas, en los transformadores, una parte de sus pérdidas son transformadas en calor, afectando a los aislamientos de la máquina por este aumento de la temperatura. Con el fin de evitar estos aumentos de temperatura se han de disponer los distintos sistemas de refrigeración necesarios.

Para transformadores en los que se trabaja con potencias pequeñas, la propia superficie externa de este puede servir para la disipación de calor adecuada, dándose lugar los transformadores en seco. Mientras que en aquellos que se dedican a trabajar con potencias elevadas, se utiliza un aceite mineral de refrigeración, originándose una funcionalidad refrigerante y aislante

### 1.3.4 Placa característica.

Según la norma UNE-EN 60076-1:2013 [3], se trata de una placa metálica donde aparecen datos de la potencia nominal, tensiones nominales del primario y secundario, caída de tensión relativa en cortocircuito y frecuencia nominal. También se indica el grupo de conexión, distintas especificaciones del transformador, refrigerante, fabricante y número de serie.

Cuando se habla de valores nominales se trata de aquellos para los que la máquina ha sido diseñada.

Cuando se habla de potencia nominal, se hace referencia a la potencia aparente trifásica ( $S_N$ ), a partir de la corriente y tensión nominal.

$$S_n = s_n = \sqrt{3}V_{Np}I_{Np} = \sqrt{3}V_{Ns}I_{Ns} \quad (\text{Ec. 1})$$

Es la máxima potencia activa que es capaz de suministrar el transformador desde el secundario, en régimen permanente y con carga resistiva, sin que el sobrecalentamiento de este sea perjudicial.

Las tensiones nominales,  $V_{Np}$  y  $V_{Ns}$ , equivalen a las tensiones de línea, que se deberán aplicar si se quiere un correcto funcionamiento, evitando un desgaste de los devanados. Son proporcionales al número de espiras del primario  $N_p$  y del secundario  $N_s$ .

Las intensidades nominales, tanto del primario como del secundario,  $I_{Np}$  e  $I_{Ns}$ , son aquellas intensidades de línea máximas que pueden circular por el transformador sin un deterioro de estos mismos devanados.

La relación de transformación,  $r$ , en transformaciones trifásicas, se calcula como la relación entre la tensión de línea del primario y del secundario.

Por otro lado, la frecuencia nominal es aquella frecuencia con la que se ha trabajado para obtener los anteriores valores nominales.

#### 1.4 Tipo de conexiones.

Las distintas maneras que existen para conectarse los devanados del primario y del secundario de un transformador trifásico son: Estrella (Y), triángulo (D) o zig-zag (Z), de las cuales, solo las dos primeras se utilizan en la conexión del primario; mientras que, en el secundario, se puede conectar de cualquiera de las tres formas [4].

En la figura 4 se puede observar, a modo de ejemplo, un transformador trifásico de tres columnas con el primario conectado en estrella (Y) y el secundario en triángulo (d); además se tiene conectada una carga monofásica entre las dos primeras fases del secundario.

Otro ejemplo es el que se puede ver en la figura 5. Se tiene de nuevo un transformador trifásico de tres columnas, el cual, esta vez se ha conectado el primario en triángulo (D) y el secundario en zig-zag (z), donde se ha conectado una carga monofásica entre la primera y la tercera fase.

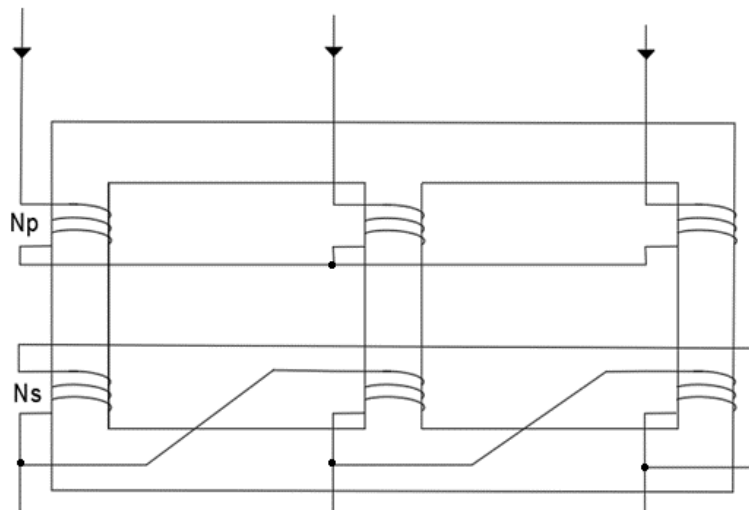


Figura 4. Transformador trifásico Yd

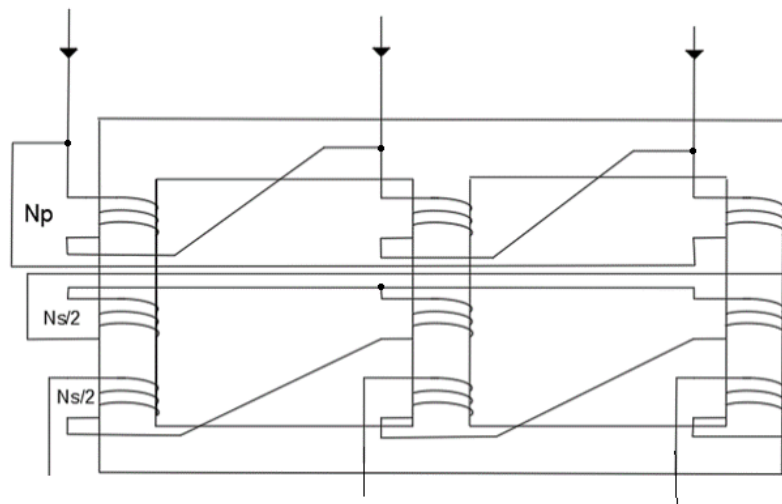


Figura 5. Transformador trifásico Dz

#### 1.4.1 Conexión en estrella

Se unen en un mismo punto los extremos de los arrollamientos de los devanados de la misma polaridad (Figura 6). Existen dos formas distintas de conectarse.

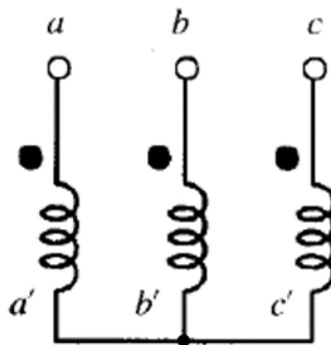


Figura 6. Conexión en estrella [1]

Generalmente, este tipo de conexión posee las siguientes características:

- Neutro accesible.
- Corriente de línea es igual a la corriente que circula por el devanado.
- Cada devanado sobrelleva tensión simple o de fase-neutro.
- No tolera de manera adecuada los desequilibrios provocados por cargas no simétricas, deformándose la onda de tensión del transformador.

#### 1.4.2 Conexión en triángulo

Se conecta de manera sucesiva los polos opuestos de un devanado con el siguiente. (Figura 7). Existen dos formas de conectarse.

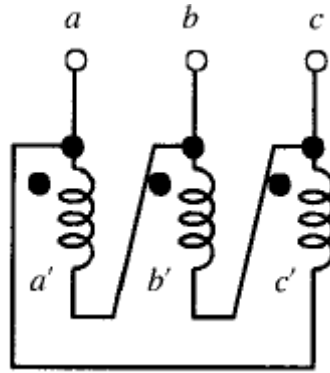


Figura 7. Conexión en triángulo [1]

Estas conexiones se caracterizan por lo siguiente:

- No tienen neutro
- La corriente que circula por el devanado es la de línea por  $1/\sqrt{3}$
- Los devanados soportan la tensión compuesta o de fase-fase
- Tolera mejor los desequilibrios que las conexiones en estrella.

#### 1.4.3 Conexión en zig-zag

En la práctica solo se emplea en el lado de menor tensión del transformador.

Se obtiene [1], subdividiendo los devanados secundarios en dos iguales; uno de ellos se conecta siguiéndose la manera de conectarlos de la conexión en estrella y, posteriormente, se une en serie con las bobinas invertidas de las fases adyacentes siguiendo un orden cíclico (Figura 8). Existen hasta 4 formas de conexionado de este tipo.

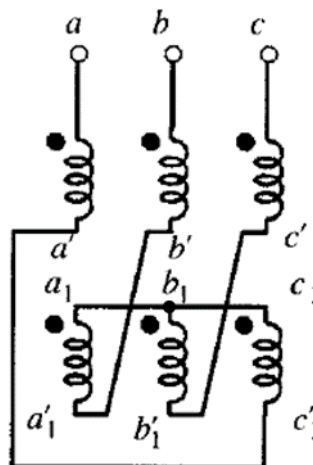


Figura 8. Conexión en zigzag [1]

Esta conexión se caracteriza por:

- Se comporta bien frente a cargas desequilibradas
- Permite el uso del neutro en el secundario
- Requiere un 15% más de espiras que la conexión en estrella convencional.

## 1.5 Ventajas y desventajas de las conexiones más típicas.

### 1.5.1 Estrella-Estrella (Yy)

- Ventajas [5]:
  - Acceso al neutro en primario y secundario, permitiéndose obtener dos tensiones muy útiles en redes de distribución, o para conectarse a tierra, usándose como medida de seguridad.
  - Es más económica por aplicarse una tensión inferior a la de línea, disminuyendo el número de espiras, aunque se deberá aumentar la sección del conductor para que pueda circular la corriente de línea.
- Desventajas:
  - Grandes desequilibrios en el primario del transformador al presentarse cargas desequilibradas en el secundario.
  - Su uso se reduce a pequeñas potencias.

### 1.5.2 Estrella-Triángulo (Yd)

- Ventajas [4]:
  - La mayoría de los desequilibrios que se producen por las cargas en el secundario quedan compensadas en las fases del primario. El triángulo distribuye parcialmente cualquier desequilibrio presente.
  - No tiene problemas con el tercer armónico de la tensión.
- Desventajas:
  - No presenta neutro secundario para redes de distribución o conexiones a tierra.
  - La conexión del neutro del primario a tierra suele dar armónicos perjudiciales
  - El uso del transformador es muy limitado (Reductor de tensión al final de una línea)

### 1.5.3 Triángulo-Estrella (Dy)

- Ventajas [4]:
  - Desequilibrios en cargas no producen asimetrías en el flujo, repartiéndose entre las tres columnas del flujo.



- El neutro en el secundario permite que esta conexión sea muy utilizada en redes de distribución y utilizarlo, conectándolo a tierra, como protección de la instalación.
- Apenas tiene inconvenientes, por lo que se está fomentando el uso de esta conexión para el transporte y distribución de energía.

➤ Desventajas:

- No presenta inconvenientes siguiendo una utilización adecuada según sus características (Elevador de tensión al comienzo de una línea)

#### 1.5.4 Triángulo-Triángulo (Dd)

➤ Ventajas [5]:

- Se evitan desequilibrios de flujo producidos por las cargas en el secundario, repartiéndose entre las fases del primario.
- Se disminuye la sección de los conductores al circular por estos una corriente inferior a la de línea.

➤ Desventajas:

- Al no disponer salida del neutro ni en el primario ni secundario tiene grandes limitaciones en su utilización.
- Las bobinas abarcan la completa tensión de línea, teniendo que aumentarse el número de espiras.

#### 1.5.5 Estrella-Zigzag (Yz)

➤ Ventajas [1]:

- Sin desequilibrios en el primario al aparecer cargas desequilibradas en el secundario.
- Permite utilizar el neutro del secundario como distribución al igual que las conexiones en estrella, con una aplicación de distribución de redes en las que se suministren dos tensiones.

➤ Desventajas:

- Proporciona una tensión de línea inferior de la que daría una conexión Yy con el mismo número de espiras, teniéndose que aumentar en un 15% el número de espiras en el secundario para obtener el mismo resultado de tensiones. Este aumento del número de espiras da lugar a un mayor coste, limitándose su aplicación a potencias pequeñas.

### 1.6 Índices horarios

En un transformador trifásico, al conectarse los devanados del primario y del secundario en las distintas conexiones vistas en el apartado anterior, aparecen distintos desfases entre las tensiones de línea del primario y secundario [6]. El índice horario revela los desfases en múltiplos de  $30^\circ$ , que existe entre el ángulo del fasor de la tensión que hay entre dos fases del primario respecto a la que hay entre sus dos respectivas fases del secundario,  $V_{AB} - V_{ab}$ . Como los sistemas trifásicos presentan una simetría y los desfases que se van a presentar van a ser múltiplos de  $30^\circ$  para cualquier conexión [5], se puede comprobar que habrá un total de 12 desfases posibles en un sistema trifásico equilibrado.

Siguiéndose una analogía de un reloj, con la manecilla grande en las 12, dirección que tomará el fasor de la tensión del lado de AT entre dos fases, mientras que la manecilla corta sigue la dirección que llevará el fasor de la tensión del lado de BT entre esas dos fases. Por ello, existiendo un desfase de  $330^\circ$ , se puede decir que se está trabajando con un índice horario 11.

Como ejemplo, se presenta un transformador trifásico conectado, de tal forma, que se presenta un triángulo en el primario y una estrella en el secundario, como el de la figura 9.

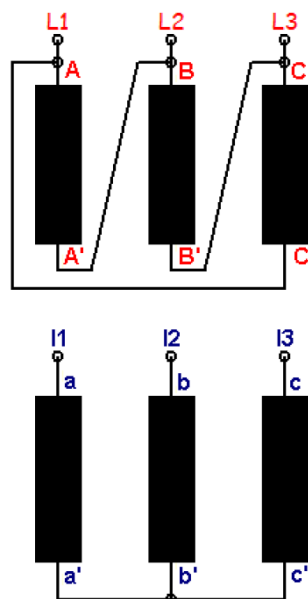


Figura 9. Transformador conectado en triángulo-estrella [6]

Trabajando con un sistema de tensiones directo y equilibrado, se dibujan las tensiones entre fases del primario, de forma como en la figura 10, que siempre se haga coincidir el borne de la primera fase, este caso U con las 12h. Se dibujará, situándose en U y siguiéndose el orden U, V, W; es decir, observándose el bobinado, se pasa de U a U', llegamos a V y se continúa de V a V'. Así se trabaja sucesivamente, completándose el triángulo.

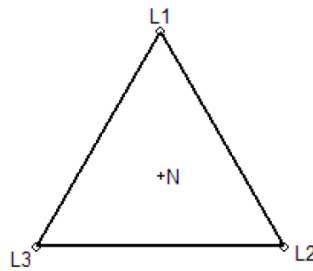


Figura 10. Tensiones simples del primario. [6]

Para dibujarse las tensiones secundarias, se toman los segmentos u-u', v-v' y w-w' con el mismo módulo y dirección que sus equivalentes U-U', V-V' y W-W' de la figura anterior. Por otro lado, se observa en el transformador que los bornes de la estrella u', v' y w' forman el neutro de la estrella (Figura 11), por lo que se continuará tomando esos segmentos y uniéndose dichos bornes, formándose el neutro y, por ello, la estrella con la que se está trabajando.

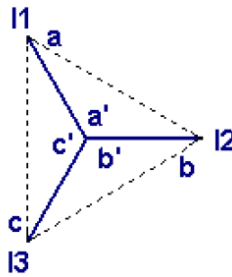


Figura 11. Tensiones simples del secundario [6].

Superponiendo las figuras (figura 12) se obtiene como resultado el ángulo de 330°, que es equivalente a un índice horario 11.

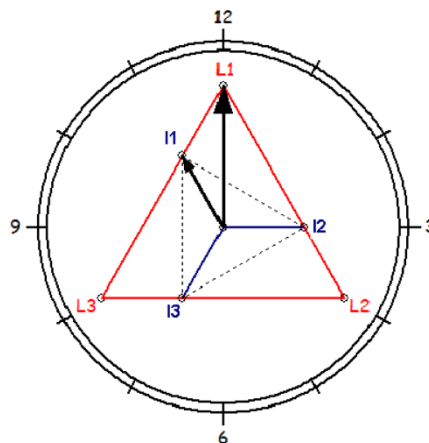


Figura 12. Superposición de ambos gráficos. Índice horario 11. [6]

En este mismo apartado, se debe destacar el termino grupo de conexión. Este sirve para definir la conexión de un transformador, indicándose la clase de

devanados y el índice horario de estos. Es decir, definir exactamente con qué tipo de estrella, triángulo o conexión en zigzag se está trabajando de entre todas las combinaciones ocurrentes. Se suele expresar con dos letras y un número:

Con la primera letra se nos muestra la conexión del devanado de alta tensión, y se escribirá en mayúscula.

La segunda letra nos muestra la conexión en el devanado que soporta una menor tensión. Esta letra se escribirá en minúscula.

Gracias al número se nos indica el índice horario de la conexión.

Por ello, del ejemplo anterior se obtiene un grupo de conexión Dy11.

## 2. El transformador trifásico en régimen permanente desequilibrado

### 2.1 Introducción a los desequilibrios en sistemas trifásicos.

Un transformador trifásico es diseñado para trabajar en condiciones de equilibrio y en régimen senoidal, de este modo los flujos magnéticos a lo largo de este son todos senoidales, lo que hace que la suma de ellos sea cero.

En la práctica [7], se evita trabajar con estos sistemas desequilibrados, ya que además de otros problemas, de esta forma no representa un buen funcionamiento de los transformadores, pues no se consigue que el transformador trabaje con todas sus fases a plena carga, lo que desemboca en la no obtención del máximo rendimiento del transformador.

Un sistema está equilibrado, generalmente, si las tensiones que alimentan al transformador son simétricas, del mismo valor eficaz y con un desfase de  $120^\circ$  cada una o cuando las impedancias entre las distintas fases son iguales.

Los desequilibrios se suceden cuando se deja de trabajar en cualquiera de las dos situaciones mencionadas. Aun así, la mayoría de los transformadores suelen trabajar en régimen desequilibrado, ya sea porque alimenta cargas que no son equilibradas o, en menor medida, porque la alimentación no lo es. En muy pocos casos se logra alcanzar un equilibrio de carga completa.

Por otro lado, el comportamiento de los transformadores frente a estas condiciones de desequilibrio siempre va a depender de la conexión de los arrollamientos de los devanados.

Para el transformador trifásico que alimenta una carga desequilibrada [8], las intensidades que circulan por las tres líneas del secundario serán sinusoides de distinto valor eficaz, además de no estar desfasadas entre si  $120^\circ$ . Este desequilibrio se transmite al primario, causándose la misma circunstancia en las líneas del primario que las del secundario respecto a la intensidad. Además, depende que casos, se podrían producir sobretensiones en alguna de las fases.

En nuestro supuesto, se va a tratar de estudiar los desequilibrios más extremos que se pueden desarrollar en los transformadores trifásicos; es decir, aquellos en los que se carga una única fase del secundario con una carga monofásica.

### 2.2 Simetría y equilibrio en sistemas trifásicos. Centro de gravedad.

Existen dos características fundamentales a la hora de definir los sistemas de tensiones trifásicos que alimentan los transformadores o cualquier otra máquina eléctrica [2]. Estas son dos propiedades “geométricas”, simetría y equilibrio del sistema.

Para que se visualicen estas propiedades es necesario dibujar el triángulo o diagrama de tensiones (figura 13). Si con los fasores de las tensiones se forma

un triángulo equilátero, se puede demostrar que el sistema de tensiones de estos fasores es simétrico, de lo contrario el sistema es asimétrico.

Con respecto al equilibrio del sistema, el centro de gravedad  $G$  del triángulo que es formado por las tensiones de los fasores  $ABC$ , es aquel punto donde las tensiones fase-neutro son nulas. Por ello, si el  $cdg$  de dicho triángulo coincide con el punto neutro del sistema de tensiones, el sistema es equilibrado; mientras que, si estos dos puntos no coinciden, se trata de un sistema desequilibrado.

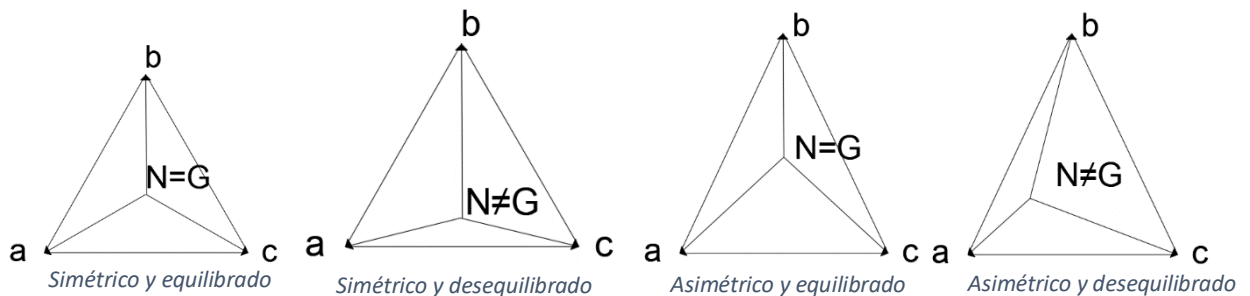


Figura 13. Sistemas de tensión trifásica

### 2.3 Método de análisis de sistemas desequilibrados de Fortescue. Componentes simétricas

Durante una reunión [2] del “American Institute of Electrical Engineers” en 1918, Charles Legeyt Fortescue expuso la que iba a ser una de las herramientas más pujantes para el estudio de sistemas desequilibrados; el “método de las componentes simétricas” o lo que se denominaría “Teorema de Fortescue”

Tal como se desarrolla en este teorema, cualquier sistema polifásico desequilibrado, con un número  $n$  de fases, se puede descomponer como la adición de  $n$  número de sistemas simétricos, aplicándose el teorema de superposición.

Para el caso que se está trabajando, un sistema trifásico se podrá obtener como la suma [9], por superposición, de tres sistemas equilibrados, las cuales son llamadas particularmente “Componentes simétricas”.

Estos sistemas y sus componentes se podrán observar desarrollando un diagrama de líneas para cada una de las componentes, las cuales serán [10]:

- Sistema trifásico equilibrado con componentes de secuencia directa o positiva, como se observa en la figura 14, de secuencia de fases iguales al sistema desequilibrado original

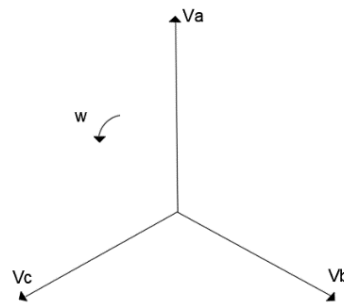


Figura 14. Sistema de tensiones en secuencia directa

- Sistema trifásico equilibrado con componentes de secuencia inversa o negativa, presente en la figura 15; de fases en sentido contrario al sistema desequilibrado.

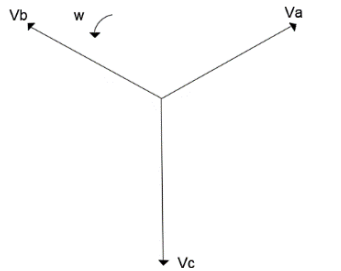


Figura 15. Sistema de tensiones en secuencia inversa

- Sistema trifásico equilibrado con componentes homopolares o de secuencia cero o nula, se muestra en la figura 16, como las fases son exactamente iguales en módulo y argumento. En este caso, la suma de todas las fases no es cero salvo que el módulo de estas lo sea; de igual forma se observa que la diferencia entre fases si lo sea.

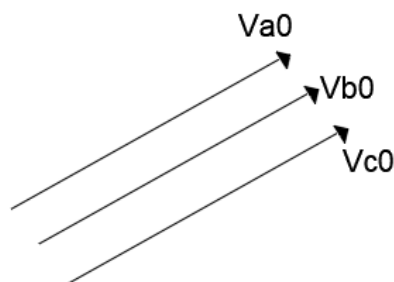


Figura 16. Sistema de tensiones en secuencia cero u homopolar.

Gracias al uso de este método puede determinarse la conducta de los distintos sistemas trifásicos desequilibrados, aplicándose el teorema de superposición (figura 17).

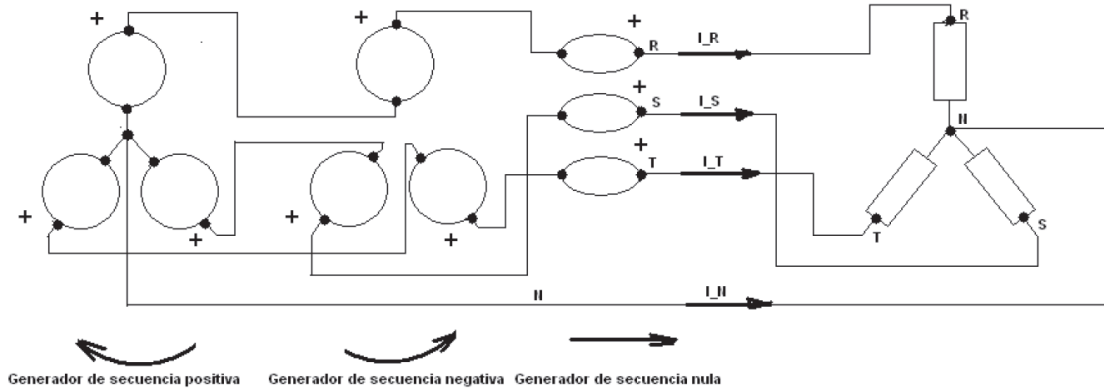


Figura 17. Representación física del teorema de Fortescue y principio de superposición [11].

### 2.3.1 Cálculos para la obtención de las componentes simétricas

Definiendo el vector giro  $a = e^{j\frac{2\pi}{3}}$ , perteneciente a la matriz transformada de Fortescue:

$$F = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \quad (\text{Ec. 2})$$

Y a su matriz inversa:

$$F^{-1} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \quad (\text{Ec. 3})$$

Se es capaz de obtener los fasores de los distintos sistemas simétricos que son hallados a partir del sistema trifásico desequilibrado.

Para ello [2], se emplea la matriz inversa sobre cualquiera de las magnitudes del sistema trifásico equilibrado a estudio, ya sean flujos, corrientes, tensiones, etc, en fase a,b,c del sistema original; con ello se obtiene en una magnitud de secuencia 0,1,2 o lo que es lo mismo, de secuencia homopolar(0), directa(1) e inversa(2).

A partir de esto, y contando con una variable Y de un sistema trifásico equilibrado en fase, se pueden transformar en una variable  $Y_F$  en secuencia de Fortescue, de la siguiente manera:

$$Y_F = F^{-1}Y \quad \begin{bmatrix} Y_0 \\ Y_1 \\ Y_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_A \\ Y_B \\ Y_C \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} Y_A + Y_B + Y_C \\ Y_A + aY_B + a^2Y_C \\ Y_A + a^2Y_B + aY_C \end{bmatrix} \quad (\text{Ec. 4})$$



Además, desconociendo el sistema trifásico con el que se trabaja, se puede saber si este es equilibrado o desequilibrado, calculando la tensión homopolar  $V_0$  del sistema:

$$V_0 = \frac{1}{3}(V_{AN} + V_{BN} + V_{CN}) \quad (\text{Ec. 5})$$

Cuando esta tensión es nula, el sistema con el que se está trabajando está equilibrado; mientras que, existiendo, el sistema estará desequilibrado, siendo esta, la tensión existente entre el neutro N y el cdg G.

Otra magnitud que se debe tener en cuenta trabajándose con transformadores trifásicos en el flujo homopolar:

$$\phi_0(t) = \frac{1}{3}(\phi_A(t) + \phi_B(t) + \phi_C(t)) \quad (\text{Ec. 6})$$

El flujo homopolar únicamente aparece en condiciones de desequilibrio, desplazándose el neutro en conexiones en estrella (Y), dando lugar a sistemas desequilibrados.

### 2.3.2 Fundamento de la transformación de Fortescue

Esta transformación se basa en la diagonalización de matrices circulantes.

La matriz M es circulante si se cumple que:

$$\text{M circulante} \quad M = \begin{bmatrix} M_A & M_B & M_C \\ M_C & M_A & M_B \\ M_B & M_C & M_A \end{bmatrix} \quad (\text{Ec. 7})$$

Por ello, si se tiene una matriz M circulante en magnitudes de fase, según se ha visto anteriormente, al aplicarse la transformación de Fortescue se consigue la matriz  $M_F$  con variables de secuencia.

$$M_F = F^{-1}MF = \begin{bmatrix} M_A + M_B + M_C & 0 & 0 \\ 0 & M_A + a^2M_B + aM_C & 0 \\ 0 & 0 & M_A + aM_B + a^2M_C \end{bmatrix} \quad (\text{Ec. 8})$$

Se puede comprobar que los resultados obtenidos con esta propiedad coinciden con la de los términos del sistema trifásico en variables en secuencia homopolar, directa e inversa. Gracias a dicha propiedad se consigue que el sistema trifásico desequilibrado con fuente de alimentación desequilibrada y senoidal se estudie como tres sistemas trifásicos equilibrados.

## 2.4 Método aplicado para el estudio de desequilibrios en transformadores.

Antes de aplicar este método, es necesario conocer dos de las leyes básicas de los circuitos eléctricos y circuitos magnéticos.

### 2.4.1 Primera ley de Kirchoff de los circuitos eléctricos

Según [13] dicha ley cita:

“En cualquier nudo, la suma de las corrientes que entran en ese nudo es igual a la suma de las corrientes que salen. De forma equivalente, la suma de todas las corrientes que pasan por el nudo es igual a cero”

$$\sum_{k=1}^n I_k = I_1 + I_2 + \dots + I_n = 0 \quad (\text{Ec. 9})$$

Esta ley (Figura 18) se fundamenta en el principio de conservación de la carga, en este caso, el principio de la conservación de la carga eléctrica, donde un nudo es un punto de la red en el que convergen distintos conductores.

$$I_3 + I_2 - I_1 - I_4 = 0 \quad (\text{Ec. 10})$$

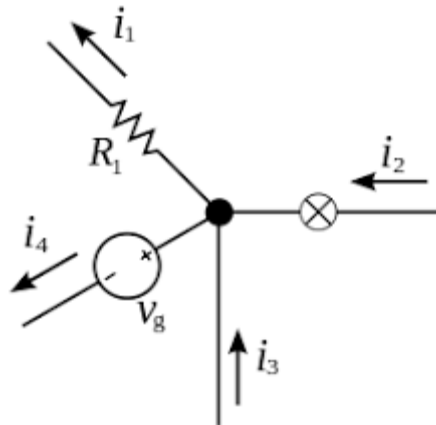


Figura 18. Aplicación de la primera ley de Kirchoff de los circuitos eléctricos. [12]

### 2.4.2 Segunda ley de Kirchoff de los circuitos magnéticos

Esta ley dice [14]:

“La suma algebraica de las fuerzas magnetomotrices en una malla de un circuito es igual a la suma algebraica de las caídas magnéticas en dicha malla.”

$$\sum F_m = \sum NI = 0 \quad (\text{Ec. 11})$$

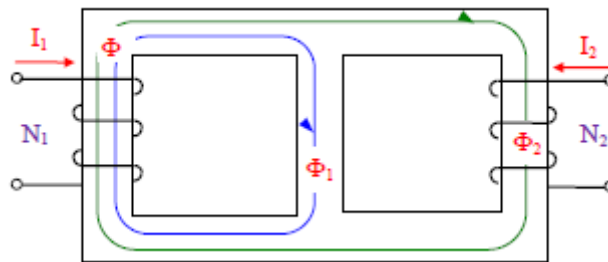


Figura 19. Flujos magnéticos a lo largo de un circuito [15].

La figura 19 muestra el recorrido seguido por el flujo magnético en el circuito.

### 2.4.3 Descripción del método

Aunque el método de las componentes simétricas es un método útil y general para el estudio de desequilibrios en transformadores trifásicos, ya sea la alimentación o la carga la que se encuentre desequilibrada; se trata de un método poco intuitivo en el que a veces se puede llegar a perder el sentido físico de las variables, matrices y operaciones que se están realizando; por ello, es más habitual utilizarse para desequilibrios en el sistema de tensiones de alimentación.

Para este tratamiento de desequilibrios extremos, siempre hay que tener en cuenta que se está trabajando con transformadores ideales.

Por ello, el método que se va a utilizar para el estudio de los desequilibrios extremos [12], es decir, con una única impedancia monofásica entre dos fases, además de ser mucho más simple en cálculos y operaciones, contiene una interpretación física de los circuitos eléctricos y magnéticos de un transformador trifásico mucho más sencilla de entender, aplicándose únicamente las leyes de Kirchhoff de los circuitos eléctricos y magnéticos para la obtención de los distintos resultados.

Los pasos a seguir son los siguientes:

- Seleccionar el orden de las fases de la alimentación y la conexión entre primario y secundario del transformador.
- Aplicar la primera ley de Kirchhoff para los circuitos eléctricos sobre el circuito del primario del transformador, obteniéndose una serie de ecuaciones.
- Observar e identificar como va a circular la corriente por el circuito eléctrico del secundario y de la carga.

- Aplicar la segunda ley de Kirchoff para los circuitos magnéticos sobre dicho circuito del transformador, obteniéndose distintas ecuaciones.
- Resolver el sistema de ecuaciones que se constituye por las ecuaciones obtenidas al aplicarse la primera ley de Kirchoff para los circuitos eléctricos y la segunda ley de Kirchoff para los circuitos magnéticos.

De esta forma, se obtienen las corrientes de línea que alimentan al primario del transformador. Estas intensidades no serán iguales, estarán desequilibradas y estarán en función de las tensiones entre fases del primario y del secundario, o de la relación de transformación, así como de la corriente que circulará por la carga.

#### 2.4.4 Ejemplos de la aplicación de este método

##### Aplicación en un transformador con conexión estrella-triángulo Yd

Partimos del transformador trifásico presentado en la figura 20 con orden de fases L1, L2, L3, conectado Yd y con carga en el secundario entre 1 y 2.

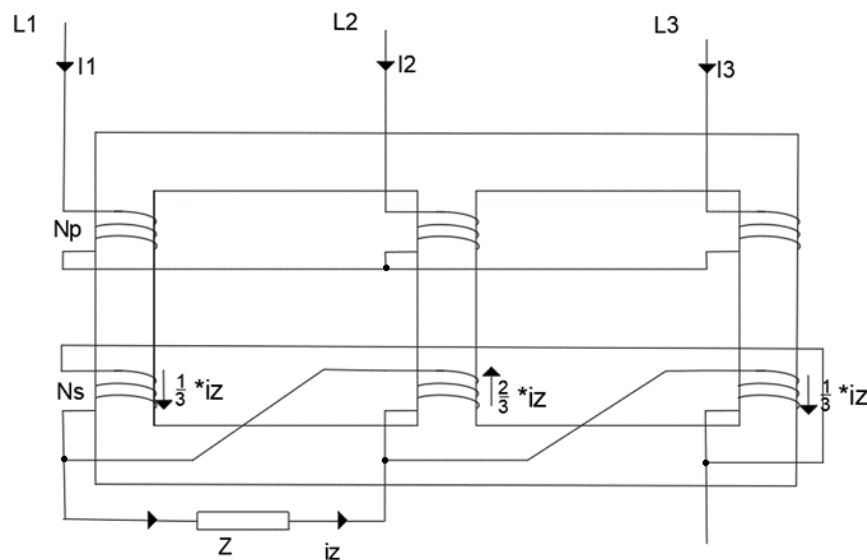


Figura 20. Transformador trifásico Yd con alimentación L1-L2-L3 y carga monofásica entre 1 y 2. Recorrido de las distintas corrientes por el transformador

Aplicando la primera ley sobre el circuito eléctrico del primario, se obtiene:

$$\bar{I}_1 + \bar{I}_2 + \bar{I}_3 = 0 \quad (\text{Ec. 12})$$

A continuación, se observa que por la disposición en la que la intensidad circula por la carga, aplicándose el divisor de corriente en los dos caminos que puede llevar la intensidad al salir de la carga por los devanados del secundario, se comprueba que por el camino que únicamente contiene un bobinado circulará

$\frac{2}{3}I_z$  mientras que por el camino con dos bobinados la intensidad que circulará será de  $\frac{1}{3}I_z$ . Todas estas intensidades se pueden observar en la figura 20 de nuevo.

Una vez que se conoce la intensidad que circula por cada uno de los bobinados del secundario del transformador, se procede a aplicar la primera ley de Kirchoff de los circuitos magnéticos.

Se sigue los circuitos de flujo magnético marcados en la 21, obteniéndose las siguientes ecuaciones:

$$I_1 N_P + \frac{1}{3} I_z N_s + \frac{2}{3} I_z N_s - I_2 N_P = 0$$

(Ec. 13)

$$I_1 N_P + \frac{1}{3} I_z N_s - \frac{1}{3} I_z N_s - I_3 N_P = 0$$

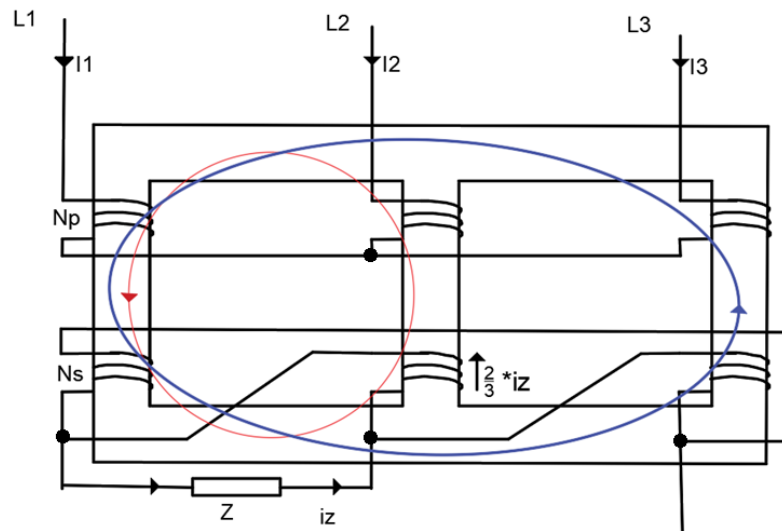


Figura 21. Recorrido de los flujos magnéticos

Si se resuelve el sistema formado por las 3 ecuaciones obtenidas, se obtiene las intensidades de entrada al primario:

$$\bar{I}_1 + \bar{I}_2 + \bar{I}_3 = 0$$

$$I_1 = -\frac{1}{3} \frac{N_s}{N_P} I_z$$

$$I_1 N_P + \frac{1}{3} I_z N_s + \frac{2}{3} I_z N_s - I_2 N_P = 0$$

$$I_2 = \frac{2}{3} \frac{N_s}{N_P} I_z \quad (\text{Ec. 14})$$

$$I_1 N_P + \frac{1}{3} I_z N_s - \frac{1}{3} I_z N_s - I_3 N_P = 0$$

$$I_3 = -\frac{1}{3} \frac{N_s}{N_P} I_z$$

**Aplicación en un transformador con conexión triángulo-zigzag Dz**

Partimos del siguiente transformador trifásico (figura 22) con orden de fases L1, L2, L3, conectado Dz y con carga en el secundario entre 2 y 3

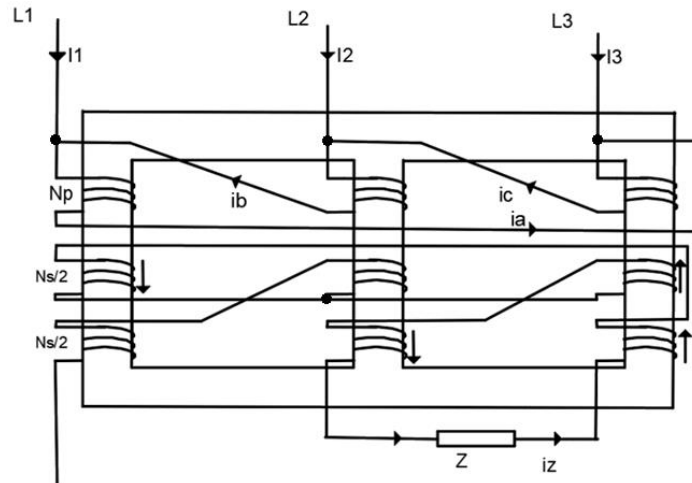


Figura 22. Transformador trifásico Dz con alimentación L1-L2-L3 y carga monofásica entre 2 y 3. Recorrido de las distintas corrientes por el transformador

Aplicando la primera ley sobre el circuito eléctrico del primario, se obtiene:

$$\begin{aligned}
 I_a &= I_1 + I_b \\
 I_b &= I_2 + I_c \\
 I_c &= I_3 + I_a
 \end{aligned}
 \tag{Ec. 15}$$

A continuación, se observa que por la disposición en la que la intensidad circula por la carga y la conexión en el secundario, la intensidad solo puede continuar por un único camino, ya que se tiene una de las líneas abiertas. Este camino se puede ver en la figura 22.

Una vez que se conoce la intensidad que circula por cada uno de los bobinados del secundario del transformador, se procede a aplicar la primera ley de Kirchhoff de los circuitos magnéticos.

Se sigue los circuitos de flujo magnético marcados en la 23, obteniéndose las siguientes ecuaciones:

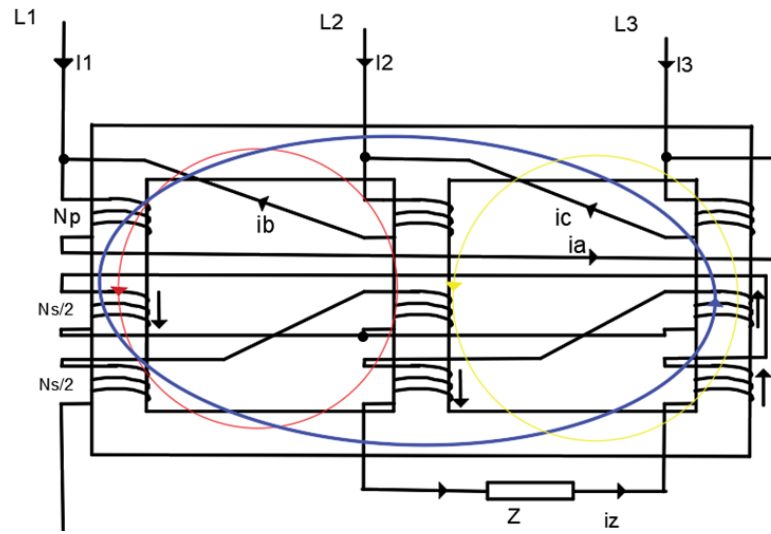


Figura 23. Recorrido de los flujos magnéticos

$$\begin{aligned}
 I_a N_P + I_z \frac{N_s}{2} - I_z \frac{N_s}{2} - I_b N_P &= 0 \\
 I_a N_P + I_z \frac{N_s}{2} + I_z \frac{N_s}{2} + I_z \frac{N_s}{2} - I_c N_P &= 0 \\
 I_b N_P + I_z \frac{N_s}{2} + I_z \frac{N_s}{2} + I_z \frac{N_s}{2} - I_c N_P &= 0
 \end{aligned}
 \tag{Ec. 16}$$

Si se resuelve el sistema formado por las 6 ecuaciones obtenidas, se calculan las intensidades de entrada al primario:

$$\begin{aligned}
 I_1 &= -\frac{3 N_s}{2 N_P} I_z \\
 I_2 &= 0 \\
 I_3 &= \frac{3 N_s}{2 N_P} I_z
 \end{aligned}
 \tag{Ec. 17}$$





### 3. Desarrollo de la GUI para la simulación del funcionamiento de transformadores trifásicos con cargas desequilibradas extremas.

#### 3.1 Introducción a la herramienta GUIDE de Matlab.

Matlab [16], es un sistema de análisis numérico, es decir, se encarga de diseñar algoritmos para simular soluciones a problemas matemáticos, además de que gracias a un “entorno de desarrollo interactivo” (IDE), se facilita al usuario el desarrollo y programación de distintos softwares.

Este uso de Matlab, como IDE, en muchas de las situaciones se utiliza para la construcción de interfaces gráficas de usuario o GUI, siglas de “Graphical User Interface”, aplicaciones donde un usuario ajeno al desarrollo del software puede interactuar con el ordenador para realizar distintas funciones de una forma dinámica e instintiva.

Estas interfaces se caracterizan por el uso de elementos gráficos o imágenes para sustituir las largas líneas de código de programación y listas de comandos, que en la mayoría de las situaciones solo serán entendibles fácilmente por el diseñador de la interfaz. Cada botón, imagen o icono ingresa automáticamente las líneas correspondientes de código del sistema, con las que se podrá con un solo click de ratón, realizar tareas de variada complejidad en solamente unos segundos, eliminándose la necesidad de aprender el lenguaje de programación y escribir los comandos con el fin de ejecutar la aplicación.

El software Matlab contiene una herramienta para el diseño de interfaces de este tipo para el desarrollo de *Apps* personalizadas. Esta función se denomina GUIDE, un entorno para el desarrollo de GUI, el cual genera de forma automática el código de Matlab a la vez que el usuario realiza el diseño gráfico de la interfaz. Este código es necesario modificarlo para adaptar al comportamiento de la *App* que el desarrollador quiera programar, teniendo así un mayor control sobre el diseño y desarrollo; definiéndose propiedades y comportamiento de cada uno de los elementos gráficos.

Se podrán añadir principalmente cuadros de texto, fijos o editables, botones, barras deslizantes y “axes” para imágenes o gráficas, pero se podrá trabajar con combinaciones de todos ellos a través de paneles o grupos de botones.

Además, hay que destacar dos estructuras en las que se basan la programación de las GUI [17]:

- Los *handles*, o estructuras generales de los distintos elementos gráficos de la interfaz. Se utilizan para llamar a uno de estos elementos del sistema desde las líneas del código, ya sea para trabajar sobre él, dar al elemento un valor, guardarlo, modificarlo, usarlo en otros *handles*, etc o modificar sus propiedades respecto a su representación visual en la GUI.

- Los *callbacks* o subrutinas que se ejecutan debido a un evento, ya sea un *click* en un botón, el rellenar un campo, etc. El evento asigna un valor a uno de los *handles* del sistema y comenzará a correr el código respecto a este elemento asignado por el evento.

## 3.2 Diseño de la Interfaz Gráfica de Usuario.

### 3.2.1 Comenzar una aplicación GUI desde cero.

Se comienza abriendo una interfaz de usuario en blanco escribiendo en la línea de comandos de Matlab el comando "GUIDE", abriéndose una ventana de inicio rápido, presentada en la figura 24, donde se podrá elegir entre abrir una de tus GUI creadas o comenzar una de cero.

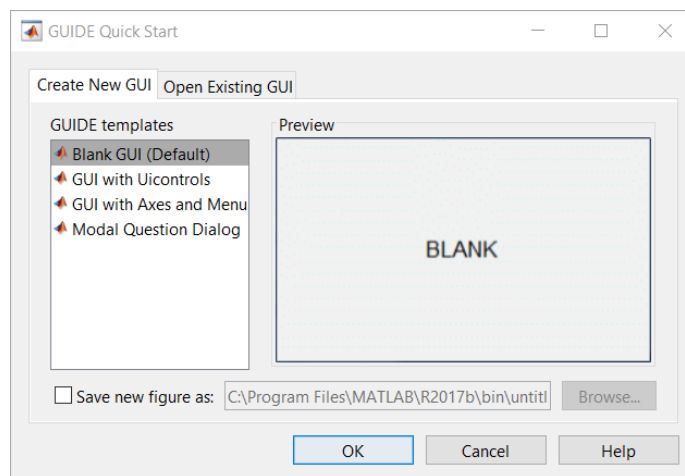


Figura 24. Cuadro de inicio rápido de GUIDE para la creación de una GUI desde cero

Se comienza una desde el principio, abriéndose ante nosotros la ventana de diseño de GUIDE, figura 25. A la izquierda se pueden observar los distintos objetos gráficos que se pueden añadir en nuestra interfaz.

Si queremos aumentar el tamaño de la interfaz, se puede redimensionar haciendo click en la esquina inferior derecha y arrastrando hasta que el *grill* sea del tamaño deseado. Además, se pueden modificar las propiedades y atributos de los elementos gráficos y del fondo de la interfaz; ya sea colores, fuente de los textos, tamaños, etc.

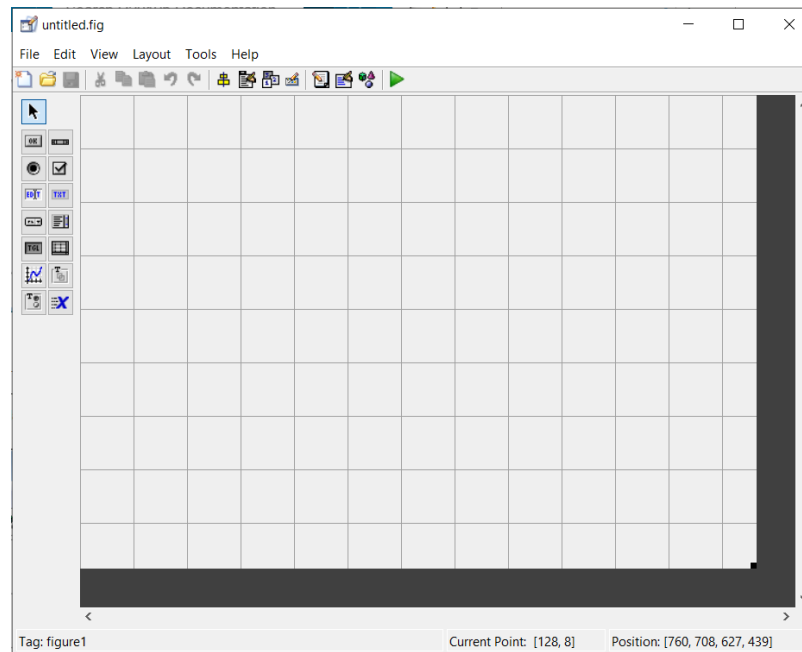


Figura 25. Interfaz vacía para el comienzo del desarrollo

El desarrollo de las GUIs se realiza en dos etapas [18]:

Diseño de los elementos gráficos o componentes (controles, menús, ejes, botones...) que constituirán la GUI.

Codificación de los *callbacks* que se ejecutan y respuestas de cada uno de los componentes ante los eventos del usuario.

En la barra de herramientas situada por encima del lienzo, se pueden encontrar una serie de botones que activan las herramientas más importantes de GUIDE:

*Alignment Tool*, con el que se establece distintas opciones para alinear los componentes gráficos de la GUI.

*Tab Order Editor*, permitiéndose establecer un orden en el que se accede a los componentes sin la necesidad del uso del ratón.

*M-file Editor*, con el que se podrá añadir el código a los *callbacks* de los distintos componentes

*Property Inspector*, da al usuario la oportunidad de cambiar las propiedades de los componentes.

*Run Button* o botón de ejecución de la guide.

En último lugar, se destacará la paleta de componentes que se sitúa a la izquierda del área de diseño, en la que se podrán encontrar todos los

elementos o componentes gráficos que podemos añadir al GUI, de los cuales, [17] los más significativos son los marcados en la tabla 1.

Elemento	Etiqueta / Tag	Descripción	Figura
<i>Push Button</i>	<i>Pushbutton</i>	Invoca un evento inmediatamente	26a
<i>Radio Button</i>	<i>Radio</i>	Indica una opción que puede ser seleccionada	26b
<i>Toggle Button</i>	<i>Togglebutton</i>	Dos estados “on” u “off”	26c
<i>Slider</i>	<i>Slider</i>	Representa un rango de valores	26d
<i>Static Text</i>	<i>Text</i>	Muestra un texto en una caja	26e
<i>Editable Text</i>	<i>Edit</i>	Caja donde escribir texto	26f
<i>Pop-up menu</i>	<i>Popupmenu</i>	Provee una lista de opciones	26g
<i>List Box</i>	<i>Listbox</i>	Muestra una lista deslizable	26h
<i>Check Box</i>	<i>Checkbox</i>	Indica el estado de una opción	26i
<i>Panel Button</i>		Agrupar botones como un grupo	
<i>Button Group</i>		Permite exclusividad de selección con los “radio button”	
<i>Axes</i>	<i>Axes</i>	Permite introducir una imagen o gráfica	

Tabla 1. Elementos gráficos de una GUI



### 3.2.2 Primer diseño de la GUI para la simulación de desequilibrios extremos en transformadores trifásicos

Para el funcionamiento de esta primera *app* desarrollada por GUIDE, únicamente se pretendía que simulara los desequilibrios producidos por una carga monofásica en una de las fases del secundario del transformador, es decir, calcular la intensidad que circularía por el primario del transformador, para todo tipo de combinaciones de conexiones entre primario y secundario y para cualquier orden de fases, conocidas la relación de transformación del transformador y la intensidad que circula a través de esta carga monofásica (o el valor de esta impedancia).

Por ello, se parte de una *app* de cero, con la intención de que esta siguiera una secuencia lineal entre tres distintas interfaces, una a modo de introducción, la siguiente como receptora de datos y una última donde se muestran los resultados obtenidos y su representación.

Nada más ejecutar la *app*, se quiere que aparezca a modo introductorio una interfaz donde aparezca el título o función que va a realizar el programa que está ejecutando, el nombre de las personas que han desarrollado este programa y a que institución pertenece y dos botones alineados; uno cuya función es cerrar el programa directamente, por si se ha ejecutado indeseadamente, y otro botón el cual dará paso a la siguiente GUI que hará como receptor de los datos de entrada. Además, se presentan en esta interfaz distintos Axes en los cuales se muestran iconos de la Universidad de Valladolid y de la Escuela de Ingenierías Industriales, así como otros elementos estéticos y un fondo de esta interfaz de colores suaves, con el fin de que la interfaz se embellezca y resulte una *app* algo menos seria y resulte más agradable el uso al usuario.

En la figura 27 se podrá observar dicha interfaz con cada una de las características que se han presentado.



Figura 27. GUI introductoria a la aplicación.

Pulsándose el *Push Button* “Comenzar” se cerrará esta primera interfaz, dándose paso a la siguiente (figura 28), ya mucho más compleja respecto al diseño y programación.

Figura 28. GUI de recogida de datos.

En esta siguiente interfaz, se puede apreciar cómo está dividida principalmente en dos bloques distintos.

En el primero de ellos, a la izquierda de la interfaz, se observan cuatro diferentes *Pop-up Menú*, los cuales permiten al usuario seleccionar el orden de fases de la alimentación (figura 29), el tipo de conexión en el primario (figura 30), el tipo de conexión en el secundario (figura 31) y el modo que se quiere conectar la carga monofásica en el secundario del transformador (figura 32).

Figura 29. Opciones de alimentación.

Figura 30. Opciones de conexión en el primario.

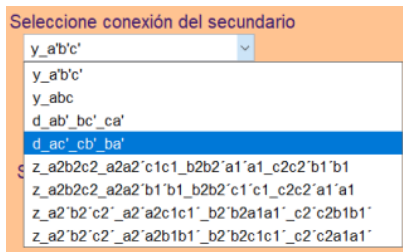


Figura 31. Opciones de conexión en el secundario.

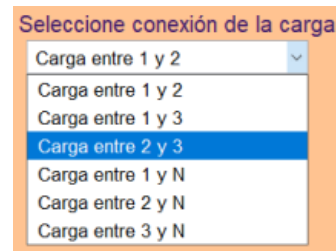


Figura 32. Opciones de conexión de la carga

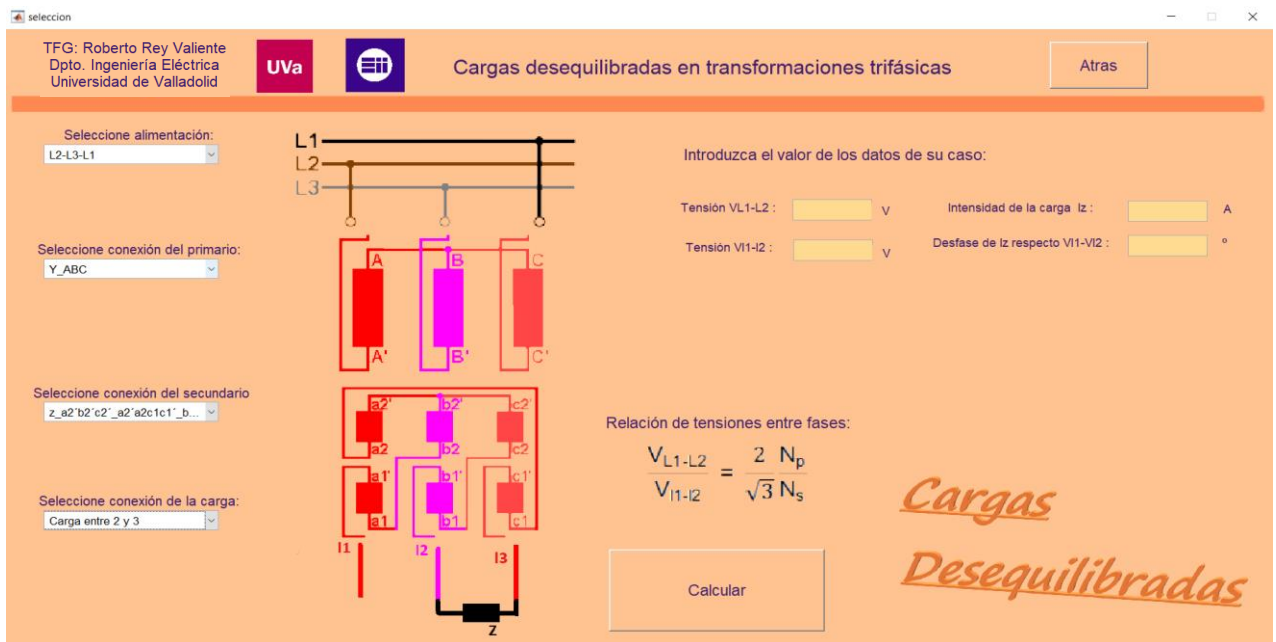


Figura 33. GUI de recogida de datos con el transformador seleccionado

Además, junto a estos menús, se adjuntan cuatro Axes que comienzan desactivados, pero que según el usuario vaya eligiendo cada una de sus opciones, figurarán al lado derecho del menú sus elecciones, formándose una representación del transformador, alimentación y carga elegido, como se puede ver en la figura 33.

De igual manera, una vez conocida la conexión que ha elegido el usuario entre primario y secundario, en otro Axes se mostrará la relación de tensiones entre fases en función del número de espiras del primario y secundario, la cual, como ya se puede intuir, varía dependiendo del tipo de conexiones primario-secundario; siendo esta relación muy útil en la mayoría de los cálculos y operaciones con transformadores, incluyéndose las que se realizan en este programa.

En cambio, en el lado derecho de la interfaz, aparecen unos campos a rellenar por el usuario.

El programa se encargará de pedir al usuario el valor eficaz de la tensión en el primario  $V_{L1L2}$ , el valor eficaz de la tensión en el secundario  $V_{112}$ , el valor eficaz de la intensidad que circular por la carga  $I_z$  y el desfase que tiene esta intensidad  $I_z$  respecto a la tensión  $V_{112}$ . (Figura 34)

Introduzca el valor de los datos de su caso:

Tensión VL1-L2 :  V      Intensidad de la carga Iz :  A

Tensión V11-12 :  V      Desfase de Iz respecto V11-V12 :  °

Figura 34. Recogida de tensiones e intensidad de la carga del transformador

Finalmente, una vez se ha seleccionado el transformador con el que se trabajará y se completan los datos de entrada a este, se procederá a pulsar el *Push Button* “Calcular”, guardándose así los datos introducidos en esta GUI para el cálculo interno de los resultados, los cuales se expondrán en la GUI siguiente.

Antes de cerrar esta interfaz tras pulsar “Calcular”, aparecerá por pantalla de nuevo la relación de tensiones, el valor del fasor de  $I_z$  respecto  $V_{112}$  y la representación fasorial de esta intensidad, apareciendo estos datos en la interfaz de la figura 35. Esta representación variará según el tipo de carga con la que se trabaje; si esta es una resistencia, Intensidad estará en fase con la tensión, si el desfase introducido es positivo, o lo que es lo mismo, estamos trabajando con una carga capacitiva, la intensidad  $I_z$  adelantará esos grados a  $V_{112}$ , mientras que, si es inductiva, introduciéndose un desfase negativo, la intensidad se retrasará respecto a esta tensión.

TFG: Roberto Rey Valiente  
Dpto. Ingeniería Eléctrica  
Universidad de Valladolid

UVa

Cargas desequilibradas en transformaciones trifásicas

Atras

Seleccione alimentación:  
L3-L1-L2

Seleccione conexión del primario:  
Y\_ABC

Seleccione conexión del secundario:  
z\_a2b2c2\_e2a2'c1c1'\_b2b2'

Seleccione conexión de la carga:  
Carga entre 1 y N

Introduzca el valor de los datos de su caso:

Tensión VL1-L2 :  V      Intensidad de la carga Iz :  A

Tensión V11-12 :  V      Desfase de Iz respecto V11-V12 :  °

$V_{L1-L2} / V_{11-12} = 200 / 100$        $I_z = 1.5 \angle 65^\circ$  A

Relación de tensiones entre fases:  
$$\frac{V_{L1-L2}}{V_{11-12}} = \frac{2 N_p}{\sqrt{3} N_s}$$

Calcular

*Cargas Desequilibradas*

Figura 35. GUI de recogida de datos con todos los datos dados por el usuario



Además, como se puede observar en la figura 35 se vuelven a añadir los distintos axes, los cuales implementarán más objetos estéticos, iconos y otros títulos para así de nuevo intentar que la *app* sea agradable al usuario.

Para finalizar con esta segunda interfaz, se debe destacar que además de contener otro *Push Button* para volver a la interfaz anterior, el hecho de pulsar el botón “Calcular” en algunas situaciones no aceptadas, hará saltar un cuadro de alerta indicando un error y no dejando continuar el programa hasta que el usuario lo solucione. Estos sucesos ocurrirán cuando:

- No se han rellenado todos los campos de información correctamente. (Figura 36)

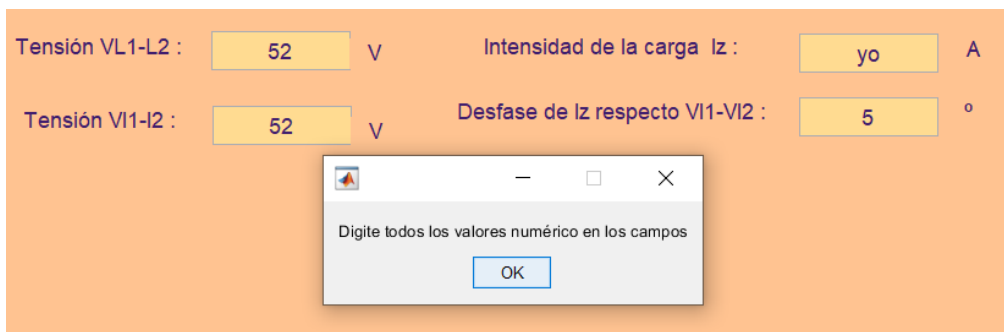


Figura 36. Error dado por no digitar todos los campos

- Se rellenan todos los campos, pero alguno de estos valores es incomprensible (Figura 37) (Por ejemplo, tensiones para cálculo de la relación negativas)

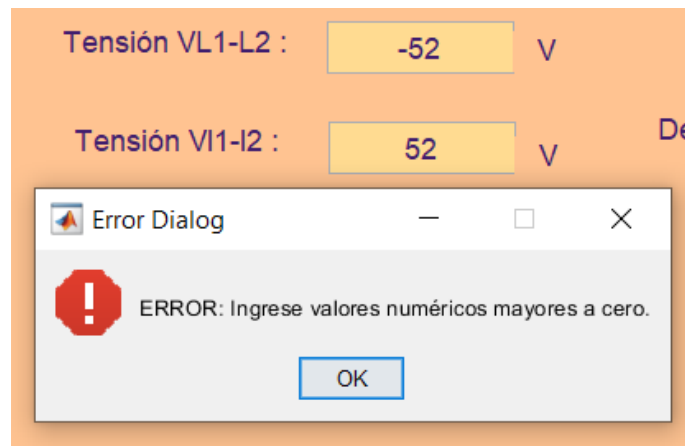


Figura 37. Error dado por introducir datos no válidos

- Se intenta operar con una carga entre fase y neutro trabajando con un triángulo en el secundario. Esta conexión es imposible ya que únicamente las estrellas y los zigzags presentan neutro. (figura 38).

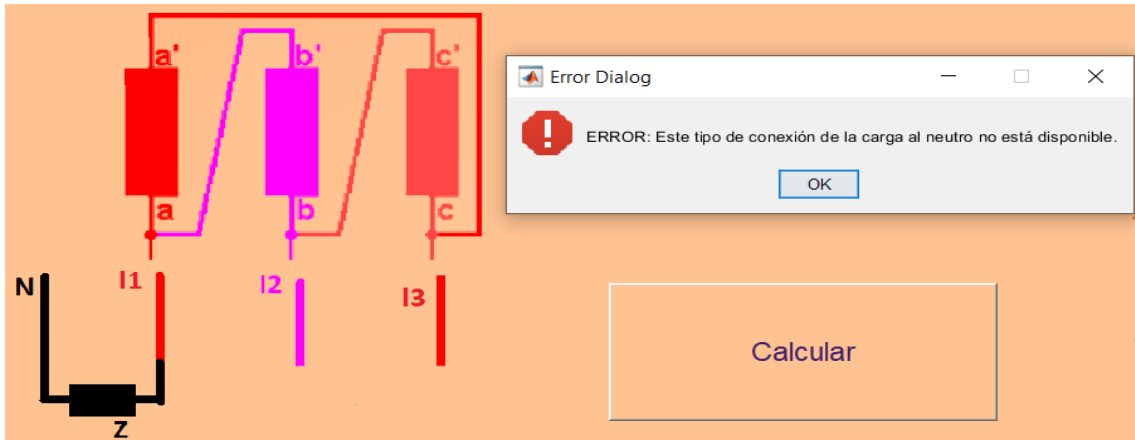


Figura 38. Error dado por introducir una conexión-carga no existente

Como se ha dicho anteriormente, al momento que se pulsa el botón “Calcular”, los datos que han sido aportados por el usuario son almacenados y se traspasarán a la siguiente interfaz gráfica de usuario.

En esta nueva interfaz el usuario no tiene que añadir ningún dato nuevo; únicamente, tras internamente realizar los cálculos pertinentes, se nos muestra la solución al caso dado, adjuntándose el valor de los fasores de las intensidades del primario ( $I_1$ ,  $I_2$  y  $I_3$ ), el valor del fasor de la intensidad  $I_z$  que circula por la carga, ya con el valor real del ángulo del desfase de esta magnitud y no con el desfase que tendrá respecto a  $V_{112}$  como se veía en la interfaz anterior, y una serie de gráficas donde se representarán las ondas sinusoidales de todas las magnitudes importantes en los transformadores trifásicos de los caso seleccionado por el usuario anteriormente.

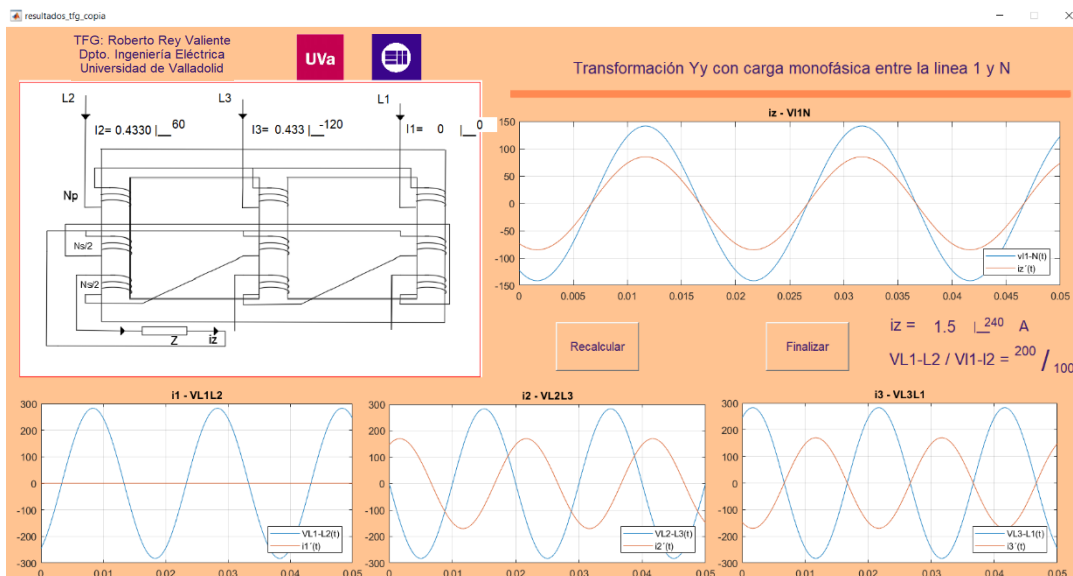


Figura 39. GUI muestra de resultados

Gracias a estas gráficas, se es capaz de precisar una comparación entre los distintos valores eficaces de las intensidades y las tensiones, así como los desfases que existen entre intensidades y las tensiones respecto a las que se miden. La interfaz descrita se muestra en la figura 39.

Como se puede observar, esta GUI seguirá la misma estética que las anteriores por los mismos motivos. Además, se cuenta con dos *Push Button*; “Recalcular” se encargará de dirigir al usuario a la GUI anterior, borrándose todos los datos que se insertaron anteriormente, pudiéndose así comenzar un nuevo caso. Por otro lado, el botón “Finalizar” se dispondrá a cerrar esta interfaz, y como el mismo botón indica, finalizando la ejecución del programa.

### 3.2.3 Desarrollo de líneas de mejora de la *app*

Una vez se ha comprobado el buen funcionamiento de la *app* completa, y se ha realizado la consiguiente programación, se planea desarrollar distintos puntos para mejorar dicha aplicación.

En primer lugar, uno de los objetivos presentes cuando se pensó en el diseño de esta aplicación, además del desarrollo mismo de esta para el estudio previo de desequilibrios extremos a través de una simulación, es que el usuario, a través de una *app* interactiva sea capaz de adquirir unos conocimientos referidos al cálculo mediante el método explicado en el capítulo 2.4 de este tipo de desequilibrios producidos por cargas monofásicas.


Por ello, se añadirá a la interfaz que muestra los resultados obtenidos un nuevo botón, un *Push Button* (figura 40) el cual redireccionará al usuario de la aplicación a una nueva GUI, estéticamente parecida a la que se ha explicado anteriormente, cuya función será explicar al usuario que pasos se ha seguido para llegar a los resultados obtenidos.



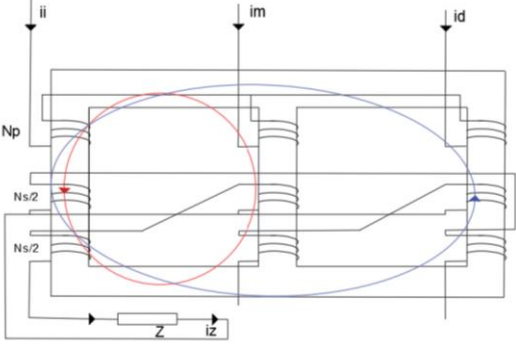
Figura 40. Botón que abre la GUI donde muestra las explicaciones del método

Dicha nueva GUI, básicamente se expondrá de igual manera que se ha hecho en los ejemplos de los capítulos 2.4.3 y 2.4.4, de igual forma que en la figura 41, los casos seleccionados por el usuario del programa.

TFG: Roberto Rey Valiente  
Dpto. Ingeniería Eléctrica  
Universidad de Valladolid



Transformación Yz con carga monofásica entre la línea 1 y N



En primer lugar se determina el camino que va a seguir la corriente que demanda la impedancia en el secundario. Tomará el camino seguido en la figura, debido a que dos de las líneas están abiertas.

A continuación, se analizarán los circuitos eléctricos y magnéticos del transformador:

- Circuito eléctrico  
Para una conexión en estrella se cumple que:

$$ii+im+id=0$$

- Circuito magnético

Tomamos 2 líneas de flujo magnético; y aplicando la 2ª Ley de Kirchhoff de los circuitos magnéticos marcados de azul y rojo  $F_m=NI=0$

- $-N_p \cdot ii + N_s \cdot iz + N_p \cdot im = 0$      $-N_p \cdot ii + (1/2) \cdot N_s \cdot iz + N_p \cdot id = 0$

Finalmente, resolviendo el sistema de ecuaciones; obtenemos las siguientes expresiones:

$$ii = (1/2)(N_s/N_p) \cdot iz \quad im = (-1/2)(N_s/N_p) \cdot iz \quad Id = 0$$

De las cuales, introduciendo los datos de este caso, obtenemos como vimos anteriormente:

$$ii = 0.4330 \text{ } \underline{\underline{125}} \text{ A} \quad im = 0.4330 \text{ } \underline{\underline{-55}} \text{ A} \quad Id = 0 \text{ } \underline{\underline{0}} \text{ A}$$

Figura 41. GUI Explicación del método para hallar los resultados obtenidos

Otra de las necesidades del programa era el que el usuario sea capaz de seleccionar distintos casos sobre el mismo transformador, sin estar saliendo y entrando continuamente de la aplicación, para así tener la posibilidad de comparar rápidamente los resultados obtenidos si se coloca la misma carga en distintas fases del secundario, variando estas cargas, etc.

Para ello, se vuelve a implementar un nuevo *Push Botton* “Añadir caso” (figura 42) el cual dirigirá al usuario a una nueva GUI muy similar a la segunda interfaz que ha sido explicada en el punto 3.2.2. presentando alguna excepción.

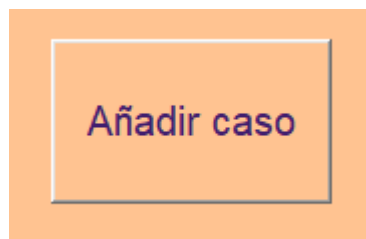


Figura 42. Botón que abre la GUI de recogida de nuevos datos

En este caso, no se permitirá al usuario modificar el orden de fases de la alimentación ni la conexión entre primario y secundario, es decir, únicamente se permitirá cambiar la posición entre fases de la carga. Además, en los campos a rellenar, se mantendrán los valores de las tensiones  $V_{L1L2}$  y  $V_{I1I2}$  por defecto, aunque estará habilitado que sea modificado por el usuario; pudiéndose rellenar los otros dos campos referidos a la intensidad que circula por la carga.

Estas modificaciones respecto a la anterior GUI donde se seleccionaba el caso, se debe a que para una mejor comparación de los resultados con mismas o distintas cargas, o colocadas en las mismas o distintas fases o neutro, se necesita obtener los resultados con el mismo transformador trifásico; también es recomendable que se respeten los valores de la tensión en el primario y secundario para que así los nuevos resultados obtenidos no varíen mucho con respecto a los anteriores y si fuera así, que estas variaciones se obtengan por las diferencias entre las cargas con las que se trabajan en los distintos casos.

De este modo, el usuario será capaz de seleccionar un nuevo caso de forma continuada, pudiéndose observar los distintos resultados obtenidos haciendo los cambios que requiera el usuario. Por último, el usuario tendrá que pulsar el *Push Button* dedicado a esta función, con el que el programa parará de solicitar un nuevo caso y cerrará la interfaz.

En la figura 43 se muestra la nueva interfaz de usuario:

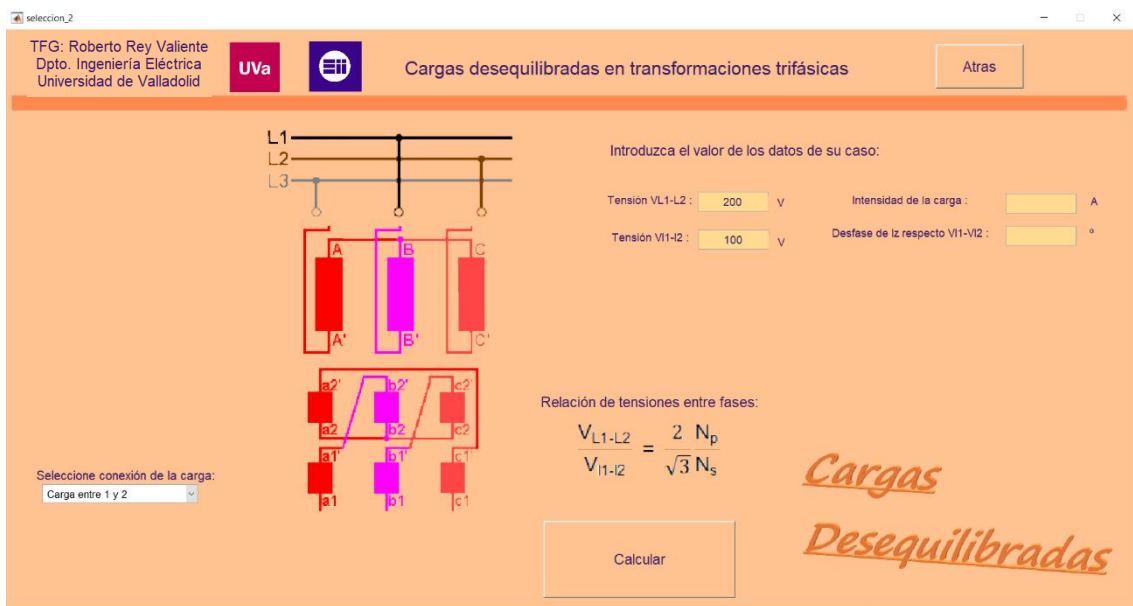


Figura 43. GUI de la nueva recogida de datos con el transformador seleccionado

Finalmente, la GUI modificada, a la que se la han añadido los puntos comentados anteriormente, se verá de la siguiente forma en la figura 44.

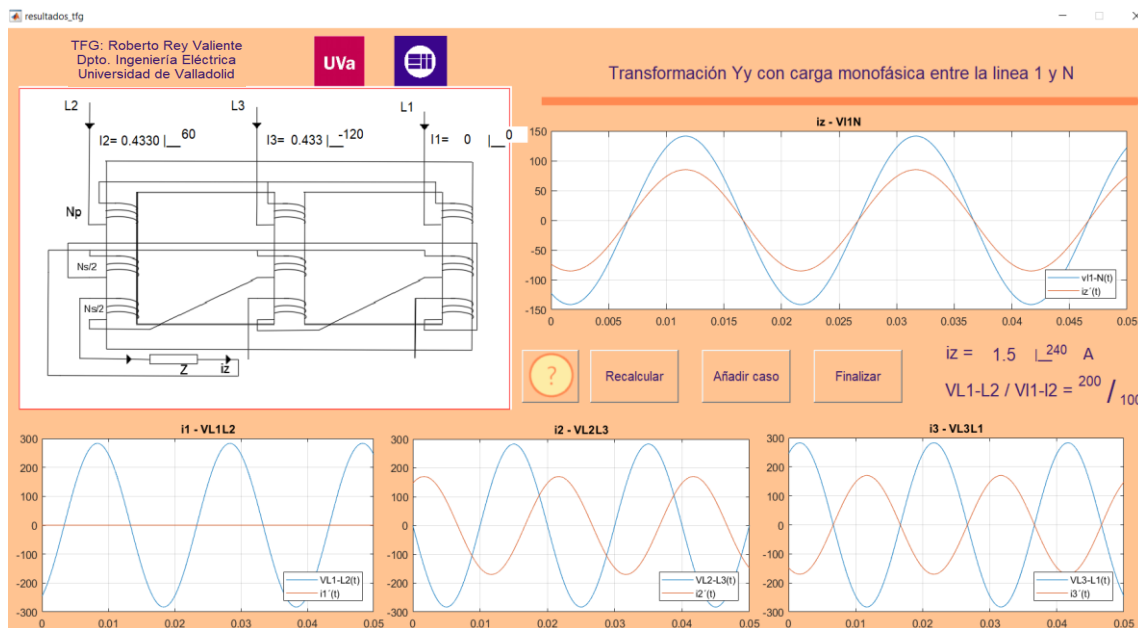


Figura 44. GUI de muestra de resultados con las nuevas funciones implementadas

### 3.3 Otros softwares utilizados para el diseño de la aplicación

- **AutoCad:** [18] AutoCad es un software de diseño asistido por ordenador (CAD) con el cual una gran cantidad de arquitectos e ingenieros trabajan para producir sus dibujos en 2D.

Con él, se ha diseñado las más de 400 imágenes de las distintas combinaciones de transformadores que se incluyen en el programa, además de distintas figuras que se presentan en este documento.

- **Paint 3D:** se trata de un rediseñado Paint clásico de Microsoft [19] con una apariencia actualizada y muchísimas herramientas y pinceles nuevos. Ahora se puede crear en todas las dimensiones, en 2D o modelos 3D con los que se puede diseñar desde todos los ángulos posibles.

Utilizándose este software se ha perfeccionado, rediseñado y editado muchas de las imágenes que han sido creadas con AutoCad, ya que el Paint 3D presenta una gran cantidad de herramientas para modificar los elementos estéticos de estas imágenes.

Además, el resto de los elementos cuya función sea hacer la *app* más amena al usuario también han sido realizados con este programa.

- Índices horarios: Un programa ha desarrollado el profesor de la escuela de ingenierías industriales Moisés L. San Martín Ojeda, junto con otros muchos programas de simulación de máquinas y accionamientos eléctricos, los cual se pueden encontrar en su página web <https://www.aulamoisan.com/>. “Índices Horarios”, además, se desarrollado a partir de los fundamentos descritos por el profesor de la escuela de ingenierías industriales de la UVA Eduardo Parra Gonzalo en los artículos Índices Horarios [6] [20] [21] sobre este tema. Este programa ha servido de ayuda para la obtención de los cálculos referentes a los ángulos y desfases de las tensiones e intensidades de fase, gracias a que, independientemente de los índices horarios, se nos muestra los triángulos de tensiones equilibradas y su disposición en el plano y ángulos según las conexiones y alimentaciones del transformador.
- Application Compiler: se trata de una herramienta que viene incorporada en el propio software. Se ha utilizado para crear el archivo .exe a partir de todos los archivos de Matlab, figuras, GUIs, comprimiéndolos en dicho archivo. También se obtiene al mismo tiempo un archivo instalador de dicho programa para su distribución.





#### 4. Análisis de un sistema desequilibrado complejo a partir de la superposición de cargas desequilibradas entre fases. Suposición.

Durante el proceso del estudio y desarrollo de este método para el análisis de desequilibrios extremos se presentó una idea; ¿se es capaz de estudiar un sistema, desequilibrado o no, con carga trifásica colocada en triángulo, mediante el estudio de los sistemas que presentan carga monofásica entre la línea 1 y 2, línea 2 y 3 o línea 3 y 1 de forma independiente, y la aplicación del principio de superposición a los resultados que se han obtenido mediante el método que se ha descrito en el capítulo 2.4 aplicados a dichos sistemas?

Esta suposición se tomará suposición como válida, analizándola numéricamente, obteniéndose distintos resultados y creándose una GUI donde se expongan estos resultados finales, para finalmente realizar estos sistemas en el laboratorio, comprobándose experimentalmente si esta suposición es correcta.

##### 4.1 Desarrollo teórico del método.

Se presenta el siguiente transformador trifásico Dy con orden de fases 1-2-3. (Figura 45) con un estado de tensiones equilibrado (Figura 46).

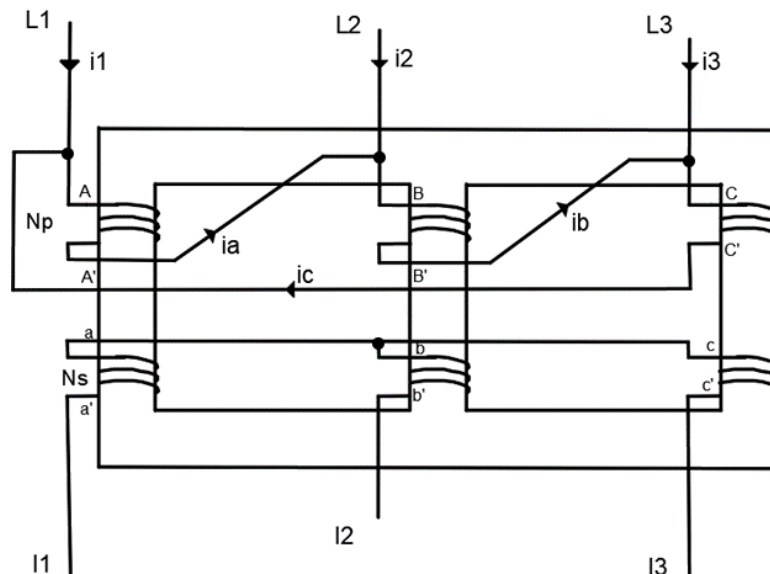


Figura 45. Transformador trifásico Dy orden de fases 1-2-3

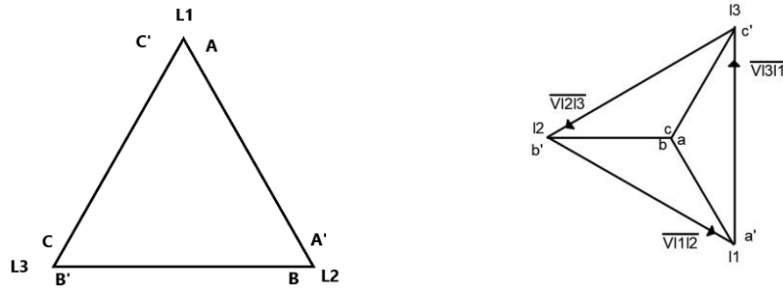


Figura 46. Sistema de tensiones del transformador

Donde se puede observar que en el primario:

$$\begin{aligned}
 V_{L1L2} &= V_P e^{i\frac{2}{3}\pi} \\
 V_{L2L3} &= V_P e^{i0} \\
 V_{L3L1} &= V_P e^{i\frac{4}{3}\pi}
 \end{aligned}
 \tag{Ec. 18}$$

Mientras que, con esta conexión, en el secundario se tiene:

$$\begin{aligned}
 V_{l1l2} &= V_s e^{i\frac{-\pi}{6}} \\
 V_{l2l3} &= V_s e^{i\frac{-5}{6}\pi} \\
 V_{l3l1} &= V_s e^{i\frac{\pi}{2}}
 \end{aligned}
 \tag{Ec. 19}$$

Se carga el transformador, con una impedancia  $Z_1$  entre las fases 1 y 2 del secundario, figura 47, por lo que circulará una intensidad  $I_{z1}$  por esta carga.

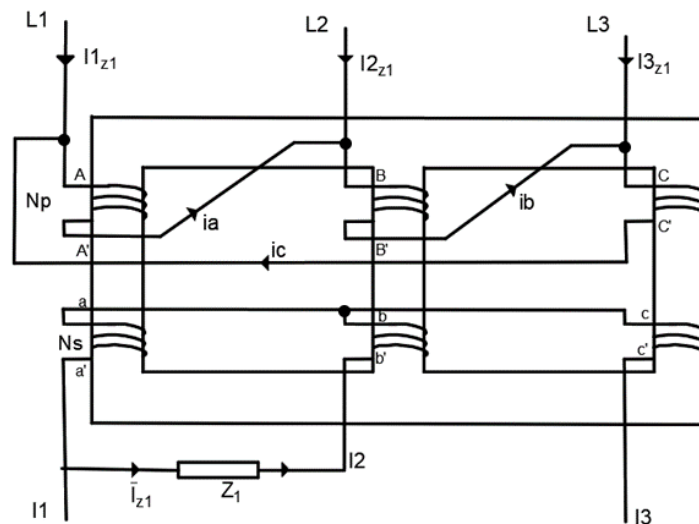


Figura 47. Transformador Dy cargado entre 1 y 2

Tomándose  $Z_1$  como carga inductiva, esta intensidad  $I_{z1}$  va a retrasar a  $V_{L1L2}$  un ángulo  $\phi_1$ , por lo que se obtiene la intensidad representada en la figura 48.

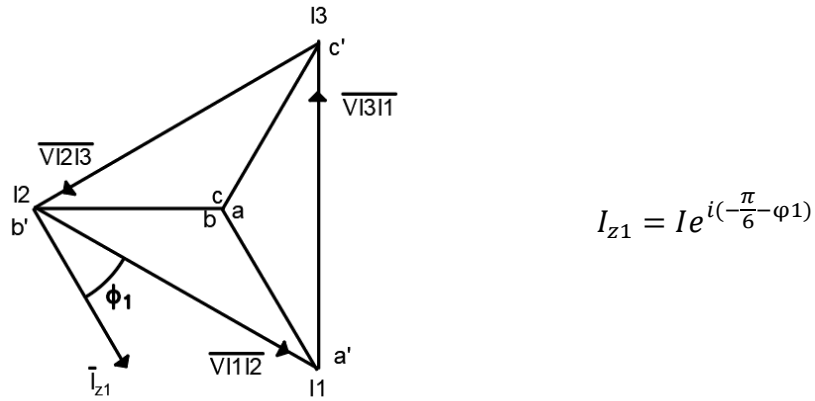


Figura 48. Representación fasorial de  $I_{z1}$

Una vez conocido el valor real que circula por la carga  $Z_1$  se procederá a operar utilizándose el método que se ha explicado en el capítulo 2.4, por lo que se obtendrán los siguientes resultados:

$$\begin{aligned}
 I_{1z1} &= -\frac{N_S}{N_P} I_{z1} \\
 I_{2z1} &= 2 \frac{N_S}{N_P} I_{z1} \\
 I_{3z1} &= -\frac{N_S}{N_P} I_{z1}
 \end{aligned}
 \tag{Ec. 19}$$

Del mismo modo, se procederá a operar con ese mismo transformador, figura 49, cargándose únicamente entre 2 y 3.

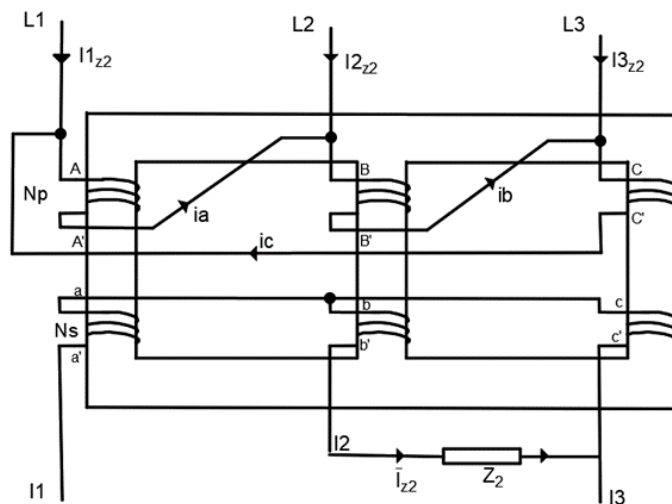


Figura 49. Transformador Dy cargado entre 2 y 3

Que, en el mismo sistema trifásico de tensiones equilibradas, la intensidad que circula por la carga  $Z_2$  es la que se muestra en la figura 50

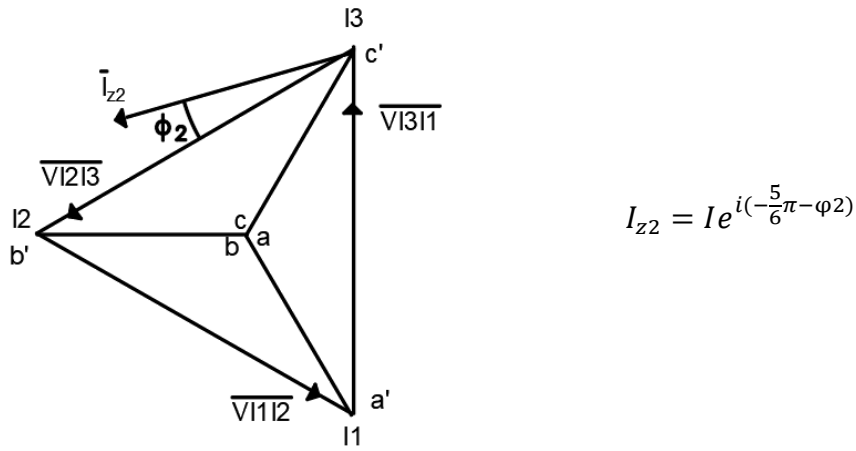


Figura 50. Representación fasorial de  $I_{z2}$

Conocido el valor de la intensidad que circula por esta carga, se procederá a aplicar el método para hallar el valor de las intensidades resultantes de este caso en el primario.

$$I_{1z2} = -\frac{N_s}{N_p} I_{z2}$$

$$I_{2z2} = -\frac{N_s}{N_p} I_{z2} \tag{Ec. 20}$$

$$I_{3z2} = 2\frac{N_s}{N_p} I_{z2}$$

Por último, se realizará este mismo proceso cargando el transformador entre las fases 3 y 1, de tal forma como en la figura 51.

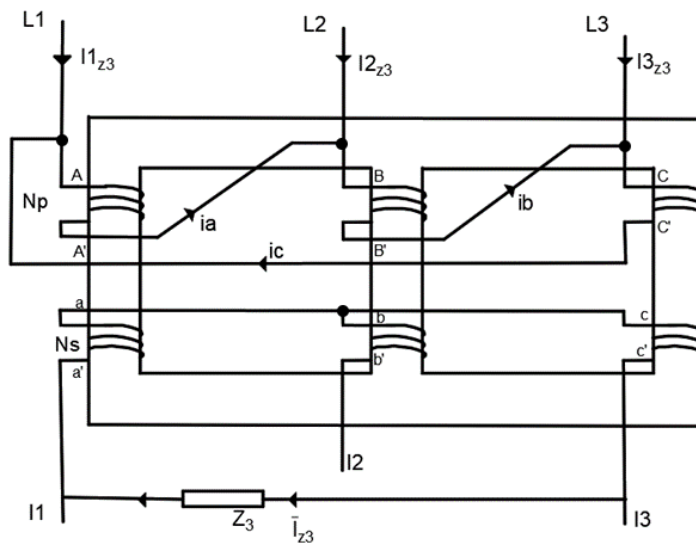


Figura 51. Transformador Dy cargado entre 3 y 1

A partir del sistema de tensiones equilibrado de la figura 46, se tiene, si se opera de igual forma que en los casos anteriores, que la intensidad  $I_{z3}$  que circula por la carga  $Z_3$  es la que se muestra en la figura 52.

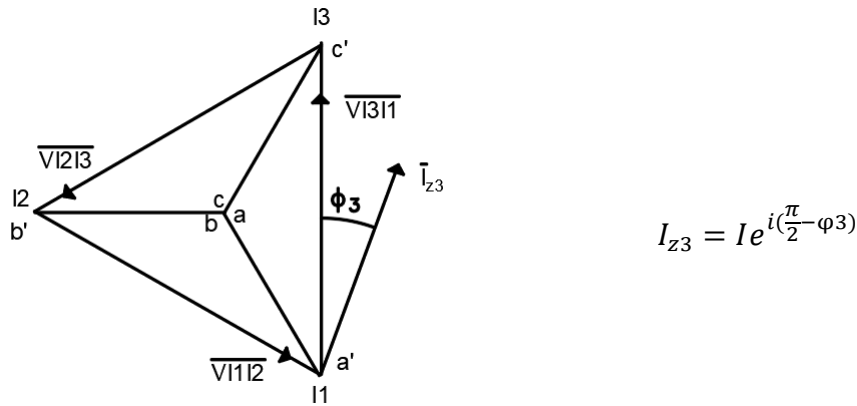


Figura 52. Representación fasorial de  $I_{z3}$

De nuevo, si se aplica el método que se ha estado utilizando a lo largo de todo este análisis, para este caso, se obtiene el valor de las intensidades de línea que circula por el primario del transformador.

$$\begin{aligned}
 I_{1z3} &= 2 \frac{N_S}{N_P} I_{z3} \\
 I_{2z3} &= -\frac{N_S}{N_P} I_{z3} \\
 I_{3z3} &= -\frac{N_S}{N_P} I_{z3}
 \end{aligned}
 \tag{Ec. 20}$$

Una vez se han calculado las intensidades de línea que circula por el primario en cada uno de los casos, según la suposición que se ha tomado, y aplicándose el principio de superposición, es decir, sumando las intensidades de línea  $I_{L1}$  de los tres casos, y operando de igual manera las intensidades  $I_{L2}$  e  $I_{L3}$ , se obtendrán las intensidades de línea del primario de un sistema más complejo, el que se puede observar en la figura 53, compuesto por una carga trifásica conectada en triángulo que es constituida por las anteriores tres cargas.

$$\begin{aligned}
 I_{L1} &= I_{1z1} + I_{1z2} + I_{1z3} \\
 I_{L1} &= -\frac{N_S}{N_P} I_{z1} - \frac{N_S}{N_P} I_{z2} + 2 \frac{N_S}{N_P} I_{z3} \\
 I_{L2} &= I_{2z1} + I_{2z2} + I_{2z3} \\
 I_{L2} &= 2 \frac{N_S}{N_P} I_{z1} - \frac{N_S}{N_P} I_{z2} - \frac{N_S}{N_P} I_{z3} \\
 I_{L3} &= I_{3z1} + I_{3z2} + I_{3z3} \\
 I_{L3} &= -\frac{N_S}{N_P} I_{z1} + 2 \frac{N_S}{N_P} I_{z2} - \frac{N_S}{N_P} I_{z3}
 \end{aligned}
 \tag{Ec. 21}$$

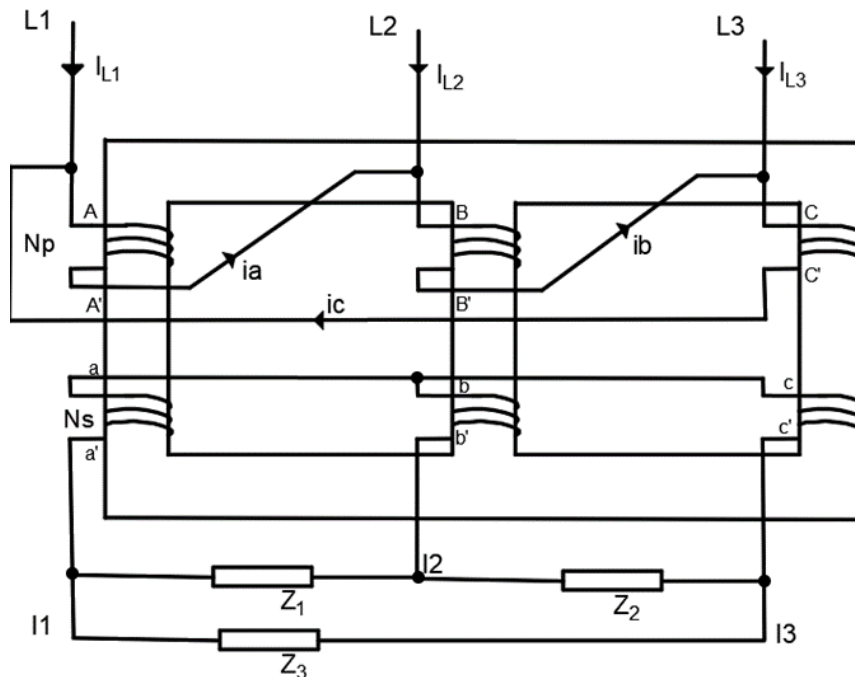


Figura 53. Transformador Dy con carga trifásica conectada en triángulo

#### 4.2 Desarrollo de la aplicación GUI para esta nueva función.

Partiendo de la *app* que se desarrolló en el capítulo 3.2.2 y capítulo 3.2.3 se quieren hacer las modificaciones necesarias para que la aplicación se encargue de guardar los tres primeros casos introducidos por el usuario, para finalmente, en una última nueva interfaz, se muestren los diagramas fasoriales de las intensidades de línea del primario de estos tres casos y que además realice el proceso expuesto en el capítulo 4.1, mostrándose así, las intensidades de línea del primario, una vez se han conectado las tres cargas de los tres casos introducidos por el usuario anteriormente en forma de carga trifásica en triángulo.

Para ello, se regula que la *app* solo admita tres casos introducidos por el usuario, por lo que el desarrollo y la programación hasta la GUI resultante para la muestra de los resultados de este tercer caso no ha sufrido ningún tipo de modificación. Aun así, se mostrará el resultado de la aplicación de forma completa.

Se quiere trabajar con un transformador trifásico Yy con una relación entre tensiones  $\frac{V_p}{V_s} = \frac{200}{100}$ . Además, el usuario en este primer caso coloca una carga resistiva entre 1 y 2 del secundario, obteniéndose una intensidad de valor eficaz 1A y de desfase respecto a  $V_{1-2}$  de  $0^\circ$  (Figura 54)

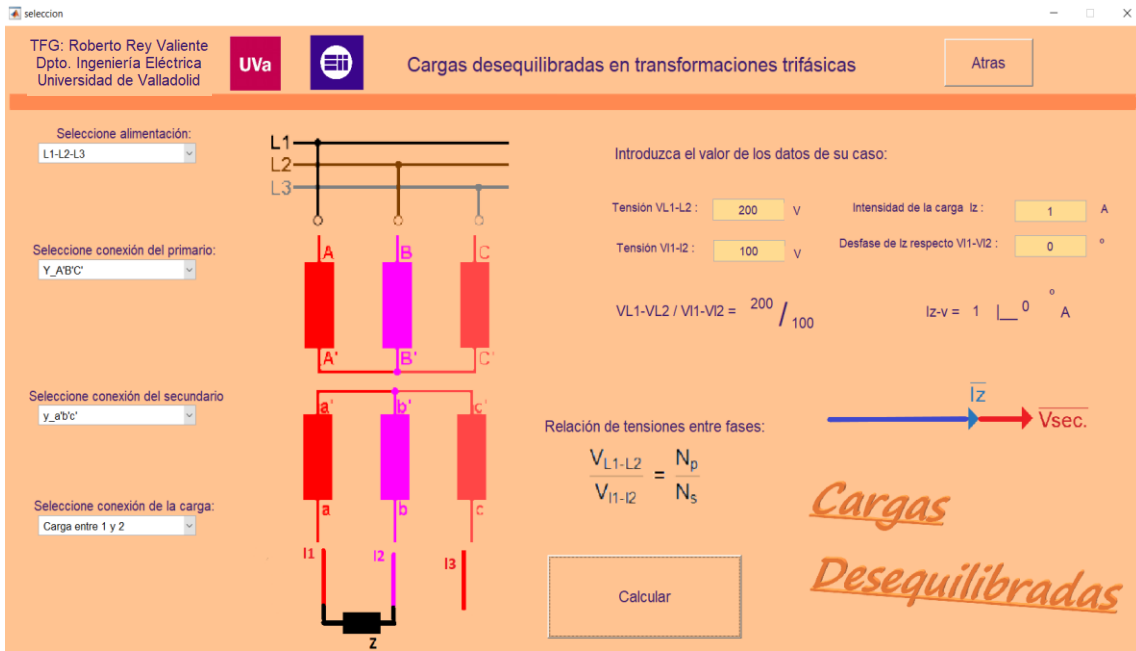


Figura 54. GUI recopiladora de datos para el primer caso

Al pulsar el botón calcular, se cierra esta GUI, abriéndose aquella que expone los resultados que muestran como funcionaría este transformador con dicha carga colocada. (Figura 55)

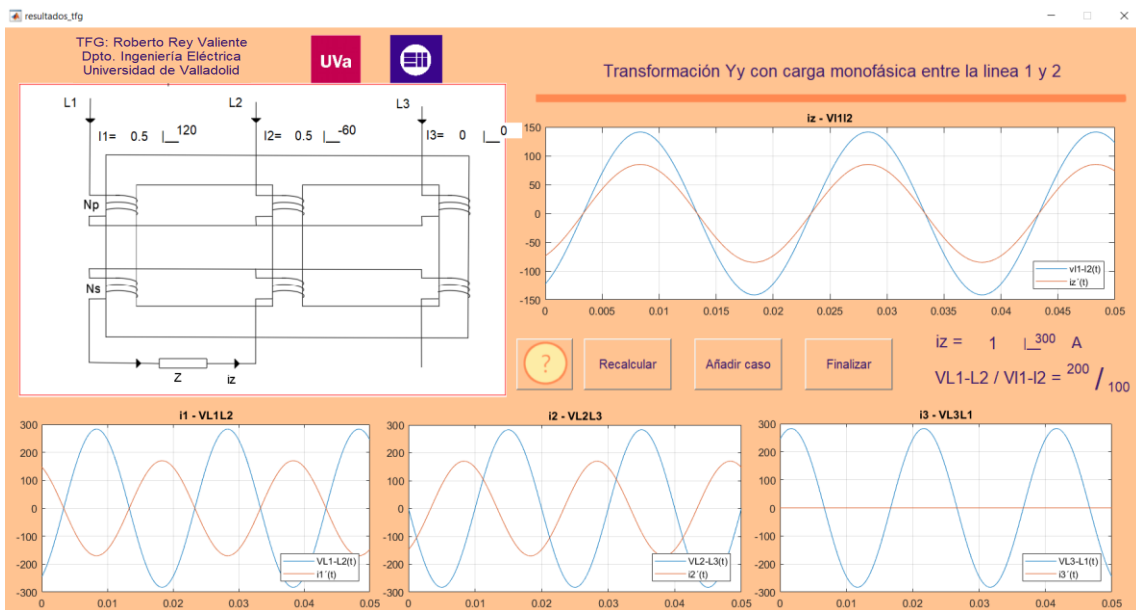


Figura 55. GUI expositora de resultados para el primer caso

El usuario ahora quiere añadir un nuevo caso. Se recuerda que para poder comparar los resultados con la aplicación de distintas cargas y ahora, para que tenga sentido la aplicación del principio de superposición para obtener estos nuevos efectos finales, es necesario trabajar con el mismo transformador trifásico en todos los casos, es decir, el mismo orden de fases, conexión Yy y la misma relación entre tensiones.

Al pulsar el botón Añadir caso, aparecerá la segunda GUI de recopilación de datos que no permite cambiar el transformador con el que se trabaja.

Esta vez, el usuario quiere colocar la misma carga que en el caso anterior, pero esta vez situada entre las fases 3 y 1 del secundario. Los datos que se han introducido se pueden observar en la figura 56.

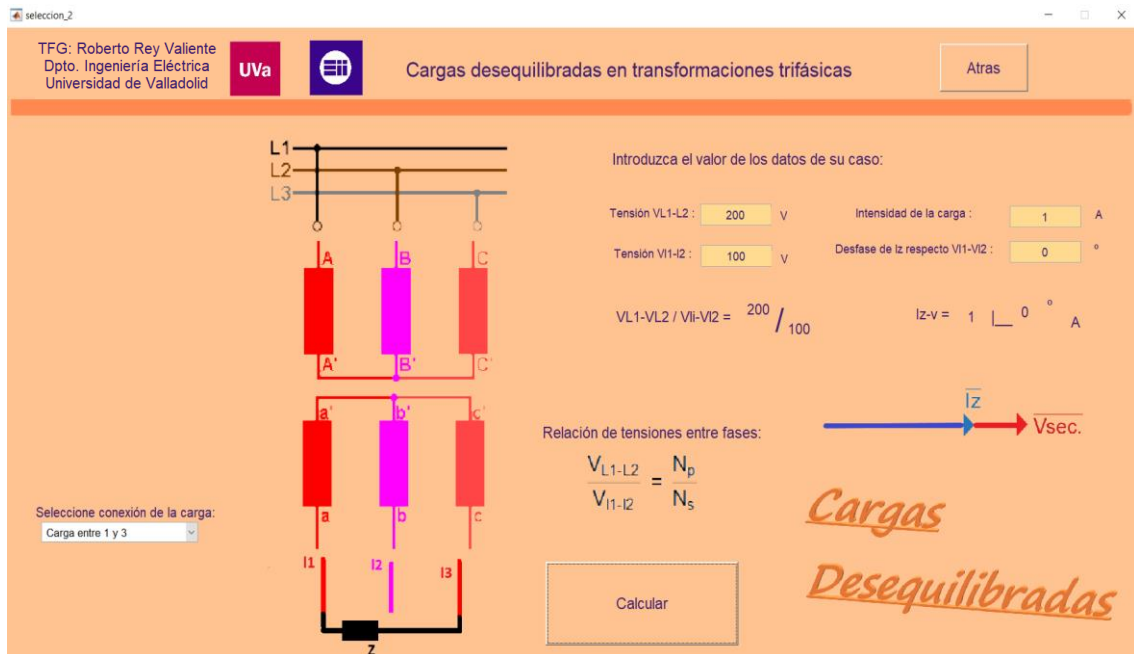


Figura 56. GUI recopiladora de datos para el segundo caso

Se abrirá la siguiente interfaz, mostrándose el funcionamiento del transformador trifásico en este nuevo caso, figura 57.

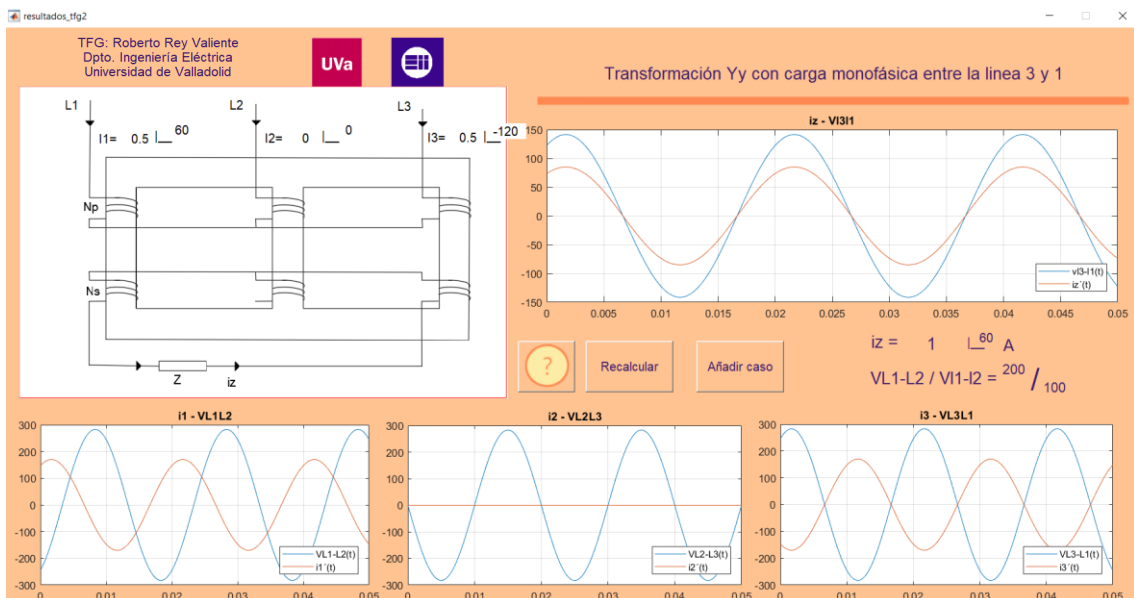


Figura 57. GUI expositora de resultados para el segundo caso



Finalmente, el usuario quiere introducir un tercer caso, el cual será volver a colocar la misma carga que en casos anteriores, pero esta vez situada entre 2 y 3. (Figura 58).

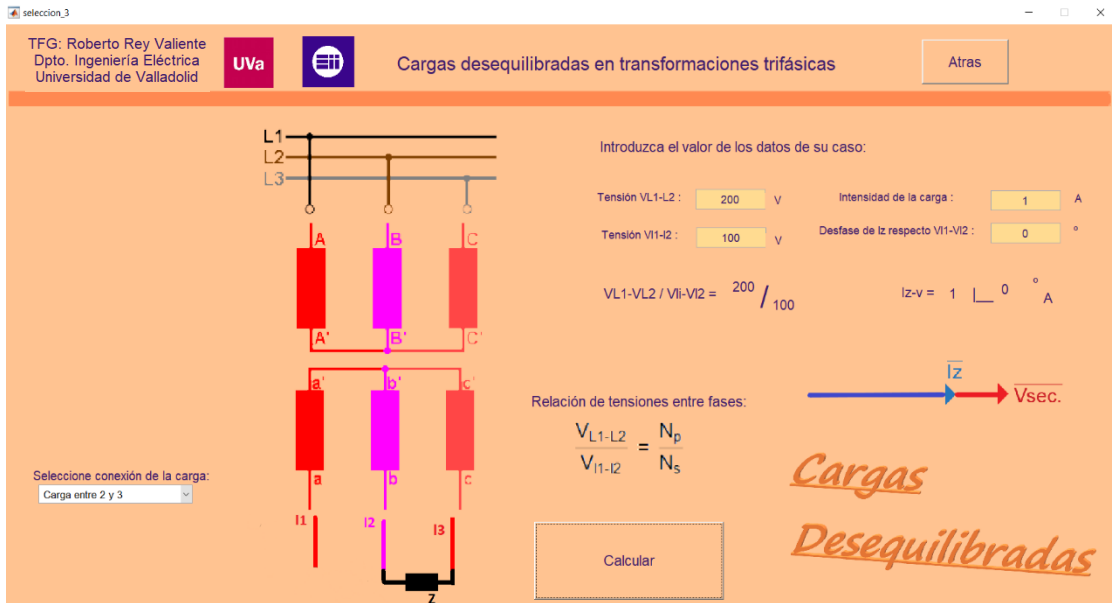


Figura 58. GUI recopiladora de datos para el tercer caso

De nuevo, se abrirá la interfaz que dará los resultados de la simulación de dicho transformador trifásico en este último caso, como se muestra en la figura 59.

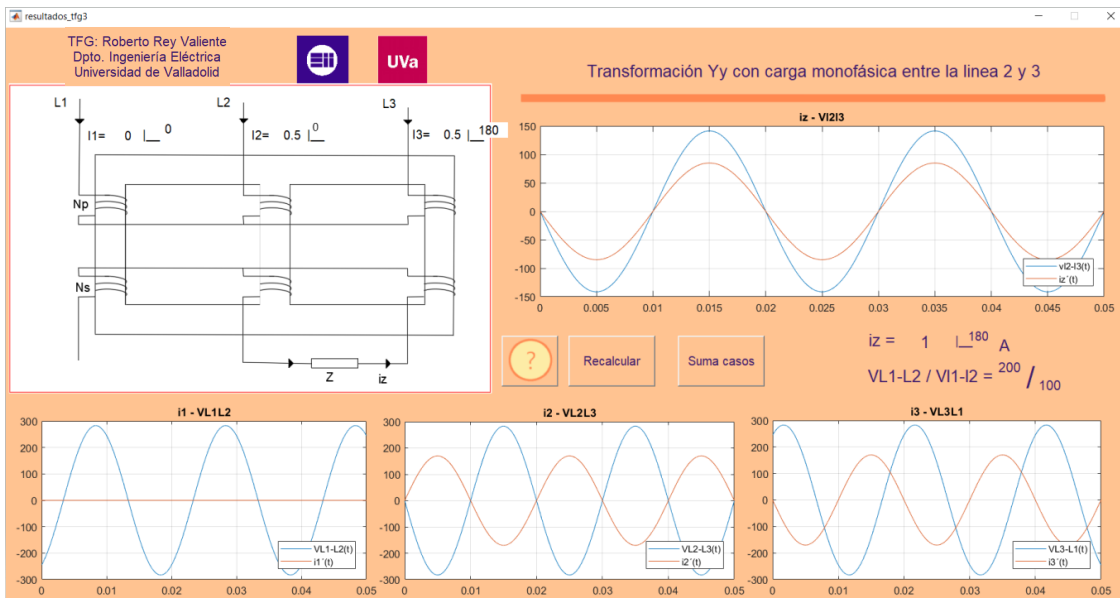


Figura 59. GUI expositora de resultados para el tercer caso

Como se puede observar, en esta última GUI, se sustituye el botón para añadir un nuevo caso por otro *Push Button* que mostrará al usuario un transformador trifásico cargado con las tres cargas que se han introducido anteriormente, junto con la simulación de este transformador calculada a partir de la

aplicación del principio de superposición con los casos anteriores como se vio en el capítulo 4.1.

Además, se puede comprobar, que el usuario, al haber introducido entre 1-2, 2-3, y 3-1 la misma carga, a partir de tres casos de desequilibrios extremos al introducirse una carga monofásica en una de las fases se ha formado, colocándose las tres cargas a la vez, un sistema trifásico equilibrado con una carga trifásica equilibrada en triángulo.

Esto quiere decir, que gracias a que se ha introducido en los tres casos la misma carga, y que finalmente se haya formado una carga trifásica equilibrada, se puede comprobar fácilmente si la suposición que se ha realizado al comienzo de este capítulo es o no correcta; ya que si se trabaja con una carga equilibrada resistiva colocada en triángulo, las intensidades resultantes del primario deben ser del mismo valor eficaz, desfasadas entre si  $120^\circ$  y desfasadas respecto al sistema de tensiones equilibrado del primario  $30^\circ$ .

¿Qué quiere decir esto? En el caso de estudiar el sistema trifásico equilibrado con la carga resistiva introducida en triángulo directamente, las intensidades de línea resultantes deben tener esas tres características que se han expuesto en el párrafo anterior. Por ello, si se obtiene estas tres mismas propiedades en nuestras intensidades de línea del primario, a partir de tres casos de carga desequilibrada monofásica y aplicándose el principio de superposición, se puede decir que la suposición con la que a partir de ella se ha desarrollado este estudio, es correcta.

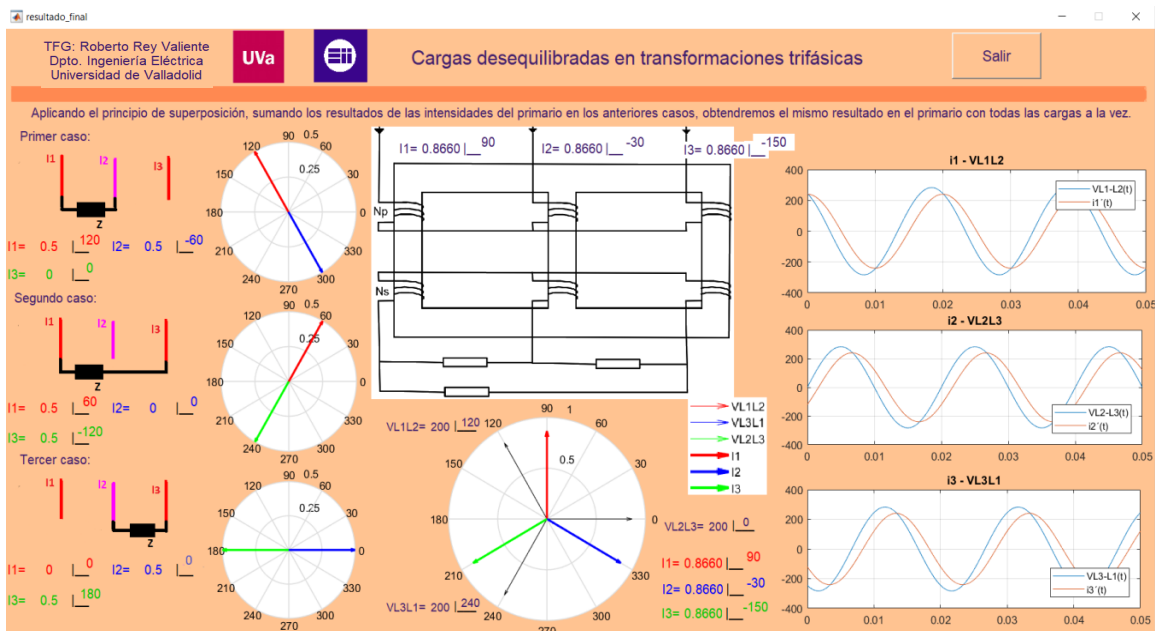


Figura 60. GUI expositora de resultados para el caso final.

Una vez se pulsa el botón “Suma casos” de la interfaz de la figura 59, se abrirá la GUI que se expone en la figura 60, la cual muestra las intensidades de línea del primario resultantes en los tres casos anteriores, junto con su diagrama fasorial, el caso del transformador que se está simulando junto con los valores de las corrientes de línea del primario de dicho caso, además del diagrama fasorial del sistema de tensiones e intensidades del primario y una comparación gráfica de los valores instantáneos de estos.

Como se puede observar, las intensidades de línea resultantes tienen el mismo valor eficaz, están desfasadas entre sí  $120^\circ$  y, además, difieren en  $30^\circ$  respecto al sistema de tensiones equilibrado. Con ello, se puede concluir que nuestra suposición inicial es correcta, y por ello se puede decir que las intensidades de línea resultantes en un transformador trifásico con carga trifásica equilibrada o desequilibrada, se pueden descomponer en la suma de las intensidades de línea de diferentes sistemas desequilibrados con carga monofásica en el secundario del transformador trifásico calculadas de forma independiente e individual.



## 5. Estudio y comprobación experimental de la aplicación y sus resultados.

Para una última comprobación, se ha querido validar los resultados obtenidos mediante la aplicación desarrollada, con los datos experimentales hallados en el laboratorio.

Hay que recordar, que estos datos que se van a exponer a continuación son unos resultados experimentales, por lo que, aunque deben ser cercanos a los valores teóricos, las pérdidas por calentamiento, la no existencia de cargas puramente resistivas, capacitivas o inductivas y otras diferentes desviaciones producidas por los conductores, puede llegar a ser causa, en algunos casos, de tales diferencias de resultados respecto a los teóricos, que haga parecer que sean erróneos, aunque esté bien realizada la práctica experimental.

### 5.1 Material utilizado para los ensayos experimentales

El conjunto de materiales utilizados para realizar estas prácticas ha sido:

- Transformador trifásico de tres columnas, figura 61.

Transformador trifásico con bornes de seguridad para un mejor manejo, el cual será alimentado por el primario y cargado por el secundario.



Figura 61. Transformador trifásico de tres columnas con conexión Dy

➤ Fuente de alimentación trifásica.

Fuente de alimentación trifásica variable, gracias a un autotransformador con el que se es capaz de modificar la tensión con la que se alimenta el primario del transformador.

En la figura 62, se puede ver como la tensión del primario alimentada por esta fuente es de 58V, pero con los botones con forma de flecha que tiene encima del medidor se puede aumentar o disminuir esta tensión, actuando el autotransformador.

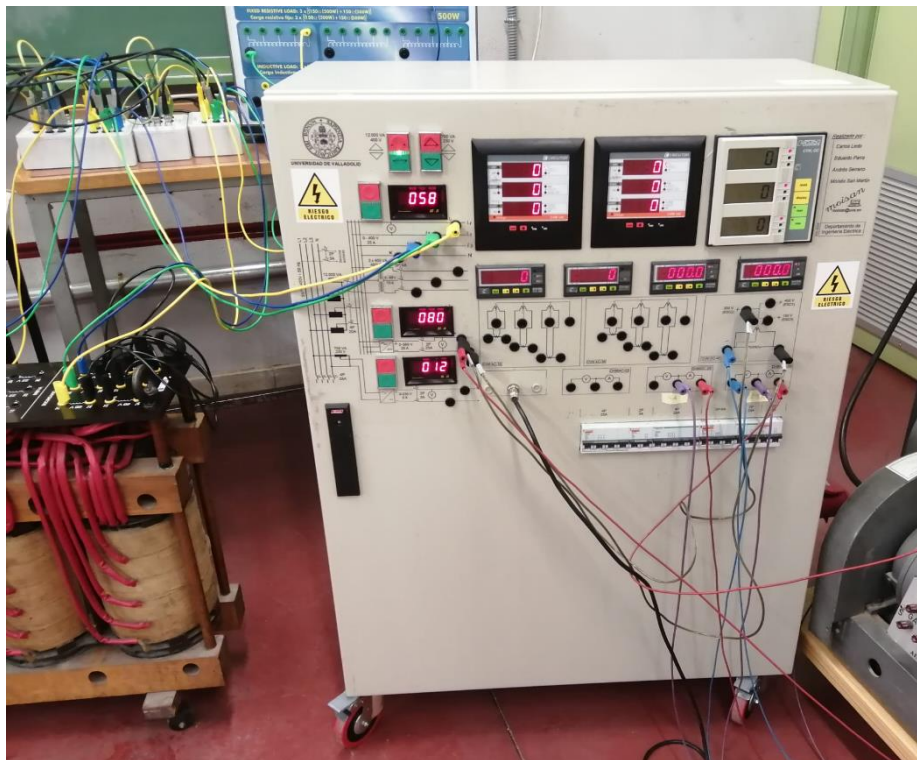


Figura 62. Fuente de alimentación trifásica basada en un autotransformador

➤ Módulo de impedancias.

Como se observa en la figura 63, se trata de un módulo que tiene distintas carga resistivas, inductivas y capacitivas las cuales se van a poder conectar al secundario del transformador trifásico.

Dicho módulo tiene cargas resistivas de hasta un valor de  $150\Omega$ , condensadores por valor de  $7\mu F$  y bobinas de hasta  $236mH$ . Todas estas se pueden combinar entre sí, además de poder conectarse entre ellas en serie o paralelo, modificando así el valor de la carga colocada en el secundario del transformador.

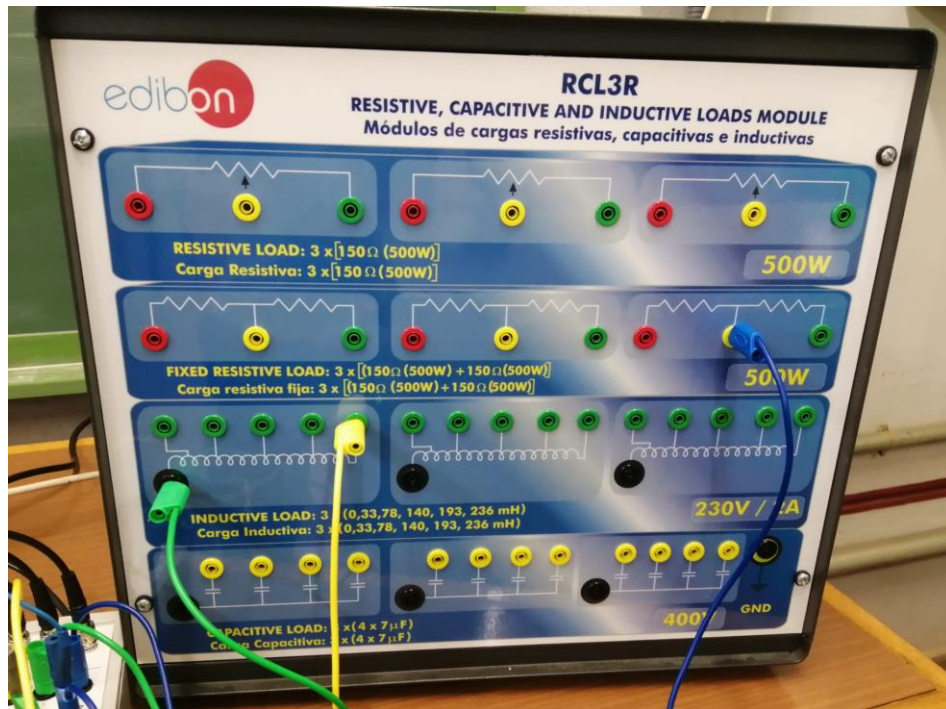


Figura 63. Módulo de impedancias

### ➤ Transductores eléctricos

Se utilizan una serie de transductores de corriente, figura 64a y de tensión, figura 64b.

Estos transductores de corriente y de tensión se utilizan para transformar corrientes y tensiones alternas o continuas de distintos procesos en otra señal normalizada. Estas señales mediante unas sondas son analizadas por otro sistema externo.



Figura 64a. Transductor de corriente

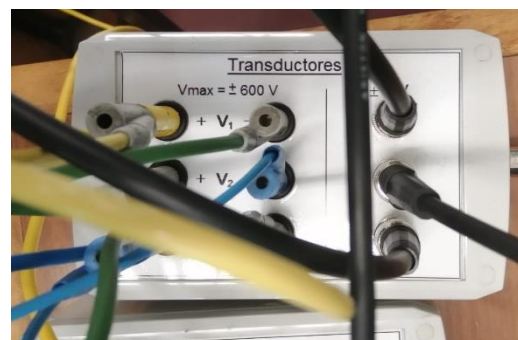


Figura 64b. Transductor de tensión

Figura 64. Transductores eléctricos

➤ Sistema CompactRIO de NATIONAL INSTRUMENTS™

En un sistema CompactRIO [22], un controlador con un procesador y FPGA programable por el usuario es ocupado con uno o más módulos de E/S. Estos módulos ofrecen conectividad directa con sensores. Estos componentes se pueden ver en la figura 65.

Se trata de un sistema compacto modular que se utiliza en la industria. No es un sistema desarrollado específicamente para enseñanza.

El sistema recoge los datos, los procesa y envía a través de internet. No es preciso estar al lado para que se reciban. En este caso, se almacenan en la nube y luego se pueden recoger con un programa de lectura del ordenador.

El ordenador que los recibe es el que gestiona su almacenamiento o distribución.

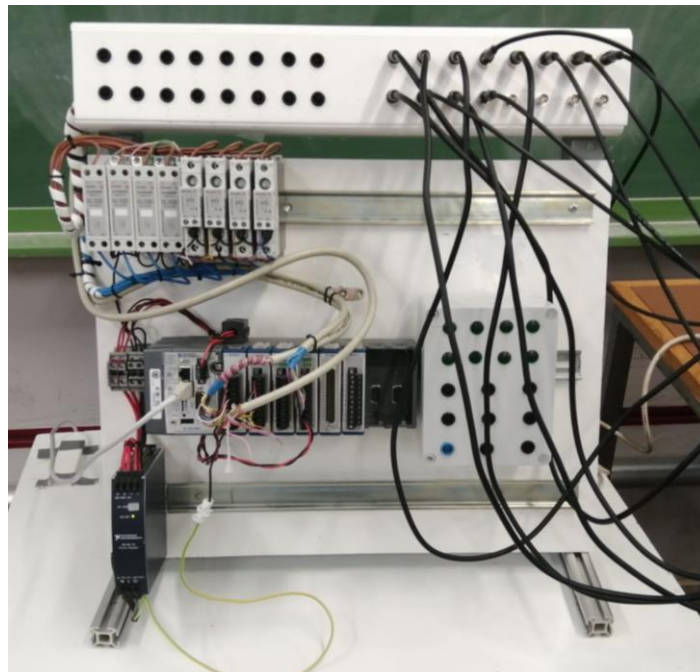


Figura 65. Módulo CompactRIO conectado a través de sondas a los transductores

➤ Ordenador y software de lectura de datos

Una vez los datos están almacenados en el ordenador, se pueden observar los resultados mediante un programa de lectura de datos, figura 66. Con él, se grafican los valores instantáneos de todas las variables medidas, mostrándose estos por pantalla en tiempo real. Además, se permite congelar un instante de tiempo para guardar los valores de estas magnitudes instantáneas en un periodo de tiempo, que en este caso será de 0.04s.

Se tendrán datos de las intensidades y tensiones de línea tanto del primario como del secundario.



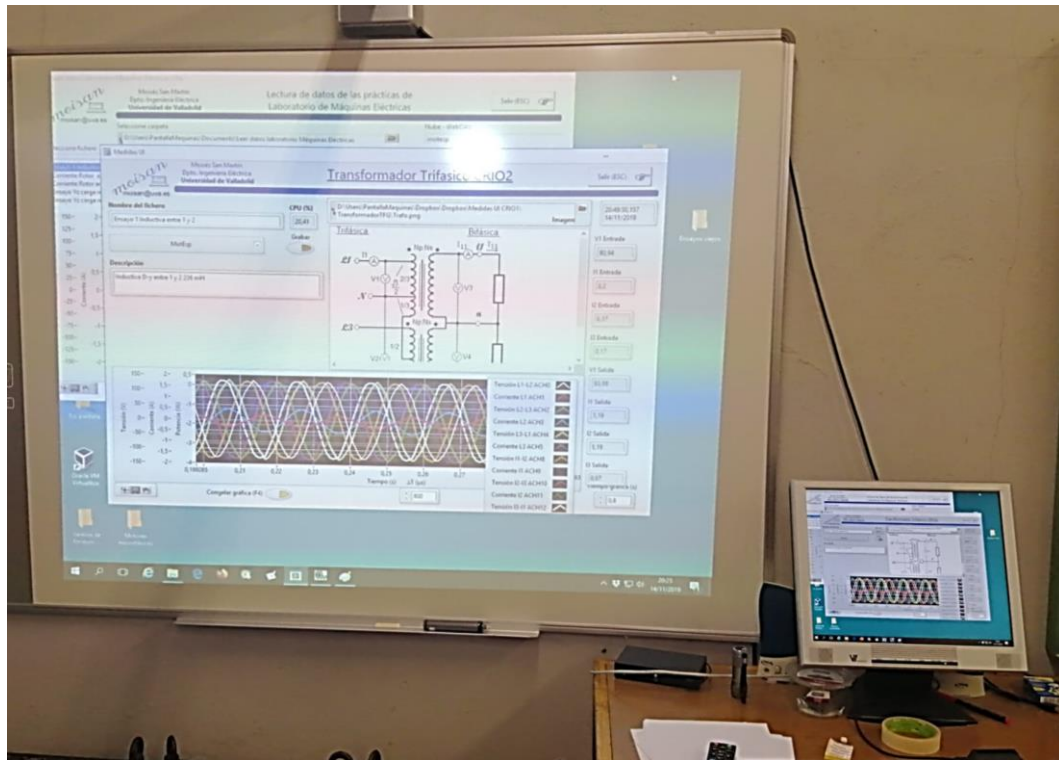


Figura 66. Programa de lectura de datos una vez descargados en el PC.

## 5.2 Ensayo experimental de transformador Yy con cargas resistivas.

Se va a realizar un estudio experimental de manera similar al que se hizo en el capítulo 4.2 de este documento con el programa diseñado.

Con esta práctica, lo que se quiere mostrar es que realmente el programa que se ha desarrollado, cumple perfectamente las suposiciones que se validaron en los apartados anteriores, comprobando que realmente un sistema equilibrado de cargas resistivas trifásicas en triángulo cumplen aquellas propiedades que se expusieron al final del capítulo citado anteriormente (intensidades de línea desfasadas  $120^\circ$  entre sí, intensidades de línea desfasadas  $30^\circ$  respecto al sistema de tensiones de línea equilibrado y que las intensidades de línea tienen el mismo valor eficaz), y con ello, el correcto funcionamiento de la aplicación, comprobándolo de manera experimental.

Como es muy complicado aproximar las cargas reales que tenemos para que la intensidad de las cargas sea exactamente de 1A; se intentará aproximar las cargas que se tienen en el módulo de impedancias y la tensión suministrada por el generador variable con el autotransformador, para obtener unos resultados lo más similares posibles.

En este caso se trabajará con una conexión Yy con relación entre tensiones  $\frac{V_p}{V_s} = \frac{303,42}{179,53}$  y una intensidad  $I_z$  de la carga Z para los tres casos independientes de carga entre las fases 1-2, 2-3 y 3-1 de valor eficaz  $I_{z-v}=1.157$  A.

Para el primero de los casos se trabaja con el transformador Yy cargado con una resistencia de  $150\Omega$  entre las fases 1 y 2, obteniéndose una intensidad de valor  $I_{z1} = 1.157e^{i(120^\circ)}$ . Con estos datos de entrada, se obtienen los siguientes resultados en el primario.

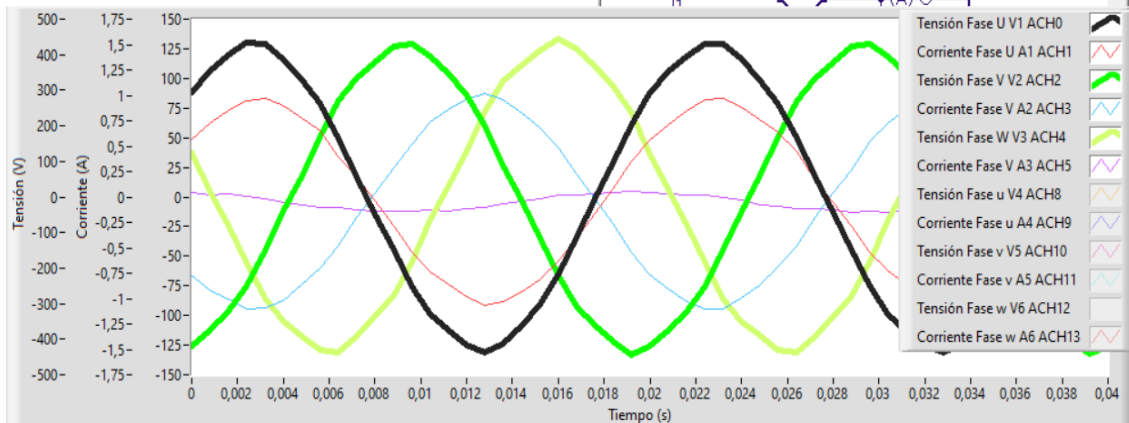


Figura 67. Tensiones e intensidades de línea del primario en el primer caso.

Se puede comprobar como la tensión  $V_{L1L2}$ , (línea negra en la figura 67) y la intensidad  $I_{z1}$  (línea roja) están en fase, y que por el contrario esta intensidad está en oposición con  $I_{z2}$  (línea azul). Esto se debe a que  $I_{z3}$  es de valor cero en este caso, ya que la suma de las tres intensidades debe ser nulo.

Esto se puede observar mejor representando el diagrama fasorial; además, podemos comparar el diagrama obtenido con los resultados experimentales (figura 68) con el diagrama fasorial de los resultados teóricos del primer caso de la figura 60, situado arriba a la izquierda de la GUI.

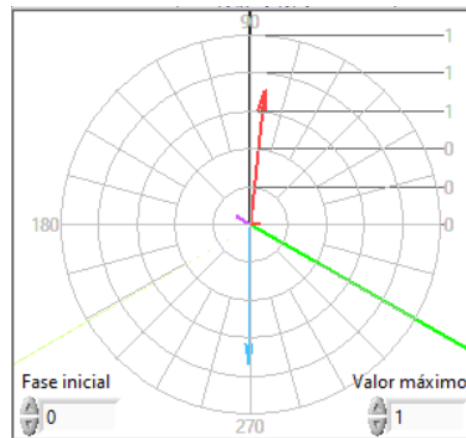


Figura 68. Diagrama fasorial de las intensidades y tensiones de línea experimentales del segundo caso.

En el caso experimental, el programa de lectura de datos pone la tensión  $V_{L1L2}$  en  $90^\circ$  como valor de referencia, de ahí que, en algunos casos, el diagrama fasorial esté desfasado respecto al de la GUI, en la cual se toma como tensión de referencia  $V_{L1L2}$  a  $120^\circ$ , que es lo más utilizado en la nomenclatura convencional.

En todo caso, se puede ver como los fasores de la intensidad, en ambos casos está la intensidad de la línea 1 del primario en fase con  $V_{L1L2}$ , estando la de la línea dos en oposición con esta, con la única pequeña diferencia que en los resultados experimentales hay desviaciones producidas por que la intensidad de la línea tres no es exactamente cero.

Sin contemplar estas pequeñas desviaciones producidas por el caso experimental, los resultados son correctos.

En el segundo caso se trabaja con el transformador Yy cargado con una resistencia de  $150\Omega$  entre las fases 1 y 3, obteniéndose una intensidad de valor  $I_{z2} = 1.157e^{i(240^\circ)}$ . Con estos datos de entrada, se obtienen los siguientes resultados en el primario.

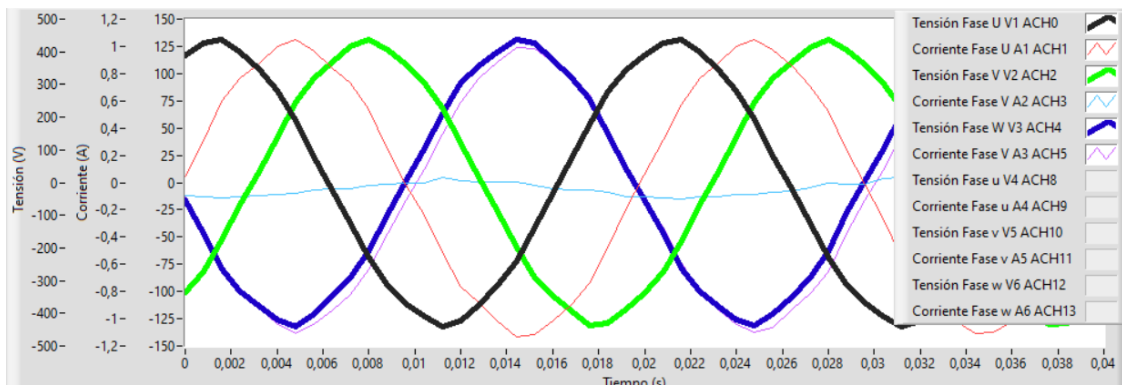


Figura 69. Tensiones e intensidades de línea del primario en el segundo caso.

Se puede comprobar como la tensión  $V_{L3L1}$ , (línea gruesa azul en la figura 69) y la intensidad  $I_{3z2}$  (línea fina morada) están en fase, y que por el contrario esta intensidad está en oposición con  $I_{1z2}$  (línea fina roja). Esto se debe a que  $I_{2z2}$  es de valor cero en este caso, ya que la suma de las tres intensidades debe ser nulo.

De nuevo, comparando el diagrama fasorial de este caso en la figura 70, con el de la GUI de este caso, el más centrado a la izquierda, en la figura 60, se puede comprobar que, de nuevo, en ambos casos está la intensidad de la línea 3 del primario en fase con  $V_{L3L1}$ , estando la de la línea 1 en oposición con esta, con la única pequeña diferencia que en los resultados experimentales hay desviaciones producidas por que la intensidad de la línea tres no es exactamente cero.

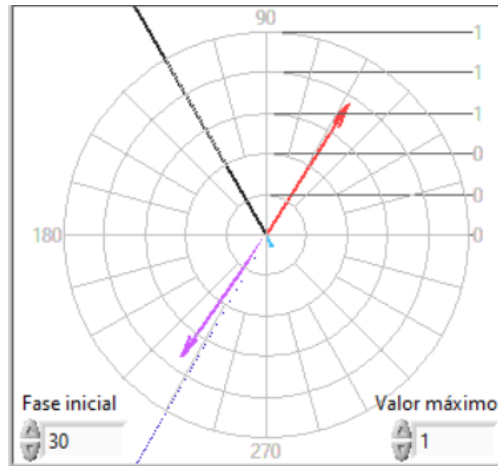


Figura 70. Diagrama fasorial de las intensidades y tensiones de línea experimentales del segundo caso.

Para terminar, en este último caso se trabaja con el transformador Yy cargado con una resistencia de  $150\Omega$  entre las fases 2 y 3, obteniéndose una intensidad de valor  $I_{z3} = 1.157e^{i(0^\circ)}$ . Con estos datos de entrada, se obtienen los siguientes resultados en el primario

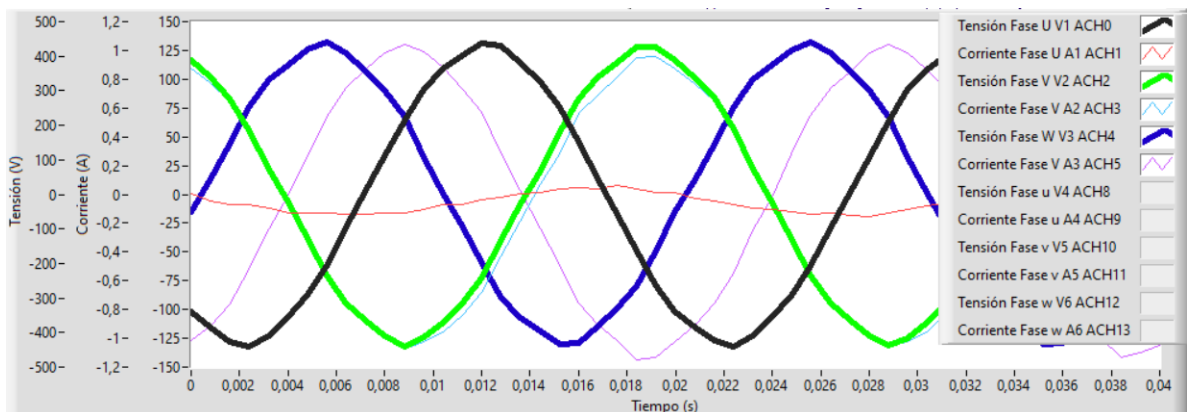


Figura 71. Tensiones e intensidades de línea del primario en el tercer caso.

Se puede comprobar como la tensión  $V_{L3L1}$ , (línea gruesa azul en la figura 71) y la intensidad  $I_{3z2}$  (línea fina morada) están en fase, y que por el contrario esta intensidad está en oposición con  $I_{1z2}$  (línea fina roja). Esto se debe a que  $I_{2z2}$  es de valor cero en este caso, ya que la suma de las tres intensidades debe ser nulo.

De nuevo, comparando el diagrama fasorial de este caso en la figura 72, con el de la GUI de este caso, el más centrado a la izquierda, en la figura 60, se puede comprobar que, de nuevo, en ambos casos está la intensidad de la línea 2 del primario en fase con  $V_{L2L3}$ , estando la de la línea 3 en oposición con esta, con la única pequeña diferencia que en los resultados experimentales hay desviaciones producidas por que la intensidad de la línea tres no es exactamente cero.

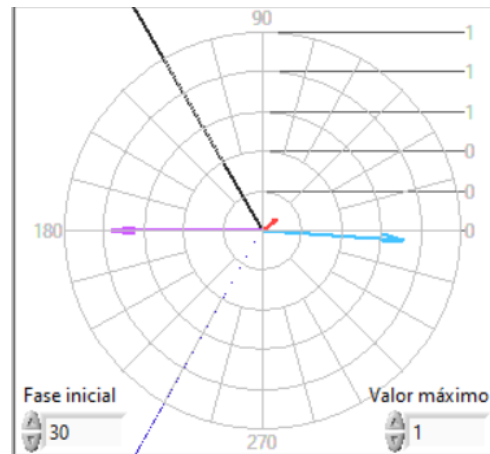


Figura 72. Diagrama fasorial de las intensidades y tensiones de línea experimentales del tercer caso.

Por último, se comparará los resultados obtenidos con la carga trifásica equilibrada en triángulo hallados mediante la superposición de los 3 casos y el resultado obtenido experimentalmente al colocarse la carga equilibrada en triángulo.

Los resultados instantáneos obtenidos son los representados en la figura 73

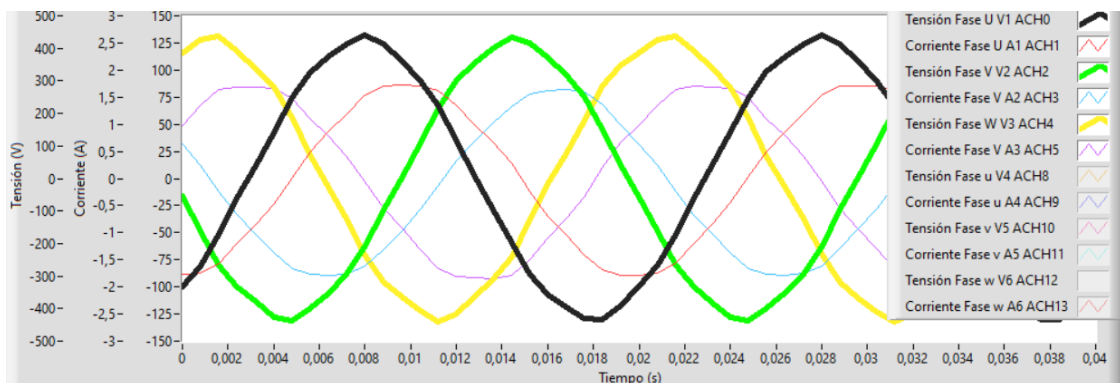


Figura 73. Tensiones e intensidades experimentales de línea del primario en el caso equilibrado en triángulo.

Se puede observar cómo, experimentalmente, las tres intensidades de línea están desfasadas entre sí  $120^\circ$  y tienen el mismo valor eficaz. Además, al ser una carga trifásica equilibrada en triángulo, se puede fácilmente ver los  $30^\circ$  que retrasan las ondas instantáneas de las intensidades de línea respecto a sus respectivas tensiones de línea. (I1 de color rojo, retrasa  $30^\circ$  a la tensión  $V_{L1L2}$  en negro, I2 en azul retrasa  $30^\circ$  a  $V_{L2L3}$  e I3 en morado retrasa  $30^\circ$  a  $V_{L3L1}$  en amarillo).

En los gráficos representados en la figura 74 se pueden observar de forma independiente estos mismos resultados.

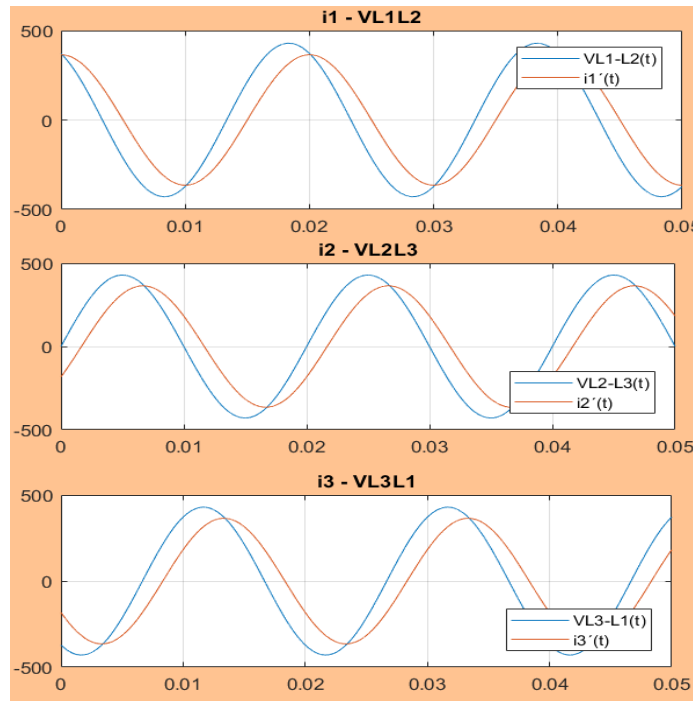


Figura 74. Tensiones e intensidades teóricas de línea del primario en el caso equilibrado en triángulo.

También se pueden comparar los diagramas fasoriales de las intensidades obtenidas de ambas formas; con las intensidades que se han obtenido de forma directa medidas sobre el transformador con carga equilibrada (figura 75) y con las intensidades que se han calculado a partir de la aplicación de la superposición de tres casos con carga desequilibrada monofásica (figura 76).

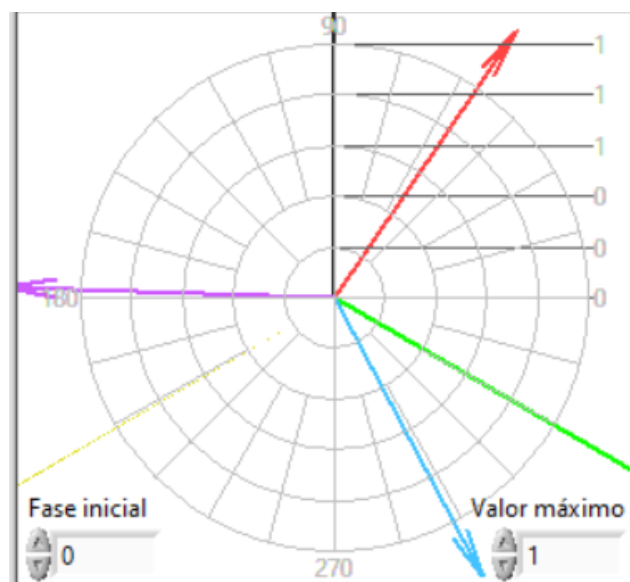


Figura 75. Diagrama fasorial de las intensidades y tensiones de línea experimentales del caso equilibrado

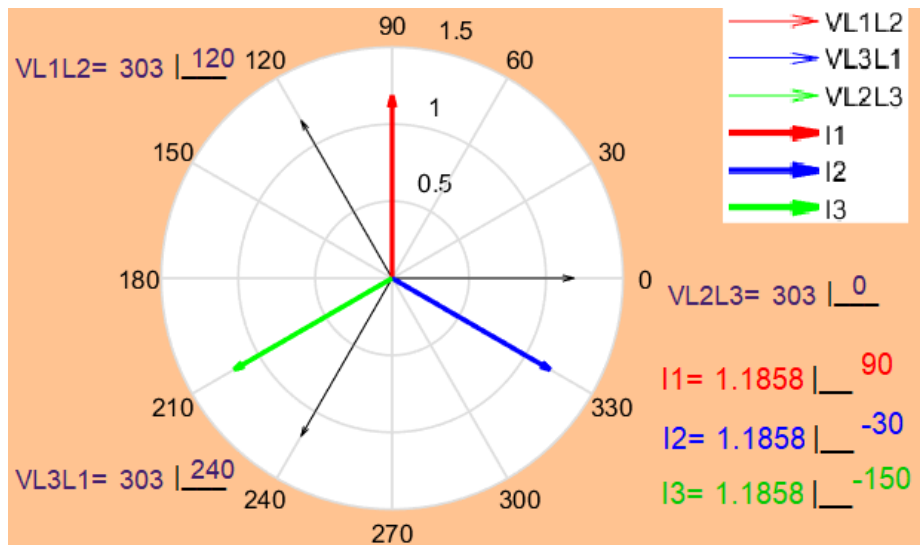


Figura 76. Diagrama fasorial de las intensidades y tensiones de línea teóricas del caso equilibrado

Con ello es necesario recordar que el programa de lectura de datos pone la tensión  $V_{L1L2}$  en  $90^\circ$  como valor de referencia, mientras que la GUI, se toma como tensión de referencia  $V_{L1L2}$  a  $120^\circ$  que es lo más utilizado en la nomenclatura convencional.

Analizando todo este conjunto de resultados teóricos y experimentales se puede concluir que la aplicación desarrollada realiza su función correctamente, dándose a conocer un nuevo método para la obtención de resultados en transformadores trifásicos con carga en triángulo mediante el principio de superposición.

### 5.3 Ensayo experimental de un transformador trifásico Dy con cargas desequilibradas inductivas, resistivas y capacitivas.

Una vez evaluada la veracidad del programa desarrollado para la simulación de desequilibrios, para finalizar, se va a realizar un último estudio, similar al del capítulo 5.2 en el que se provocará una carga desequilibrada más compleja como caso final.

Se trabajará con un transformador trifásico con orden de fases 1-2-3 y conexión Dy. Además, se procederá a realizar este estudio con una relación entre tensiones de  $\frac{V_p}{V_s} = \frac{91.37}{94.64}$ .

Para el primer caso, se utiliza como carga entre la fase 1 y 2 un bobinado de 236mH; o lo que es lo mismo, una inductancia de valor  $X_L = 2\pi 50 * 0.236 = 74.14\Omega$ . Al ser una inductancia pura, la intensidad de la

carga debe retrasar 90° a la tensión, como se puede comprobar en la figura 77 obtenida con la aplicación.

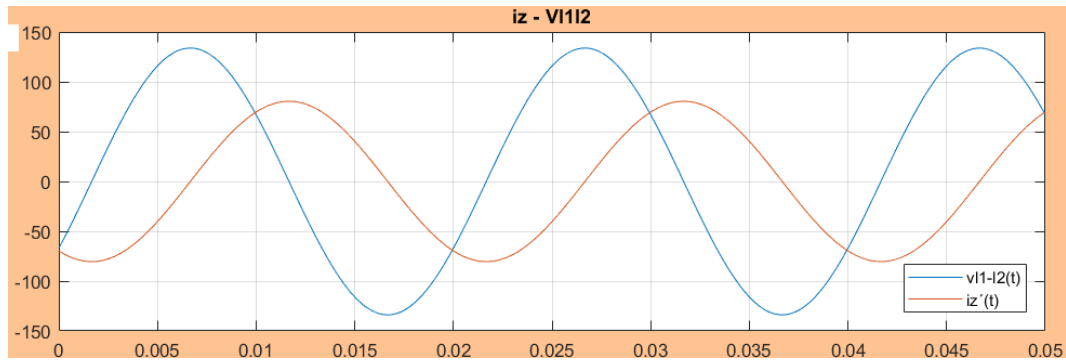


Figura 77. Representación de Iz1 y V112 frente al tiempo

Esta intensidad será de valor  $I_{z1} = 1.18e^{i(150-90^\circ)}$ . A partir de estos datos del secundario, se tendrán los siguientes resultados en el primario. (Figura 78).

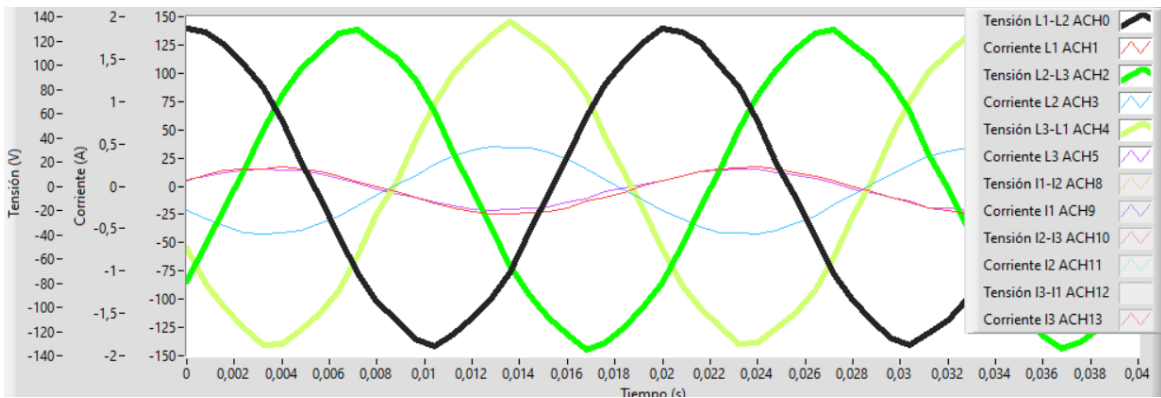


Figura 78. Tensiones e intensidades de línea del primario en el primer caso.

Se puede comprobar como la intensidad  $I_{1z1}$  (línea roja) tiene el mismo valor que  $I_{3z1}$  (línea morada) y que, por el contrario, estas intensidades están en oposición con  $I_{2z1}$  (línea azul), que además tiene un valor del doble de valor eficaz que las dos anteriores. También se puede observar cómo  $V_{L3L1}$  e  $I_{3z1}$  están en fase en este caso.

$$I_{1z1} = 0.21e^{i(60^\circ)} \quad I_{2z1} = 0.45e^{i(-120^\circ)} \quad I_{3z1} = 0.21e^{i(60^\circ)}$$

Como en el capítulo anterior, se puede comprobar estos mismos resultados en los diagramas fasoriales obtenidos, tanto experimentalmente, figura 79, como teóricamente, figura 80.



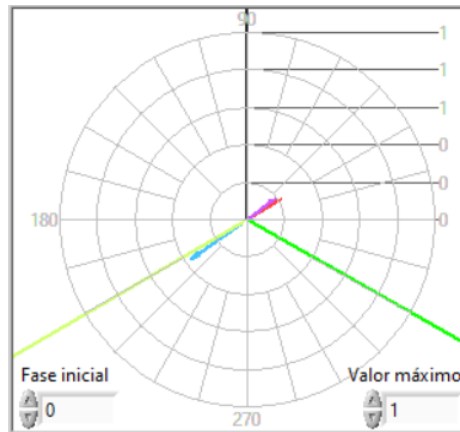


Figura 79. Diagrama fasorial de las intensidades y tensiones de línea experimentales del primer caso.

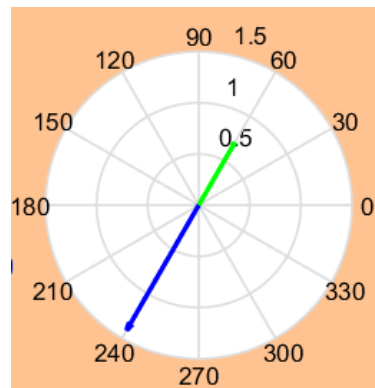


Figura 80. Diagrama fasorial de las intensidades de línea teóricas del primer caso.

Para el segundo caso se trabaja con el transformador Dy cargado con una resistencia de  $75\Omega$  entre las fases 2 y 3, obteniéndose una intensidad de valor  $I_{22} = 1.223e^{i(30^\circ)}$ . Este caso es similar al de los que se trataron en el capítulo 5.2, por lo que se operará de igual forma. Con estos datos de entrada, se obtienen los siguientes resultados en el primario, figura 81.

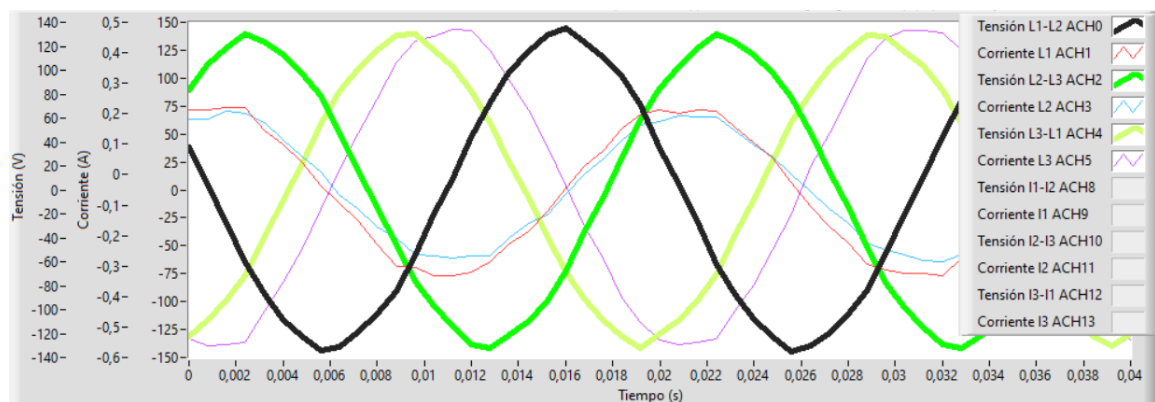


Figura 81. Tensiones e intensidades de línea del primario en el segundo caso.

Se puede comprobar como la intensidad  $I_{1z1}$  (línea roja) tiene el mismo valor que  $I_{2z1}$  (línea azul) y que, por el contrario, estas intensidades están en oposición con  $I_{3z1}$  (línea morada), que además tiene una magnitud del doble de valor eficaz que las dos anteriores.

$$I_{1z2} = 0.23e^{i(30^\circ)} \quad I_{2z2} = 0.23e^{i(30^\circ)} \quad I_{3z2} = 0.58e^{i(-150^\circ)}$$

Estos mismos resultados se podrán analizar de nuevo en los diagramas fasoriales obtenidos, tanto de forma experimental, figura 82, como teórica, figura 83.

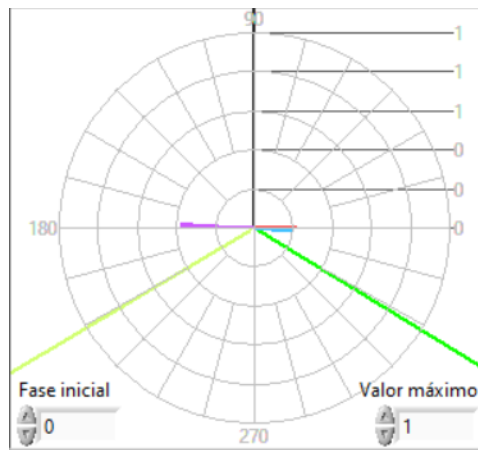


Figura 82. Diagrama fasorial de las intensidades y tensiones de línea experimental del segundo caso.

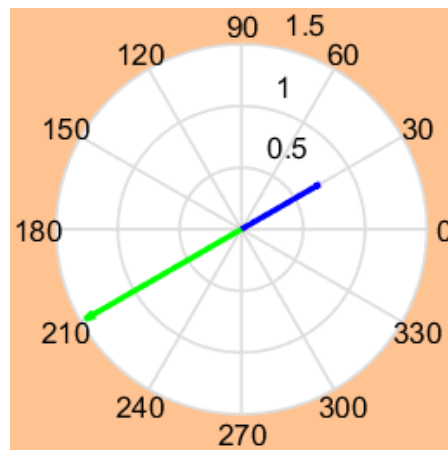


Figura 83. Diagrama fasorial de las intensidades de línea teóricas del segundo caso.

Para el último caso, se utiliza como carga entre la fase 3 y 1 un conjunto de condensadores colocados en paralelo de 84µF, o lo que es lo mismo, una inductancia de valor  $X_c = \frac{1}{2.050 \cdot (87 \cdot 10^{-6})} = 36.59 \Omega$ . Al ser una capacitancia pura, la intensidad de la carga debe adelantar 90° a la tensión, como se puede comprobar en la figura 84 obtenida con la aplicación.

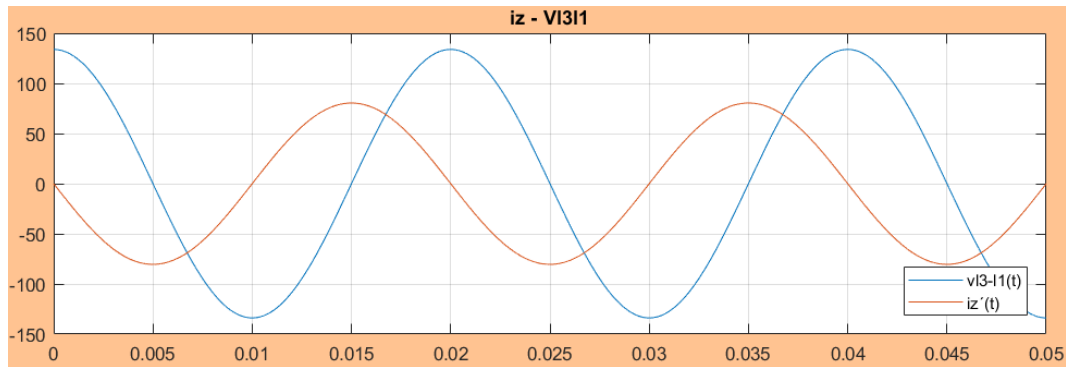


Figura 84. Representación de Iz3 y V1311 frente al tiempo

Esta intensidad será de valor  $I_{z1} = 2.76e^{i(0^\circ)}$ . A partir de estos datos del secundario, se tendrán los siguientes resultados en el primario. (Figura 85)

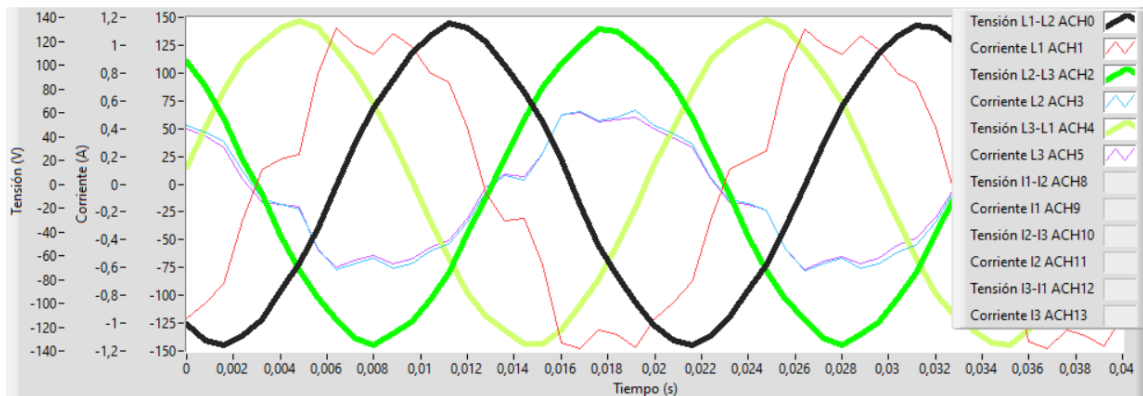


Figura 85. Tensiones e intensidades de línea del primario en el tercer caso.

Se puede comprobar como la intensidad  $I_{1z1}$  (línea roja) tiene el doble de valor eficaz que  $I_{3z1}$  (línea morada) y que  $I_{2z1}$  (línea azul), además de estar en oposición con estas. También se observa como las medidas son más irregulares trabajando con condensadores que con el resto de los elementos,

$$I_{1z3} = 1.12e^{i(180^\circ)} \quad I_{2z3} = 0.58e^{i(0^\circ)} \quad I_{3z3} = 0.58e^{i(0^\circ)}$$

Como en el capítulo anterior, se puede comprobar estos mismos resultados en los diagramas fasoriales obtenidos tanto experimentalmente, figura 86, como de forma teórica, figura 87.

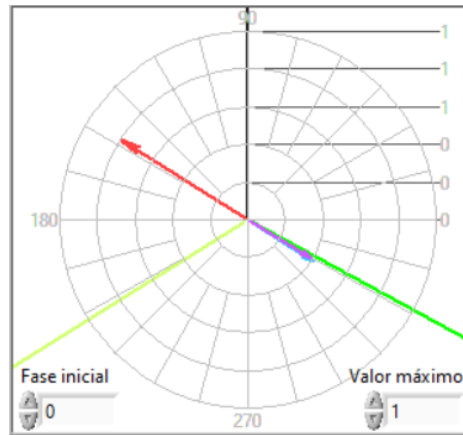


Figura 86. Diagrama fasorial de las intensidades y tensiones de línea experimentales del tercer caso.

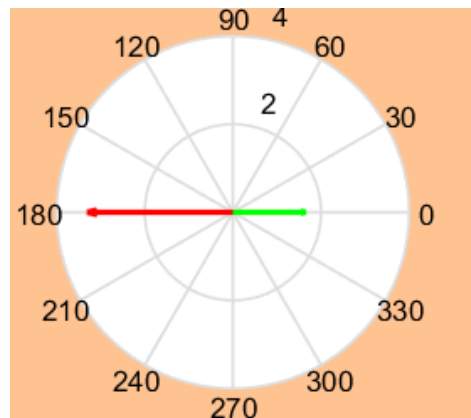


Figura 87. Diagrama fasorial de las intensidades de línea teóricas del tercer caso.

Se finaliza este ensayo, conectándose al secundario del transformador las tres cargas anteriormente mencionadas a la vez; la carga inductiva entre 1 y 2, la carga resistiva entre 2 y 3, y una carga capacitiva entre 3 y 1, obteniéndose la conexión del equipo mostrada en las figuras 88 y 89.



Figura 88. Equipo conectado para el ensayo.



Figura 89. Equipo eléctrico conectado para el ensayo

Los resultados del primario una vez se han conectado en triángulo las tres cargas son los mostrados en la figura 90.

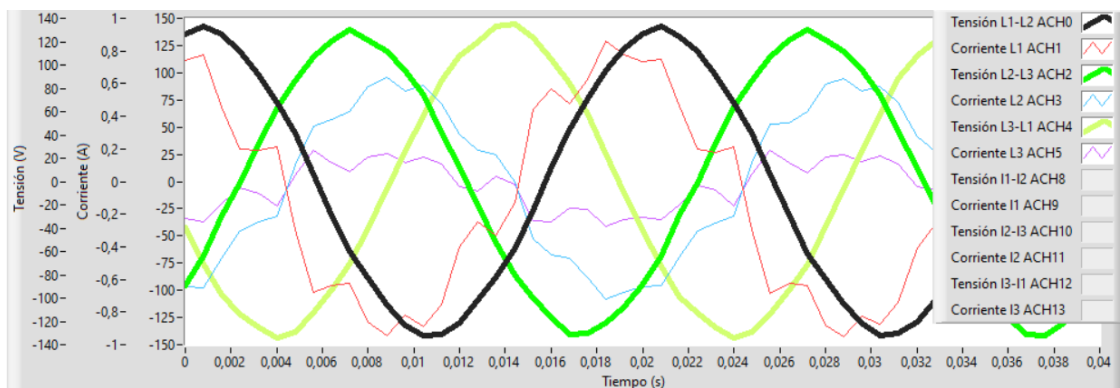


Figura 90. Tensiones e intensidades experimentales de línea del primario en el caso total.

Obteniéndose las siguientes intensidades de línea del primario:

$$I_1 = 0.87e^{i(160^\circ)} \quad I_{2z3} = 0.61e^{i(-26.37^\circ)} \quad I_{3z3} = 0.21e^{i(-30.62^\circ)}$$

Los resultados que se han obtenido en la figura 90, se podrán comparar con los resultados teóricos en la figura 91, 92 y 93, obtenidos a partir de la app desarrollada.

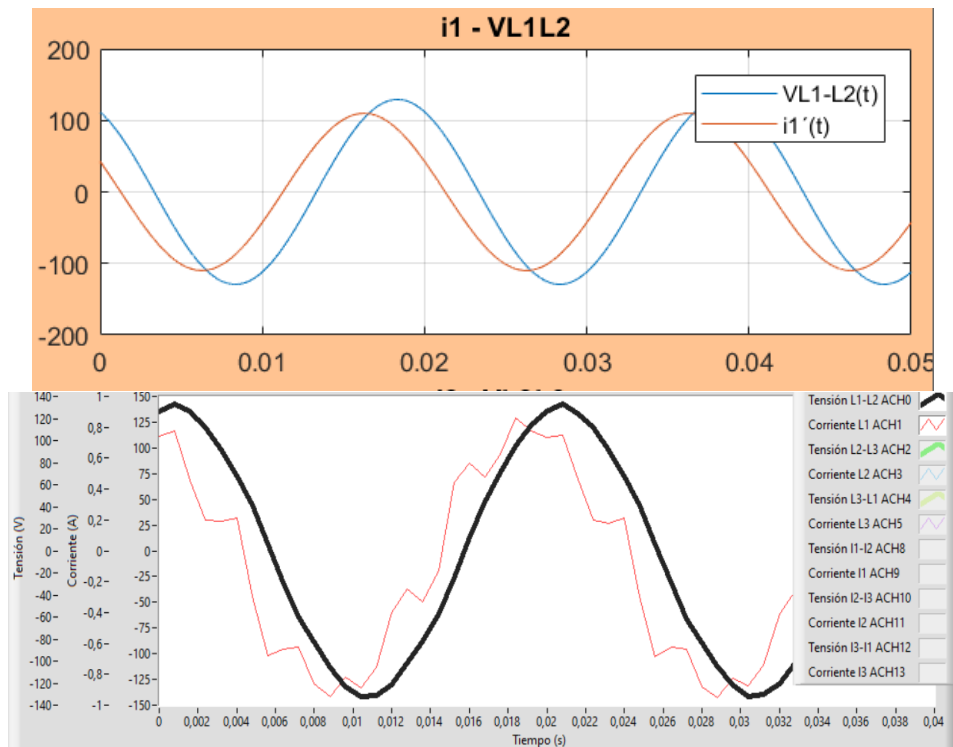


Figura 91. Comparación entre las tensiones VL1L2 e intensidades I1 de línea experimentales y teóricas.

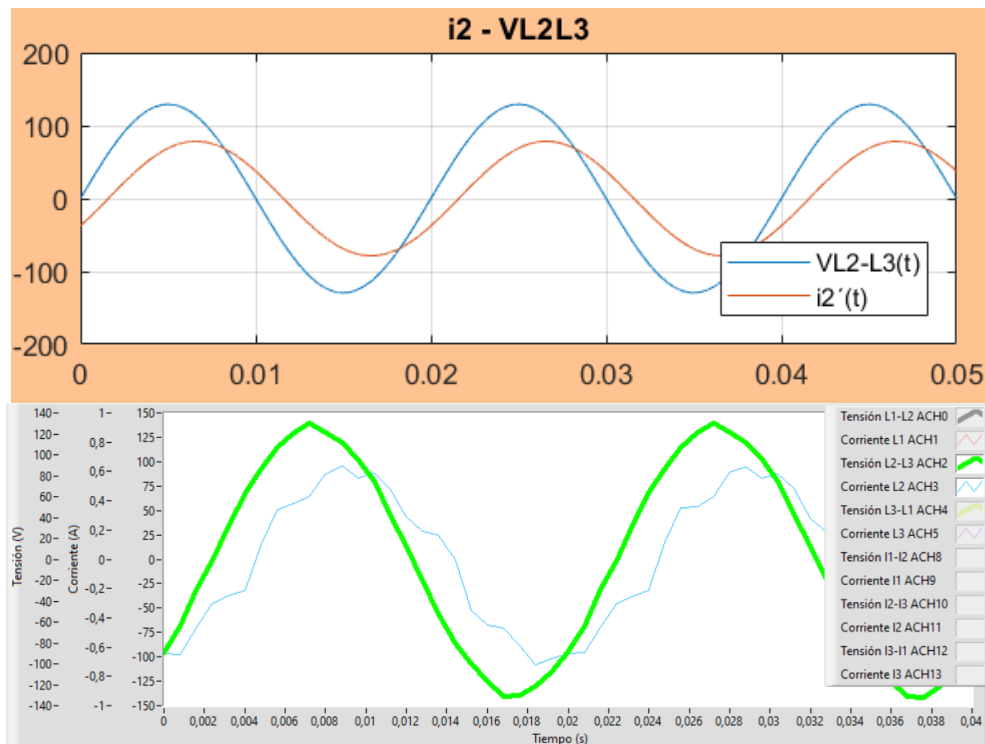


Figura 92. Comparación entre las tensiones VL2L3 e intensidades I2 de línea experimentales y teóricas.

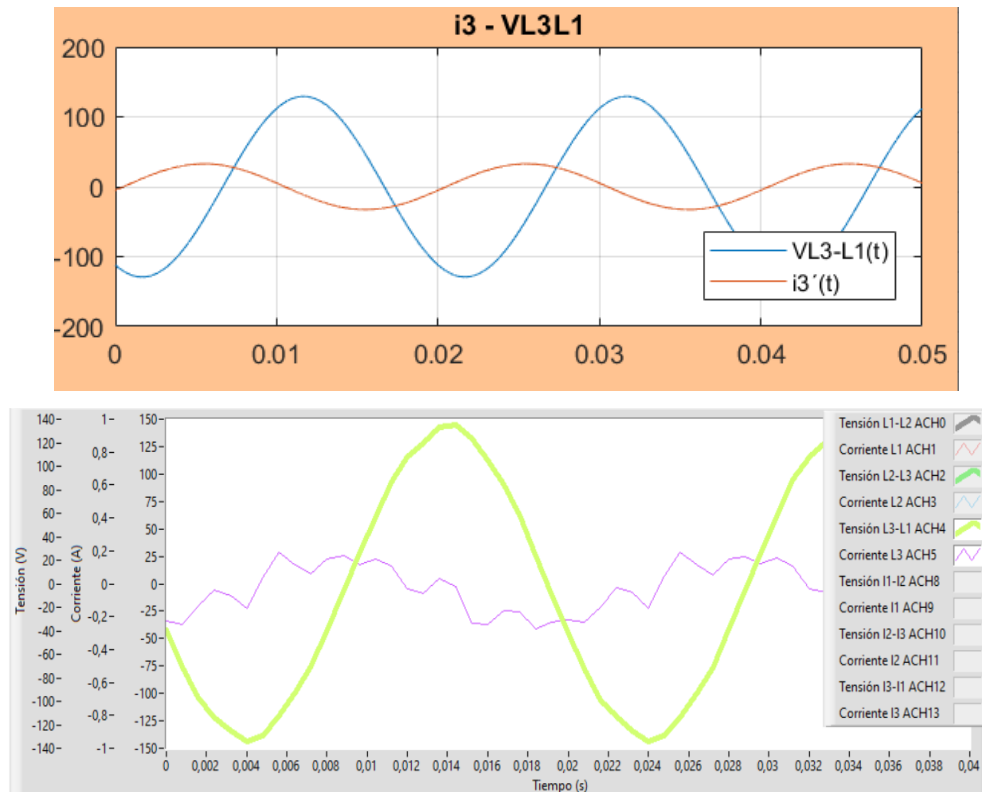


Figura 93. Comparación entre las tensiones VL3L1 e intensidades I3 de línea experimentales y teóricas.

Claramente se observa cómo se llega a los mismos resultados de ambas formas, validando de nuevo la app creada y el método aplicado por el principio de superposición.

También, y para finalizar, se pueden comparar los diagramas fasoriales obtenidos de ambas formas, figura 94, llegándose a las mismas conclusiones.

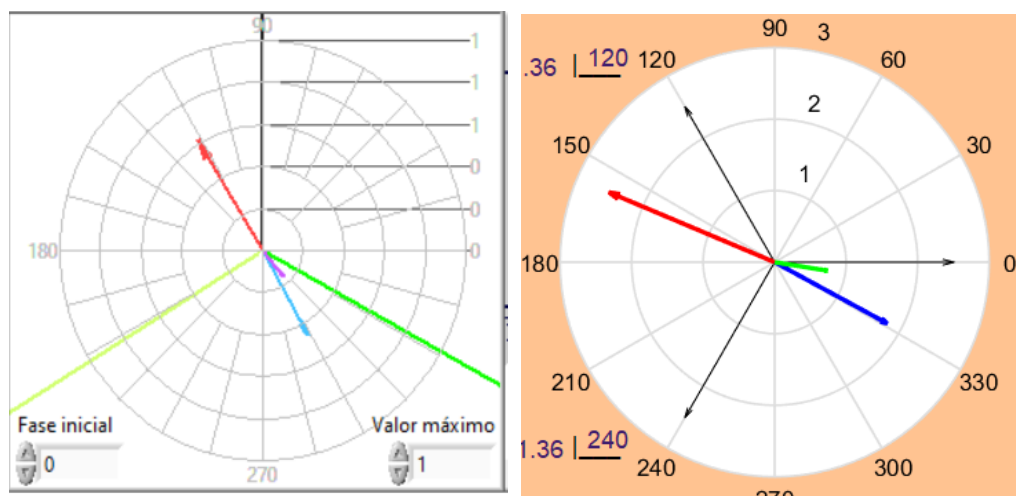


Figura 94. Comparación entre las tensiones e intensidades de línea experimentales y teóricas.





## 6. Repercusiones

En este capítulo se analizarán las distintas repercusiones, sociales, económicas, de salud, seguridad, etc del resultado de este proyecto.

Respecto a las repercusiones económicas; para las empresas que se dediquen a la distribución de la energía eléctrica o simplemente, que trabajen con transformadores trifásicos, es mucho más económico comenzar con una simulación, para obtener los parámetros con los que trabajar antes de montar los distintos equipos eléctricos, que de otro forma, serían parámetros que en muchos casos se obtendrían probando y cambiando los valores de entrada y las conexiones del transformador, desperdiciando gran cantidad de tiempo de trabajo y desgaste innecesario de las máquinas. De esta forma, si se simulan estos valores de entrada y conexiones, se pueden conocer estos parámetros que se están buscando antes de la conexión y funcionamiento de las máquinas, dejando libre más tiempo para otras labores.

Siguiendo este mismo desarrollo, se podría hablar en términos de seguridad y salud, ya que todo aquel proceso que se simule en primer lugar evita una gran cantidad de pruebas realizadas con las máquinas eléctricas, las cuales normalmente trabajan con altos voltajes y en caso de algún fallo de equipo o imprudencia de los trabajadores que manejan los equipos, pueden llegar a causar grandes lesiones, incluso la muerte.

También, respecto al tema ambiental, se evita la pérdida de una gran cantidad de recursos energéticos realizando simulaciones para obtener los parámetros necesarios de la transformación en vez de ser obtenidos mediante la conexión y funcionamiento de las máquinas eléctricas y con ello, la puesta en marcha del proceso industrial pertinente.

Como repercusión social, se puede indicar su aportación continuada de las personas que se encuentran trabajando en este ámbito.



## 7. Estimación de presupuesto.

Para la estimación del presupuesto se va a contabilizar las horas dedicadas como parte de la “Mano de Obra” ya sea por la programación y diseño de las interfaces gráficas de usuario, o por la supervisión y el montaje de los equipos eléctricos de los laboratorios para el desarrollo de los distintos ensayos; y también se contabilizará los costes de las diversas licencias de software empleadas durante el desarrollo del mismo.

Por otro lado, no se contabilizará los costos derivados de los equipos empleados para el desarrollo de las prácticas en el laboratorio de máquinas eléctricas, ya que estos equipos ya están disponibles en la Universidad y están a cargo de esta institución.

Tipo de mano de obra	Cantidad (h)	Coste unitario (€/h)	Coste total €
Diseño	120	12.00	1440
Programación	280	12.00	3360
Supervisión	15	25.00	375
<b>Subtotal</b>			<b>5175</b>

Tabla 2. Costes por mano de obra.

Licencia de software	Cantidad	Coste unitario (€/u)	Coste total €
Autocad 2019	1	266.20	266.20
Matlab R2017b	1	69.00	69
Microsoft Office 2017 Home&Student	1	139.99	139.99
<b>Subtotal</b>			<b>475.19</b>

Tabla 3. Costes por licencias de software.

Tipo de coste	Coste Total €
Mano de obra	5175
Licencias de software	475.19
<b>Total</b>	<b>5650.19</b>

Tabla 2. Costes totales.



## Conclusiones

Se ha desarrollado un *software* gráfico interactivo, para el entorno de Windows, que permite estudiar diferentes desequilibrios en transformaciones trifásicas.

El programa se ha diseñado en el entorno de Matlab, a partir de la herramienta GUIDE (Interfaz Gráfica de Usuario); lo que permite una interacción intuitiva y sencilla con el mismo.

Se simulan los casos existentes de desequilibrios extremos producidos por cargas monofásicas en transformadores trifásicos, dándose la posibilidad de combinarse para obtener resultados de desequilibrios más complejos.

Se ha verificado su validez mediante la comprobación experimental en el laboratorio.

El trabajo proporciona herramientas para una formación complementaria en temas que se tratan de una manera tangencial en las enseñanzas regladas, como es el caso de desequilibrios en transformaciones trifásicas.

A través de esta aplicación, accesible a través de la página web del departamento, se pretende dotar de elementos que permitan una formación continua a alumnos y post graduados.



## Bibliografía

1. Mora, J. (2003). Máquinas Eléctricas\_Jess\_Fraile\_Mora. *Mecatronica*, 161, 162-166, 206, 217
2. UPC. (2014). *Aplicación informática con Matlab para la modelización de la resistencia homopolar de un transformador trifásico*. 10, 17-18, 19,
3. UNE-EN 60076-1:2013 Transformadores de potencia. Parte 1: Generalidades.
4. Serrano, J.A. (2016). *Conexión estrella-estrella (Y-y) Conexión triángulo-estrella (D - y) Génesis Construcción*. Apuntes asignatura "Máquinas eléctricas" de tercero del grado en tecnologías industriales UVA. 1-5.
5. Schneider Electric. (2013). *Análisis comparativo de los grupos de conexión más importantes*. 3, 4, 5,
6. Parra, E. (2010). *Índices horarios (I): Determinación práctica*. (I), Páginas 1-4.
7. Ras i Oliva, E. (1984). *transformadores-de-potencia-de-medida-y-de-protección*. 107.
8. Grado, T. F. De. (2016). *Estimación de la impedancia homopolar en transformadores trifásicos*.5-7.
9. Frro, N., & Sim, C. (2014). *Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Rosario Contenido*. 1-35.
10. Ferro, G. (2019). El método de las componentes simétricas. *Universidad Nacional de Mar Del Plata*. 3-6.
11. (2011). *Cap. Algoritmos para la detección de desequilibrios*. 23.
12. Angel, M., & Pozueta, R. (2016). *Con Cargas Monofásicas*. 2-4
13. Electrotecnia, T., & Circuitos, F. D. E. *5ª Resolución de circuitos por el método de Kirchhoff*. 7.
14. Eléctricas, d. e. l. a. s. m. (2016). *Electrotecnia segunda del grado de tecnologías industriales UVA. Tema 6.- principios fundamentales de las máquinas eléctricas. transformación de la energía*. 14.
15. Circuitos magnéticos. (n.d).  $\int H \cdot dl$  Ejemplos circuitos magnéticos- *electrotecnia segundo del grado de tecnologías industriales UVA*. 3.
16. INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CIUDAD MADERO, Universidad Autónoma de Baja California, Unidad Tijuana. Esqueda, J. J. (2002). *Matlab e Interfaces Gráficas*. 4-5.
17. Barragán D. *Manual de interfaz gráfica de usuario en matlab parte I* (n.d.). 3-7
18. <https://www.autodesk.es/products/autocad/overview> a 26/10/2019
19. <https://www.microsoft.com/es-es/p/paint-3d/9nblggh5fv99?activetab=pivot:overviewtab> a 26/10/2019
20. Parra, E.(2010). *Índices horarios (II):Desarrollo del método*.1-4.

21. Parra, E. (2010). *Índices horarios (III): Diferentes casos para cada transformador*. 1-5.
22. <https://www.ni.com/es-es/shop/compactrio.html> a 1/11/2019

### Otras Web consultadas para el desarrollo del GUI

[https://personales.unican.es/rodrigma/PDFs/transfo\\_trif%20cargas%20monof.pdf](https://personales.unican.es/rodrigma/PDFs/transfo_trif%20cargas%20monof.pdf) 23/7/19

<https://es.mathworks.com/help/matlab/ref/switch.html> 8/8/19

<https://www.lawebdelprogramador.com/foros/Matlab/1134866-Pasar-valor-de-una-variable-de-una-gui-a-otra.html> 8/8/19

<https://www.aulamoisan.com/> 10/8/19

20/8/19

<https://www.youtube.com/watch?v=NjMixKjFWME>

<https://www.youtube.com/watch?v=jBecrEnkSV0&t=3120s>

<https://www.youtube.com/watch?v=rYVxTfj9Jhs&vl=es-419>

<https://www.youtube.com/watch?v=FeFhvWPb1h0&t=115s>

<https://www.youtube.com/watch?v=V2bHR7teY64>

[https://www.youtube.com/watch?v=ciKiJZA\\_WY8&t=720s](https://www.youtube.com/watch?v=ciKiJZA_WY8&t=720s)

<https://www.youtube.com/watch?v=V1U25A99Clc&t=92s>

<https://www.lawebdelprogramador.com/foros/Matlab/1325069-Imagen-en-un-boton.html> 9/9/19

<https://www.lawebdelprogramador.com/foros/Matlab/1164514-matlab-resultados-con-fraccionesquero-decimales.html> 16/9/19

[https://es.mathworks.com/help/matlab/ref/format.html#btiwmh5-2\\_1](https://es.mathworks.com/help/matlab/ref/format.html#btiwmh5-2_1) 16/9/19

<https://stackoverflow.com/es/q/7057547> 7/10/19

<https://www.lawebdelprogramador.com/foros/Matlab/1347598-Dibujar-recta-entre-dos-puntos.html> 21/10/9



## Anexo I. Código del programa.

### Interfaz I. Presentación de la app.

```
function varargout = Inicio_tfg(varargin)

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @Inicio_tfg_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @Inicio_tfg_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [] , ...
                  'gui_Callback',   []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargin
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before Inicio_tfg is made visible.
function Inicio_tfg_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to Inicio_tfg (see VARARGIN)

% Choose default command line output for Inicio_tfg
handles.output = hObject;
movegui('center');
% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes Inicio_tfg wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = Inicio_tfg_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
% varargout  cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
axes(handles.barra)
imshow('barra.PNG')

axes(handles.uva)
imshow('uva.jpg')

axes(handles.eii)
imshow('eii.jpg')
% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

% --- Executes on button press in comenzar.
function comenzar_Callback(hObject, eventdata, handles)
close all;
seleccion;
% hObject    handle to comenzar (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% --- Executes on button press in cerrar.
function cerrar_Callback(~, eventdata, handles)
clear all;
```

```

close all;
clc;

% hObject    handle to cerrar (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

## Interfaz II. GUI para la pedida de datos.

```

function varargout = seleccion(varargin)

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',   gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @seleccion_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @seleccion_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',   [] , ...
                  'gui_Callback',    []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before seleccion is made visible.
function seleccion_OpeningFcn(hObject, ~, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to seleccion (see VARARGIN)

% Choose default command line output for seleccion
handles.output = hObject;

movegui('center');

axes(handles.titulo)
imshow('titulo.png')

axes(handles.barra)
imshow('barra.PNG')

axes(handles.uva)
imshow('uva.jpg')

axes(handles.eii)
imshow('eii.jpg')

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = seleccion_OutputFcn(~, ~, handles)
% varargout  cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

```

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

function v1_Callback(hObject, ~, ~)
v1=str2double(get(hObject,'String')) ;
setappdata(0,'v1',v1);

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function v1_CreateFcn(hObject, ~, ~)
% hObject    handle to v1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function v2_Callback(hObject, ~, ~)
v2=str2double(get(hObject,'String')) ;
setappdata(0,'v2',v2);

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function v2_CreateFcn(hObject, ~, ~)
% hObject    handle to v2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function iz_Callback(hObject, ~, ~)
iz=str2double(get(hObject,'String')) ;
setappdata(0,'iz',iz);
% hObject    handle to iz (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of iz as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of iz as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function iz_CreateFcn(hObject, ~, ~)
% hObject    handle to iz (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on button press in atras.
function atras_Callback(~, ~, ~)
close(seleccion);
clear all;

```

```

clc;
Inicio_tfg
% hObject    handle to atras (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% --- Executes on selection change in alimentacion.
function alimentacion_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to alimentacion (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
caso_alimentacion=(get(hObject,'Value'));
setappdata(0,'caso_alimentacion',caso_alimentacion);
switch caso_alimentacion
    case 1
        axes(handles.img_alimentacion)
        imshow('L1-L2-L3.PNG')
    case 2
        axes(handles.img_alimentacion)
        imshow('L3-L1-L2.PNG')
    case 3
        axes(handles.img_alimentacion)
        imshow('L2-L3-L1.PNG')
    case 4
        axes(handles.img_alimentacion)
        imshow('L1-L3-L2.PNG')
    case 5
        axes(handles.img_alimentacion)
        imshow('L2-L1-L3.PNG')
    case 6
        axes(handles.img_alimentacion)
        imshow('L3-L2-L1.PNG')
end
% Hints: contents = cellstr(get(hObject,'String')) returns alimentacion contents as
cell array
%         contents(get(hObject,'Value')) returns selected item from alimentacion

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function alimentacion_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to alimentacion (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: popupmenu controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on selection change in primario.
function primario_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to primario (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
caso_primario=get(hObject,'Value');
setappdata(0,'caso_primario',caso_primario);
set(handles.t_relacion,'string',' ');
switch caso_primario
    case 1
        axes(handles.img_primario)
        imshow('Y_A`B`C`_prim.PNG')
    case 2
        axes(handles.img_primario)
        imshow('Y_ABC_prim.PNG')
    case 3
        axes(handles.img_primario)
        imshow('D_AB`_BC`_CA`_prim.PNG')
    case 4

```

```

        axes(handles.img_primario)
        imshow('D_AC`_BA`_CB`_prim.PNG')
    end
    if (caso_primario==1 || caso_primario==2 || caso_primario==3 || caso_primario==4)
        axes(handles.img_secundario)
        imshow('fondo.PNG')

        axes(handles.relacion)
        imshow('fondo.PNG')
        %caso_secundario=0;
        %set(handles.caso_secundario,'value',0);

    end
    % Hints: contents = cellstr(get(hObject,'String')) returns primario contents as cell
    array
    %         contents(get(hObject,'Value')} returns selected item from primario

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function primario_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to primario (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: popupmenu controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on selection change in secundario.
function secundario_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to secundario (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
caso_secundario=get(hObject,'Value');
setappdata(0,'caso_secundario',caso_secundario);

caso_primario=get(handles.primario,'Value');
set(handles.t_relacion,'string','Relación de tensiones entre fases:');

switch caso_secundario
    case 1
        axes(handles.img_secundario)
        imshow('y_a`b`c`.PNG')

        if ((caso_primario==1) || (caso_primario==2))
            axes(handles.relacion)
            imshow('relacion_1.PNG')
        elseif ((caso_primario==3) || (caso_primario==4))
            axes(handles.relacion)
            imshow('relacion_4.PNG')
        end
    case 2
        axes(handles.img_secundario)
        imshow('y_abc.PNG')

        if ((caso_primario==1) || (caso_primario==2))
            axes(handles.relacion)
            imshow('relacion_1.PNG')
        elseif ((caso_primario==3) || (caso_primario==4))
            axes(handles.relacion)
            imshow('relacion_4.PNG')
        end
    case 3
        axes(handles.img_secundario)
        imshow('d_ab`_bc`_ca`.PNG')
end

```

```

    if ((caso_primario==1) || (caso_primario==2))
        axes(handles.relation)
        imshow('relacion_2.PNG')
    elseif ((caso_primario==3) || (caso_primario==4))
        axes(handles.relation)
        imshow('relacion_1.PNG')
    end

case 4
axes(handles.img_secundario)
imshow('d_ac_cb_ba.PNG')

    if ((caso_primario==1) || (caso_primario==2))
        axes(handles.relation)
        imshow('relacion_2.PNG')
    elseif ((caso_primario==3) || (caso_primario==4))
        axes(handles.relation)
        imshow('relacion_1.PNG')
    end

case 5
axes(handles.img_secundario)
imshow('z_a2b2c2_a2a2_c1c1_b2b2_a1_a1_c2c2_b1_b1.PNG')

    if ((caso_primario==1) || (caso_primario==2))
        axes(handles.relation)
        imshow('relacion_3.PNG')
    elseif ((caso_primario==3) || (caso_primario==4))
        axes(handles.relation)
        imshow('relacion_5.PNG')
    end

case 6
axes(handles.img_secundario)
imshow('z_a2b2c2_a2a2_b1_b1_b2b2_c1_c1_c2c2_a1_a1.PNG')

    if ((caso_primario==1) || (caso_primario==2))
        axes(handles.relation)
        imshow('relacion_3.PNG')
    elseif ((caso_primario==3) || (caso_primario==4))
        axes(handles.relation)
        imshow('relacion_5.PNG')
    end

case 7
axes(handles.img_secundario)
imshow('z_a2_b2_c2_a2_a2c1c1_b2_b2a1a1_c2_c2b1b1.PNG')

    if ((caso_primario==1) || (caso_primario==2))
        axes(handles.relation)
        imshow('relacion_3.PNG')
    elseif ((caso_primario==3) || (caso_primario==4))
        axes(handles.relation)
        imshow('relacion_5.PNG')
    end

case 8
axes(handles.img_secundario)

imshow('z_a2_b2_c2_a2_a2b1b1_b2_b2c1c1_c2_c2a1a1.PNG')

    if ((caso_primario==1) || (caso_primario==2))
        axes(handles.relation)
        imshow('relacion_3.PNG')
    elseif ((caso_primario==3) || (caso_primario==4))
        axes(handles.relation)
        imshow('relacion_5.PNG')
    end

end
end

```

```

% Hints: contents = cellstr(get(hObject,'String')) returns secundario contents as cell array
%         contents(get(hObject,'Value')) returns selected item from secundario

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function secundario_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to secundario (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: popupmenu controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on selection change in carga.
function carga_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to carga (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
caso_carga=get(hObject,'Value');
setappdata(0,'caso_carga',caso_carga);
switch caso_carga
    case 1
        axes(handles.img_carga)
        imshow('carga_12.PNG')
    case 2
        axes(handles.img_carga)
        imshow('carga_13.PNG')
    case 3
        axes(handles.img_carga)
        imshow('carga_23.PNG')
    case 4
        axes(handles.img_carga)
        imshow('carga_1N.PNG')
    case 5
        axes(handles.img_carga)
        imshow('carga_2N.PNG')
    case 6
        axes(handles.img_carga)
        imshow('carga_3N.PNG')
end
% Hints: contents = cellstr(get(hObject,'String')) returns carga contents as cell array
%         contents(get(hObject,'Value')) returns selected item from carga

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function carga_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to carga (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: popupmenu controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function angulo_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to angulo (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
anguloViz=str2double(get(hObject,'String')) ;
setappdata(0,'angulo',anguloViz);
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of angulo as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of angulo as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function angulo_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to angulo (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on button press in calcular.

% hObject    handle to calcular (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

function calcular_Callback(~, ~, handles)
v1=str2double(get(handles.v1,'string'));
v2=str2double(get(handles.v2,'string'));
iz=str2double(get(handles.iz,'string'));
angulo=str2double(get(handles.angulo,'string'));

caso_alimentacion=get(handles.alimentacion,'Value');
caso_primario=get(handles.primario,'Value');
caso_secundario=get(handles.secundario,'Value');
caso_carga=get(handles.carga,'Value');

if (isnan(v1) || isnan(v2) || isnan(iz))
    msgbox('Digite todos los valores numérico en los campos')
elseif(caso_primario==0 || caso_alimentacion==0 || caso_secundario==0 ||
caso_carga==0)
    errordlg('ERROR: Seleccione el caso completo con el que trabajar.')
elseif(v1<=0 || v2<=0 || iz<=0)
    errordlg('ERROR: Ingrese valores numéricos mayores a cero.')
elseif((caso_secundario==3 || caso_secundario==4) && ( caso_carga==4 ||
caso_carga==5 || caso_carga==6))
    errordlg('ERROR: Este tipo de conexión de la carga al neutro no está
disponible.')

else
format short
set(handles.t1,'string','VL1-VL2 / V11-V12 =');
str2double(set(handles.t2,'string',v1));
set(handles.t3,'string','/');
str2double(set(handles.t4,'string',v2));

set(handles.t5,'string','Iz-v =');
str2double(set(handles.t6,'string',iz));
set(handles.t7,'string','|__');
str2double(set(handles.t8,'string',angulo));
set(handles.t9,'string','°');
set(handles.t10,'string','A');

if(angulo<0)
    axes(handles.fasor)
    imshow('Vind.png')
elseif(angulo==0)
    axes(handles.fasor)
    imshow('Vr.png')
else
    axes(handles.fasor)
    imshow('Vcap.png')
end

pause(1);
close(seleccion);

resultados_tfg;
end

```



### Interfaz III. GUI para la muestra de resultados.

```
function varargout = resultados_tfg(varargin)

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @resultados_tfg_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @resultados_tfg_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [], ...
                  'gui_Callback',    []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargin
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = resultados_tfg_OutputFcn(~, ~, handles)
% varargout  cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

% --- Executes just before resultados_tfg is made visible.
function resultados_tfg_OpeningFcn(hObject, ~, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to resultados_tfg (see VARARGIN)

handles.output = hObject;
guidata(hObject, handles);
format bank
movegui('center');

axes(handles.barra)
imshow('barra.PNG')

axes(handles.uva)
imshow('uva.jpg')

axes(handles.eii)
imshow('eii.jpg')

v1=getappdata(0,'v1');
v2=getappdata(0,'v2');
imod=getappdata(0,'iz');
angulo_gv=getappdata(0,'angulo');

caso_alimentacion=getappdata(0,'caso_alimentacion');
caso_primario=getappdata(0,'caso_primario');
caso_secundario=getappdata(0,'caso_secundario');
caso_carga=getappdata(0,'caso_carga');
```

```

relacionV=v1/v2;
f=50;
w=2*pi*f;
str2double(set(handles.v1,'string',v1));
str2double(set(handles.v2,'string',v2));

switch caso_primario
    case 1
        switch caso_secundario
            case 1
                switch caso_carga
                    case 1 %111
                        switch caso_alimentacion
                            case 1
                                angulo_ga=300+angulo_gv;
                            case 2
                                angulo_ga=60+angulo_gv;
                            case 3
                                angulo_ga=180+angulo_gv;
                            case 4
                                angulo_ga=300+angulo_gv;
                            case 5
                                angulo_ga=180+angulo_gv;
                            case 6
                                angulo_ga=60+angulo_gv;
                        end

                        angulo_r=deg2rad(angulo_ga);
                        iz=imod*(cos(angulo_r)+sin(angulo_r)*j);
                        relacionN=relacionV;
                        ii=(-1/relacionN)*iz;
                        im=(1/relacionN)*iz;
                        id=0;
                        axes(handles.trafo);
                        imshow('111.PNG')

                        set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
                        Yy con carga monofásica entre la línea 1 y 2');

                    case 2 %112
                        switch caso_alimentacion
                            case 1
                                angulo_ga=60+angulo_gv;
                            case 2
                                angulo_ga=180+angulo_gv;
                            case 3
                                angulo_ga=300+angulo_gv;
                            case 4
                                angulo_ga=60+angulo_gv;
                            case 5
                                angulo_ga=300+angulo_gv;
                            case 6
                                angulo_ga=180+angulo_gv;
                        end

                        angulo_r=deg2rad(angulo_ga);
                        iz=imod*(cos(angulo_r)+sin(angulo_r)*j);
                        relacionN=relacionV;
                        ii=(1/relacionN)*iz;
                        im=0;
                        id=(-1/relacionN)*iz;

                        axes(handles.trafo);
                        imshow('112.PNG')

                        set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
                        Yy con carga monofásica entre la línea 3 y 1');
                end
            end
        end
    end

```

```

case 3 %113
switch caso_alimentacion
case 1
    angulo_ga=180+angulo_gv;
case 2
    angulo_ga=300+angulo_gv;
case 3
    angulo_ga=60+angulo_gv;
case 4
    angulo_ga=180+angulo_gv;
case 5
    angulo_ga=60+angulo_gv;
case 6
    angulo_ga=300+angulo_gv;
end
angulo_r=deg2rad(angulo_ga);
iz=imod*(cos(angulo_r)+sin(angulo_r)*j);
relacionN=relacionV;
ii=0;
im=(-1/relacionN)*iz;
id=(1/relacionN)*iz;

axes(handles.trafo);
imshow('113.PNG')

set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
    Yy con carga monofásica entre la línea 2 y 3');

```

```

case 4 %114
switch caso_alimentacion
case 1
    angulo_ga=270+angulo_gv;
case 2
    angulo_ga=30+angulo_gv;
case 3
    angulo_ga=150+angulo_gv;
case 4
    angulo_ga=270+angulo_gv;
case 5
    angulo_ga=150+angulo_gv;
case 6
    angulo_ga=30+angulo_gv;
end

angulo_r=deg2rad(angulo_ga);
iz=imod*(cos(angulo_r)+sin(angulo_r)*j);
relacionN=relacionV;
ii=(-2/3)*(1/relacionN)*iz;
im=(1/3)*(1/relacionN)*iz;
id=(1/3)*(1/relacionN)*iz;

axes(handles.trafo);
imshow('114.PNG')

set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
    Yy con carga monofásica entre la línea 1 y N');

```

```

case 5 %115
switch caso_alimentacion
case 1
    angulo_ga=150+angulo_gv;
case 2
    angulo_ga=270+angulo_gv;

```

```

        case 3
            angulo_ga=30+angulo_gv;
        case 4
            angulo_ga=150+angulo_gv;
        case 5
            angulo_ga=30+angulo_gv;
        case 6
            angulo_ga=270+angulo_gv;
    end
    angulo_r=deg2rad(angulo_ga);
    iz=imod*(cos(angulo_r)+sin(angulo_r)*j);
    relacionN=relacionV;
    ii=(1/3)*(1/relacionN)*iz;
    im=(-2/3)*(1/relacionN)*iz;
    id=(1/3)*(1/relacionN)*iz;

    axes(handles.trafo);
    imshow('115.PNG')

    set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
    Yy con carga monofásica entre la línea 2 y N');

```

```

case 6 %116
    switch caso_alimentacion
        case 1
            angulo_ga=30+angulo_gv;
        case 2
            angulo_ga=150+angulo_gv;
        case 3
            angulo_ga=270+angulo_gv;
        case 4
            angulo_ga=30+angulo_gv;
        case 5
            angulo_ga=270+angulo_gv;
        case 6
            angulo_ga=150+angulo_gv;
    end
    angulo_r=deg2rad(angulo_ga);
    iz=imod*(cos(angulo_r)+sin(angulo_r)*j);
    relacionN=relacionV;
    ii=(1/3)*(1/relacionN)*iz;
    im=(1/3)*(1/relacionN)*iz;
    id=(-2/3)*(1/relacionN)*iz;

    axes(handles.trafo);
    imshow('116.PNG')

    set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
    Yy con carga monofásica entre la línea 3 y N');

```

```

end
case 2
    switch caso_carga
        case 1 %121
            switch caso_alimentacion
                case 1
                    angulo_ga=120+angulo_gv;
                case 2
                    angulo_ga=240+angulo_gv;
                case 3
                    angulo_ga=0+angulo_gv;
                case 4
                    angulo_ga=120+angulo_gv;
                case 5
                    angulo_ga=0+angulo_gv;
                case 6
                    angulo_ga=240+angulo_gv;
            end
        end
    end

```

```

end
angulo_r=deg2rad(angulo_ga);
iz=imod*(cos(angulo_r)+sin(angulo_r)*j);
relacionN=relacionV;
ii=(1/relacionN)*iz;
im=(-1/relacionN)*iz;
id=0;
axes(handles.trafo);
imshow('121.PNG')

set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación

```

Yy con carga monofásica entre la linea 1 y 2');

```

case 2 %122
switch caso_alimentacion
case 1
angulo_ga=240+angulo_gv;
case 2
angulo_ga=0+angulo_gv;
case 3
angulo_ga=120+angulo_gv;
case 4
angulo_ga=240+angulo_gv;
case 5
angulo_ga=120+angulo_gv;
case 6
angulo_ga=0+angulo_gv;
end
angulo_r=deg2rad(angulo_ga);
iz=imod*(cos(angulo_r)+sin(angulo_r)*j);
relacionN=relacionV;
ii=(-1/relacionN)*iz;
im=0;
id=(1/relacionN)*iz;

axes(handles.trafo);
imshow('122.PNG')

set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación

```

Yy con carga monofásica entre la linea 3 y 1');

```

case 3 %123
switch caso_alimentacion
case 1
angulo_ga=0+angulo_gv;
case 2
angulo_ga=120+angulo_gv;
case 3
angulo_ga=240+angulo_gv;
case 4
angulo_ga=0+angulo_gv;
case 5
angulo_ga=240+angulo_gv;
case 6
angulo_ga=120+angulo_gv;
end
angulo_r=deg2rad(angulo_ga);
iz=imod*(cos(angulo_r)+sin(angulo_r)*j);
relacionN=relacionV;
ii=0;
im=(1/relacionN)*iz;
id=(-1/relacionN)*iz;

axes(handles.trafo);
imshow('123.PNG')

set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación

```

Yy con carga monofásica entre la linea 2 y 3');

```

case 4 %124
switch caso_alimentacion
case 1
    angulo_ga=90+angulo_gv;
case 2
    angulo_ga=210+angulo_gv;
case 3
    angulo_ga=330+angulo_gv;
case 4
    angulo_ga=90+angulo_gv;
case 5
    angulo_ga=330+angulo_gv;
case 6
    angulo_ga=210+angulo_gv;
end
angulo_r=deg2rad(angulo_ga);
iz=imod*(cos(angulo_r)+sin(angulo_r)*j);
relacionN=relacionV;
ii=(2/3)*(1/relacionN)*iz;
im=(-1/3)*(1/relacionN)*iz;
id=(-1/3)*(1/relacionN)*iz;

axes(handles.trafo);
imshow('124.PNG')

set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación

```

Yy con carga monofásica entre la línea 1 y N');

```

case 5 %125
switch caso_alimentacion
case 1
    angulo_ga=330+angulo_gv;
case 2
    angulo_ga=90+angulo_gv;
case 3
    angulo_ga=210+angulo_gv;
case 4
    angulo_ga=330+angulo_gv;
case 5
    angulo_ga=210+angulo_gv;
case 6
    angulo_ga=90+angulo_gv;
end
angulo_r=deg2rad(angulo_ga);
iz=imod*(cos(angulo_r)+sin(angulo_r)*j);
relacionN=relacionV;
ii=(-1/3)*(1/relacionN)*iz;
im=(2/3)*(1/relacionN)*iz;
id=(-1/3)*(1/relacionN)*iz;

axes(handles.trafo);
imshow('125.PNG')

set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación

```

Yy con carga monofásica entre la línea 2 y N');

```

case 6 %126
switch caso_alimentacion
case 1
    angulo_ga=210+angulo_gv;
case 2
    angulo_ga=330+angulo_gv;
case 3
    angulo_ga=90+angulo_gv;
case 4

```

```

        angulo_ga=210+angulo_gv;
    case 5
        angulo_ga=90+angulo_gv;
    case 6
        angulo_ga=330+angulo_gv;
end
angulo_r=deg2rad(angulo_ga);
iz=imod*(cos(angulo_r)+sin(angulo_r)*j);
relacionN=relacionV;
ii=(-1/3)*(1/relacionN)*iz;
im=(-1/3)*(1/relacionN)*iz;
id=(2/3)*(1/relacionN)*iz;

axes(handles.trafo);
imshow('126.PNG')

set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yy con carga monofásica entre la línea 3 y N');

end

case 3
    switch caso_carga
        case 1 %131
            switch caso_alimentacion
                case 1
                    angulo_ga=330+angulo_gv;
                case 2
                    angulo_ga=90+angulo_gv;
                case 3
                    angulo_ga=210+angulo_gv;
                case 4
                    angulo_ga=270+angulo_gv;
                case 5
                    angulo_ga=150+angulo_gv;
                case 6
                    angulo_ga=30+angulo_gv;
            end
            angulo_r=deg2rad(angulo_ga);
            iz=imod*(cos(angulo_r)+sin(angulo_r)*j);
            relacionN=(1/sqrt(3))*relacionV;
            ii=(-1/3)*(1/relacionN)*iz;
            im=(2/3)*(1/relacionN)*iz;
            id=(-1/3)*(1/relacionN)*iz;
            axes(handles.trafo);
            imshow('131.PNG')

            set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yd con carga monofásica entre la línea 1 y 2');

        case 2 %132
            switch caso_alimentacion
                case 1
                    angulo_ga=90+angulo_gv;
                case 2
                    angulo_ga=210+angulo_gv;
                case 3
                    angulo_ga=330+angulo_gv;
                case 4
                    angulo_ga=30+angulo_gv;
                case 5
                    angulo_ga=270+angulo_gv;
                case 6
                    angulo_ga=150+angulo_gv;
            end
            angulo_r=deg2rad(angulo_ga);
            iz=imod*(cos(angulo_r)+sin(angulo_r)*j);
            relacionN=(1/sqrt(3))*relacionV;
            ii=(2/3)*(1/relacionN)*iz;
            im=(-1/3)*(1/relacionN)*iz;
            id=(-1/3)*(1/relacionN)*iz;

```

```

axes(handles.trafo);
imshow('132.PNG')

set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yd con carga monofásica entre la línea 3 y 1');

case 3 %133
switch caso_alimentacion
case 1
    angulo_ga=210+angulo_gv;
case 2
    angulo_ga=330+angulo_gv;
case 3
    angulo_ga=90+angulo_gv;
case 4
    angulo_ga=150+angulo_gv;
case 5
    angulo_ga=30+angulo_gv;
case 6
    angulo_ga=270+angulo_gv;
end
angulo_r=deg2rad(angulo_ga);
iz=imod*(cos(angulo_r)+sin(angulo_r)*j);
relacionN=(1/sqrt(3))*relacionV;
ii=-(1/3)*(1/relacionN)*iz;
im=-(1/3)*(1/relacionN)*iz;
id=(2/3)*(1/relacionN)*iz;

axes(handles.trafo);
imshow('133.PNG')

set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yd con carga monofásica entre la línea 2 y 3');

end

case 4
switch caso_carga
case 1 %141
switch caso_alimentacion
case 1
    angulo_ga=270+angulo_gv;
case 2
    angulo_ga=30+angulo_gv;
case 3
    angulo_ga=150+angulo_gv;
case 4
    angulo_ga=330+angulo_gv;
case 5
    angulo_ga=210+angulo_gv;
case 6
    angulo_ga=90+angulo_gv;
end
angulo_r=deg2rad(angulo_ga);
iz=imod*(cos(angulo_r)+sin(angulo_r)*j);
relacionN=(1/sqrt(3))*relacionV;
ii=(2/3)*(1/relacionN)*iz;
im=(1/3)*(1/relacionN)*iz;
id=(1/3)*(1/relacionN)*iz;
axes(handles.trafo);
imshow('141.PNG')

set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yd con carga monofásica entre la línea 1 y 2');

case 2 %142
switch caso_alimentacion
case 1

```



```

        angulo_ga=30+angulo_gv;
    case 2
        angulo_ga=150+angulo_gv;
    case 3
        angulo_ga=270+angulo_gv;
    case 4
        angulo_ga=90+angulo_gv;
    case 5
        angulo_ga=330+angulo_gv;
    case 6
        angulo_ga=210+angulo_gv;
end
angulo_r=deg2rad(angulo_ga);
iz=imod*(cos(angulo_r)+sin(angulo_r)*j);
relacionN=(1/sqrt(3))*relacionV;
ii=(1/3)*(1/relacionN)*iz;
im=(1/3)*(1/relacionN)*iz;
id=(-2/3)*(1/relacionN)*iz;

axes(handles.trafo);
imshow('142.PNG')

set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yd con carga monofásica entre la línea 3 y 1');

```

```

case 3 %143
    switch caso_alimentacion
        case 1
            angulo_ga=150+angulo_gv;
        case 2
            angulo_ga=270+angulo_gv;
        case 3
            angulo_ga=30+angulo_gv;
        case 4
            angulo_ga=210+angulo_gv;
        case 5
            angulo_ga=90+angulo_gv;
        case 6
            angulo_ga=330+angulo_gv;
    end
    angulo_r=deg2rad(angulo_ga);
    iz=imod*(cos(angulo_r)+sin(angulo_r)*j);
    relacionN=(1/sqrt(3))*relacionV;
    ii=(1/3)*(1/relacionN)*iz;
    im=-(2/3)*(1/relacionN)*iz;
    id=(1/3)*(1/relacionN)*iz;

    axes(handles.trafo);
    imshow('143.PNG')

    set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yd con carga monofásica entre la línea 2 y 3');

```

```

end
case 5
    switch caso_carga
        case 1 %151
            switch caso_alimentacion
                case 1
                    angulo_ga=330+angulo_gv;
                case 2
                    angulo_ga=90+angulo_gv;
                case 3
                    angulo_ga=210+angulo_gv;
                case 4
                    angulo_ga=270+angulo_gv;
                case 5
                    angulo_ga=150+angulo_gv;
                case 6
                    angulo_ga=30+angulo_gv;
            end
        end
    end

```

```

end
angulo_r=deg2rad(angulo_ga);
iz=imod*(cos(angulo_r)+sin(angulo_r)*j);
relacionN=(sqrt(3)/2)*relacionV;
ii=(-1/2)*(1/relacionN)*iz;
im=(1/relacionN)*iz;
id=(-1/2)*(1/relacionN)*iz;
axes(handles.trafo);
imshow('151.PNG')

set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yz con carga monofásica entre la línea 1 y 2');

case 2 %152
switch caso_alimentacion
case 1
angulo_ga=90+angulo_gv;
case 2
angulo_ga=210+angulo_gv;
case 3
angulo_ga=330+angulo_gv;
case 4
angulo_ga=30+angulo_gv;
case 5
angulo_ga=270+angulo_gv;
case 6
angulo_ga=150+angulo_gv;
end
angulo_r=deg2rad(angulo_ga);
iz=imod*(cos(angulo_r)+sin(angulo_r)*j);
relacionN=(sqrt(3)/2)*relacionV;
ii=(1/relacionN)*iz;
im=(-1/2)*(1/relacionN)*iz;
id=(-1/2)*(1/relacionN)*iz;

axes(handles.trafo);
imshow('152.PNG')

set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yz con carga monofásica entre la línea 3 y 1');

case 3 %153
switch caso_alimentacion
case 1
angulo_ga=210+angulo_gv;
case 2
angulo_ga=330+angulo_gv;
case 3
angulo_ga=90+angulo_gv;
case 4
angulo_ga=150+angulo_gv;
case 5
angulo_ga=30+angulo_gv;
case 6
angulo_ga=270+angulo_gv;
end
angulo_r=deg2rad(angulo_ga);
iz=imod*(cos(angulo_r)+sin(angulo_r)*j);
relacionN=(sqrt(3)/2)*relacionV;
ii=(-1/2)*(1/relacionN)*iz;
im=(-1/2)*(1/relacionN)*iz;
id=(1/relacionN)*iz;

axes(handles.trafo);
imshow('153.PNG')

set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yz con carga monofásica entre la línea 2 y 3');

```

```

case 4 %154
    switch caso_alimentacion
        case 1
            angulo_ga=300+angulo_gv;
        case 2
            angulo_ga=60+angulo_gv;
        case 3
            angulo_ga=180+angulo_gv;
        case 4
            angulo_ga=240+angulo_gv;
        case 5
            angulo_ga=120+angulo_gv;
        case 6
            angulo_ga=00+angulo_gv;
    end
    angulo_r=deg2rad(angulo_ga);
    iz=imod*(cos(angulo_r)+sin(angulo_r)*j);
    relacionN=(sqrt(3)/2)*relacionV;
    ii=(-1/2)*(1/relacionN)*iz;
    im=(1/2)*(1/relacionN)*iz;
    id=0;

    axes(handles.trafo);
    imshow('154.PNG')

    set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yz con carga monofásica entre la línea 1 y N');

```

```

case 5 %155
    switch caso_alimentacion
        case 1
            angulo_ga=180+angulo_gv;
        case 2
            angulo_ga=300+angulo_gv;
        case 3
            angulo_ga=60+angulo_gv;
        case 4
            angulo_ga=120+angulo_gv;
        case 5
            angulo_ga=0+angulo_gv;
        case 6
            angulo_ga=240+angulo_gv;
    end
    angulo_r=deg2rad(angulo_ga);
    iz=imod*(cos(angulo_r)+sin(angulo_r)*j);
    relacionN=(sqrt(3)/2)*relacionV;
    ii=0;
    im=(-1/2)*(1/relacionN)*iz;
    id=(1/2)*(1/relacionN)*iz;

    axes(handles.trafo);
    imshow('155.PNG')

    set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yz con carga monofásica entre la línea 2 y N');

```

```

case 6 %156
    switch caso_alimentacion
        case 1
            angulo_ga=60+angulo_gv;
        case 2
            angulo_ga=180+angulo_gv;
        case 3
            angulo_ga=300+angulo_gv;
        case 4
            angulo_ga=00+angulo_gv;
        case 5
            angulo_ga=240+angulo_gv;

```

```

        case 6
            angulo_ga=120+angulo_gv;
        end
        angulo_r=deg2rad(angulo_ga);
        iz=imod*(cos(angulo_r)+sin(angulo_r)*j);
        relacionN=(sqrt(3)/2)*relacionV;
        ii=(1/2)*(1/relacionN)*iz;
        im=0;
        id=(-1/2)*(1/relacionN)*iz;

        axes(handles.trafo);
        imshow('156.PNG')

        set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yz con carga monofásica entre la línea 3 y N');

    end

    case 6
        switch caso_carga
            case 1 %161
                switch caso_alimentacion
                    case 1
                        angulo_ga=270+angulo_gv;
                    case 2
                        angulo_ga=30+angulo_gv;
                    case 3
                        angulo_ga=150+angulo_gv;
                    case 4
                        angulo_ga=330+angulo_gv;
                    case 5
                        angulo_ga=210+angulo_gv;
                    case 6
                        angulo_ga=90+angulo_gv;
                end
                angulo_r=deg2rad(angulo_ga);
                iz=imod*(cos(angulo_r)+sin(angulo_r)*j);
                relacionN=(sqrt(3)/2)*relacionV;
                ii=(-1/relacionN)*iz;
                im=(1/2)*(1/relacionN)*iz;
                id=(1/2)*(1/relacionN)*iz;

                axes(handles.trafo);
                imshow('161.PNG')

                set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yz con carga monofásica entre la línea 1 y 2');

            case 2 %162
                switch caso_alimentacion
                    case 1
                        angulo_ga=30+angulo_gv;
                    case 2
                        angulo_ga=150+angulo_gv;
                    case 3
                        angulo_ga=270+angulo_gv;
                    case 4
                        angulo_ga=90+angulo_gv;
                    case 5
                        angulo_ga=330+angulo_gv;
                    case 6
                        angulo_ga=210+angulo_gv;
                end
                angulo_r=deg2rad(angulo_ga);
                iz=imod*(cos(angulo_r)+sin(angulo_r)*j);
                relacionN=(sqrt(3)/2)*relacionV;
                ii=(1/2)*(1/relacionN)*iz;
                im=(1/2)*(1/relacionN)*iz;
                id=(-1/relacionN)*iz;

                axes(handles.trafo);

```

```

imshow('162.PNG')

set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yz con carga monofásica entre la línea 3 y 1');

case 3 %163
switch caso_alimentacion
case 1
    angulo_ga=150+angulo_gv;
case 2
    angulo_ga=270+angulo_gv;
case 3
    angulo_ga=30+angulo_gv;
case 4
    angulo_ga=210+angulo_gv;
case 5
    angulo_ga=90+angulo_gv;
case 6
    angulo_ga=330+angulo_gv;
end
angulo_r=deg2rad(angulo_ga);
iz=imod*(cos(angulo_r)+sin(angulo_r)*j);
relacionN=(sqrt(3)/2)*relacionV;
ii=(1/2)*(1/relacionN)*iz;
im=(-1/relacionN)*iz;
id=(1/2)*(1/relacionN)*iz;

axes(handles.trafo);
imshow('163.PNG')

set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yz con carga monofásica entre la línea 2 y 3');

case 4 %164
switch caso_alimentacion
case 1
    angulo_ga=240+angulo_gv;
case 2
    angulo_ga=0+angulo_gv;
case 3
    angulo_ga=120+angulo_gv;
case 4
    angulo_ga=300+angulo_gv;
case 5
    angulo_ga=180+angulo_gv;
case 6
    angulo_ga=60+angulo_gv;
end
angulo_r=deg2rad(angulo_ga);
iz=imod*(cos(angulo_r)+sin(angulo_r)*j);
relacionN=(sqrt(3)/2)*relacionV;
ii=(-1/2)*(1/relacionN)*iz;
im=0;
id=(1/2)*(1/relacionN)*iz;

axes(handles.trafo);
imshow('164.PNG')

set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yz con carga monofásica entre la línea 1 y N');

case 5 %165
switch caso_alimentacion
case 1
    angulo_ga=120+angulo_gv;
case 2
    angulo_ga=240+angulo_gv;
case 3

```

```

        angulo_ga=0+angulo_gv;
    case 4
        angulo_ga=180+angulo_gv;
    case 5
        angulo_ga=60+angulo_gv;
    case 6
        angulo_ga=300+angulo_gv;
end
angulo_r=deg2rad(angulo_ga);
iz=imod*(cos(angulo_r)+sin(angulo_r)*j);
relacionN=(sqrt(3)/2)*relacionV;
ii=(1/2)*(1/relacionN)*iz;
im=(-1/2)*(1/relacionN)*iz;
id=0;

axes(handles.trafo);
imshow('165.PNG')

set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yz con carga monofásica entre la línea 2 y N');

case 6 %166
switch caso_alimentacion
    case 1
        angulo_ga=0+angulo_gv;
    case 2
        angulo_ga=120+angulo_gv;
    case 3
        angulo_ga=240+angulo_gv;
    case 4
        angulo_ga=60+angulo_gv;
    case 5
        angulo_ga=300+angulo_gv;
    case 6
        angulo_ga=180+angulo_gv;
end
angulo_r=deg2rad(angulo_ga);
iz=imod*(cos(angulo_r)+sin(angulo_r)*j);
relacionN=(sqrt(3)/2)*relacionV;
ii=0;
im=(1/2)*(1/relacionN)*iz;
id=(-1/2)*(1/relacionN)*iz;

axes(handles.trafo);
imshow('166.PNG')

set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yz con carga monofásica entre la línea 3 y N');

end

case 7
switch caso_carga
    case 1 %171
        switch caso_alimentacion
            case 1
                angulo_ga=150+angulo_gv;
            case 2
                angulo_ga=270+angulo_gv;
            case 3
                angulo_ga=30+angulo_gv;
            case 4
                angulo_ga=90+angulo_gv;
            case 5
                angulo_ga=330+angulo_gv;
            case 6
                angulo_ga=210+angulo_gv;
        end
        angulo_r=deg2rad(angulo_ga);
        iz=imod*(cos(angulo_r)+sin(angulo_r)*j);
        relacionN=(sqrt(3)/2)*relacionV;

```

```

ii=(1/2)*(1/relacionN)*iz;
im=(-1/relacionN)*iz;
id=(1/2)*(1/relacionN)*iz;

axes(handles.trafo);
imshow('171.PNG')

set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yz con carga monofásica entre la línea 1 y 2');

case 2 %172
switch caso_alimentacion
case 1
angulo_ga=270+angulo_gv;
case 2
angulo_ga=30+angulo_gv;
case 3
angulo_ga=150+angulo_gv;
case 4
angulo_ga=210+angulo_gv;
case 5
angulo_ga=90+angulo_gv;
case 6
angulo_ga=330+angulo_gv;
end
angulo_r=deg2rad(angulo_ga);
iz=imod*(cos(angulo_r)+sin(angulo_r)*j);
relacionN=(sqrt(3)/2)*relacionV;
ii=(-1/relacionN)*iz;
im=(1/2)*(1/relacionN)*iz;
id=(1/2)*(1/relacionN)*iz;

axes(handles.trafo);
imshow('172.PNG')

set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yz con carga monofásica entre la línea 3 y 1');

case 3 %173
switch caso_alimentacion
case 1
angulo_ga=30+angulo_gv;
case 2
angulo_ga=150+angulo_gv;
case 3
angulo_ga=270+angulo_gv;
case 4
angulo_ga=330+angulo_gv;
case 5
angulo_ga=210+angulo_gv;
case 6
angulo_ga=90+angulo_gv;
end
angulo_r=deg2rad(angulo_ga);
iz=imod*(cos(angulo_r)+sin(angulo_r)*j);
relacionN=(sqrt(3)/2)*relacionV;
ii=(1/2)*(1/relacionN)*iz;
im=(1/2)*(1/relacionN)*iz;
id=(-1/relacionN)*iz;

axes(handles.trafo);
imshow('173.PNG')

set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yz con carga monofásica entre la línea 2 y 3');

case 4 %174
switch caso_alimentacion

```

```

        case 1
            angulo_ga=120+angulo_gv;
        case 2
            angulo_ga=240+angulo_gv;
        case 3
            angulo_ga=0+angulo_gv;
        case 4
            angulo_ga=60+angulo_gv;
        case 5
            angulo_ga=300+angulo_gv;
        case 6
            angulo_ga=180+angulo_gv;
    end
    angulo_r=deg2rad(angulo_ga);
    iz=imod*(cos(angulo_r)+sin(angulo_r)*j);
    relacionN=(sqrt(3)/2)*relacionV;
    ii=(1/2)*(1/relacionN)*iz;
    im=(-1/2)*(1/relacionN)*iz;
    id=0;

    axes(handles.trafo);
    imshow('174.PNG')

    set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yz con carga monofásica entre la línea 1 y N');

```

```

case 5 %175
    switch caso_alimentacion
        case 1
            angulo_ga=0+angulo_gv;
        case 2
            angulo_ga=120+angulo_gv;
        case 3
            angulo_ga=240+angulo_gv;
        case 4
            angulo_ga=300+angulo_gv;
        case 5
            angulo_ga=180+angulo_gv;
        case 6
            angulo_ga=60+angulo_gv;
    end
    angulo_r=deg2rad(angulo_ga);
    iz=imod*(cos(angulo_r)+sin(angulo_r)*j);
    relacionN=(sqrt(3)/2)*relacionV;
    ii=0;
    im=(1/2)*(1/relacionN)*iz;
    id=(-1/2)*(1/relacionN)*iz;

    axes(handles.trafo);
    imshow('175.PNG')

    set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yz con carga monofásica entre la línea 2 y N');

```

```

case 6 %176
    switch caso_alimentacion
        case 1
            angulo_ga=240+angulo_gv;
        case 2
            angulo_ga=00+angulo_gv;
        case 3
            angulo_ga=120+angulo_gv;
        case 4
            angulo_ga=180+angulo_gv;
        case 5
            angulo_ga=60+angulo_gv;
        case 6
            angulo_ga=300+angulo_gv;
    end
    angulo_r=deg2rad(angulo_ga);

```



```

        iz=imod*(cos(angulo_r)+sin(angulo_r)*j);
        relacionN=(sqrt(3)/2)*relacionV;
        ii=(-1/2)*(1/relacionN)*iz;
        im=0;
        id=(1/2)*(1/relacionN)*iz;

        axes(handles.trafo);
        imshow('176.PNG')

        set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yz con carga monofásica entre la línea 3 y N');

    end

    case 8
        switch caso_carga
            case 1 %181
                switch caso_alimentacion
                    case 1
                        angulo_ga=90+angulo_gv;
                    case 2
                        angulo_ga=210+angulo_gv;
                    case 3
                        angulo_ga=330+angulo_gv;
                    case 4
                        angulo_ga=150+angulo_gv;
                    case 5
                        angulo_ga=30+angulo_gv;
                    case 6
                        angulo_ga=270+angulo_gv;
                end
                angulo_r=deg2rad(angulo_ga);
                iz=imod*(cos(angulo_r)+sin(angulo_r)*j);
                relacionN=(sqrt(3)/2)*relacionV;
                ii=(1/relacionN)*iz;
                im=(-1/2)*(1/relacionN)*iz;
                id=(-1/2)*(1/relacionN)*iz;

                axes(handles.trafo);
                imshow('181.PNG')

                set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yz con carga monofásica entre la línea 1 y 2');

            case 2 %182
                switch caso_alimentacion
                    case 1
                        angulo_ga=210+angulo_gv;
                    case 2
                        angulo_ga=330+angulo_gv;
                    case 3
                        angulo_ga=90+angulo_gv;
                    case 4
                        angulo_ga=270+angulo_gv;
                    case 5
                        angulo_ga=150+angulo_gv;
                    case 6
                        angulo_ga=30+angulo_gv;
                end
                angulo_r=deg2rad(angulo_ga);
                iz=imod*(cos(angulo_r)+sin(angulo_r)*j);
                relacionN=(sqrt(3)/2)*relacionV;
                ii=(-1/2)*(1/relacionN)*iz;
                im=(-1/2)*(1/relacionN)*iz;
                id=(1/relacionN)*iz;

                axes(handles.trafo);
                imshow('182.PNG')

                set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yz con carga monofásica entre la línea 3 y 1');

```

```

case 3 %183
switch caso_alimentacion
case 1
    angulo_ga=330+angulo_gv;
case 2
    angulo_ga=90+angulo_gv;
case 3
    angulo_ga=210+angulo_gv;
case 4
    angulo_ga=30+angulo_gv;
case 5
    angulo_ga=270+angulo_gv;
case 6
    angulo_ga=150+angulo_gv;
end
angulo_r=deg2rad(angulo_ga);
iz=imod*(cos(angulo_r)+sin(angulo_r)*j);
relacionN=(sqrt(3)/2)*relacionV;
ii=(-1/2)*(1/relacionN)*iz;
im=(1)*(1/relacionN)*iz;
id=(-1/2)*(1/relacionN)*iz;

axes(handles.trafo);
imshow('183.PNG')

set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yz con carga monofásica entre la línea 2 y 3');

```

```

case 4 %184
switch caso_alimentacion
case 1
    angulo_ga=60+angulo_gv;
case 2
    angulo_ga=180+angulo_gv;
case 3
    angulo_ga=300+angulo_gv;
case 4
    angulo_ga=120+angulo_gv;
case 5
    angulo_ga=00+angulo_gv;
case 6
    angulo_ga=240+angulo_gv;
end
angulo_r=deg2rad(angulo_ga);
iz=imod*(cos(angulo_r)+sin(angulo_r)*j);
relacionN=(sqrt(3)/2)*relacionV;
ii=(1/2)*(1/relacionN)*iz;
im=0;
id=(-1/2)*(1/relacionN)*iz;

axes(handles.trafo);
imshow('184.PNG')

set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yz con carga monofásica entre la línea 1 y N');

```

```

case 5 %185
switch caso_alimentacion
case 1
    angulo_ga=300+angulo_gv;
case 2
    angulo_ga=60+angulo_gv;
case 3
    angulo_ga=180+angulo_gv;
case 4
    angulo_ga=00+angulo_gv;
case 5

```

```

        angulo_ga=240+angulo_gv;
    case 6
        angulo_ga=120+angulo_gv;
    end
    angulo_r=deg2rad(angulo_ga);
    iz=imod*(cos(angulo_r)+sin(angulo_r)*j);
    relacionN=(sqrt(3)/2)*relacionV;
    ii=(-1/2)*(1/relacionN)*iz;
    im=(1/2)*(1/relacionN)*iz;
    id=0;

    axes(handles.trafo);
    imshow('185.PNG')

    set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yz con carga monofásica entre la línea 2 y N');

case 6 %186
    switch caso_alimentacion
        case 1
            angulo_ga=180+angulo_gv;
        case 2
            angulo_ga=300+angulo_gv;
        case 3
            angulo_ga=60+angulo_gv;
        case 4
            angulo_ga=240+angulo_gv;
        case 5
            angulo_ga=120+angulo_gv;
        case 6
            angulo_ga=0+angulo_gv;
    end
    angulo_r=deg2rad(angulo_ga);
    iz=imod*(cos(angulo_r)+sin(angulo_r)*j);
    relacionN=(sqrt(3)/2)*relacionV;
    ii=0;
    im=(-1/2)*(1/relacionN)*iz;
    id=(1/2)*(1/relacionN)*iz;

    axes(handles.trafo);
    imshow('186.PNG')

    set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yz con carga monofásica entre la línea 3 y N');

    end
end

case 2
    switch caso_secundario
        case 1
            switch caso_carga
                case 1 %211
                    switch caso_alimentacion
                        case 1
                            angulo_ga=120+angulo_gv;
                        case 2
                            angulo_ga=240+angulo_gv;
                        case 3
                            angulo_ga=0+angulo_gv;
                        case 4
                            angulo_ga=120+angulo_gv;
                        case 5
                            angulo_ga=00+angulo_gv;
                        case 6
                            angulo_ga=240+angulo_gv;
                    end
                    angulo_r=deg2rad(angulo_ga);
                    iz=imod*(cos(angulo_r)+sin(angulo_r)*j);
                    relacionN=relacionV;
                    ii=(1/relacionN)*iz;

```

```

im=- (1/relacionN)*iz;
id=0;
axes(handles.trafo);
imshow('211.PNG')

set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yy con carga monofásica entre la línea 1 y 2');

case 2 %212
switch caso_alimentacion
case 1
angulo_ga=240+angulo_gv;
case 2
angulo_ga=0+angulo_gv;
case 3
angulo_ga=120+angulo_gv;
case 4
angulo_ga=240+angulo_gv;
case 5
angulo_ga=120+angulo_gv;
case 6
angulo_ga=0+angulo_gv;
end
angulo_r=deg2rad(angulo_ga);
iz=imod*(cos(angulo_r)+sin(angulo_r)*j);
relacionN=relacionV;
ii=(-1/relacionN)*iz;
im=0;
id=(1/relacionN)*iz;

axes(handles.trafo);
imshow('212.PNG')

set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yy con carga monofásica entre la línea 3 y 1');

case 3 %213
switch caso_alimentacion
case 1
angulo_ga=0+angulo_gv;
case 2
angulo_ga=120+angulo_gv;
case 3
angulo_ga=240+angulo_gv;
case 4
angulo_ga=0+angulo_gv;
case 5
angulo_ga=240+angulo_gv;
case 6
angulo_ga=120+angulo_gv;
end
angulo_r=deg2rad(angulo_ga);
iz=imod*(cos(angulo_r)+sin(angulo_r)*j);
relacionN=relacionV;
ii=0;
im=(1/relacionN)*iz;
id=(-1/relacionN)*iz;

axes(handles.trafo);
imshow('213.PNG')

set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yy con carga monofásica entre la línea 2 y 3');

case 4 %214
switch caso_alimentacion
case 1
angulo_ga=90+angulo_gv;

```

```

        case 2
            angulo_ga=210+angulo_gv;
        case 3
            angulo_ga=330+angulo_gv;
        case 4
            angulo_ga=90+angulo_gv;
        case 5
            angulo_ga=330+angulo_gv;
        case 6
            angulo_ga=210+angulo_gv;
    end
    angulo_r=deg2rad(angulo_ga);
    iz=imod*(cos(angulo_r)+sin(angulo_r)*j);
    relacionN=relacionV;
    ii=(2/3)*(1/relacionN)*iz;
    im=(-1/3)*(1/relacionN)*iz;
    id=(-1/3)*(1/relacionN)*iz;

    axes(handles.trafo);
    imshow('214.PNG')

    set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
    Yy con carga monofásica entre la línea 1 y N');

    imshow('233.PNG')

    set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
    Yd con carga monofásica entre la línea 2 y 3');

    end
    .....

    end
    str2double(set(handles.iz,'string',imod));

    mi=abs(ii);
    a_i=(angle(ii));

    mm=abs(im);
    a_m=(angle(im));

    md=abs(id);
    a_d=(angle(id));

    p=1/f;
    t=linspace(0,2.5*p,10000);

    setappdata(0,'mi',mi);
    setappdata(0,'mm',mm);
    setappdata(0,'md',md);
    setappdata(0,'a_i',a_i);
    setappdata(0,'a_m',a_m);
    setappdata(0,'a_d',a_d);

    str2double(set(handles.ii,'string',mi));
    str2double(set(handles.im,'string',mm));
    str2double(set(handles.id,'string',md));
    str2double(set(handles.a_i,'string',rad2deg(a_i)));
    str2double(set(handles.a_m,'string',rad2deg(a_m)));
    str2double(set(handles.a_d,'string',rad2deg(a_d)));

    switch caso_alimentacion
        case 1

            set(handles.Lizq,'string', 'L1');
            set(handles.Lmed,'string', 'L2');
            set(handles.Lder,'string', 'L3');
            set(handles.Iizq,'string', 'I1=');
            set(handles.Imed,'string', 'I2=');

```

```

set(handles.Ider,'string','I3=');

i1tt=sqrt(2)*mi*sin((w*t+angle(ii)));
i2tt=sqrt(2)*mm*sin((w*t+angle(im)));
i3tt=sqrt(2)*md*sin((w*t+angle(id)));

m1=mi;
m2=mm;
m3=md;
a_1=a_i;
a_2=a_m;
a_3=a_d;

case 2
set(handles.Lizq,'string','L3');
set(handles.Lmed,'string','L1');
set(handles.Lder,'string','L2');
set(handles.Iizq,'string','I3=');
set(handles.Imed,'string','I1=');
set(handles.Ider,'string','I2=');

i1tt=sqrt(2)*mm*sin(w*t+angle(im));
i2tt=sqrt(2)*md*sin(w*t+angle(id));
i3tt=sqrt(2)*mi*sin(w*t+angle(ii));

m1=mm;
m2=md;
m3=mi;
a_1=a_m;
a_2=a_d;
a_3=a_i;

case 3
set(handles.Lizq,'string','L2');
set(handles.Lmed,'string','L3');
set(handles.Lder,'string','L1');
set(handles.Iizq,'string','I2=');
set(handles.Imed,'string','I3=');
set(handles.Ider,'string','I1=');

i1tt=sqrt(2)*md*sin(w*t+angle(id));
i2tt=sqrt(2)*mi*sin(w*t+angle(ii));
i3tt=sqrt(2)*mm*sin(w*t+angle(im));

m1=md;
m2=mi;
m3=mm;
a_1=a_d;
a_2=a_i;
a_3=a_m;

case 4
set(handles.Lizq,'string','L1');
set(handles.Lmed,'string','L3');
set(handles.Lder,'string','L2');
set(handles.Iizq,'string','I1=');
set(handles.Imed,'string','I3=');
set(handles.Ider,'string','I2=');

i1tt=sqrt(2)*mi*sin(w*t+angle(ii));
i2tt=sqrt(2)*md*sin(w*t+angle(id));
i3tt=sqrt(2)*mm*sin(w*t+angle(im));

m1=mi;
m2=md;
m3=mm;
a_1=a_i;
a_2=a_d;
a_3=a_m;

case 5

```

```

set(handles.Lizq,'string','L2');
set(handles.Lmed,'string','L1');
set(handles.Lder,'string','L3');
set(handles.Iizq,'string','I2=');
set(handles.Imed,'string','I1=');
set(handles.Ider,'string','I3=');

i1tt=sqrt(2)*mm*sin(w*t+angle(im));
i2tt=sqrt(2)*mi*sin(w*t+angle(ii));
i3tt=sqrt(2)*md*sin(w*t+angle(id));

m1=mm;
m2=mi;
m3=md;
a_1=a_m;
a_2=a_i;
a_3=a_d;

case 6

set(handles.Lizq,'string','L3');
set(handles.Lmed,'string','L2');
set(handles.Lder,'string','L1');
set(handles.Iizq,'string','I3=');
set(handles.Imed,'string','I2=');
set(handles.Ider,'string','I1=');

i1tt=sqrt(2)*md*sin(w*t+angle(id));
i2tt=sqrt(2)*mm*sin(w*t+angle(im));
i3tt=sqrt(2)*mi*sin(w*t+angle(ii));

m1=md;
m2=mm;
m3=mi;
a_1=a_d;
a_2=a_m;
a_3=a_i;
end

if angulo_ga>=360
    angulo_ga=angulo_ga-360;
end
set(handles.a_z,'string',angulo_ga);

v1t=sqrt(2)*v1*sin((w*t+deg2rad(300)));
v2t=sqrt(2)*v1*sin((w*t+deg2rad(180)));
v3t=sqrt(2)*v1*sin((w*t+deg2rad(60)));

iztt=sqrt(2)*imod*sin((w*t+deg2rad(angulo_ga)));
izt=iztt*max(v2)*0.85/max(iztt);
vst=sqrt(2)*v2*sin((w*t+deg2rad(angulo_ga-angulo_gv)));

axes(handles.grafica_s);
plot(t,vst); hold on;
plot(t,izt);
switch caso_carga
case 1
    legend('v11-12(t)','iz'(t),'Location','southeast');
    title('iz - V1112');
case 2
    legend('v13-11(t)','iz'(t),'Location','southeast');
    title('iz - V1311');
case 3
    legend('v12-13(t)','iz'(t),'Location','southeast');
    title('iz - V1213');
case 4
    legend('v11-N(t)','iz'(t),'Location','southeast');
    title('iz - V11N');
case 5
    legend('v12-N(t)','iz'(t),'Location','southeast');
    title('iz - V12N');

```

```

        case 6
            legend('v13-N(t)', 'iz'(t)', 'Location', 'southeast');
            title('iz - VL3N');
        end
        grid on

        if ((i1tt(3)==0) & (i1tt(4)==0))
            i1t=zeros(1,length(i1tt));
        else
            i1t=i1tt*max(v1)*0.85/max(i1tt);
        end

        if ((i2tt(3)==0) & (i2tt(4)==0))
            i2t=zeros(1,length(i2tt));
        else
            i2t=i2tt*max(v1)*0.85/max(i2tt);
        end

        if ((i3tt(3)==0) & (i3tt(4)==0))
            i3t=zeros(1,length(i3tt));
        else
            i3t=i3tt*max(v1)*0.85/max(i3tt);
        end

        axes(handles.g1);
        plot(t,v1t); hold on;
        plot(t,i1t);
        legend('VL1-L2(t)', 'i1'(t)', 'Location', 'southeast');
        title('i1 - VL1L2');
        grid on

        axes(handles.g2);
        plot(t,v2t); hold on;
        plot(t,i2t);
        legend('VL2-L3(t)', 'i2'(t)', 'Location', 'southeast');
        title('i2 - VL2L3');
        grid on

        axes(handles.g3);
        plot(t,v3t); hold on;
        plot(t,i3t);
        legend('VL3-L1(t)', 'i3'(t)', 'Location', 'southeast');
        title('i3 - VL3L1');
        grid on

        setappdata(0,'i1t1',i1tt);
        setappdata(0,'i2t1',i2tt);
        setappdata(0,'i3t1',i3tt);

        setappdata(0,'m11',m1);
        setappdata(0,'m21',m2);
        setappdata(0,'m31',m3);
        setappdata(0,'a_11',a_1);
        setappdata(0,'a_21',a_2);
        setappdata(0,'a_31',a_3);

        % --- Executes on button press in recalcular.
        function recalcular_Callback(~, ~, ~)
            clear all
            close(resultados_tfg);
            seleccion;

            clc;

```



```

% hObject    handle to recalcular (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% --- Executes on button press in Finalizar.
function Finalizar_Callback(~, ~, ~)
clear all;
close all;
clc;

% hObject    handle to Finalizar (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% --- Executes on button press in help.
function help_Callback(hObject, eventdata, handles)
help_tfg;
% hObject    handle to help (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% --- Executes on button press in mas.
function mas_Callback(hObject, eventdata, handles)
clear all
close(resultados_tfg);
seleccion_2;

clc;
% hObject    handle to mas (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

## Interfaz VIII. Ayuda.

```

function varargout = help_tfg(varargin)

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',   gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @help_tfg_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @help_tfg_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [], ...
                  'gui_Callback',    []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargin
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before help_tfg is made visible.
function help_tfg_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to help_tfg (see VARARGIN)

% Choose default command line output for help_tfg
handles.output = hObject;

axes(handles.barra)

```

```

imshow('barra.PNG')

axes(handles.uva)
imshow('uva.jpg')

axes(handles.eii)
imshow('eii.jpg')

caso_alimentacion=getappdata(0,'caso_alimentacion');
caso_primario=getappdata(0,'caso_primario');
caso_secundario=getappdata(0,'caso_secundario');
caso_carga=getappdata(0,'caso_carga');
mi=getappdata(0,'mi');
mm=getappdata(0,'mm');
md=getappdata(0,'md');
ai=getappdata(0,'a_i');
am=getappdata(0,'a_m');
ad=getappdata(0,'a_d');

str2double(set(handles.tii,'String',mi));
str2double(set(handles.tim,'String',mm));
str2double(set(handles.tid,'String',md));
str2double(set(handles.ai,'String',ai));
str2double(set(handles.am,'String',am));
str2double(set(handles.ad,'String',ad));

switch caso_primario
    case 1
        switch caso_secundario
            case 1
                switch caso_carga
                    case 1 %111

                        axes(handles.trafo);
                        imshow('111+.PNG')

                        set(handles.tipo_transformacion,'string','Transformación
Yy con carga monofásica entre la línea 1 y 2');
                        set(handles.t1,'string','En primer lugar se determina el
camino que va a seguir la corriente que demanda la impedancia en el secundario.
Tomará el camino seguido en la figura, debido a que una de las líneas está abierta.');
```

circuitos eléctricos y magnéticos del transformador: ');

```

                        set(handles.t2,'string','A continuación, se analizarán los
cumple que: ');
                        set(handles.t3,'string',' - Circuito eléctrico ');
                        set(handles.t4,'string','Para una conexión en estrella se
                        ');
                        set(handles.t5,'string','ii+im+id=0 ');
                        set(handles.t6,'string',' - Circuito magnético ');
                        set(handles.t7,'string','Tomamos 2 líneas de flujo
magnético; y aplicando la 2ª Ley de Kirchhoff de los circuitos magnéticos marcados
de azul y rojo Fm=NI=0');
                        set(handles.t8,'string','Np*ii+2*Ns*iz-Np*im=0
Np*ii+Ns*iz-Np*id=0');
                        set(handles.t9,'string','Finalmente, resolviendo el sistema
de ecuaciones; obtenemos las siguientes expresiones:');
                        set(handles.t10,'string','ii=-(Ns/Np)*iz im=(Ns/Np)*iz
Id=0 ');

                    case 2 %112

                        axes(handles.trafo);
                        imshow('112+.PNG')

                        set(handles.tipo_transformacion,'string','Transformación
Yy con carga monofásica entre la línea 1 y 3');

                        set(handles.t1,'string','En primer lugar se determina el
camino que va a seguir la corriente que demanda la impedancia en el secundario.
Tomará el camino seguido en la figura, debido a que una de las líneas está abierta.');
```

circuitos eléctricos y magnéticos del transformador: ');

```

                        set(handles.t2,'string','A continuación, se analizarán los
                        ');
                        set(handles.t3,'string',' - Circuito eléctrico ');

```

```

        set(handles.t4,'string','Para una conexión en estrella se
cumple que: ');
        set(handles.t5,'string','ii+im+id=0 ');
        set(handles.t6,'string',' - Circuito magnético ');
        set(handles.t7,'string','Tomamos 2 líneas de flujo
magnético; y aplicando la 2ª Ley de Kirchhoff de los circuitos magnéticos marcados
de azul y rojo Fm=NI=0');
        set(handles.t8,'string','Np*ii+Ns*iz-Np*im=0
Np*ii+2*Ns*iz-Np*id=0');
        set(handles.t9,'string','Finalmente, resolviendo el sistema
de ecuaciones; obtenemos las siguientes expresiones:');
        set(handles.t10,'string','ii=-(Ns/Np)*iz           im=0
Id=(Ns/Np)*iz ');

    case 3 %113

        axes(handles.trafo);
        imshow('113.PNG')

        set(handles.tipo_transformacion,'string',' Transformación
Yy con carga monofásica entre la línea 2 y 3');

        set(handles.t1,'string','En primer lugar se determina el
camino que va a seguir la corriente que demanda la impedancia en el secundario.
Tomará el camino seguido en la figura, debido a que una de las líneas está abierta.');
```

circuito eléctrico y magnéticos del transformador: ');

```

        set(handles.t2,'string','A continuación, se analizarán los
        set(handles.t3,'string',' - Circuito eléctrico ');
        set(handles.t4,'string','Para una conexión en estrella se
cumple que: ');
        set(handles.t5,'string','ii+im+id=0 ');
        set(handles.t6,'string',' - Circuito magnético ');
        set(handles.t7,'string','Tomamos 2 líneas de flujo
magnético; y aplicando la 2ª Ley de Kirchhoff de los circuitos magnéticos marcados
de azul y rojo Fm=NI=0');
        set(handles.t8,'string','Np*ii+Ns*iz-Np*im=0  Np*ii+Ns*iz-
Np*id=0');
        set(handles.t9,'string','Finalmente, resolviendo el sistema
de ecuaciones; obtenemos las siguientes expresiones:');
        set(handles.t10,'string','ii=0           im=-(Ns/Np)*iz
Id=(Ns/Np)*iz ');

    case 4 %114

        axes(handles.trafo);
        imshow('114.PNG')

        set(handles.tipo_transformacion,'string',' Transformación
Yy con carga monofásica entre la línea 1 y N');

        set(handles.t1,'string','En primer lugar se determina el
camino que va a seguir la corriente que demanda la impedancia en el secundario.
Tomará el camino seguido en la figura, debido a que dos de las líneas están
abiertas.');
```

circuito eléctrico y magnéticos del transformador: ');

```

        set(handles.t2,'string','A continuación, se analizarán los
        set(handles.t3,'string',' - Circuito eléctrico ');
        set(handles.t4,'string','Para una conexión en estrella se
cumple que: ');
        set(handles.t5,'string','ii+im+id=0 ');
        set(handles.t6,'string',' - Circuito magnético ');
        set(handles.t7,'string','Tomamos 2 líneas de flujo
magnético; y aplicando la 2ª Ley de Kirchhoff de los circuitos magnéticos marcados
de azul y rojo Fm=NI=0');
        set(handles.t8,'string','Np*ii+Ns*iz-Np*im=0  Np*ii+Ns*iz-
Np*id=0');
        set(handles.t9,'string','Finalmente, resolviendo el sistema
de ecuaciones; obtenemos las siguientes expresiones:');
        set(handles.t10,'string','ii=(-2/3)(Ns/Np)*iz
im=(1/3)(Ns/Np)*iz  Id=(1/3)(Ns/Np)*iz ');

    case 5 %115

        axes(handles.trafo);
```

```

imshow('115.PNG')

set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yy con carga monofásica entre la línea 2 y N');

set(handles.t1,'string','En primer lugar se determina el
camino que va a seguir la corriente que demanda la impedancia en el secundario.
Tomará el camino seguido en la figura, debido a que dos de las líneas están
abiertas.');
```

cumple que:

```

set(handles.t2,'string','A continuación, se analizarán los
circuitos eléctricos y magnéticos del transformador: ');
set(handles.t3,'string',' - Circuito eléctrico ');
set(handles.t4,'string','Para una conexión en estrella se
');
set(handles.t5,'string','ii+im+id=0 ');
set(handles.t6,'string',' - Circuito magnético ');
set(handles.t7,'string','Tomamos 2 líneas de flujo
magnético; y aplicando la 2ª Ley de Kirchhoff de los circuitos magnéticos marcados
de azul y rojo Fm=NI=0');
set(handles.t8,'string','Np*ii-Ns*iz-Np*im=0 Np*ii-
Np*id=0');
```

de ecuaciones; obtenemos las siguientes expresiones:')

```

set(handles.t10,'string','ii=(1/3)(Ns/Np)*iz im=(-
2/3)(Ns/Np)*iz Id=(1/3)(Ns/Np)*iz ');

case 6 %116

axes(handles.trafo);
imshow('116.PNG')

set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yy con carga monofásica entre la línea 3 y N');

set(handles.t1,'string','En primer lugar se determina el
camino que va a seguir la corriente que demanda la impedancia en el secundario.
Tomará el camino seguido en la figura, debido a que dos de las líneas están
abiertas.');
```

cumple que:

```

set(handles.t2,'string','A continuación, se analizarán los
circuitos eléctricos y magnéticos del transformador: ');
set(handles.t3,'string',' - Circuito eléctrico ');
set(handles.t4,'string','Para una conexión en estrella se
');
set(handles.t5,'string','ii+im+id=0 ');
set(handles.t6,'string',' - Circuito magnético ');
set(handles.t7,'string','Tomamos 2 líneas de flujo
magnético; y aplicando la 2ª Ley de Kirchhoff de los circuitos magnéticos marcados
de azul y rojo Fm=NI=0');
set(handles.t8,'string','Np*ii-Np*im=0 Np*ii-Ns*iz-
Np*id=0');
```

de ecuaciones; obtenemos las siguientes expresiones:')

```

set(handles.t10,'string','ii=(1/3)(Ns/Np)*iz
im=(1/3)(Ns/Np)*iz Id=(-2/3)(Ns/Np)*iz ');

end

case 2
switch caso_carga
case 1 %121

set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yy con carga monofásica entre la línea 1 y 2');

set(handles.t1,'string','En primer lugar se determina el
camino que va a seguir la corriente que demanda la impedancia en el secundario.
Tomará el camino seguido en la figura, debido a que una de las líneas está abierta.');
```

cumple que:

```

set(handles.t2,'string','A continuación, se analizarán los
circuitos eléctricos y magnéticos del transformador: ');
set(handles.t3,'string',' - Circuito eléctrico ');
set(handles.t4,'string','Para una conexión en estrella se
');
set(handles.t5,'string','ii+im+id=0 ');
set(handles.t6,'string',' - Circuito magnético ');
```

```

        set(handles.t7,'string','Tomamos 2 líneas de flujo
magnetico; y aplicando la 2ª Ley de Kirchhoff de los circuitos magneticos marcados
de azul y rojo Fm=NI=0');
        set(handles.t8,'string','Np*ii-2*Ns*iz-Np*im=0      Np*ii-
Ns*iz-Np*id=0');
        set(handles.t9,'string','Finalmente, resolviendo el sistema
de ecuaciones; obtenemos las siguientes expresiones:');
        set(handles.t10,'string','ii=(Ns/Np)*iz      im=(-Ns/Np)*iz
Id=0 ');

    case 2 %122

        axes(handles.trafo);
        imshow('122+.PNG')

        set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yy con carga monofásica entre la línea 1 y 3');

        set(handles.t1,'string','En primer lugar se determina el
camino que va a seguir la corriente que demanda la impedancia en el secundario.
Tomará el camino seguido en la figura, debido a que una de las líneas está abierta. ');
        set(handles.t2,'string','A continuación, se analizarán los
circuitos eléctricos y magnéticos del transformador: ');
        set(handles.t3,'string',' - Circuito eléctrico ');
        set(handles.t4,'string','Para una conexión en estrella se
cumple que: ');
        set(handles.t5,'string','ii+im+id=0 ');
        set(handles.t6,'string',' - Circuito magnético ');
        set(handles.t7,'string','Tomamos 2 líneas de flujo
magnetico; y aplicando la 2ª Ley de Kirchhoff de los circuitos magneticos marcados
de azul y rojo Fm=NI=0');
        set(handles.t8,'string','Np*ii-Ns*iz-Np*im=0      Np*ii-
2*Ns*iz-Np*id=0');
        set(handles.t9,'string','Finalmente, resolviendo el sistema
de ecuaciones; obtenemos las siguientes expresiones:');
        set(handles.t10,'string','ii=(Ns/Np)*iz      im=0      Id=(-
Ns/Np)*iz ');

    case 3 %123

        axes(handles.trafo);
        imshow('123+.PNG')

        set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yy con carga monofásica entre la línea 2 y 3');

        set(handles.t1,'string','En primer lugar se determina el
camino que va a seguir la corriente que demanda la impedancia en el secundario.
Tomará el camino seguido en la figura, debido a que una de las líneas está abierta. ');
        set(handles.t2,'string','A continuación, se analizarán los
circuitos eléctricos y magnéticos del transformador: ');
        set(handles.t3,'string',' - Circuito eléctrico ');
        set(handles.t4,'string','Para una conexión en estrella se
cumple que: ');
        set(handles.t5,'string','ii+im+id=0 ');
        set(handles.t6,'string',' - Circuito magnético ');
        set(handles.t7,'string','Tomamos 2 líneas de flujo
magnetico; y aplicando la 2ª Ley de Kirchhoff de los circuitos magneticos marcados
de azul y rojo Fm=NI=0');
        set(handles.t8,'string','Np*ii+Ns*iz-Np*im=0      Np*ii-Ns*iz-
Np*id=0');
        set(handles.t9,'string','Finalmente, resolviendo el sistema
de ecuaciones; obtenemos las siguientes expresiones:');
        set(handles.t10,'string','ii=0      im=(Ns/Np)*iz      Id=(-
Ns/Np)*iz ');

    case 4 %124

        axes(handles.trafo);
        imshow('124+.PNG')

        set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yy con carga monofásica entre la línea 1 y N');

```

```

        set(handles.t1,'string','En primer lugar se determina el
camino que va a seguir la corriente que demanda la impedancia en el secundario.
Tomará el camino seguido en la figura, debido a que dos de las líneas están
abiertas.');
```

```

        set(handles.t2,'string','A continuación, se analizarán los
circuitos eléctricos y magnéticos del transformador: ');
        set(handles.t3,'string',' - Circuito eléctrico ');
        set(handles.t4,'string','Para una conexión en estrella se
cumple que:');
        set(handles.t5,'string',' $i_i+i_m+i_d=0$  ');
        set(handles.t6,'string',' - Circuito magnético ');
        set(handles.t7,'string','Tomamos 2 líneas de flujo
magnético; y aplicando la 2ª Ley de Kirchhoff de los circuitos magnéticos marcados
de azul y rojo  $F_m=NI=0$ ');
```

```

        set(handles.t8,'string',' $N_p*i_i-N_s*i_z-N_p*i_m=0$   $N_p*i_i-N_s*i_z-
N_p*i_d=0$ ');
```

```

        set(handles.t9,'string','Finalmente, resolviendo el sistema
de ecuaciones; obtenemos las siguientes expresiones:');
        set(handles.t10,'string',' $i_i=(2/3)(N_s/N_p)*i_z$   $i_m=(-
1/3)(N_s/N_p)*i_z$   $i_d=(-1/3)(N_s/N_p)*i_z$  ');
```

```

        case 5 %125

        axes(handles.trafo);
        imshow('125+.PNG')

        set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yy con carga monofásica entre la línea 2 y N');
```

```

        set(handles.t1,'string','En primer lugar se determina el
camino que va a seguir la corriente que demanda la impedancia en el secundario.
Tomará el camino seguido en la figura, debido a que dos de las líneas están
abiertas.');
```

```

        set(handles.t2,'string','A continuación, se analizarán los
circuitos eléctricos y magnéticos del transformador: ');
        set(handles.t3,'string',' - Circuito eléctrico ');
        set(handles.t4,'string','Para una conexión en estrella se
cumple que:');
        set(handles.t5,'string',' $i_i+i_m+i_d=0$  ');
        set(handles.t6,'string',' - Circuito magnético ');
        set(handles.t7,'string','Tomamos 2 líneas de flujo
magnético; y aplicando la 2ª Ley de Kirchhoff de los circuitos magnéticos marcados
de azul y rojo  $F_m=NI=0$ ');
```

```

        set(handles.t8,'string',' $N_p*i_i-N_s*i_z-N_p*i_m=0$   $N_p*i_i-N_s*i_z-
N_p*i_d=0$ ');
```

```

        set(handles.t9,'string','Finalmente, resolviendo el sistema
de ecuaciones; obtenemos las siguientes expresiones:');
        set(handles.t10,'string',' $i_i=(-1/3)(N_s/N_p)*i_z$ 
 $i_m=(2/3)(N_s/N_p)*i_z$   $i_d=(-1/3)(N_s/N_p)*i_z$  ');
```

```

        case 6 %126

        axes(handles.trafo);
        imshow('126+.PNG')

        set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yy con carga monofásica entre la línea 3 y N');
```

```

        set(handles.t1,'string','En primer lugar se determina el
camino que va a seguir la corriente que demanda la impedancia en el secundario.
Tomará el camino seguido en la figura, debido a que dos de las líneas están
abiertas.');
```

```

        set(handles.t2,'string','A continuación, se analizarán los
circuitos eléctricos y magnéticos del transformador: ');
        set(handles.t3,'string',' - Circuito eléctrico ');
        set(handles.t4,'string','Para una conexión en estrella se
cumple que:');
        set(handles.t5,'string',' $i_i+i_m+i_d=0$  ');
        set(handles.t6,'string',' - Circuito magnético ');
        set(handles.t7,'string','Tomamos 2 líneas de flujo
magnético; y aplicando la 2ª Ley de Kirchhoff de los circuitos magnéticos marcados
de azul y rojo  $F_m=NI=0$ ');
```

```

        set(handles.t8,'string','Np*ii-Ns*iz-Np*im=0  Np*ii-Ns*iz-
Np*id=0');
        set(handles.t9,'string','Finalmente, resolviendo el sistema
de ecuaciones; obtenemos las siguientes expresiones:');
        set(handles.t10,'string','ii=(-1/3) (Ns/Np)*iz      im=(-
1/3) (Ns/Np)*iz  Id=(2/3) (Ns/Np)*iz ');
        end

    case 3
        switch caso_carga
            case 1 %131

                axes(handles.trafo);
                imshow('131.PNG')

                set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yd con carga monofásica entre la línea 1 y 2');

                set(handles.t1,'string','En primer lugar se determina el
camino que va a seguir la corriente que demanda la impedancia en el secundario.
Tomará el camino seguido en la figura, debido a que una de las líneas está abierta.
Observamos como la intensidad se divide en (1/3)*iz y (2/3)*iz aplicando rápidamente
el divisor de corriente');
                set(handles.t2,'string','A continuación, se analizarán los
circuitos eléctricos y magnéticos del transformador: ');
                set(handles.t3,'string',' - Circuito eléctrico  ');
                set(handles.t4,'string','Para una conexión en estrella se
cumple que: ');
                set(handles.t5,'string','ii+im+id=0 ');
                set(handles.t6,'string',' - Circuito magnético ');
                set(handles.t7,'string','Tomamos 2 líneas de flujo
magnético; y aplicando la 2ª Ley de Kirchhoff de los circuitos magnéticos marcados
de azul y rojo  Fm=NI=0');
                set(handles.t8,'string','Np*ii+Ns*iz-Np*im=0      Np*ii-
Np*id=0');
                set(handles.t9,'string','Finalmente, resolviendo el sistema
de ecuaciones; obtenemos las siguientes expresiones:');
                set(handles.t10,'string','ii=(-1/3) (Ns/Np)*iz
im=(2/3) (Ns/Np)*iz  Id=(-1/3) (Ns/Np)*iz ');

            case 2 %132

                axes(handles.trafo);
                imshow('132.PNG')

                set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yd con carga monofásica entre la línea 1 y 3');

                set(handles.t1,'string','En primer lugar se determina el
camino que va a seguir la corriente que demanda la impedancia en el secundario.
Tomará el camino seguido en la figura, debido a que una de las líneas está abierta.
Observamos como la intensidad se divide en (1/3)*iz y (2/3)*iz aplicando rápidamente
el divisor de corriente');
                set(handles.t2,'string','A continuación, se analizarán los
circuitos eléctricos y magnéticos del transformador: ');
                set(handles.t3,'string',' - Circuito eléctrico  ');
                set(handles.t4,'string','Para una conexión en estrella se
cumple que: ');
                set(handles.t5,'string','ii+im+id=0 ');
                set(handles.t6,'string',' - Circuito magnético ');
                set(handles.t7,'string','Tomamos 2 líneas de flujo
magnético; y aplicando la 2ª Ley de Kirchhoff de los circuitos magnéticos marcados
de azul y rojo  Fm=NI=0');
                set(handles.t8,'string','Np*ii+Ns*iz-Np*im=0  Np*ii+Ns*iz-
Np*id=0');
                set(handles.t9,'string','Finalmente, resolviendo el sistema
de ecuaciones; obtenemos las siguientes expresiones:');
                set(handles.t10,'string','ii=(-2/3) (Ns/Np)*iz
im=(1/3) (Ns/Np)*iz  Id=(1/3) (Ns/Np)*iz ');

            case 3 %133

                axes(handles.trafo);
                imshow('133.PNG')

```

```

        set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yd con carga monofásica entre la línea 2 y 3');

        set(handles.t1,'string','En primer lugar se determina el
camino que va a seguir la corriente que demanda la impedancia en el secundario.
Tomará el camino seguido en la figura, debido a que una de las líneas está abierta.
Observamos como la intensidad se divide en (1/3)*iz y (2/3)*iz aplicando rápidamente
el divisor de corriente');
        set(handles.t2,'string','A continuación, se analizarán los
circuitos eléctricos y magnéticos del transformador: ');
        set(handles.t3,'string',' - Circuito eléctrico ');
        set(handles.t4,'string','Para una conexión en estrella se
cumple que: ');
        set(handles.t5,'string','ii+im+id=0 ');
        set(handles.t6,'string',' - Circuito magnético ');
        set(handles.t7,'string','Tomamos 2 líneas de flujo
magnético; y aplicando la 2ª Ley de Kirchhoff de los circuitos magnéticos marcados
de azul y rojo Fm=NI=0');
        set(handles.t8,'string','Np*ii-Np*im=0          Np*ii+Ns*iz-
Np*id=0');
        set(handles.t9,'string','Finalmente, resolviendo el sistema
de ecuaciones; obtenemos las siguientes expresiones:');
        set(handles.t10,'string','ii=(-1/3) (Ns/Np)*iz          im=(-
1/3) (Ns/Np)*iz          Id=(2/3) (Ns/Np)*iz ');
        end

    case 4
        switch caso_carga
            case 1 %141

                axes(handles.trafo);
                imshow('141.PNG')

                set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yd con carga monofásica entre la línea 1 y 2');

                set(handles.t1,'string','En primer lugar se determina el
camino que va a seguir la corriente que demanda la impedancia en el secundario.
Tomará el camino seguido en la figura, debido a que una de las líneas está abierta.
Observamos como la intensidad se divide en (1/3)*iz y (2/3)*iz aplicando rápidamente
el divisor de corriente');
                set(handles.t2,'string','A continuación, se analizarán los
circuitos eléctricos y magnéticos del transformador: ');
                set(handles.t3,'string',' - Circuito eléctrico ');
                set(handles.t4,'string','Para una conexión en estrella se
cumple que: ');
                set(handles.t5,'string','ii+im+id=0 ');
                set(handles.t6,'string',' - Circuito magnético ');
                set(handles.t7,'string','Tomamos 2 líneas de flujo
magnético; y aplicando la 2ª Ley de Kirchhoff de los circuitos magnéticos marcados
de azul y rojo Fm=NI=0');
                set(handles.t8,'string','Np*ii+Ns*iz-Np*im=0          Np*ii+Ns*iz-
Np*id=0');
                set(handles.t9,'string','Finalmente, resolviendo el sistema
de ecuaciones; obtenemos las siguientes expresiones:');
                set(handles.t10,'string','ii=(-2/3) (Ns/Np)*iz
im=(1/3) (Ns/Np)*iz          Id=(1/3) (Ns/Np)*iz ');

            case 2 %142

                axes(handles.trafo);
                imshow('142.PNG')

                set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yd con carga monofásica entre la línea 1 y 3');

                set(handles.t1,'string','En primer lugar se determina el
camino que va a seguir la corriente que demanda la impedancia en el secundario.
Tomará el camino seguido en la figura, debido a que una de las líneas está abierta.
Observamos como la intensidad se divide en (1/3)*iz y (2/3)*iz aplicando rápidamente
el divisor de corriente');
                set(handles.t2,'string','A continuación, se analizarán los
circuitos eléctricos y magnéticos del transformador: ');

```



```

        set(handles.t3,'string',' - Circuito eléctrico ');
        set(handles.t4,'string','Para una conexión en estrella se
cumple que: ');
        set(handles.t5,'string','ii+im+id=0 ');
        set(handles.t6,'string',' - Circuito magnético ');
        set(handles.t7,'string','Tomamos 2 líneas de flujo
magnético; y aplicando la 2ª Ley de Kirchhoff de los circuitos magnéticos marcados
de azul y rojo Fm=NI=0');
        set(handles.t8,'string','Np*ii-Np*im=0 Np*ii+Ns*iz-
Np*id=0');
        set(handles.t9,'string','Finalmente, resolviendo el sistema
de ecuaciones; obtenemos las siguientes expresiones:');
        set(handles.t10,'string','ii=(-1/3) (Ns/Np)*iz im=(-
1/3) (Ns/Np)*iz Id=(2/3) (Ns/Np)*iz ');

    case 3 %143

        axes(handles.trafo);
        imshow('143+.PNG')

        set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yd con carga monofásica entre la línea 2 y 3');

        set(handles.t1,'string','En primer lugar se determina el
camino que va a seguir la corriente que demanda la impedancia en el secundario.
Tomará el camino seguido en la figura, debido a que una de las líneas está abierta.
Observamos como la intensidad se divide en (1/3)*iz y (2/3)*iz aplicando rápidamente
el divisor de corriente');
        set(handles.t2,'string','A continuación, se analizarán los
circuitos eléctricos y magnéticos del transformador: ');
        set(handles.t3,'string',' - Circuito eléctrico ');
        set(handles.t4,'string','Para una conexión en estrella se
cumple que: ');
        set(handles.t5,'string','ii+im+id=0 ');
        set(handles.t6,'string',' - Circuito magnético ');
        set(handles.t7,'string','Tomamos 2 líneas de flujo
magnético; y aplicando la 2ª Ley de Kirchhoff de los circuitos magnéticos marcados
de azul y rojo Fm=NI=0');
        set(handles.t8,'string','Np*ii-Ns*iz-Np*im=0 Np*ii-
Np*id=0');
        set(handles.t9,'string','Finalmente, resolviendo el sistema
de ecuaciones; obtenemos las siguientes expresiones:');
        set(handles.t10,'string','ii=(1/3) (Ns/Np)*iz im=(-
2/3) (Ns/Np)*iz Id=(1/3) (Ns/Np)*iz ');

    end

    case 5
        switch caso_carga
            case 1 %151

                axes(handles.trafo);
                imshow('151+.PNG')

                set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yz con carga monofásica entre la línea 1 y 2');

                set(handles.t1,'string','En primer lugar se determina el
camino que va a seguir la corriente que demanda la impedancia en el secundario.
Tomará el camino seguido en la figura, debido a que una de las líneas está abierta.
');
                set(handles.t2,'string','A continuación, se analizarán los
circuitos eléctricos y magnéticos del transformador: ');
                set(handles.t3,'string',' - Circuito eléctrico ');
                set(handles.t4,'string','Para una conexión en estrella se
cumple que: ');
                set(handles.t5,'string','ii+im+id=0 ');
                set(handles.t6,'string',' - Circuito magnético ');
                set(handles.t7,'string','Tomamos 2 líneas de flujo
magnético; y aplicando la 2ª Ley de Kirchhoff de los circuitos magnéticos marcados
de azul y rojo Fm=NI=0');
                set(handles.t8,'string','Np*ii+(3/2)*Ns*iz-Np*im=0 Np*ii-
Np*id=0');

```

```

        set(handles.t9,'string','Finalmente, resolviendo el sistema
de ecuaciones; obtenemos las siguientes expresiones:');
        set(handles.t10,'string',' $i_i=(-1/2)(N_s/N_p)*i_z$ 
 $i_m=(N_s/N_p)*i_z$   $I_d=(-1/2)(N_s/N_p)*i_z$  ');

    case 2 %152

        axes(handles.trafo);
        imshow('152+.PNG')

        set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yz con carga monofásica entre la línea 1 y 3');

        set(handles.t1,'string','En primer lugar se determina el
camino que va a seguir la corriente que demanda la impedancia en el secundario.
Tomará el camino seguido en la figura, debido a que una de las líneas está abierta.');
```

Tomará el camino seguido en la figura, debido a que una de las líneas está abierta.');

```

        set(handles.t2,'string','A continuación, se analizarán los
circuitos eléctricos y magnéticos del transformador: ');
        set(handles.t3,'string',' - Circuito eléctrico ');
        set(handles.t4,'string','Para una conexión en estrella se
cumple que: ');
        set(handles.t5,'string',' $i_i+i_m+i_d=0$  ');
        set(handles.t6,'string',' - Circuito magnético ');
        set(handles.t7,'string','Tomamos 2 líneas de flujo
magnético; y aplicando la 2ª Ley de Kirchhoff de los circuitos magnéticos marcados
de azul y rojo  $F_m=NI=0$ ');
```

Tomamos 2 líneas de flujo magnético; y aplicando la 2ª Ley de Kirchhoff de los circuitos magnéticos marcados de azul y rojo  $F_m=NI=0$ ;

```

        set(handles.t8,'string',' $N_p*i_i+(3/2)*N_s*i_z-N_p*i_m=0$ 
 $N_p*i_i+(3/2)*N_s*i_z-N_p*i_d=0$  ');
        set(handles.t9,'string','Finalmente, resolviendo el sistema
de ecuaciones; obtenemos las siguientes expresiones:');
        set(handles.t10,'string',' $i_i=(-N_s/N_p)*i_z$ 
 $i_m=(1/2)(N_s/N_p)*i_z$   $I_d=(1/2)(N_s/N_p)*i_z$  ');

    case 3 %153

        axes(handles.trafo);
        imshow('153+.PNG')

        set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yz con carga monofásica entre la línea 2 y 3');
```

Tomará el camino seguido en la figura, debido a que una de las líneas está abierta.');

```

        set(handles.t1,'string','En primer lugar se determina el
camino que va a seguir la corriente que demanda la impedancia en el secundario.
Tomará el camino seguido en la figura, debido a que una de las líneas está abierta.');
```

Tomará el camino seguido en la figura, debido a que una de las líneas está abierta.;

```

        set(handles.t2,'string','A continuación, se analizarán los
circuitos eléctricos y magnéticos del transformador: ');
        set(handles.t3,'string',' - Circuito eléctrico ');
        set(handles.t4,'string','Para una conexión en estrella se
cumple que: ');
        set(handles.t5,'string',' $i_i+i_m+i_d=0$  ');
        set(handles.t6,'string',' - Circuito magnético ');
        set(handles.t7,'string','Tomamos 2 líneas de flujo
magnético; y aplicando la 2ª Ley de Kirchhoff de los circuitos magnéticos marcados
de azul y rojo  $F_m=NI=0$ ');
```

Tomamos 2 líneas de flujo magnético; y aplicando la 2ª Ley de Kirchhoff de los circuitos magnéticos marcados de azul y rojo  $F_m=NI=0$ ;

```

        set(handles.t8,'string',' $N_p*i_i-N_p*i_m=0$   $N_p*i_i+(3/2)*N_s*i_z-
N_p*i_d=0$  ');
        set(handles.t9,'string','Finalmente, resolviendo el sistema
de ecuaciones; obtenemos las siguientes expresiones:');
        set(handles.t10,'string',' $i_i=(-1/2)(N_s/N_p)*i_z$   $i_m=(-
1/2)(N_s/N_p)*i_z$   $I_d=(N_s/N_p)*i_z$  ');

    case 4 %154

        axes(handles.trafo);
        imshow('154+.PNG')

        set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yz con carga monofásica entre la línea 1 y N');
```

Tomará el camino seguido en la figura, debido a que dos de las líneas están abiertas.');

```

        set(handles.t1,'string','En primer lugar se determina el
camino que va a seguir la corriente que demanda la impedancia en el secundario.
Tomará el camino seguido en la figura, debido a que dos de las líneas están
abiertas.');
```

```

set(handles.t2,'string','A continuación, se analizarán los
circuitos eléctricos y magnéticos del transformador: ');
set(handles.t3,'string',' - Circuito eléctrico ');
set(handles.t4,'string','Para una conexión en estrella se
cumple que: ');
set(handles.t5,'string',' $i_i+i_m+i_d=0$  ');
set(handles.t6,'string',' - Circuito magnético ');
set(handles.t7,'string','Tomamos 2 líneas de flujo
magnético; y aplicando la 2ª Ley de Kirchhoff de los circuitos magnéticos marcados
de azul y rojo  $F_m=NI=0$ ');
set(handles.t8,'string',' $N_p*i_i+N_s*i_z-N_p*i_m=0$ 
 $N_p*i_i+(1/2)*N_s*i_z-N_p*i_d=0$ ');
set(handles.t9,'string','Finalmente, resolviendo el sistema
de ecuaciones; obtenemos las siguientes expresiones:');
set(handles.t10,'string',' $i_i=(-1/2)(N_s/N_p)*i_z$ 
 $i_m=(1/2)(N_s/N_p)*i_z$   $i_d=0$  ');

```

```
case 5 %155
```

```

axes(handles.trafo);
imshow('155+.PNG')

set(handles.tipo_transformacion,'string',' Transformación
Yz con carga monofásica entre la línea 2 y N');

set(handles.t1,'string','En primer lugar se determina el
camino que va a seguir la corriente que demanda la impedancia en el secundario.
Tomará el camino seguido en la figura, debido a que dos de las líneas están
abiertas.');
```

```

set(handles.t2,'string','A continuación, se analizarán los
circuitos eléctricos y magnéticos del transformador: ');
set(handles.t3,'string',' - Circuito eléctrico ');
set(handles.t4,'string','Para una conexión en estrella se
cumple que: ');
set(handles.t5,'string',' $i_i+i_m+i_d=0$  ');
set(handles.t6,'string',' - Circuito magnético ');
set(handles.t7,'string','Tomamos 2 líneas de flujo
magnético; y aplicando la 2ª Ley de Kirchhoff de los circuitos magnéticos marcados
de azul y rojo  $F_m=NI=0$ ');
set(handles.t8,'string',' $N_p*i_i-(1/2)*N_s*i_z-N_p*i_m=0$ 
 $N_p*i_i+(1/2)*N_s*i_z-N_p*i_d=0$ ');
set(handles.t9,'string','Finalmente, resolviendo el sistema
de ecuaciones; obtenemos las siguientes expresiones:');
set(handles.t10,'string',' $i_i=0$   $i_m=(-1/2)(N_s/N_p)*i_z$ 
 $i_d=(1/2)(N_s/N_p)*i_z$  ');

```

```
case 6 %156
```

```

axes(handles.trafo);
imshow('156+.PNG')

set(handles.tipo_transformacion,'string',' Transformación
Yz con carga monofásica entre la línea 3 y N');

set(handles.t1,'string','En primer lugar se determina el
camino que va a seguir la corriente que demanda la impedancia en el secundario.
Tomará el camino seguido en la figura, debido a que dos de las líneas están
abiertas.');
```

```

set(handles.t2,'string','A continuación, se analizarán los
circuitos eléctricos y magnéticos del transformador: ');
set(handles.t3,'string',' - Circuito eléctrico ');
set(handles.t4,'string','Para una conexión en estrella se
cumple que: ');
set(handles.t5,'string',' $i_i+i_m+i_d=0$  ');
set(handles.t6,'string',' - Circuito magnético ');
set(handles.t7,'string','Tomamos 2 líneas de flujo
magnético; y aplicando la 2ª Ley de Kirchhoff de los circuitos magnéticos marcados
de azul y rojo  $F_m=NI=0$ ');
set(handles.t8,'string',' $N_p*i_i-(1/2)*N_s*i_z-N_p*i_m=0$   $N_p*i_i-
N_s*i_z-N_p*i_d=0$ ');
set(handles.t9,'string','Finalmente, resolviendo el sistema
de ecuaciones; obtenemos las siguientes expresiones:');

```

```

set(handles.t10,'string','ii=(1/2)(Ns/Np)*iz   im=0   Id=(-
1/2)(Ns/Np)*iz ');
end

case 6
switch caso_carga
case 1 %161

axes(handles.trafo);
imshow('161+.PNG')

set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yz con carga monofásica entre la línea 1 y 2');

set(handles.t1,'string','En primer lugar se determina el
camino que va a seguir la corriente que demanda la impedancia en el secundario.
Tomará el camino seguido en la figura, debido a que una de las líneas está abierta.');
```

set(handles.t2,'string','A continuación, se analizarán los circuitos eléctricos y magnéticos del transformador: ');

```

set(handles.t3,'string',' - Circuito eléctrico ');
set(handles.t4,'string','Para una conexión en estrella se
cumple que: ');
set(handles.t5,'string','ii+im+id=0 ');
set(handles.t6,'string',' - Circuito magnético ');
set(handles.t7,'string','Tomamos 2 líneas de flujo
magnético; y aplicando la 2ª Ley de Kirchhoff de los circuitos magnéticos marcados
de azul y rojo Fm=NI=0');
```

set(handles.t8,'string','Np\*ii+(3/2)\*Ns\*iz-Np\*im=0  
Np\*ii+(3/2)\*Ns\*iz-Np\*id=0');

```

set(handles.t9,'string','Finalmente, resolviendo el sistema
de ecuaciones; obtenemos las siguientes expresiones:');
set(handles.t10,'string','ii=(-Ns/Np)*iz
im=(1/2)(Ns/Np)*iz   Id=(1/2)(Ns/Np)*iz ');

case 2 %162

axes(handles.trafo);
imshow('162+.PNG')

set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yz con carga monofásica entre la línea 1 y 3');
```

set(handles.t1,'string','En primer lugar se determina el camino que va a seguir la corriente que demanda la impedancia en el secundario. Tomará el camino seguido en la figura, debido a que una de las líneas está abierta.');

```

set(handles.t2,'string','A continuación, se analizarán los
circuitos eléctricos y magnéticos del transformador: ');
set(handles.t3,'string',' - Circuito eléctrico ');
set(handles.t4,'string','Para una conexión en estrella se
cumple que: ');
set(handles.t5,'string','ii+im+id=0 ');
set(handles.t6,'string',' - Circuito magnético ');
set(handles.t7,'string','Tomamos 2 líneas de flujo
magnético; y aplicando la 2ª Ley de Kirchhoff de los circuitos magnéticos marcados
de azul y rojo Fm=NI=0');
```

set(handles.t8,'string','Np\*ii-Np\*im=0 Np\*ii+(3/2)\*Ns\*iz-Np\*id=0');

```

set(handles.t9,'string','Finalmente, resolviendo el sistema
de ecuaciones; obtenemos las siguientes expresiones:');
set(handles.t10,'string','ii=(-1/2)(Ns/Np)*iz   im=(-
1/2)(Ns/Np)*iz   Id=(Ns/Np)*iz ');

case 3 %163

axes(handles.trafo);
imshow('163+.PNG')

set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yy con carga monofásica entre la línea 2 y 3');
```

set(handles.t1,'string','En primer lugar se determina el camino que va a seguir la corriente que demanda la impedancia en el secundario. Tomará el camino seguido en la figura, debido a que una de las líneas está abierta.');

```

set(handles.t2,'string','A continuación, se analizarán los
circuitos eléctricos y magnéticos del transformador: ');
set(handles.t3,'string',' - Circuito eléctrico ');
set(handles.t4,'string','Para una conexión en estrella se
cumple que: ');
set(handles.t5,'string',' $i_i + i_m + i_d = 0$  ');
set(handles.t6,'string',' - Circuito magnético ');
set(handles.t7,'string','Tomamos 2 líneas de flujo
magnético; y aplicando la 2ª Ley de Kirchhoff de los circuitos magnéticos marcados
de azul y rojo  $F_m = NI = 0$  ');
set(handles.t8,'string',' $N_p \cdot i_i - (3/2) \cdot N_s \cdot i_z - N_p \cdot i_m = 0$   $N_p \cdot i_i -$ 
 $N_p \cdot i_d = 0$  ');
set(handles.t9,'string','Finalmente, resolviendo el sistema
de ecuaciones; obtenemos las siguientes expresiones:');
set(handles.t10,'string',' $i_i = (1/2) (N_s/N_p) \cdot i_z$   $i_m = (-$ 
 $N_s/N_p) \cdot i_z$   $i_d = (1/2) (N_s/N_p) \cdot i_z$  ');

case 4 %164

axes(handles.trafo);
imshow('164+.PNG')

set(handles.tipo_transformacion,'string','Transformación
Yy con carga monofásica entre la línea 1 y N');

set(handles.t1,'string','En primer lugar se determina el
camino que va a seguir la corriente que demanda la impedancia en el secundario.
Tomará el camino seguido en la figura, debido a que dos de las líneas están
abiertas. ');
set(handles.t2,'string','A continuación, se analizarán los
circuitos eléctricos y magnéticos del transformador: ');
set(handles.t3,'string',' - Circuito eléctrico ');
set(handles.t4,'string','Para una conexión en estrella se
cumple que: ');
set(handles.t5,'string',' $i_i + i_m + i_d = 0$  ');
set(handles.t6,'string',' - Circuito magnético ');
set(handles.t7,'string','Tomamos 2 líneas de flujo
magnético; y aplicando la 2ª Ley de Kirchhoff de los circuitos magnéticos marcados
de azul y rojo  $F_m = NI = 0$  ');
set(handles.t8,'string',' $N_p \cdot i_i + (1/2) \cdot N_s \cdot i_z - N_p \cdot i_m = 0$ 
 $N_p \cdot i_i + N_s \cdot i_z - N_p \cdot i_d = 0$  ');
set(handles.t9,'string','Finalmente, resolviendo el sistema
de ecuaciones; obtenemos las siguientes expresiones:');
set(handles.t10,'string',' $i_i = (-1/2) (N_s/N_p) \cdot i_z$   $i_m = 0$ 
 $i_d = (1/2) (N_s/N_p) \cdot i_z$  ');

case 5 %165

axes(handles.trafo);
imshow('165+.PNG')

set(handles.tipo_transformacion,'string','Transformación
Yy con carga monofásica entre la línea 2 y N');

set(handles.t1,'string','En primer lugar se determina el
camino que va a seguir la corriente que demanda la impedancia en el secundario.
Tomará el camino seguido en la figura, debido a que dos de las líneas están
abiertas. ');
set(handles.t2,'string','A continuación, se analizarán los
circuitos eléctricos y magnéticos del transformador: ');
set(handles.t3,'string',' - Circuito eléctrico ');
set(handles.t4,'string','Para una conexión en estrella se
cumple que: ');
set(handles.t5,'string',' $i_i + i_m + i_d = 0$  ');
set(handles.t6,'string',' - Circuito magnético ');
set(handles.t7,'string','Tomamos 2 líneas de flujo
magnético; y aplicando la 2ª Ley de Kirchhoff de los circuitos magnéticos marcados
de azul y rojo  $F_m = NI = 0$  ');
set(handles.t8,'string',' $N_p \cdot i_i - N_s \cdot i_z - N_p \cdot i_m = 0$   $N_p \cdot i_i -$ 
 $(1/2) \cdot N_s \cdot i_z - N_p \cdot i_d = 0$  ');
set(handles.t9,'string','Finalmente, resolviendo el sistema
de ecuaciones; obtenemos las siguientes expresiones:');
set(handles.t10,'string',' $i_i = (1/2) (N_s/N_p) \cdot i_z$   $i_m = (-$ 
 $1/2) (N_s/N_p) \cdot i_z$   $i_d = 0$  ');

```

```

case 6 %166

    axes(handles.trafo);
    imshow('166+.PNG')

    set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
    Yz con carga monofásica entre la línea 3 y N');

    set(handles.t1,'string','En primer lugar se determina el
    camino que va a seguir la corriente que demanda la impedancia en el secundario.
    Tomará el camino seguido en la figura, debido a que dos de las líneas están
    abiertas.');
```

cumple que:

```

    set(handles.t2,'string','A continuación, se analizarán los
    circuitos eléctricos y magnéticos del transformador: ');
    set(handles.t3,'string',' - Circuito eléctrico ');
    set(handles.t4,'string','Para una conexión en estrella se
    ');
    set(handles.t5,'string',' $i_i + i_m + i_d = 0$  ');
    set(handles.t6,'string',' - Circuito magnético ');
    set(handles.t7,'string','Tomamos 2 líneas de flujo
    magnetico; y aplicando la 2ª Ley de Kirchhoff de los circuitos magneticos marcados
    de azul y rojo  $F_m = NI = 0$  ');
    set(handles.t8,'string',' $N_p \cdot i_i + (1/2) \cdot N_s \cdot i_z - N_p \cdot i_m = 0$   $N_p \cdot i_i -$ 
     $(1/2) \cdot N_s \cdot i_z - N_p \cdot i_d = 0$  ');
    set(handles.t9,'string','Finalmente, resolviendo el sistema
    de ecuaciones; obtenemos las siguientes expresiones:');
    set(handles.t10,'string',' $i_i = 0$   $i_m = (1/2) (N_s/N_p) \cdot i_z$   $i_d = (-$ 
     $1/2) (N_s/N_p) \cdot i_z$  ');

end

case 7
    switch caso_carga
        case 1 %171

            axes(handles.trafo);
            imshow('171+.PNG')

            set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
            Yz con carga monofásica entre la línea 1 y 2');

            set(handles.t1,'string','En primer lugar se determina el
            camino que va a seguir la corriente que demanda la impedancia en el secundario.
            Tomará el camino seguido en la figura, debido a que una de las líneas está abierta.');
```

cumple que:

```

            set(handles.t2,'string','A continuación, se analizarán los
            circuitos eléctricos y magnéticos del transformador: ');
            set(handles.t3,'string',' - Circuito eléctrico ');
            set(handles.t4,'string','Para una conexión en estrella se
            ');
            set(handles.t5,'string',' $i_i + i_m + i_d = 0$  ');
            set(handles.t6,'string',' - Circuito magnético ');
            set(handles.t7,'string','Tomamos 2 líneas de flujo
            magnetico; y aplicando la 2ª Ley de Kirchhoff de los circuitos magneticos marcados
            de azul y rojo  $F_m = NI = 0$  ');
            set(handles.t8,'string',' $N_p \cdot i_i - (3/2) \cdot N_s \cdot i_z - N_p \cdot i_m = 0$   $N_p \cdot i_i -$ 
             $N_p \cdot i_d = 0$  ');
            set(handles.t9,'string','Finalmente, resolviendo el sistema
            de ecuaciones; obtenemos las siguientes expresiones:');
            set(handles.t10,'string',' $i_i = (1/2) (N_s/N_p) \cdot i_z$   $i_m = (-$ 
             $N_s/N_p) \cdot i_z$   $i_d = (1/2) (N_s/N_p) \cdot i_z$  ');

        case 2 %172

            axes(handles.trafo);
            imshow('172+.PNG')

            set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
            Yz con carga monofásica entre la línea 1 y 3');
```

cumple que:

```

            set(handles.t1,'string','En primer lugar se determina el
            camino que va a seguir la corriente que demanda la impedancia en el secundario.
            Tomará el camino seguido en la figura, debido a que una de las líneas está abierta.');
```

```

set(handles.t2,'string','A continuación, se analizarán los
circuitos eléctricos y magnéticos del transformador: ');
set(handles.t3,'string',' - Circuito eléctrico ');
set(handles.t4,'string','Para una conexión en estrella se
cumple que: ');
set(handles.t5,'string','ii+im+id=0 ');
set(handles.t6,'string',' - Circuito magnético ');
set(handles.t7,'string','Tomamos 2 líneas de flujo
magnético; y aplicando la 2ª Ley de Kirchhoff de los circuitos magnéticos marcados
de azul y rojo Fm=NI=0');
set(handles.t8,'string','Np*ii-(3/2)*Ns*iz-Np*im=0 Np*ii-
(3/2)*Ns*iz-Np*id=0');
set(handles.t9,'string','Finalmente, resolviendo el sistema
de ecuaciones; obtenemos las siguientes expresiones:');
set(handles.t10,'string','ii=(Ns/Np)*iz im=(-
1/2)(Ns/Np)*iz Id=(-1/2)(Ns/Np)*iz ');

case 3 %173

axes(handles.trafo);
imshow('173+.PNG')

set(handles.tipo_transformacion,'string',' Transformación
Yy con carga monofásica entre la línea 2 y 3');

set(handles.t1,'string','En primer lugar se determina el
camino que va a seguir la corriente que demanda la impedancia en el secundario.
Tomará el camino seguido en la figura, debido a que una de las líneas está abierta. ');
set(handles.t2,'string','A continuación, se analizarán los
circuitos eléctricos y magnéticos del transformador: ');
set(handles.t3,'string',' - Circuito eléctrico ');
set(handles.t4,'string','Para una conexión en estrella se
cumple que: ');
set(handles.t5,'string','ii+im+id=0 ');
set(handles.t6,'string',' - Circuito magnético ');
set(handles.t7,'string','Tomamos 2 líneas de flujo
magnético; y aplicando la 2ª Ley de Kirchhoff de los circuitos magnéticos marcados
de azul y rojo Fm=NI=0');
set(handles.t8,'string','Np*ii-Np*im=0 Np*ii-(3/2)*Ns*iz-
Np*id=0');
set(handles.t9,'string','Finalmente, resolviendo el sistema
de ecuaciones; obtenemos las siguientes expresiones:');
set(handles.t10,'string','ii=(1/2)(Ns/Np)*iz
im=(1/2)(Ns/Np)*iz Id=(-Ns/Np)*iz ');

case 4 %174

axes(handles.trafo);
imshow('174+.PNG')

set(handles.tipo_transformacion,'string',' Transformación
Yy con carga monofásica entre la línea 1 y N');

set(handles.t1,'string','En primer lugar se determina el
camino que va a seguir la corriente que demanda la impedancia en el secundario.
Tomará el camino seguido en la figura, debido a que dos de las líneas están
abiertas. ');
set(handles.t2,'string','A continuación, se analizarán los
circuitos eléctricos y magnéticos del transformador: ');
set(handles.t3,'string',' - Circuito eléctrico ');
set(handles.t4,'string','Para una conexión en estrella se
cumple que: ');
set(handles.t5,'string','ii+im+id=0 ');
set(handles.t6,'string',' - Circuito magnético ');
set(handles.t7,'string','Tomamos 2 líneas de flujo
magnético; y aplicando la 2ª Ley de Kirchhoff de los circuitos magnéticos marcados
de azul y rojo Fm=NI=0');
set(handles.t8,'string','Np*ii-Ns*iz-Np*im=0 Np*ii-
(1/2)*Ns*iz-Np*id=0');
set(handles.t9,'string','Finalmente, resolviendo el sistema
de ecuaciones; obtenemos las siguientes expresiones:');
set(handles.t10,'string','ii=(1/2)(Ns/Np)*iz im=(-
1/2)(Ns/Np)*iz Id=0 ');

```

```

case 5 %175

axes(handles.trafo);
imshow('175.PNG')

set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yy con carga monofásica entre la línea 2 y N');

set(handles.t1,'string','En primer lugar se determina el
camino que va a seguir la corriente que demanda la impedancia en el secundario.
Tomará el camino seguido en la figura, debido a que dos de las líneas están
abiertas.');
```

circuitos eléctricos y magnéticos del transformador: ');

```

set(handles.t2,'string','A continuación, se analizarán los
cumple que: ');
set(handles.t3,'string',' - Circuito eléctrico ');
set(handles.t4,'string','Para una conexión en estrella se
magnético; y aplicando la 2ª Ley de Kirchhoff de los circuitos magnéticos marcados
de azul y rojo  $F_m=NI=0$  ');
set(handles.t5,'string',' $i_i+i_m+i_d=0$  ');
set(handles.t6,'string',' - Circuito magnético ');
set(handles.t7,'string','Tomamos 2 líneas de flujo
(1/2)*N_s*i_z-N_p*i_d=0 ');
set(handles.t8,'string',' $N_p*i_i+(1/2)*N_s*i_z-N_p*i_m=0$  ');
set(handles.t9,'string','Finalmente, resolviendo el sistema
de ecuaciones; obtenemos las siguientes expresiones:');
set(handles.t10,'string',' $i_i=0$   $i_m=(1/2)(N_s/N_p)*i_z$   $i_d=(-$ 
 $1/2)(N_s/N_p)*i_z$  ');
```

```

case 6 %176

axes(handles.trafo);
imshow('176.PNG')

set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yy con carga monofásica entre la línea 3 y N');

set(handles.t1,'string','En primer lugar se determina el
camino que va a seguir la corriente que demanda la impedancia en el secundario.
Tomará el camino seguido en la figura, debido a que dos de las líneas están
abiertas.');
```

circuitos eléctricos y magnéticos del transformador: ');

```

set(handles.t2,'string','A continuación, se analizarán los
cumple que: ');
set(handles.t3,'string',' - Circuito eléctrico ');
set(handles.t4,'string','Para una conexión en estrella se
magnético; y aplicando la 2ª Ley de Kirchhoff de los circuitos magnéticos marcados
de azul y rojo  $F_m=NI=0$  ');
set(handles.t5,'string',' $i_i+i_m+i_d=0$  ');
set(handles.t6,'string',' - Circuito magnético ');
set(handles.t7,'string','Tomamos 2 líneas de flujo
 $N_p*i_i+N_s*i_z-N_p*i_d=0$  ');
set(handles.t8,'string',' $N_p*i_i+(1/2)*N_s*i_z-N_p*i_m=0$  ');
set(handles.t9,'string','Finalmente, resolviendo el sistema
de ecuaciones; obtenemos las siguientes expresiones:');
set(handles.t10,'string',' $i_i=(-1/2)(N_s/N_p)*i_z$   $i_m=0$ 
 $i_d=(1/2)(N_s/N_p)*i_z$  ');
```

```

end

case 8
switch caso_carga
case 1 %181

axes(handles.trafo);
imshow('181.PNG')

set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yz con carga monofásica entre la línea 1 y 2');
```



```

        set(handles.t1,'string','En primer lugar se determina el
camino que va a seguir la corriente que demanda la impedancia en el secundario.
Tomará el camino seguido en la figura, debido a que una de las líneas está abierta.');
```

set(handles.t2,'string','A continuación, se analizarán los circuitos eléctricos y magnéticos del transformador: ');

```

        set(handles.t3,'string',' - Circuito eléctrico ');
        set(handles.t4,'string','Para una conexión en estrella se
cumple que: ');
        set(handles.t5,'string','ii+im+id=0 ');
        set(handles.t6,'string',' - Circuito magnético ');
        set(handles.t7,'string','Tomamos 2 líneas de flujo
magnético; y aplicando la 2ª Ley de Kirchhoff de los circuitos magnéticos marcados
de azul y rojo Fm=NI=0');
```

$$N_p \cdot i_i - (3/2) \cdot N_s \cdot i_z - N_p \cdot i_m = 0 \quad N_p \cdot i_i - (3/2) \cdot N_s \cdot i_z - N_p \cdot i_d = 0$$

```

        set(handles.t8,'string','');
        set(handles.t9,'string','Finalmente, resolviendo el sistema
de ecuaciones; obtenemos las siguientes expresiones:');
        set(handles.t10,'string','ii=(Ns/Np)*iz           im=(-
1/2)(Ns/Np)*iz   Id=(-1/2)(Ns/Np)*iz ');

    case 2 %182

        axes(handles.trafo);
        imshow('182.PNG')

        set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yz con carga monofásica entre la línea 1 y 3');
```

set(handles.t1,'string','En primer lugar se determina el camino que va a seguir la corriente que demanda la impedancia en el secundario. Tomará el camino seguido en la figura, debido a que una de las líneas está abierta.');

set(handles.t2,'string','A continuación, se analizarán los circuitos eléctricos y magnéticos del transformador: ');

```

        set(handles.t3,'string',' - Circuito eléctrico ');
        set(handles.t4,'string','Para una conexión en estrella se
cumple que: ');
        set(handles.t5,'string','ii+im+id=0 ');
        set(handles.t6,'string',' - Circuito magnético ');
        set(handles.t7,'string','Tomamos 2 líneas de flujo
magnético; y aplicando la 2ª Ley de Kirchhoff de los circuitos magnéticos marcados
de azul y rojo Fm=NI=0');
```

$$N_p \cdot i_i - N_p \cdot i_m = 0 \quad N_p \cdot i_i - (3/2) \cdot N_s \cdot i_z - N_p \cdot i_d = 0$$

```

        set(handles.t8,'string','');
        set(handles.t9,'string','Finalmente, resolviendo el sistema
de ecuaciones; obtenemos las siguientes expresiones:');
        set(handles.t10,'string','ii=(1/2)(Ns/Np)*iz
im=(1/2)(Ns/Np)*iz   Id=(-Ns/Np)*iz ');

    case 3 %183

        axes(handles.trafo);
        imshow('183.PNG')

        set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yy con carga monofásica entre la línea 2 y 3');
```

set(handles.t1,'string','En primer lugar se determina el camino que va a seguir la corriente que demanda la impedancia en el secundario. Tomará el camino seguido en la figura, debido a que una de las líneas está abierta.');

set(handles.t2,'string','A continuación, se analizarán los circuitos eléctricos y magnéticos del transformador: ');

```

        set(handles.t3,'string',' - Circuito eléctrico ');
        set(handles.t4,'string','Para una conexión en estrella se
cumple que: ');
        set(handles.t5,'string','ii+im+id=0 ');
        set(handles.t6,'string',' - Circuito magnético ');
        set(handles.t7,'string','Tomamos 2 líneas de flujo
magnético; y aplicando la 2ª Ley de Kirchhoff de los circuitos magnéticos marcados
de azul y rojo Fm=NI=0');
```

$$N_p \cdot i_i + (3/2) \cdot N_s \cdot i_z - N_p \cdot i_m = 0 \quad N_p \cdot i_i - N_p \cdot i_d = 0$$

```

        set(handles.t8,'string','');
        set(handles.t9,'string','Finalmente, resolviendo el sistema
de ecuaciones; obtenemos las siguientes expresiones:');
```

```

        set(handles.t10,'string','ii=(-1/2)(Ns/Np)*iz
im=(Ns/Np)*iz Id=(-1/2)(Ns/Np)*iz ');

    case 4 %184

        axes(handles.trafo);
        imshow('184.PNG')

        set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yy con carga monofásica entre la línea 1 y N');

        set(handles.t1,'string','En primer lugar se determina el
camino que va a seguir la corriente que demanda la impedancia en el secundario.
Tomará el camino seguido en la figura, debido a que dos de las líneas están
abiertas.');
```

set(handles.t2,'string','A continuación, se analizarán los
circuitos eléctricos y magnéticos del transformador: ');
 set(handles.t3,'string',' - Circuito eléctrico ');
 set(handles.t4,'string','Para una conexión en estrella se
cumple que: ');
 set(handles.t5,'string','ii+im+id=0 ');
 set(handles.t6,'string',' - Circuito magnético ');
 set(handles.t7,'string','Tomamos 2 líneas de flujo
magnético; y aplicando la 2ª Ley de Kirchhoff de los circuitos magnéticos marcados
de azul y rojo Fm=NI=0');
 set(handles.t8,'string','Np\*ii-(1/2)\*Ns\*iz-Np\*im=0 Np\*ii-
Ns\*iz-Np\*id=0');
 set(handles.t9,'string','Finalmente, resolviendo el sistema
de ecuaciones; obtenemos las siguientes expresiones:');
 set(handles.t10,'string','ii=(1/2)(Ns/Np)\*iz im=0 Id=(-
1/2)(Ns/Np)\*iz ');

```

    case 5 %185

        axes(handles.trafo);
        imshow('185.PNG')

        set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yy con carga monofásica entre la línea 2 y N');

        set(handles.t1,'string','En primer lugar se determina el
camino que va a seguir la corriente que demanda la impedancia en el secundario.
Tomará el camino seguido en la figura, debido a que dos de las líneas están
abiertas.');
```

set(handles.t2,'string','A continuación, se analizarán los
circuitos eléctricos y magnéticos del transformador: ');
 set(handles.t3,'string',' - Circuito eléctrico ');
 set(handles.t4,'string','Para una conexión en estrella se
cumple que: ');
 set(handles.t5,'string','ii+im+id=0 ');
 set(handles.t6,'string',' - Circuito magnético ');
 set(handles.t7,'string','Tomamos 2 líneas de flujo
magnético; y aplicando la 2ª Ley de Kirchhoff de los circuitos magnéticos marcados
de azul y rojo Fm=NI=0');
 set(handles.t8,'string','Np\*ii+Ns\*iz-Np\*im=0
Np\*ii+(1/2)\*Ns\*iz-Np\*id=0');
 set(handles.t9,'string','Finalmente, resolviendo el sistema
de ecuaciones; obtenemos las siguientes expresiones:');
 set(handles.t10,'string','ii=(-1/2)(Ns/Np)\*iz
im=(1/2)(Ns/Np)\*iz Id=0 ');

```

    case 6 %186

        axes(handles.trafo);
        imshow('186.PNG')

        set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yy con carga monofásica entre la línea 3 y N');

        set(handles.t1,'string','En primer lugar se determina el
camino que va a seguir la corriente que demanda la impedancia en el secundario.
Tomará el camino seguido en la figura, debido a que dos de las líneas están
abiertas.');
```

```

        set(handles.t2,'string','A continuación, se analizarán los
circuitos eléctricos y magnéticos del transformador: ');
        set(handles.t3,'string',' - Circuito eléctrico ');
        set(handles.t4,'string','Para una conexión en estrella se
cumple que: ');
        set(handles.t5,'string','ii+im+id=0 ');
        set(handles.t6,'string',' - Circuito magnético ');
        set(handles.t7,'string','Tomamos 2 líneas de flujo
magnético; y aplicando la 2ª Ley de Kirchhoff de los circuitos magnéticos marcados
de azul y rojo Fm=NI=0');
        set(handles.t8,'string','Np*ii-(1/2)*Ns*iz-Np*im=0
Np*ii+(1/2)*Ns*iz-Np*id=0');
        set(handles.t9,'string','Finalmente, resolviendo el sistema
de ecuaciones; obtenemos las siguientes expresiones:');
        set(handles.t10,'string','ii=0           im=(-1/2)(Ns/Np)*iz
Id=(1/2)(Ns/Np)*iz ');
    end
end

case 2
    switch caso_secundario
        case 1
            switch caso_carga
                case 1 %211

                    axes(handles.trafo);
                    imshow('211.PNG')

                    set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yy con carga monofásica entre la línea 1 y 2');

                    set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yy con carga monofásica entre la línea 1 y 2');
                    set(handles.t1,'string','En primer lugar se determina el
camino que va a seguir la corriente que demanda la impedancia en el secundario.
Tomará el camino seguido en la figura, debido a que una de las líneas está abierta.');
```

Yy con carga monofásica entre la línea 1 y 2');  
 set(handles.t2,'string','A continuación, se analizarán los circuitos eléctricos y magnéticos del transformador: ');  
 set(handles.t3,'string',' - Circuito eléctrico ');  
 set(handles.t4,'string','Para una conexión en estrella se cumple que: ');  
 set(handles.t5,'string','ii+im+id=0 ');  
 set(handles.t6,'string',' - Circuito magnético ');  
 set(handles.t7,'string','Tomamos 2 líneas de flujo magnético; y aplicando la 2ª Ley de Kirchhoff de los circuitos magnéticos marcados de azul y rojo Fm=NI=0');  
 set(handles.t8,'string',' -Np\*ii+2\*Ns\*iz+Np\*im=0 - Np\*ii+Ns\*iz+Np\*id=0');  
 set(handles.t9,'string','Finalmente, resolviendo el sistema de ecuaciones; obtenemos las siguientes expresiones:');  
 set(handles.t10,'string','ii=(Ns/Np)\*iz im=(-Ns/Np)\*iz Id=0 ');

```

                case 2 %212

                    axes(handles.trafo);
                    imshow('212.PNG')

                    set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yy con carga monofásica entre la línea 1 y 3');

                    set(handles.t1,'string','En primer lugar se determina el
camino que va a seguir la corriente que demanda la impedancia en el secundario.
Tomará el camino seguido en la figura, debido a que una de las líneas está abierta.');
```

Yy con carga monofásica entre la línea 1 y 3');  
 set(handles.t2,'string','A continuación, se analizarán los circuitos eléctricos y magnéticos del transformador: ');  
 set(handles.t3,'string',' - Circuito eléctrico ');  
 set(handles.t4,'string','Para una conexión en estrella se cumple que: ');  
 set(handles.t5,'string','ii+im+id=0 ');  
 set(handles.t6,'string',' - Circuito magnético ');

```

        set(handles.t7,'string','Tomamos 2 líneas de flujo
magnetico; y aplicando la 2ª Ley de Kirchhoff de los circuitos magneticos marcados
de azul y rojo Fm=NI=0');
        set(handles.t8,'string','-Np*ii+Ns*iz+Np*im=0
Np*ii+2*Ns*iz+Np*id=0');
        set(handles.t9,'string','Finalmente, resolviendo el sistema
de ecuaciones; obtenemos las siguientes expresiones:');
        set(handles.t10,'string','ii=(Ns/Np)*iz im=0 Id=(-
Ns/Np)*iz ');
        case 3 %213

        axes(handles.trafo);
        imshow('213.PNG')

        set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yy con carga monofásica entre la línea 2 y 3');

        set(handles.t1,'string','En primer lugar se determina el
camino que va a seguir la corriente que demanda la impedancia en el secundario.
Tomará el camino seguido en la figura, debido a que una de las líneas está abierta.');
```

A continuación, se analizarán los circuitos eléctricos y magnéticos del transformador: ');

```

        set(handles.t3,'string',' - Circuito eléctrico ');
        set(handles.t4,'string','Para una conexión en estrella se
cumple que: ');
        set(handles.t5,'string','ii+im+id=0 ');
        set(handles.t6,'string',' - Circuito magnético ');
        set(handles.t7,'string','Tomamos 2 líneas de flujo
magnetico; y aplicando la 2ª Ley de Kirchhoff de los circuitos magneticos marcados
de azul y rojo Fm=NI=0');
        set(handles.t8,'string','-Np*ii+Ns*iz+Np*im=0
Np*ii+Ns*iz+Np*id=0');
        set(handles.t9,'string','Finalmente, resolviendo el sistema
de ecuaciones; obtenemos las siguientes expresiones:');
        set(handles.t10,'string','ii=0 im=(Ns/Np)*iz Id=(-
Ns/Np)*iz ');
        case 4 %214

        axes(handles.trafo);
        imshow('214.PNG')

        set(handles.tipo_transformacion,'string', 'Transformación
Yy con carga monofásica entre la línea 1 y N');
```

En primer lugar se determina el camino que va a seguir la corriente que demanda la impedancia en el secundario. Tomará el camino seguido en la figura, debido a que dos de las líneas están abiertas.');

A continuación, se analizarán los circuitos eléctricos y magnéticos del transformador: ');

```

        set(handles.t3,'string',' - Circuito eléctrico ');
        set(handles.t4,'string','Para una conexión en estrella se
cumple que: ');
        set(handles.t5,'string','ii+im+id=0 ');
        set(handles.t6,'string',' - Circuito magnético ');
        set(handles.t7,'string','Tomamos 2 líneas de flujo
magnetico; y aplicando la 2ª Ley de Kirchhoff de los circuitos magneticos marcados
de azul y rojo Fm=NI=0');
        set(handles.t8,'string','-Np*ii+Ns*iz+Np*im=0
Np*ii+Ns*iz+Np*id=0');
        set(handles.t9,'string','Finalmente, resolviendo el sistema
de ecuaciones; obtenemos las siguientes expresiones:');
        set(handles.t10,'string','ii=(2/3) (Ns/Np) *iz im=(-
1/3) (Ns/Np) *iz Id=(-1/3) (Ns/Np) *iz ');
        .....
end
% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes help_tfg wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

```

```

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = help_tfg_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
% varargout cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject handle to figure
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

```

## Interfaz IX. Muestra de resultados suma de los casos.

```

function varargout = resultado_final(varargin)

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',   gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @resultado_final_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @resultado_final_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [] , ...
                  'gui_Callback',   []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargin
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before resultado_final is made visible.
function resultado_final_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject handle to figure
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin command line arguments to resultado_final (see VARARGIN)

% Choose default command line output for resultado_final
handles.output = hObject;
format bank
movegui('center');

axes(handles.barra)
imshow('barra.PNG')

axes(handles.uva)
imshow('uva.jpg')

axes(handles.eii)
imshow('eii.jpg')

caso_alimentacion=getappdata(0,'caso_alimentacion');
caso_primario=getappdata(0,'caso_primario');
caso_secundario=getappdata(0,'caso_secundario');
caso_carga=getappdata(0,'caso_carga');
caso_carga2=getappdata(0,'caso_carga2');
caso_carga3=getappdata(0,'caso_carga3');

v1=getappdata(0,'v1');
f=50;
w=2*pi*f;
p=1/f;
t=linspace(0,2.5*p,10000);

m11=getappdata(0,'m11');

```

```

m21=getappdata(0,'m21');
m31=getappdata(0,'m31');
m12=getappdata(0,'m12');
m22=getappdata(0,'m22');
m32=getappdata(0,'m32');
m13=getappdata(0,'m13');
m23=getappdata(0,'m23');
m33=getappdata(0,'m33');

a_11=getappdata(0,'a_11');
a_21=getappdata(0,'a_21');
a_31=getappdata(0,'a_31');
a_12=getappdata(0,'a_12');
a_22=getappdata(0,'a_22');
a_32=getappdata(0,'a_32');
a_13=getappdata(0,'a_13');
a_23=getappdata(0,'a_23');
a_33=getappdata(0,'a_33');

set(handles.m11,'string', m11);
set(handles.m21,'string', m21);
set(handles.m31,'string', m31);
set(handles.m12,'string', m12);
set(handles.m22,'string', m22);
set(handles.m32,'string', m32);
set(handles.m13,'string', m13);
set(handles.m23,'string', m23);
set(handles.m33,'string', m33);
set(handles.a_11,'string', rad2deg(a_11));
set(handles.a_21,'string', rad2deg(a_21));
set(handles.a_31,'string', rad2deg(a_31));
set(handles.a_12,'string', rad2deg(a_12));
set(handles.a_22,'string', rad2deg(a_22));
set(handles.a_32,'string', rad2deg(a_32));
set(handles.a_13,'string', rad2deg(a_13));
set(handles.a_23,'string', rad2deg(a_23));
set(handles.a_33,'string', rad2deg(a_33));

switch caso_carga
case 1
    axes(handles.carga1)
    imshow('carga_12.PNG')
case 2
    axes(handles.carga1)
    imshow('carga_13.PNG')
case 3
    axes(handles.carga1)
    imshow('carga_23.PNG')
case 4
    axes(handles.carga1)
    imshow('carga_1N.PNG')
case 5
    axes(handles.carga1)
    imshow('carga_2N.PNG')
case 6
    axes(handles.carga1)
    imshow('carga_3N.PNG')
end

switch caso_carga2
case 1
    axes(handles.carga2)
    imshow('carga_12.PNG')
case 2
    axes(handles.carga2)
    imshow('carga_13.PNG')
case 3
    axes(handles.carga2)
    imshow('carga_23.PNG')
case 4
    axes(handles.carga2)
    imshow('carga_1N.PNG')
case 5
    axes(handles.carga2)

```

```

        imshow('carga_2N.PNG')
    case 6
        axes(handles.carga2)
        imshow('carga_3N.PNG')
end

switch caso_carga3
    case 1
        axes(handles.carga3)
        imshow('carga_12.PNG')
    case 2
        axes(handles.carga3)
        imshow('carga_13.PNG')
    case 3
        axes(handles.carga3)
        imshow('carga_23.PNG')
    case 4
        axes(handles.carga3)
        imshow('carga_1N.PNG')
    case 5
        axes(handles.carga3)
        imshow('carga_2N.PNG')
    case 6
        axes(handles.carga3)
        imshow('carga_3N.PNG')
end

I11=m11*(cos((a_11))+sin((a_11))*j);
I21=m21*(cos((a_21))+sin((a_21))*j);
I31=m31*(cos((a_31))+sin((a_31))*j);
I12=m12*(cos((a_12))+sin((a_12))*j);
I22=m22*(cos((a_22))+sin((a_22))*j);
I32=m32*(cos((a_32))+sin((a_32))*j);
I13=m13*(cos((a_13))+sin((a_13))*j);
I23=m23*(cos((a_23))+sin((a_23))*j);
I33=m33*(cos((a_33))+sin((a_33))*j);

a=[m11 m21 m31];
b=[m12 m22 m32];
c=[m13 m23 m33];

drawArrow = @(x,y,varargin) quiver(0,y(1),x(2)-x(1),y(2)-y(1),0,varargin{:})

axes(handles.f1)
polar(0,max(a)), hold on
polar(angle(I11),abs(I11),'r'), hold on
drawArrow([0 real(I11)],[0 imag(I11)],'linewidth',2,'color','r') , hold on
polar(angle(I21),abs(I21),'b'), hold on
drawArrow([0 real(I21)],[0 imag(I21)],'linewidth',2,'color','b') , hold on
polar(angle(I31),abs(I31),'g'), hold on
drawArrow([0 real(I31)],[0 imag(I31)],'linewidth',2,'color','g')

axes(handles.f2)
polar(0,max(b)), hold on
polar(angle(I12),abs(I12),'r'), hold on
drawArrow([0 real(I12)],[0 imag(I12)],'linewidth',2,'color','r') , hold on
polar(angle(I22),abs(I22),'b'), hold on
drawArrow([0 real(I22)],[0 imag(I22)],'linewidth',2,'color','b') , hold on
polar(angle(I32),abs(I32),'g'), hold on
drawArrow([0 real(I32)],[0 imag(I32)],'linewidth',2,'color','g')

axes(handles.f3)
polar(0,max(c)), hold on
polar(angle(I13),abs(I13),'r'), hold on
drawArrow([0 real(I13)],[0 imag(I13)],'linewidth',2,'color','r') , hold on
polar(angle(I23),abs(I23),'b'), hold on
drawArrow([0 real(I23)],[0 imag(I23)],'linewidth',2,'color','b') , hold on
polar(angle(I33),abs(I33),'g'), hold on
drawArrow([0 real(I33)],[0 imag(I33)],'linewidth',2,'color','g')

```

```
switch caso_primario
  case 1
    switch caso_secundario
      case 1
        axes(handles.trafo)
        imshow('11.png')
      case 2
        axes(handles.trafo)
        imshow('12.png')
      case 3
        axes(handles.trafo)
        imshow('13.png')
      case 4
        axes(handles.trafo)
        imshow('14.png')
      case 5
        axes(handles.trafo)
        imshow('15.png')
      case 6
        axes(handles.trafo)
        imshow('16.png')
      case 7
        axes(handles.trafo)
        imshow('17.png')
      case 8
        axes(handles.trafo)
        imshow('18.png')
    end
  case 2
    switch caso_secundario
      case 1
        axes(handles.trafo)
        imshow('21.png')
      case 2
        axes(handles.trafo)
        imshow('22.png')
      case 3
        axes(handles.trafo)
        imshow('23.png')
      case 4
        axes(handles.trafo)
        imshow('24.png')
      case 5
        axes(handles.trafo)
        imshow('25.png')
      case 6
        axes(handles.trafo)
        imshow('26.png')
      case 7
        axes(handles.trafo)
        imshow('27.png')
      case 8
        axes(handles.trafo)
        imshow('28.png')
    end
  case 3
    switch caso_secundario
      case 1
        axes(handles.trafo)
        imshow('31.png')
      case 2
        axes(handles.trafo)
        imshow('32.png')
      case 3
        axes(handles.trafo)
        imshow('33.png')
      case 4
        axes(handles.trafo)
        imshow('34.png')
      case 5
        axes(handles.trafo)
        imshow('35.png')
      case 6
        axes(handles.trafo)
```



```

        imshow('36.png')
    case 7
        axes(handles.trafo)
        imshow('37.png')
    case 8
        axes(handles.trafo)
        imshow('38.png')
    end
case 4
    switch caso_secundario
    case 1
        axes(handles.trafo)
        imshow('41.png')
    case 2
        axes(handles.trafo)
        imshow('42.png')
    case 3
        axes(handles.trafo)
        imshow('43.png')
    case 4
        axes(handles.trafo)
        imshow('44.png')
    case 5
        axes(handles.trafo)
        imshow('45.png')
    case 6
        axes(handles.trafo)
        imshow('46.png')
    case 7
        axes(handles.trafo)
        imshow('47.png')
    case 8
        axes(handles.trafo)
        imshow('48.png')
    end
end

I1=I11+I12+I13;
I2=I21+I22+I23;
I3=I31+I32+I33;

m1=abs(I1);
a_1=(angle(I1));
m2=abs(I2);
a_2=(angle(I2));
m3=abs(I3);
a_3=(angle(I3));

switch caso_alimentacion
case 1
    set(handles.Lizq,'string','I1=');
    set(handles.Lmed,'string','I2=');
    set(handles.Lder,'string','I3=');
    set(handles.ii,'string',m1);
    set(handles.im,'string',m2);
    set(handles.id,'string',m3);
    set(handles.ai,'string',rad2deg(a_1));
    set(handles.am,'string',rad2deg(a_2));
    set(handles.ad,'string',rad2deg(a_3));

case 2
    set(handles.Lizq,'string','I3=');
    set(handles.Lmed,'string','I1=');
    set(handles.Lder,'string','I2=');
    set(handles.ii,'string',m3);
    set(handles.im,'string',m1);
    set(handles.id,'string',m2);
    set(handles.ai,'string',rad2deg(a_3));
    set(handles.am,'string',rad2deg(a_1));
    set(handles.ad,'string',rad2deg(a_2));

```

```

case 3

    set(handles.Lizq,'string','I2=');
    set(handles.Lmed,'string','I3=');
    set(handles.Lder,'string','I1=');
    set(handles.ii,'string',m2);
    set(handles.im,'string',m3);
    set(handles.id,'string',m1);
    set(handles.ai,'string',rad2deg(a_2));
    set(handles.am,'string',rad2deg(a_3));
    set(handles.ad,'string',rad2deg(a_1));

case 4

    set(handles.Lizq,'string','I1=');
    set(handles.Lmed,'string','I3=');
    set(handles.Lder,'string','I2=');
    set(handles.ii,'string',m1);
    set(handles.im,'string',m3);
    set(handles.id,'string',m2);
    set(handles.ai,'string',rad2deg(a_1));
    set(handles.am,'string',rad2deg(a_3));
    set(handles.ad,'string',rad2deg(a_2));

case 5

    set(handles.Lizq,'string','I2=');
    set(handles.Lmed,'string','I1=');
    set(handles.Lder,'string','I3=');
    set(handles.ii,'string',m2);
    set(handles.im,'string',m1);
    set(handles.id,'string',m3);
    set(handles.ai,'string',rad2deg(a_2));
    set(handles.am,'string',rad2deg(a_1));
    set(handles.ad,'string',rad2deg(a_3));

case 6

    set(handles.Lizq,'string','I3=');
    set(handles.Lmed,'string','I2=');
    set(handles.Lder,'string','I1=');
    set(handles.ii,'string',m3);
    set(handles.im,'string',m2);
    set(handles.id,'string',m1);
    set(handles.ai,'string',rad2deg(a_3));
    set(handles.am,'string',rad2deg(a_2));
    set(handles.ad,'string',rad2deg(a_1));

end

If=[m1 m2 m3];
vL1=If*(cos((2*pi)/3)+sin((2*pi)/3)*j);
vL2=If*(cos(0)+sin(0)*j);
vL3=If*(cos((4*pi)/3)+sin((4*pi)/3)*j);

axes(handles.fasor)
polar(0,max(If)), hold on
drawArrow([0 real(vL1)],[0 imag(vL1)],'linewidth',0.20,'color','k'), hold on
drawArrow([0 real(vL2)],[0 imag(vL2)],'linewidth',0.2,'color','k'), hold on
drawArrow([0 real(vL3)],[0 imag(vL3)],'linewidth',0.2,'color','k'), hold on
drawArrow([0 real(I1)],[0 imag(I1)],'linewidth',2,'color','r'), hold on
drawArrow([0 real(I2)],[0 imag(I2)],'linewidth',2,'color','b'), hold on
drawArrow([0 real(I3)],[0 imag(I3)],'linewidth',2,'color','g'),

set(handles.t_v1,'string',v1);
set(handles.t_v4,'string',v1);

```

```

set(handles.t_v3,'string',v1);

set(handles.mf1,'string', m1);
set(handles.mf2,'string', m2);
set(handles.mf3,'string', m3);
set(handles.af1,'string', rad2deg(a_1));
set(handles.af2,'string', rad2deg(a_2));
set(handles.af3,'string', rad2deg(a_3));

axes(handles.leyenda_t)
imshow('leyenda_t.png');

i1t=sqrt(2)*m1*sin((w*t+a_1));
i2t=sqrt(2)*m2*sin((w*t+a_2));
i3t=sqrt(2)*m3*sin((w*t+a_3));

v1t=sqrt(2)*v1*sin((w*t+deg2rad(120)));
v2t=sqrt(2)*v1*sin((w*t+deg2rad(0)));
v3t=sqrt(2)*v1*sin((w*t+deg2rad(240)));

axes(handles.g1);
plot(t,v1t); hold on;
plot(t,i1t*max([v1t v2t v3t])*0.85/max([i1t i2t i3t]));
legend('VL1-L2(t)', 'i1'(t)');
title('i1 - VL1L2');
grid on

axes(handles.g2);
plot(t,v2t); hold on;
plot(t,i2t*max([v1t v2t v3t])*0.85/max([i1t i2t i3t]));
legend('VL2-L3(t)', 'i2'(t)', 'Location', 'southeast');
title('i2 - VL2L3');
grid on

axes(handles.g3);
plot(t,v3t); hold on;
plot(t,i3t*max([v1t v2t v3t])*0.85/max([i1t i2t i3t]));
legend('VL3-L1(t)', 'i3'(t)', 'Location', 'southeast');
title('i3 - VL3L1');
grid on

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes resultado_final wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = resultado_final_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
% varargout cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject handle to figure
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

% --- Executes on button press in pushbutton1.
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
close all;
clear all;
clc;
% hObject handle to pushbutton1 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

```