

Desarrollo de un módulo de Prácticas Virtuales de  
laboratorio de transformadores usando Simscape  
Electrical de Simulink

Dilan Alejandro Betancourt Macias

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Electricista

Director

Guillermo Andrés Diaz Flórez

PhD. Ingeniería Eléctrica

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de ingenierías eléctrica, electrónica y telecomunicaciones

Ingeniería Eléctrica

Bucaramanga

2025

**Tabla de contenido**

Introducción .....	12
1. Objetivos .....	13
1.1 Objetivo General .....	13
1.2 Objetivos Específicos.....	13
2. Marco teórico .....	14
3. Desarrollo del Módulo .....	15
3.1 Alcance del módulo .....	15
3.2 Presentación de los equipos .....	15
3.2.1 Multímetro Fluke 117 .....	16
3.2.2 Amperímetro AMP 320 .....	18
3.2.3 Vatímetro (Monofásico y trifásico) .....	21
3.2.4 Fuente de Tensión (Monofásico y trifásico) .....	23
3.2.5 Transformadores (Monofásico y trifásico) .....	25
3.2.6 Cargas RLC (Monofásicas y trifásicas) .....	27
3.3. Presentación de las prácticas.....	30
3.4. Prácticas del módulo .....	30
3.4.1. Práctica de Cortocircuito en transformadores monofásicos.....	30
3.4.2. Práctica de Circuito abierto en transformadores monofásicos.....	31
3.4.3. Práctica de Regulación y eficiencia en transformadores monofásicos .....	32
3.4.4. Práctica de determinación del grupo de conexión en transformadores trifásicos.....	33
3.4.5. Práctica de Cortocircuito en transformadores trifásicos .....	35

3.4.6. Práctica de Circuito abierto en transformadores trifásicos .....	36
3.4.7. Práctica de Regulación y eficiencia en transformadores trifásicos.....	37
3.5. Evaluación de las prácticas. ....	38
3.5.1. Diseño de la App.....	38
4. Conclusiones .....	44
Referencias bibliográficas.....	45
Apéndices.....	47

**Lista de Figuras**

Figura 1. Rango del voltímetro Fluke 117.....	16
Figura 2. Construcción interna del medidor. ....	16
Figura 3. Código de la máscara del multímetro.....	17
Figura 4. Editor de máscara de multímetro.....	18
Figura 5. Rango de funcionamiento del amperímetro AMP 320.....	18
Figura 6. Diagrama de bloques del amperímetro AMP 320.....	19
Figura 7. Código de la máscara del amperímetro. ....	20
Figura 8. Editor de mascara del amperímetro.....	20
Figura 9. Construcción interna vatímetro monofásico.....	21
Figura 10. Construcción interna vatímetro trifásico. ....	22
Figura 11. Previsualización Vatímetro trifásico .....	22
Figura 12. Previsualización vatímetro monofásico.....	22
Figura 13. Editor de mascara del vatímetro en su versión monofásica y trifásica.....	23
<b>Figura 14.</b> Diagrama de bloques de la fuente monofásica.....	23
Figura 15. Diagrama de bloques de la fuente Trifásica. ....	24
Figura 16. Editor de mascara de la fuente.....	24
Figura 17. Previsualización de las fuentes.....	25
Figura 18. Editor de máscara transformador monofásico.....	25
Figura 19. Cuadro de texto transformador monofásico .....	26
Figura 20. Editor de máscara transformador trifásico .....	27
Figura 21. Cuadro de texto transformador trifásico.....	27
Figura 22. Diagrama de bloques de la carga monofásica. ....	28

Figura 23. Diagrama de bloques de la carga trifásica .....	28
Figura 24. Código de la máscara para carga monofásica y trifásica .....	29
Figura 25. Código de la máscara para carga monofásica y trifásica .....	29
Figura 26. Práctica de cortocircuito .....	31
Figura 27. Conexiones de la práctica de cortocircuito.....	31
Figura 28. Práctica de circuito abierto .....	32
Figura 29. Conexiones de la práctica de circuito abierto.....	32
Figura 30. Práctica de regulación y eficiencia .....	33
Figura 31. Conexiones de la Práctica de regulación y eficiencia .....	33
Figura 32. Práctica de determinación del grupo horario en transformadores trifásicos .....	34
Figura 33. Conexiones en la Práctica de determinación del grupo horario en transformadores trifásicos.....	34
Figura 34. Práctica de cortocircuito en transformadores trifásicos.....	35
Figura 35. Conexiones de práctica de cortocircuito en transformadores trifásicos .....	35
Figura 36. Práctica de circuito abierto en transformadores trifásicos.....	36
Figura 37. Conexiones de la Práctica de circuito abierto en transformadores trifásicos. ....	36
Figura 38. Práctica de Regulación y eficiencia en transformadores trifásicos .....	37
Figura 39. Conexiones de la práctica de Regulación y eficiencia en transformadores trifásicos. 37	
Figura 40. Primera parte del código de los cuestionarios .....	38
<b>Figura 41.</b> Ejemplo con preguntas incorrectas.....	39
Figura 42. Ejemplo con preguntas correctas.....	39
Figura 43. Segunda parte del código de los cuestionarios .....	40
Figura 44. Cuestionario con retroalimentación.....	40

Figura 45. Generación del PDF .....	41
Figura 46. Advertencia de la app al no llenar los datos del estudiante en los cuestionarios .....	42
Figura 47. Última sección del código de los cuestionarios.....	42
Figura 48. Mensaje de la app al crear el informe.....	43

**Lista de Apéndices**

Apéndice A. Cuestionario prueba de cortocircuito en transformadores monofásicos .....	47
Apéndice B. Cuestionario prueba de Circuito abierto en transformadores monofásicos .....	47
Apéndice C. Cuestionario prueba de Regulación y eficiencia en transformadores trifásicos .....	48
Apéndice D. Cuestionario prueba de determinación del grupo de conexión en transformadores trifásicos .....	48
Apéndice E. Cuestionario prueba de Cortocircuito en transformadores trifásicos .....	49
Apéndice F. Cuestionario prueba de circuito abierto en transformadores trifásicos .....	49
Apéndice G. Cuestionario prueba de regulación y eficiencia en transformadores trifásicos .....	50

## GLOSARIO

**Corriente nominal:** valor de corriente que un transformador puede manejar de manera continua sin sobrecalentarse.

**Diagrama fasorial:** representación gráfica de magnitudes eléctricas en forma de vectores, utilizado para analizar conexiones en transformadores trifásicos.

**Eficiencia:** relación entre la potencia de salida y la potencia de entrada en un transformador, expresada como porcentaje.

**Ensayo eléctrico:** procedimiento estandarizado (según normas NTC) para validar el rendimiento y seguridad de transformadores.

**NTC (Norma Técnica Colombiana):** La NTC (Norma Técnica Colombiana) es un conjunto de estándares elaborados por ICONTEC para garantizar la calidad y seguridad en productos y servicios en Colombia. Entre ellas, la NTC 2050, conocida como el Código Eléctrico Colombiano, regula específicamente el diseño, instalación y mantenimiento de instalaciones eléctricas, con el fin de prevenir riesgos y asegurar la eficiencia.

**Pérdidas sin carga:** Las pérdidas sin carga de un transformador se deben principalmente a las pérdidas en el hierro del núcleo, causadas por el campo magnético, y dependen de la magnitud, frecuencia, densidad de flujo y forma de onda de la tensión aplicada.

**Pérdidas con carga(cortocircuito):** Las pérdidas con carga incluyen las pérdidas  $I^2R$  en los devanados por la corriente de carga y pérdidas adicionales por corrientes parásitas inducidas por el flujo de dispersión en componentes como devanados, núcleo, pantallas magnéticas y otras partes conductoras.

**Preinforme:** documento generado automáticamente por la aplicación, que resume las respuestas y la retroalimentación de cada práctica.

**Regulación de voltaje:** La regulación de voltaje es la capacidad de un transformador o sistema eléctrico para mantener un voltaje constante en su salida, a pesar de las variaciones en la carga conectada. Se mide como la diferencia entre el voltaje sin carga y con carga plena, expresada como un porcentaje del voltaje sin carga.

**Subsistema en Simulink:** bloque que encapsula un conjunto de componentes lógicos para simplificar modelos complejos.

**Tensión nominal:** valor de tensión especificado por el fabricante para el funcionamiento óptimo de un transformador.

**Transformador monofásico:** dispositivo eléctrico que modifica los niveles de tensión y corriente en sistemas de energía eléctrica de una sola fase.

**Transformador trifásico:** dispositivo eléctrico utilizado para modificar los niveles de tensión y corriente en sistemas de energía trifásica, común en redes eléctricas industriales.

**Vatímetro:** instrumento virtual diseñado en Simulink para medir potencia activa en circuitos monofásicos o trifásicos.

## Resumen

**Título:** Desarrollo de un módulo de prácticas virtuales de laboratorio de transformadores usando Simscape Electrical de Simulink\*

**Autor:** Dilan Alejandro Betancourt Macias\*\*

**Palabras Clave:** Prácticas virtuales, transformadores eléctricos, Modulo de simulación, Simulink.

## Descripción:

Las prácticas de laboratorio de ingeniería eléctrica en la UIS han seguido tradicionalmente un enfoque conductista, basado en la realización de procedimientos en el laboratorio descritos en guías previamente diseñadas. Sin embargo, la diversidad de software y su fácil accesibilidad han abierto nuevas oportunidades para reformular el enfoque sobre cómo deben llevarse a cabo estas prácticas.

En este contexto, el presente proyecto propone la creación de un módulo de prácticas virtuales utilizando Simscape Electrical de Simulink, con el objetivo de replicar el entorno del laboratorio de transformadores y ofrecer una alternativa flexible y accesible. Además, busca servir como un recurso útil en situaciones donde el acceso al laboratorio sea limitado, así como complementar los conocimientos adquiridos en las prácticas presenciales.

Este módulo busca apoyar la enseñanza práctica al permitir la simulación de diferentes escenarios sin riesgos para los equipos o los estudiantes, reforzando el desarrollo de los conceptos y mejorando la experiencia en el laboratorio. Además, proporciona una inducción sobre algunos equipos disponibles en las instalaciones.

Adicionalmente, su capacidad de adaptación facilita su expansión a otras prácticas, como las de motores y generadores, sirviendo de base para futuras aplicaciones, promoviendo un aprendizaje más dinámico, flexible y alineado con las demandas del mercado actual.

---

\* Trabajo de Grado

\*\*Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingenierías eléctrica, electrónica y telecomunicaciones. Ingeniería Eléctrica. Guillermo Andrés Díaz Flórez. PhD Ingeniería Eléctrica

**Abstract**

**Title:** Development of a Virtual Practice Module for Transformer Laboratory Using Simscape Electrical in Simulink<sup>\*</sup>

**Author(s):** Dilan Alejandro Betancourt Macias<sup>\*\*</sup>

**Key Words:** Virtual Practices, Electric transformers, Simulation Module, Simulink

**Description:**

The electrical engineering laboratory practices at UIS have traditionally followed a behaviorist approach, based on performing procedures in the laboratory as described in pre-designed guides. However, the diversity of software and its easy accessibility have opened new opportunities to rethink how these practices should be conducted.

In this context, the present project proposes the creation of a virtual practice module using Simscape Electrical from Simulink, with the goal of replicating the transformer laboratory environment and offering a flexible and accessible alternative. Additionally, it aims to serve as a useful resource in situations where access to the laboratory is limited, as well as to complement the knowledge acquired in in-person practices.

This module seeks to support practical learning by allowing the simulation of different scenarios without risks to the equipment or students, reinforcing concept development and improving the laboratory experience. Furthermore, it provides an introduction to some of the equipment available in the facilities.

Additionally, its adaptability facilitates expansion to other practices, such as those involving motors and generators, serving as a foundation for future applications and promoting a more dynamic, flexible learning approach aligned with current market demands.

---

<sup>\*</sup> Degree Work

<sup>\*\*</sup> Faculty of Physicomechanical Engineering, School of Electrical, Electronic, and Telecommunications Engineering, Electrical Engineering. Guillermo Andrés Díaz Flórez, PhD Electric engineering

### **Introducción**

Actualmente, los softwares de simulación se han vuelto muy accesibles y fáciles de usar, facilitado su implementación en entornos educativos como la asignatura de máquinas eléctricas. Durante la pandemia, las instituciones migraron a entornos controlados por estas herramientas, demostrando ser útiles para el desarrollo de los conocimientos. Sin embargo, al concluir la pandemia, estas herramientas volvieron a tener un papel secundario en la asignatura, retomando el esquema previo.

Este esquema conductista, aunque efectivo, no contemplaba la aplicación de estas herramientas, por lo que ha quedado rezagado. Esto se ve reforzado por investigaciones previas que, incluso antes de la pandemia, ya habían explorado las diversas aplicaciones de estas herramientas en la enseñanza. Daniels & Shaffer (1998) mencionan que “La disponibilidad de recursos informáticos modernos no solo hace posible la actualización del currículo de las máquinas, sino también necesaria, de manera que las escuelas puedan mantenerse competitivas y satisfacer las expectativas de los estudiantes modernos.” (p. 97).

En ese orden de ideas, este proyecto pretende apoyar a la escuela, desarrollando un módulo de simulación para transformadores. Este módulo busca respaldar la enseñanza, tanto en la transmisión de su componente teórico como en situaciones de contingencia, cuando el acceso al laboratorio sea limitado o no sea posible.

Este módulo de simulación no solo permitirá a los estudiantes aprender y practicar en un entorno seguro y accesible, sino que, al integrar herramientas tecnológicas innovadoras, busca enriquecer el proceso educativo y ofrecer una experiencia más flexible y adaptada a las necesidades y expectativas del mundo educativo actual.

## **1. Objetivos**

### **1.1 Objetivo General**

Desarrollar un módulo de prácticas virtuales de transformadores en Simscape Electrical de Simulink.

### **1.2 Objetivos Específicos**

- Desarrollar modelos virtuales de fuentes, transformadores y de instrumentos de medida como voltímetros, amperímetros y vatímetros.
- Diseñar un conjunto de prácticas de transformadores haciendo uso de los modelos virtuales desarrollados.
- Diseñar una interfaz que permita valorar el aprendizaje logrado mediante las simulaciones y que fomente la retroalimentación a través de cuestionarios.
- Elaborar un instructivo de uso del módulo de prácticas virtuales de transformadores.

## 2. Marco teórico

En Colombia, existe una normativa que establece los procedimientos para las pruebas en transformadores. Estas normas definen los parámetros necesarios para realizar correctamente las pruebas en estos equipos y se aplican en las prácticas de laboratorio. Las normas aplicables son:

- NTC 380:2023 – Transformadores eléctricos: Ensayos eléctricos. Generalidades.
- NTC 471:2017 – Transformadores: Relación de transformación, polaridad y relación de fase.
- NTC 317:1998 – Electrotecnia: Transformadores de potencia y distribución.  
Terminología.
- NTC 1031:2022 – Transformadores: Ensayos para la determinación de pérdidas y corriente sin carga.
- NTC 1005:2022 – Transformadores: Determinación de la tensión de cortocircuito y pérdidas con carga.

Estas normas también definen los procedimientos para realizar cálculos y mediciones en transformadores monofásicos y trifásicos, sirviendo como guía para la planificación de pruebas en laboratorios y para la enseñanza de las prácticas de la industria. Por lo tanto, es necesario tener en cuenta estos documentos para el desarrollo de este proyecto.

### **3. Desarrollo del Módulo**

Primero, se realizó un registro de los equipos necesarios para llevar a cabo las prácticas y se verificó cuáles estaban disponibles en el laboratorio de la universidad. Con base en estos equipos, se inició la construcción de los modelos en Simulink, utilizando sus características físicas para representarlos de manera precisa. Además, el módulo se complementó con equipos adicionales para hacer las prácticas más versátiles y optimizar su ejecución.

Para el diseño de las prácticas, se tomaron en cuenta las guías de laboratorio utilizadas en la asignatura de máquinas eléctricas de la Universidad Industrial de Santander y distribuidas a los estudiantes como referencia, asegurando que el módulo sirviera como introducción a dichas actividades. Su construcción combinó elementos visuales y código para desarrollar un módulo funcional y visualmente atractivo. Para ello, se utilizaron subsistemas que encapsulan la lógica interna de los dispositivos, lo que permitió simplificar las prácticas y evitar que resultaran demasiado recargadas. Asimismo, se desarrollaron máscaras que mejoran la interactividad para el usuario.

#### **3.1 Alcance del módulo**

Este módulo está diseñado exclusivamente para las prácticas de transformadores, por lo que no incluirá laboratorios de otras máquinas eléctricas. Además, el proyecto se enfoca en la creación del módulo, pero no en su implementación dentro del currículo de la carrera. Las prácticas se llevarán a cabo en estado estable, ya que bajo estas condiciones se realizan los laboratorios en transformadores en la universidad.

#### **3.2 Presentación de los equipos**

A continuación, se describirán los modelos de los medidores y dispositivos incluidos en las prácticas, cada uno con su propia lógica y funcionamiento interno.

### 3.2.1 Multímetro Fluke 117

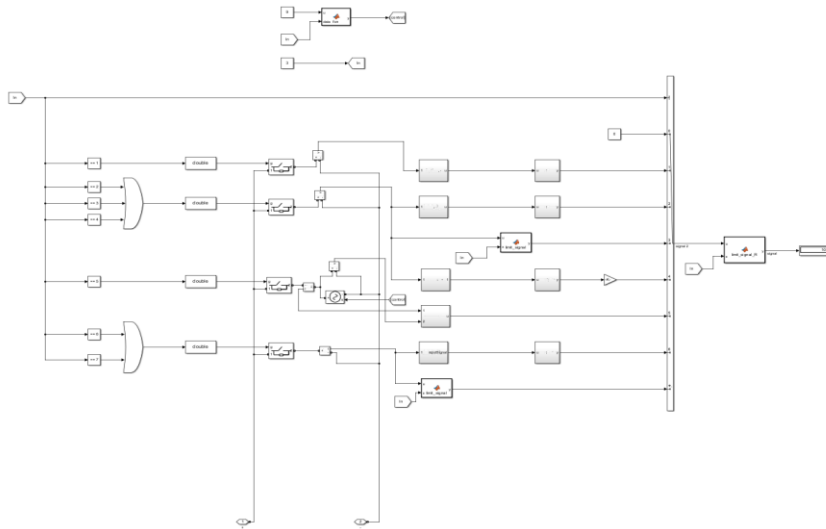
El diseño del multímetro Fluke 117 se basa en sus especificaciones de fábrica. Tiene la capacidad de medir voltaje y corriente en AC y DC, así como resistencia. Sus especificaciones se detallan en la figura 1.

**Figura 1.** Rango del voltímetro Fluke 117.

Función	Rango
Au-V	600 V
V~	600 V
V=	600 V
mV=	500 mV
$\Omega$	0.1-40M $\Omega$
A~	10 Amp
A=	10 Amp

El funcionamiento interno del multímetro consta de implementación de un bloque “Constant”, que actúa como un control interno del dispositivo. Este bloque está vinculado a la máscara y determina el tipo de magnitud a medir. Luego, se implementaron siete bloques “Compare to Constant”, que funcionan como filtros para activar el circuito deseado. Los bloques posteriores a los medidores de corriente y tensión determinan el valor RMS de la señal medida y, además, se utilizaron bloques MATLAB Function para verificar si la señal se encontraba dentro de los rangos de medida establecidos. Finalmente, la señal resultante se muestra en una pantalla, donde los resultados son presentados al usuario de la práctica. El diagrama de bloques en Simulink del multímetro es presentado en la figura 2.

**Figura 2.** Construcción interna del medidor.



La máscara, además de controlar la magnitud a medir y gestionar el aspecto visual del equipo, impide el acceso del usuario a los elementos internos del bloque. Asimismo, incluye una breve descripción de este. En las Figuras 3 y 4 se muestran el código empelado junto con el editor de la máscara, el cual es el encargado de introducir los

**Figura 3.** Código de la máscara del multímetro

```

% Initialization code section
function initialization()
set_param(gcf, 'MaskHideContents', 'off');
end

% Parameter callback section

% Callback for Magnitud
function Magnitud_callback()
% Obtener el valor seleccionado del Popup
selectedMode = get_param(gcf, 'Magnitud'); % Nombre del parámetro en Mask Editor

% Mapeo de nombres del popup a nombres de archivos de imagen
imageMap = containers.Map(...
    {'OFF', 'Au-V', 'V-', 'V-', 'mV-', 'Q', 'A~', 'A-'}, ...
    {'OFF.png', 'p1.png', 'p2.png', 'p3.png', 'p4.png', 'p5.png', 'p6.png', 'p7.png'});

% Mapeo de valores para la constante (0 a 7)
constantValues = containers.Map(...
    {'OFF', 'Au-V', 'V-', 'V-', 'mV-', 'Q', 'A~', 'A-'}, ...
    {0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7});

% Verificar si selectedMode existe en los diccionarios
if imageMap.isKey(selectedMode) && constantValues.isKey(selectedMode)
    imageName = imageMap(selectedMode);
    constantValue = constantValues(selectedMode);
else
    return
end

% Definir la ruta de la imagen
imgPath = fullfile('MPS_library/mascaras/Imagenes_medidores/', imageName);

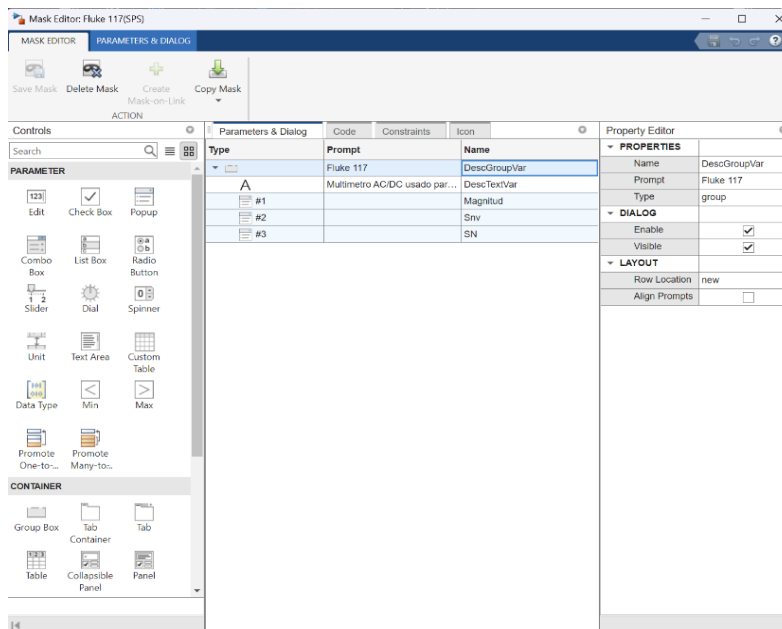
% Cambiar la imagen de la máscara
set_param(gcf, 'MaskDisplay', sprintf('image("%s")', imgPath));

% Modificar el valor del bloque de constante dentro del subsistema
subsystemPath = strcat(gcf, '/Constant'); % Asegurate del nombre correcto del bloque
set_param(subsystemPath, 'Value', num2str(constantValue));
% Modificar el valor del popup Snv automáticamente
if constantValue == 5
    snvValue = '0.00001'; % Valor para Snv cuando constantValue es 5
else
    snvValue = '1e12'; % Valor para Snv en cualquier otro caso
end

% Asignar el nuevo valor a Snv sin hacerlo visible ni editable
set_param(gcf, 'Snv', snvValue);

end
    
```

**Figura 4.** Editor de máscara de multímetro



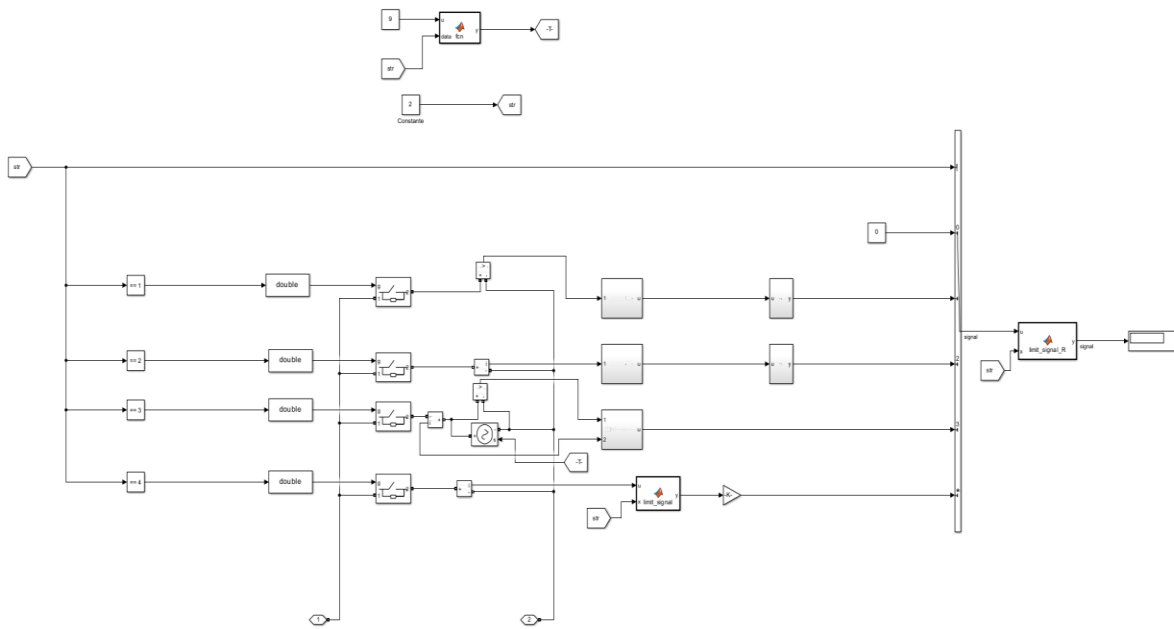
### 3.2.2 Amperímetro AMP 320

El amperímetro, al igual que el multímetro, fue diseñado con base en la ficha técnica del equipo y tiene la capacidad de medir magnitudes tanto en corriente alterna (AC) como en corriente directa (DC). Se utiliza principalmente en las prácticas para medir corriente, ya que soporta niveles más altos que el multímetro Fluke. Su esquema lógico y la construcción de sus bloques son similares a los del multímetro, pero adaptados a las funcionalidades específicas del equipo. Las magnitudes y los rangos de medida se presentan en la figura 5, y su diagrama de bloques, en la figura 6.

**Figura 5.** Rango de funcionamiento del amperímetro AMP 320.

Función	Rango
V~/---	0 V - 600 V
A~/---	0 A - 60 A
$\Omega$	0 $\Omega$ - 6 M $\Omega$
$\mu$ A---	0 A - 2000 $\mu$ A

Figura 6. Diagrama de bloques del amperímetro AMP 320.



Al igual que la máscara del multímetro, la máscara de la pinza amperimétrica cambia el tipo de magnitud a medir y oculta el contenido del bloque a los usuarios. La estructura del código es la misma que la empleada en el multímetro, con la diferencia de que se han ajustado los rangos de medición según las características del equipo. Además, se han realizado modificaciones con respecto al equipo real, omitiendo funcionalidades como la medición de continuidad y la capacidad de medir capacitancia, ya que no van de acuerdo con la metodología del proyecto. En la figura 7 se muestra la máscara del amperímetro, además en la figura 8, se muestra el editor de máscara con las variables que contiene.

**Figura 7.** Código de la máscara del amperímetro.

```

function initialization()
set_param(gcb, 'MaskHideContents', 'on');
end

% Parameter callback section

% Callback for Magnitud
function Magnitud_callback()
% Obtener el valor seleccionado del Popup
selectedMode = get_param(gcb, 'Magnitud'); % Nombre del parámetro en Mask Editor

% Mapeo de nombres del popup a nombres de archivos de imagen
imageMap = containers.Map(...
{'Off', 'V~/-', 'A~/-', 'Ω', 'μA-'}, ...
{'Offpa.png', 'pa1.png', 'pa2.png', 'pa3.png', 'pa4.png'});

% Mapeo de valores para la constante (0 a 7)
constantValues = containers.Map(...
{'Off', 'V~/-', 'A~/-', 'Ω', 'μA-'}, ...
{0, 1, 2, 3, 4});

% Verificar si selectedMode existe en los diccionarios
if imageMap.isKey(selectedMode) && constantValues.isKey(selectedMode)
    imageName = imageMap(selectedMode);
    constantValue = constantValues(selectedMode);
else
    return
end

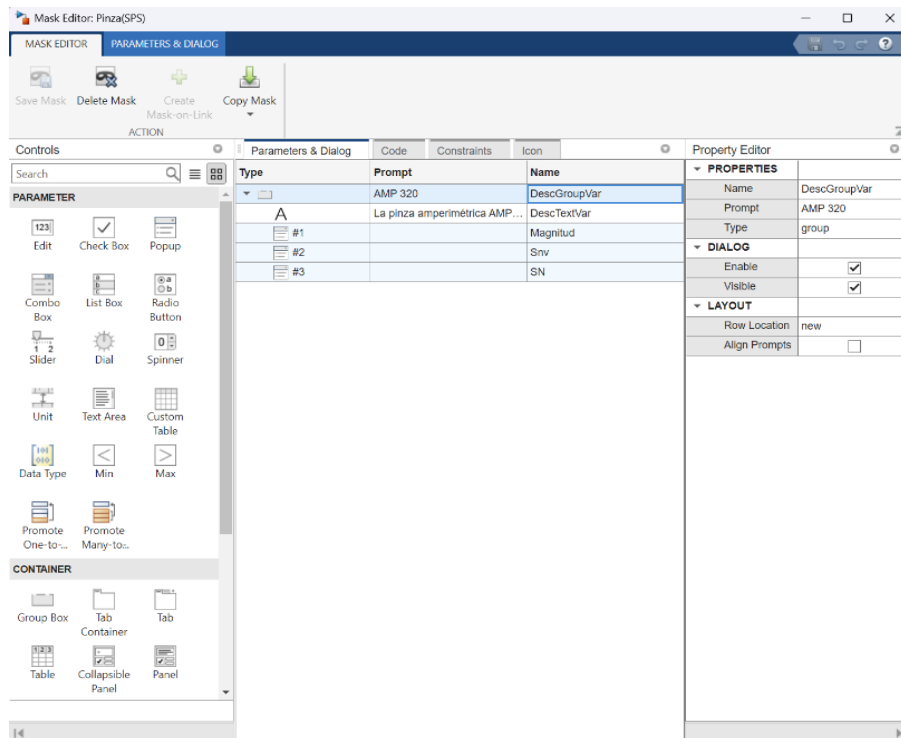
% Definir la ruta de la imagen
imgPath = fullfile("MPS_library/mascaras/Imagenes_medidores/", imageName);

% Cambiar la imagen de la máscara
set_param(gcb, 'MaskDisplay', sprintf('image("%s")', imgPath));

% Modificar el valor del bloque de constante dentro del subsistema
subsystemPath = strcat(gcb, '/Constante'); % Asegúrate del nombre correcto del bloque
set_param(subsystemPath, 'Value', num2str(constantValue));
if constantValue == 3
    snvValue = '0.00001'; % Valor para Snv cuando constantValue es 5
    SNValue = '1e12';
else
    snvValue = '1e12'; % Valor para Snv en cualquier otro caso
    SNValue = '1e4';
end
% Asignar el nuevo valor a Snv sin hacerlo visible ni editable
set_param(gcb, 'Snv', snvValue);
set_param(gcb, 'SN', SNValue);
end

```

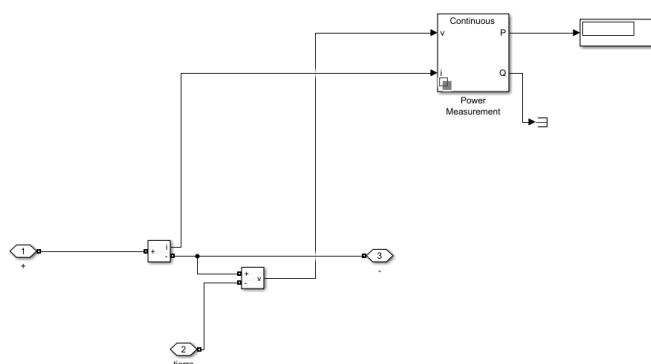
**Figura 8.** Editor de máscara del amperímetro



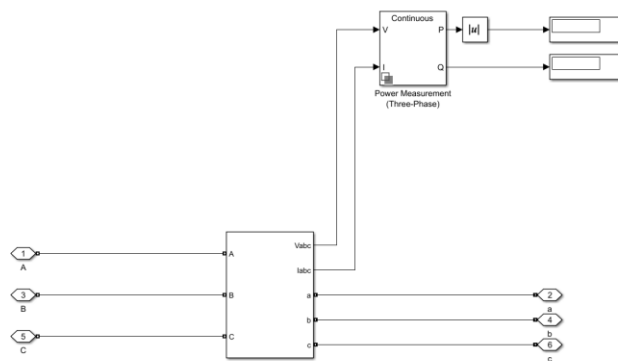
### 3.2.3 Vatímetro (Monofásico y trifásico)

El laboratorio dispone de vatímetros análogos monofásicos, pero no cuenta con vatímetros trifásicos; en las prácticas, estos solo muestran la potencia activa del circuito, ya que, al no contar con una referencia digital, no se incluyeron más características. La construcción de los bloques para ambos equipos se presenta en las figuras 9 y 10.

**Figura 9.** Construcción interna vatímetro monofásico.

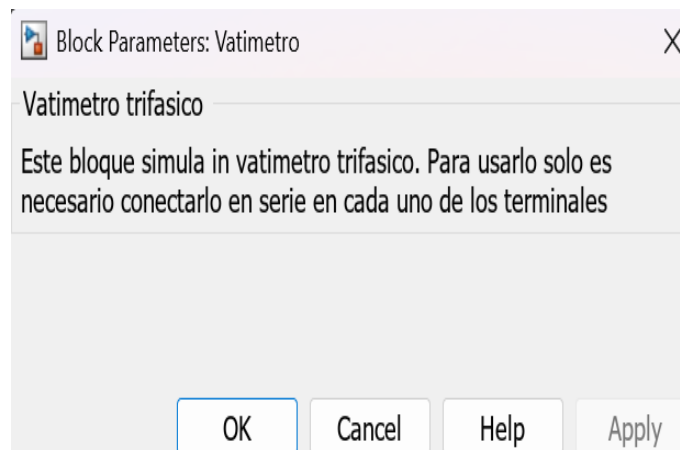


**Figura 10.** Construcción interna vatímetro trifásico.

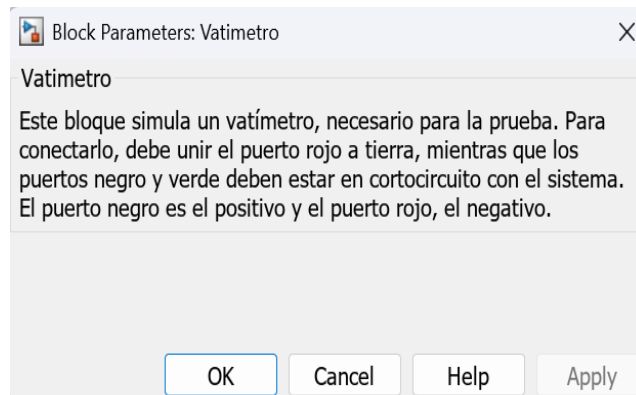


En este equipo, la máscara oculta los elementos internos para evitar que el usuario modifique su configuración. Por otro lado, el editor de máscaras controla el aspecto del equipo y proporciona una breve descripción de este, así como instrucciones para su conexión. Las figuras 11,12 y 13 muestran el editor de máscaras y su previsualización para el usuario tanto para el modelo monofásico como el trifásico.

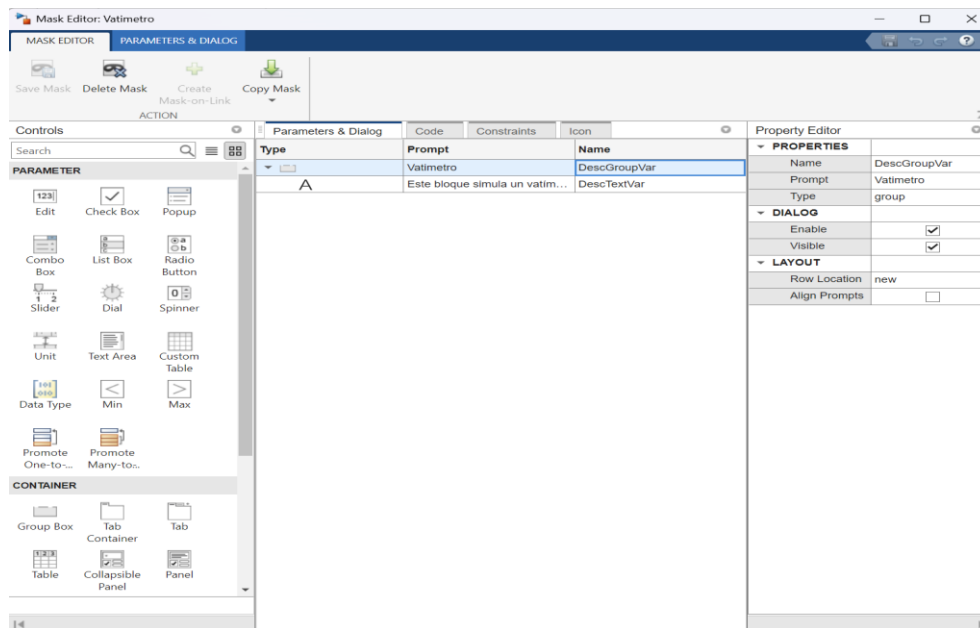
**Figura 11.** Previsualización Vatímetro trifásico



**Figura 12.** Previsualización vatímetro monofásico



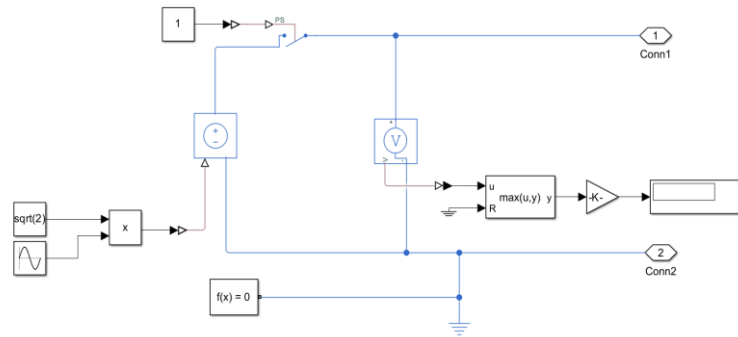
**Figura 13.** Editor de mascara del vatímetro en su versión monofásica y trifásica



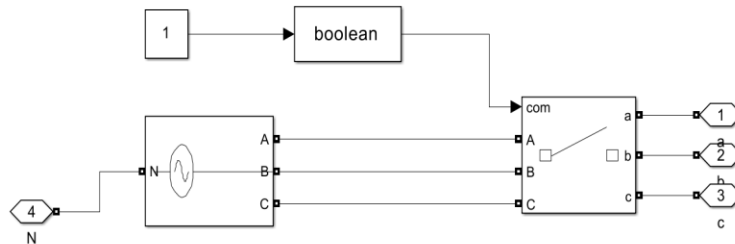
**3.2.4 Fuente de Tensión (Monofásico y trifásico)**

La fuente de tensión utilizada en las prácticas simula el funcionamiento de los generadores de voltaje empleados para alimentar los equipos de laboratorio. Al igual que el vatímetro, cuenta con dos versiones: monofásica y trifásica; sin embargo, su funcionamiento es similar. En la figura 14 y 15 se muestra el diagrama de bloques tanto de la fuente trifásica como la monofásica:

**Figura 14.** Diagrama de bloques de la fuente monofásica.

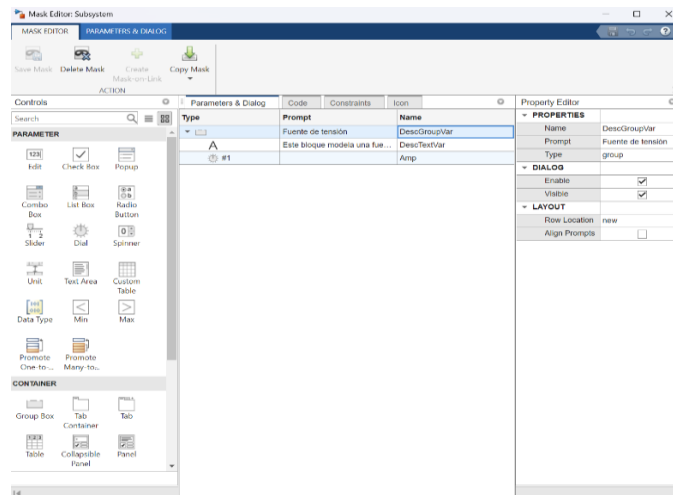


**Figura 15.** Diagrama de bloques de la fuente Trifásica.

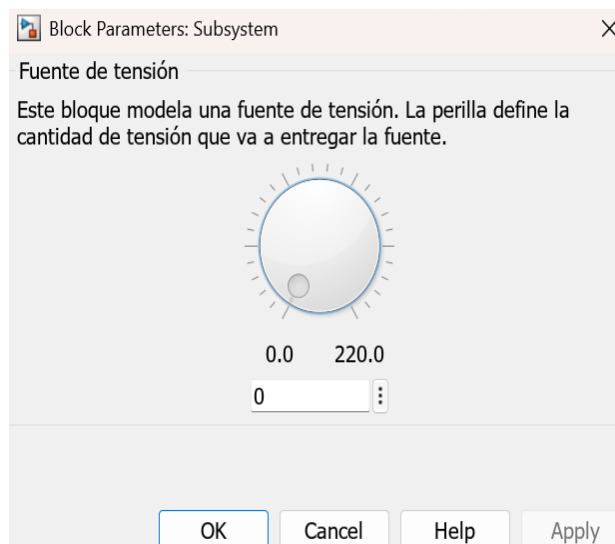


Para las fuentes, el editor de máscara está configurado para mostrar al usuario una perilla que regula la tensión a medir, imitando el funcionamiento de las fuentes disponibles en el laboratorio. Además, las fuentes cuentan con una pantalla que muestra el voltaje que están aplicando al circuito y un interruptor que enciende o apaga la fuente. Esto se aplica tanto a la versión monofásica como a la trifásica. En las figuras 16 y 17 se muestran el editor de máscara de ambas fuentes y sus parámetros de configuración.

**Figura 16.** Editor de máscara de la fuente



**Figura 17.** Previsualización de las fuentes



### 3.2.5 Transformadores (Monofásico y trifásico)

Los modelos de transformadores monofásicos y trifásicos fueron diseñados según los equipos del laboratorio, considerando sus especificaciones de tensión y corriente. Las máscaras ocultan las variables internas y muestran los valores de placa y una imagen del equipo. Las figuras 18 y 19 muestran los elementos del editor de máscara y el cuadro de texto para los estudiantes.

**Figura 18.** Editor de máscara transformador monofásico

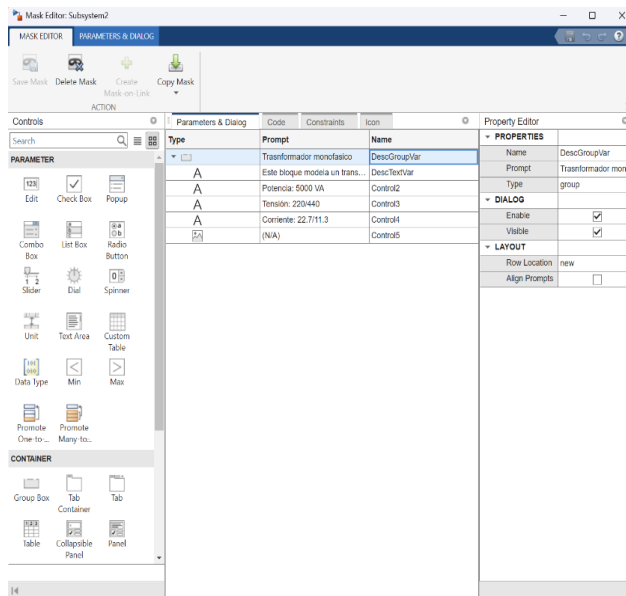
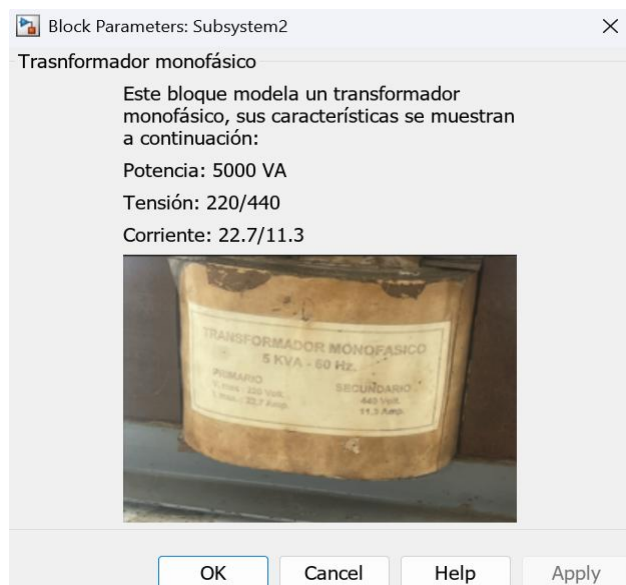
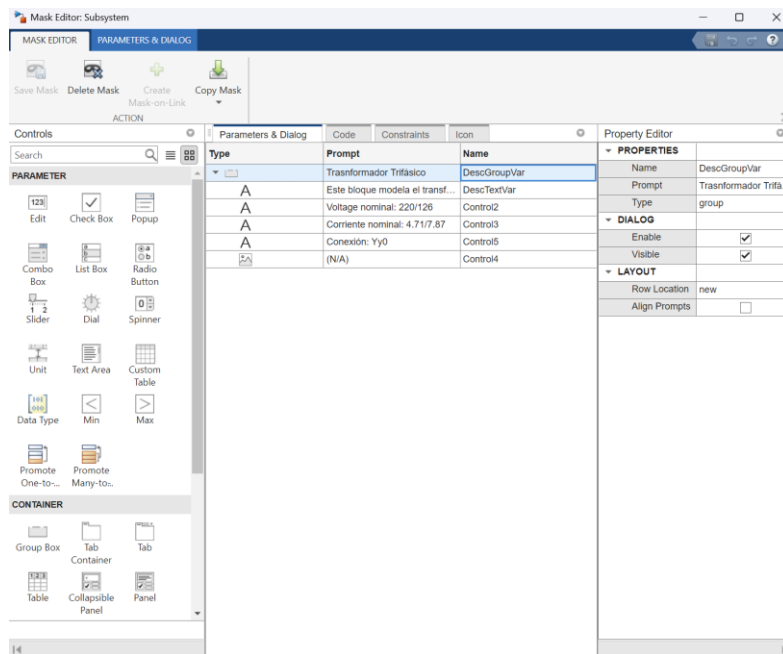


Figura 19. Cuadro de texto transformador monofásico



En las figuras 20 y 21 se muestran los elementos del editor de máscara del transformador trifásico y el cuadro de texto que se presenta a los estudiantes. En el caso de los transformadores trifásicos, además de los datos de la placa, también se mostrará el tipo de conexión del transformador.

**Figura 20.** Editor de máscara transformador trifásico



**Figura 21.** Cuadro de texto transformador trifásico

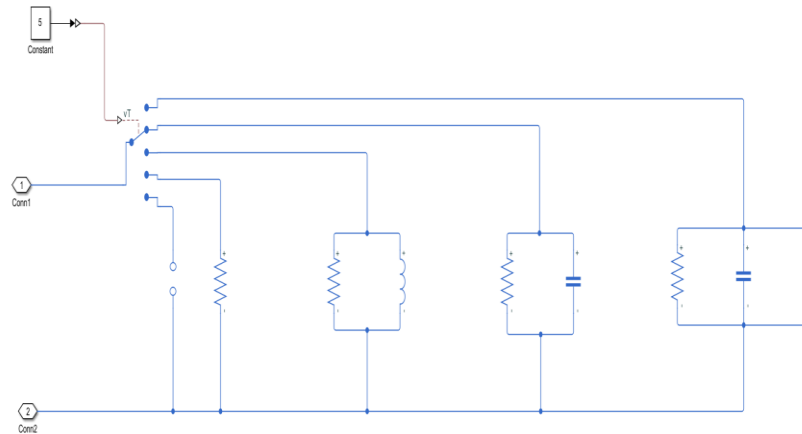


**3.2.6 Cargas RLC (Monofásicas y trifásicas)**

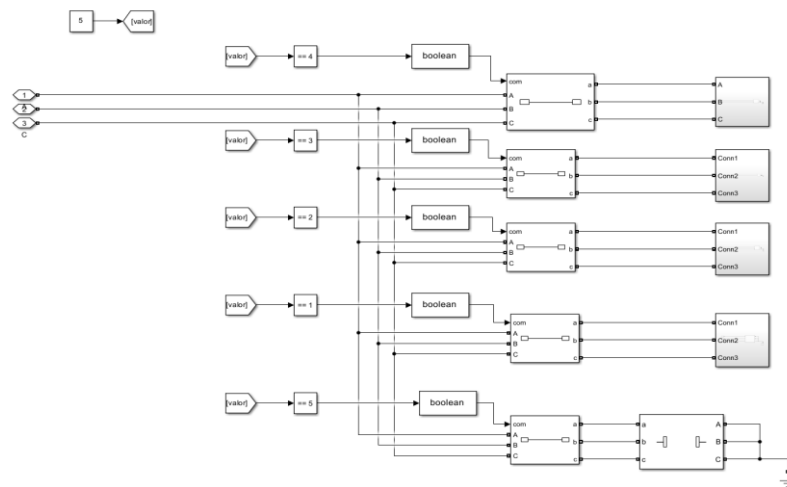
Las cargas RLC están diseñadas para analizar el comportamiento de los transformadores bajo carga. Su diagrama de bloques incluye varios circuitos en paralelo, cada uno con un tipo de

carga diferente. La máscara de las cargas controla los elementos lógicos que determinan qué circuito se conecta, permitiendo al estudiante seleccionar entre R, RL, RC, RLC o sin carga. Los diagramas de bloques de las máscaras monofásica y trifásica se muestran en las figuras 22 y 23.

**Figura 22.** Diagrama de bloques de la carga monofásica.



**Figura 23.** Diagrama de bloques de la carga trifásica.



Además de determinar el tipo de carga a conectar, la máscara también controla el valor de la carga a medir, permitiendo al estudiante acceder a diferentes combinaciones de carga. En la Figura 24 se muestra una porción del código utilizado en la carga monofásica, donde se oculta la

configuración interna de las cargas a los estudiantes. Además, en esta sección del código se obtienen los valores de las cargas establecidos en el editor de máscara.

**Figura 24.** Código de la máscara para carga monofásica y trifásica.

```
% Initialization code section
function initialization()
    set_param(gcb, 'MaskHideContents', 'off');
end

% Parameter callback section

% Callback for carga
function carga_callback()
    carga_str = get_param(gcb, 'carga');

    % Obtener la máscara del bloque actual
    maskObj = Simulink.Mask.get(gcb);

    % Obtener los parámetros de Capacitancia e Inductancia dentro de la máscara
    param_C = maskObj.getParameter('C');
    param_L = maskObj.getParameter('L');
    param_R = maskObj.getParameter('R');
```

En la siguiente porción del código, mostrada en la Figura 25, se determina qué cargas se activan. El código controla qué cargas conectar y desconectar a través de un bloque “constant”, cuyo valor cambia según la configuración de la máscara. Cada circuito tiene un número asignado, el cual es ingresado por la máscara en el bloque “constant”, activando así el circuito deseado.

**Figura 25.** Código de la máscara para carga monofásica y trifásica.

```
% Definir la correspondencia entre nombres y valores numéricos
switch carga_str
    case "Sin carga"
        carga_valor = '5';
        param_R.Visible = 'off'; % Mostrar Resistencia
        param_C.Visible = 'off'; % Mostrar Capacitancia
        param_L.Visible = 'off'; % Mostrar Inductancia
    case 'R' % Solo Resistencia
        carga_valor = '4';
        param_C.Visible = 'off'; % Ocultar Capacitancia
        param_L.Visible = 'off'; % Ocultar Inductancia
        param_R.Visible = 'on'; % Mostrar Resistencia
    case 'RL' % Resistencia + Inductancia
        carga_valor = '3';
        param_C.Visible = 'off'; % Ocultar Capacitancia
        param_L.Visible = 'on'; % Mostrar Inductancia
        param_R.Visible = 'on'; % Mostrar Resistencia
    case 'RC' % Resistencia + Capacitancia
        carga_valor = '2';
        param_C.Visible = 'on'; % Mostrar Capacitancia
        param_L.Visible = 'off'; % Ocultar Inductancia
        param_R.Visible = 'on'; % Mostrar Resistencia
    case 'RLC' % Resistencia + Inductancia + Capacitancia
        carga_valor = '1';
        param_C.Visible = 'on'; % Mostrar Capacitancia
        param_L.Visible = 'on'; % Mostrar Inductancia
        param_R.Visible = 'on'; % Mostrar Resistencia

    otherwise
        carga_valor = '1'; % Valor por defecto en caso de error
end

% Obtener el bloque Constant dentro del subsistema
const_block = [gcb, '/Constant'];

% Asignar el valor correspondiente al bloque Constant
set_param(const_block, 'Value', carga_valor);

end
```

### **3.3. Presentación de las prácticas.**

Para introducir los contenidos de las prácticas y proporcionar una fundamentación teórica, se desarrolló un MATLAB Live Script que reúne toda la información necesaria. Este documento no solo sirve como introducción a las prácticas, sino que también funciona como un instructivo para el usuario, detallando cuáles son los equipos del laboratorio, cómo deben ser utilizados y cuáles son las instrucciones generales del módulo.

Además, este documento brinda una fundamentación teórica sólida sobre las prácticas incluidas en el módulo. Para ello, se presentan y explican las principales fórmulas, conceptos y teorías relacionadas con cada una de las prácticas a realizar. Esto no solo permite al usuario comprender los fundamentos técnicos, sino que también le proporciona las herramientas necesarias para interpretar correctamente los resultados obtenidos.

### **3.4. Prácticas del módulo**

Al ingresar a los modelos de Simulink, los usuarios encontrarán un texto explicativo con las instrucciones principales para desarrollar correctamente la práctica. Este texto está ubicado en la parte izquierda del modelo, mientras que en la parte derecha se encuentran los bloques correspondientes. El usuario debe seguir las instrucciones y realizar la práctica, ya que, al finalizar, deberá responder un cuestionario basado en los resultados obtenidos.

#### ***3.4.1. Práctica de Cortocircuito en transformadores monofásicos***

Según lo establecido por la norma, la práctica de cortocircuito mide las pérdidas con carga del transformador. Adicionalmente, esta prueba tiene como propósito determinar la impedancia de los devanados del transformador, lo cual es necesario para obtener su circuito equivalente. Al ingresar al módulo, el estudiante encontrará los equipos y transformadores

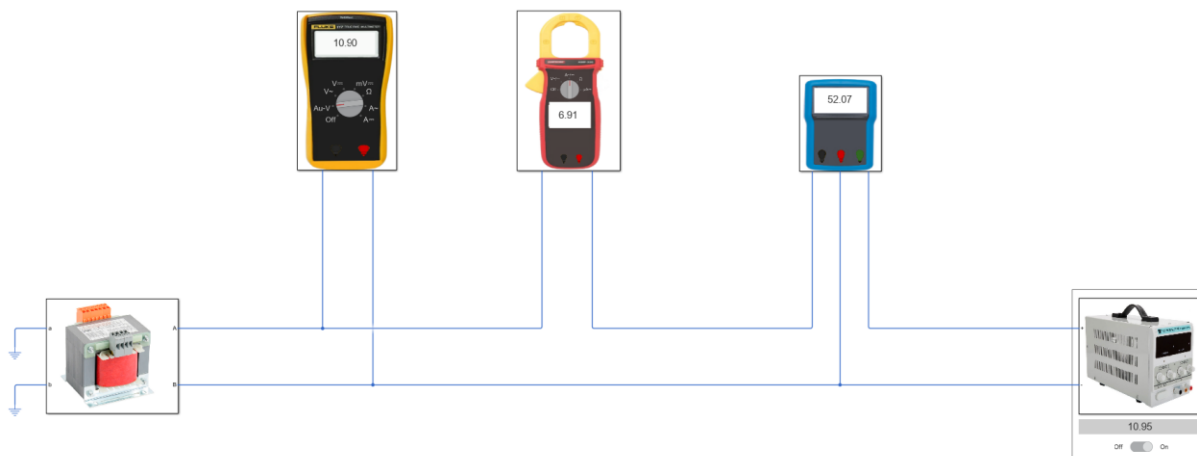
dispuestos de manera que se puedan realizar fácilmente las conexiones. En la figura 26 se muestra cómo están dispuestos los equipos para la prueba.

**Figura 26.** Práctica de cortocircuito



Una vez realizadas las conexiones, los equipos mostrarán las lecturas necesarias para realizar los cálculos. En la figura 27 se muestran las conexiones de la prueba de cortocircuito.

**Figura 27.** Conexiones de la práctica de cortocircuito

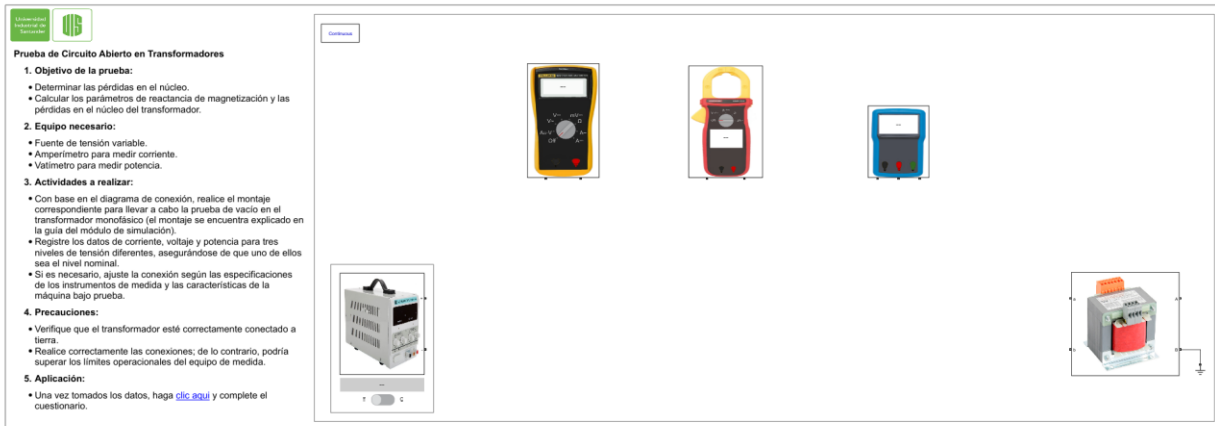


### 3.4.2. Práctica de Circuito abierto en transformadores monofásicos

Para las prácticas de circuito abierto, pretende determinar las pérdidas sin carga de un transformador, además, esta prueba también pretende encontrar los parámetros del circuito

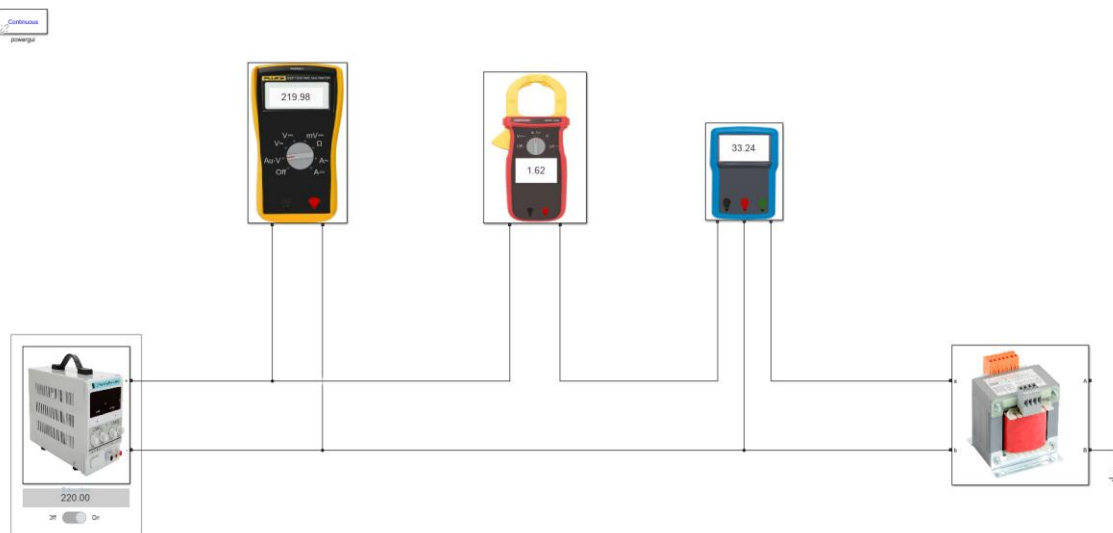
equivalente correspondientes a la rama de magnetización. El esquema de la prueba sin conexiones se presenta en la figura 28.

**Figura 28.** Práctica de circuito abierto



En la figura 29 se muestra cómo se vería la práctica con los conexiones realizadas.

**Figura 29.** Conexiones de la práctica de circuito abierto



**3.4.3. Práctica de Regulación y eficiencia en transformadores monofásicos**

La práctica de regulación y eficiencia busca medir el comportamiento del transformador bajo diferentes tipos de cargas, ya sean R, L, C o RLC. Esto permite evaluar parámetros clave

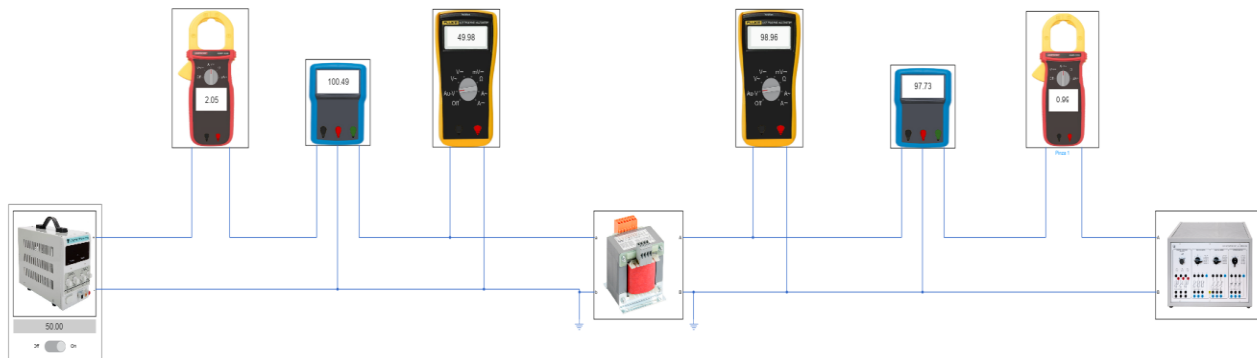
como la variación del voltaje en los devanados primario y secundario, la capacidad del transformador para mantener un suministro estable ante cambios en la demanda y las pérdidas de energía. El diseño de la práctica en Simulink es mostrado en la figura 30:

**Figura 30.** Práctica de regulación y eficiencia



En la figura 31 se muestra cómo se vería la práctica una vez realizada todas las conexiones.

**Figura 31.** Conexiones de la Práctica de regulación y eficiencia

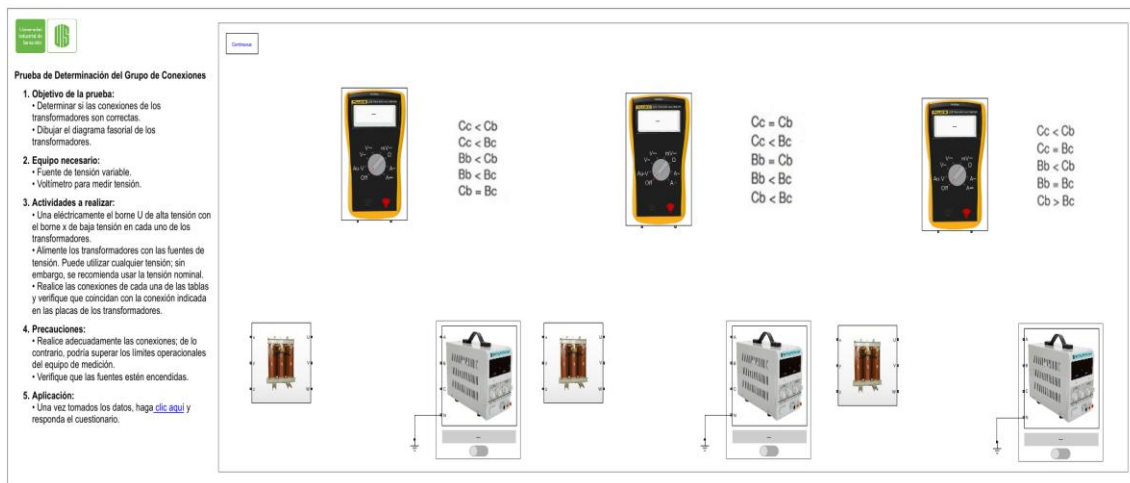


**3.4.4. Práctica de determinación del grupo de conexión en transformadores trifásicos**

La práctica de determinación del grupo de conexión tiene como objetivo instruir sobre cómo identificar la conexión de los devanados de un transformador, mediante la medición de ciertas tensiones entre los devanados y la verificación de su coincidencia con el diagrama fasorial

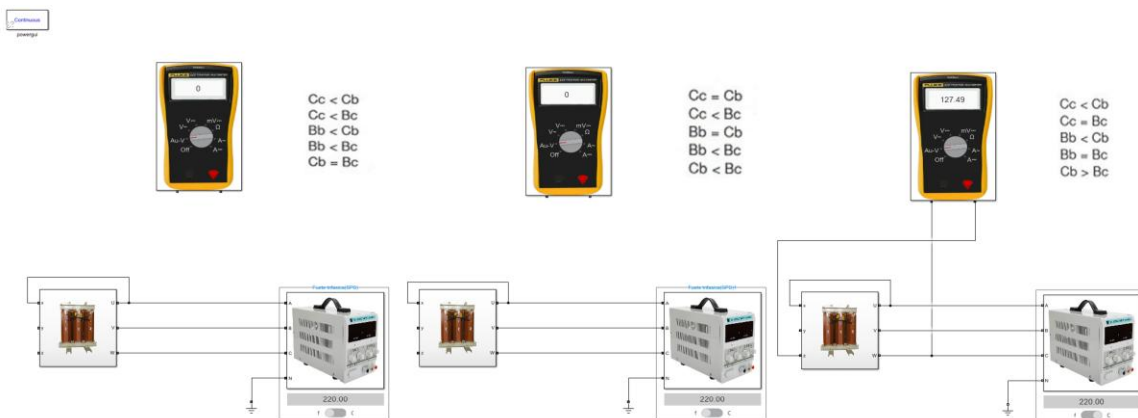
correspondiente. Para esta prueba en Simulink, se diseñaron tres transformadores con diferentes conexiones, y el estudiante deberá comprobar si las condiciones de conexión proporcionadas son correctas y dibujar el diagrama fasorial que demuestre la conexión del transformador. El esquema de Simulink es el siguiente:

**Figura 32.** Práctica de determinación del grupo horario en transformadores trifásicos



En la figura 33 se muestra la práctica una vez realizada las conexiones

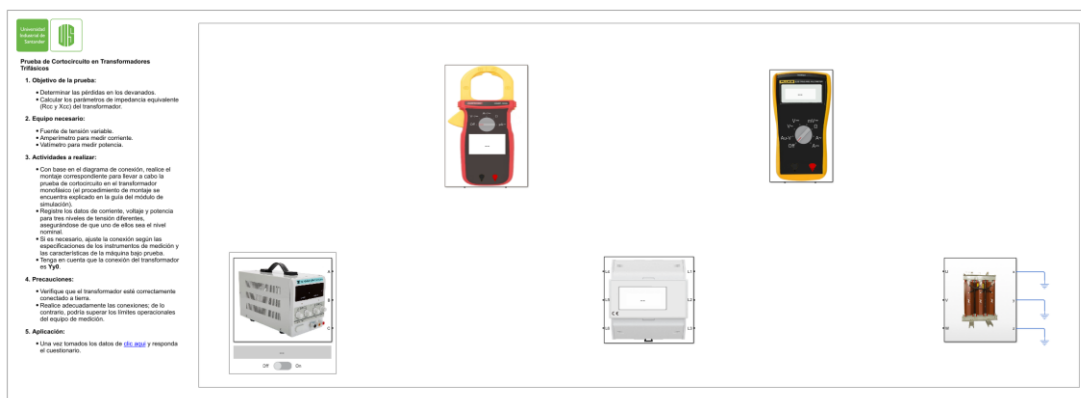
**Figura 33.** Conexiones en la Práctica de determinación del grupo horario en transformadores trifásicos



**3.4.5. Práctica de Cortocircuito en transformadores trifásicos**

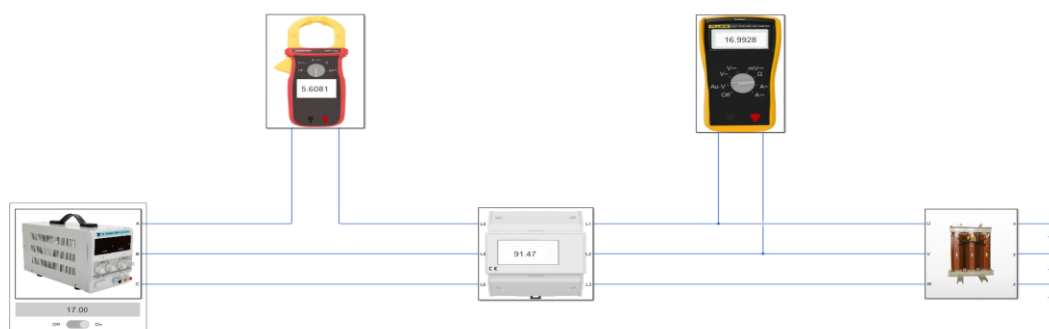
Esta prueba es similar a la prueba de cortocircuito en transformadores monofásicos, ya que sus propósitos son los mismos. Sin embargo, al ser un circuito trifásico, se deben tener en cuenta las consideraciones propias de los circuitos trifásicos, además, los parámetros de circuito determinados en esta prueba son para el equivalente por fase del transformador. En la figura 34 se muestra como se ve la prueba en Simulink.

**Figura 34.** Práctica de cortocircuito en transformadores trifásicos



En la figura 35 se muestra cómo se vería la prueba una vez realizada las conexiones entre los equipos.

**Figura 35.** Conexiones de práctica de cortocircuito en transformadores trifásicos



**3.4.6. Práctica de Circuito abierto en transformadores trifásicos**

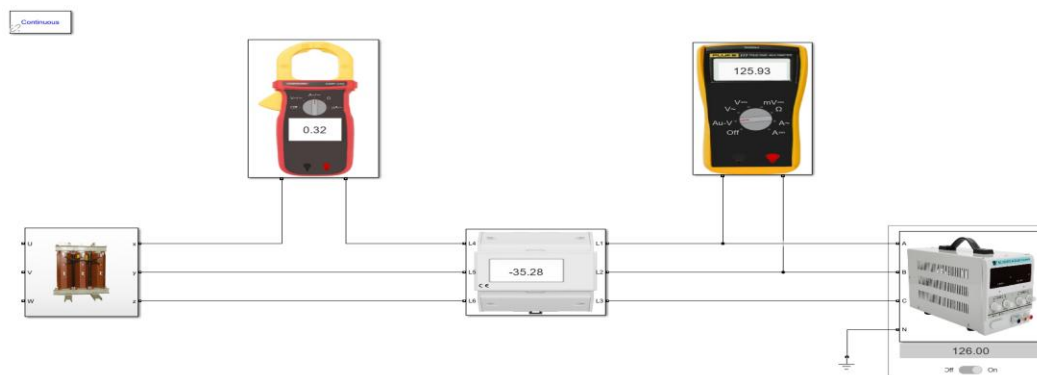
La práctica de circuito abierto en transformadores trifásicos se realiza de forma similar a la de transformadores monofásicos. Además, tiene los mismos propósitos, con la aclaración de que los parámetros del circuito equivalente obtenidos corresponden al equivalente monofásico por fase del transformador, teniendo en cuenta las consideraciones necesarias para circuitos trifásicos. En la figura 36 se muestra el esquema de Simulink.

**Figura 36.** Práctica de circuito abierto en transformadores trifásicos



Una vez realizadas las conexiones en la prueba y ejecutadas las simulaciones, se mostrarán los resultados necesarios para los cálculos. En la figura 37 se muestra la práctica con sus conexiones.

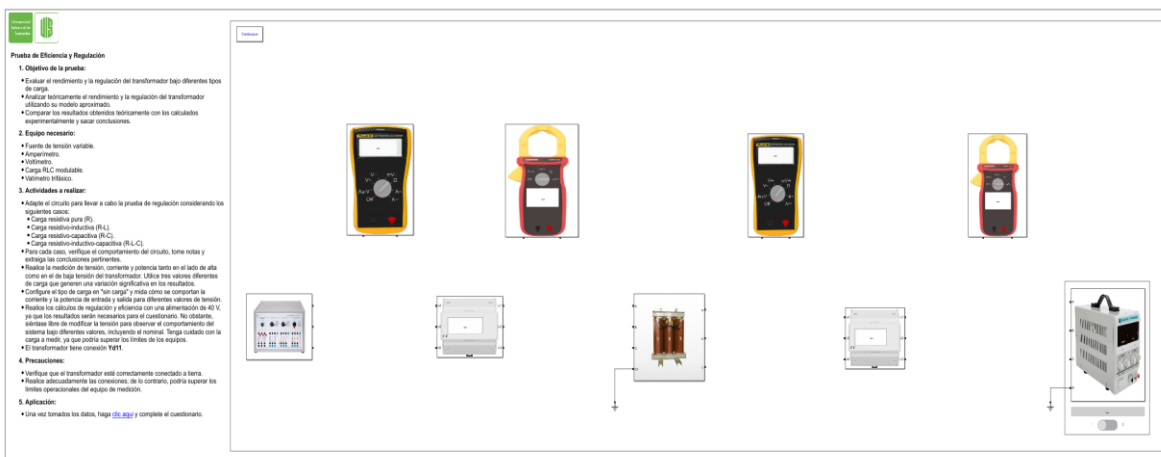
**Figura 37.** Conexiones de la Práctica de circuito abierto en transformadores trifásicos.



### 3.4.7. Práctica de Regulación y eficiencia en transformadores trifásicos

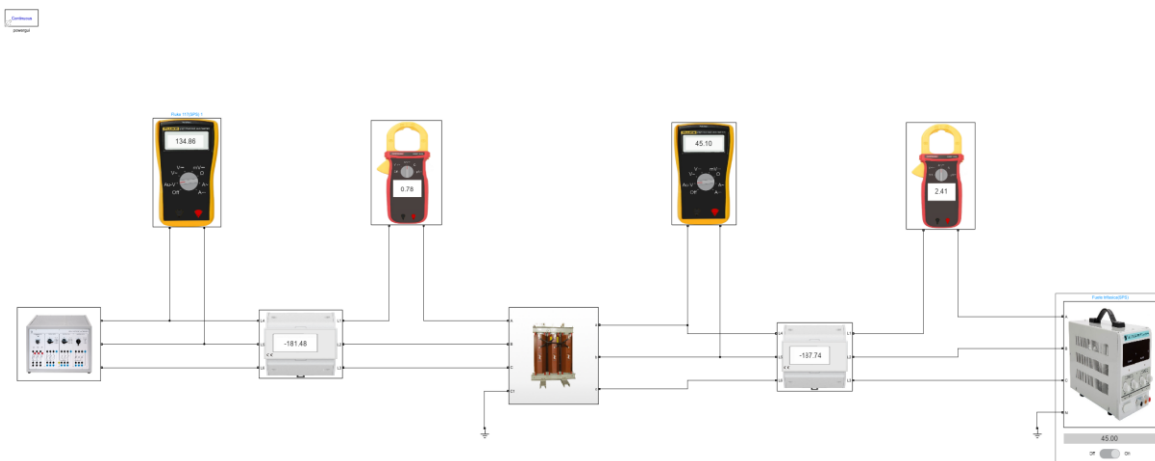
La práctica de regulación en transformadores trifásicos tiene como objetivo determinar la regulación de voltaje y la eficiencia. Para ello, se mide la tensión en el devanado secundario tanto en vacío como bajo carga. A partir de estos valores, se calcula el porcentaje de regulación, lo que permite evaluar el comportamiento del transformador frente a diferentes condiciones de operación. El esquema de Simulink se muestra en la figura 38.

**Figura 38.** Práctica de Regulación y eficiencia en transformadores trifásicos



Para esta práctica, las conexiones realizadas en los equipos se muestran en la figura 39.

**Figura 39.** Conexiones de la práctica de Regulación y eficiencia en transformadores trifásicos



### 3.5. Evaluación de las prácticas.

Para evaluar los resultados de las prácticas, se crearon cuestionarios en MATLAB App Designer, una herramienta que permite desarrollar aplicaciones con interfaz gráfica y se integra fácilmente con Simulink. Se eligió por su variedad de opciones, facilidad de integración y funcionamiento intuitivo.

Se diseñó una plantilla estándar para los cuestionarios, modificando solo las preguntas. Esta incluye preguntas de selección múltiple, que, al ser respondidas correctamente, muestran los resultados y explican los cálculos paso a paso. Al final, se genera un informe en PDF con el cuestionario y la retroalimentación como preinforme de las prácticas.

#### 3.5.1. Diseño de la App

La aplicación consta de dos secciones: una visual, que implementa preguntas, imágenes, botones y retroalimentación, y otra de código, que gestiona el funcionamiento, controla los botones, almacena las respuestas y genera un informe en PDF. Esta sección también maneja la visibilidad de los contenidos según sea necesario. La estructura del código es constante en todas las prácticas, con ajustes específicos para cada una.

La figura 40 muestra la primera parte del código. Al ingresar las respuestas, se comparan con un vector de respuestas correctas, y se indica si son correctas o incorrectas. Si todas son correctas, se habilita una opción para acceder a la explicación del proceso.

**Figura 40.** Primera parte del código de los cuestionarios

```

% Button pushed function: Enviar
function EnviarButtonPushed(app, event)
% Obtener valores de los DropDown
v1 = string(app.DropDown_Value);
v2 = string(app.DropDown_2.Value);
v3 = string(app.DropDown_3.Value);
v4 = string(app.DropDown_4.Value);
v5 = string(app.DropDown_5.Value);

% Respuestas correctas
respuestas_c = ["1.61 A", "1525.35 Ω", "355.65 VA", "136.35 Ω", "345.2 VAR"];

% Arreglo con respuestas del usuario
respuestas = strtrim([v1,v2,v3,v4,v5]);

k = 0;
for j = 1:5
if respuestas(j) ~= respuestas_c(j) % Si la respuesta es incorrecta
k = k + 1; % Incrementar contador
end
end

% Mostrar mensaje basado en el resultado
if k == 0
app.text_1.Visible = 'on'; % Todas correctas
else
app.text_2.Visible = 'on'; % Hay errores
end

% Mostrar el número de respuestas incorrectas (opcional)
app.R_correctas.Value = k;
app.R_correctas.Visible = 'on';
app.R_label.Visible = 'on';

if k == 0
app.R_correctas.Visible = 'off';
app.R_label.Visible = 'off';
app.text_2.Visible = 'off';
app.RetroalimentacionButton.Visible = 'on';
end
end

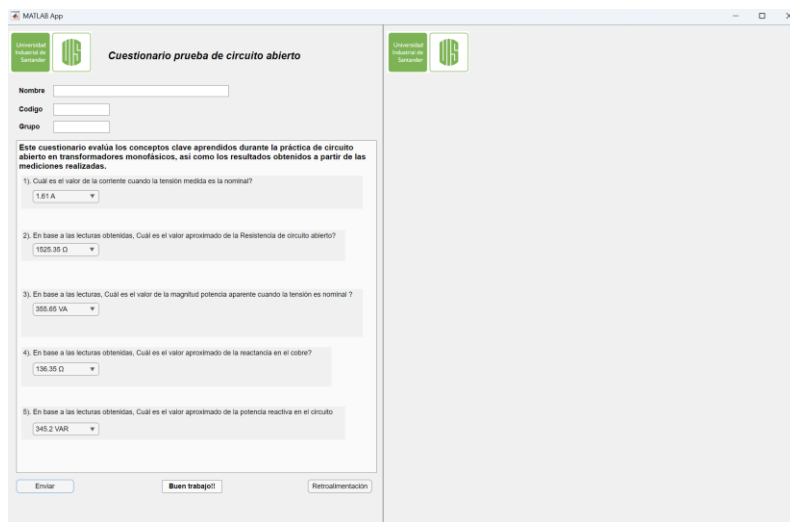
```

En caso de que haya respuestas incorrectas, el código mostrará un bloque de texto indicando el número de errores esto es. Esto se muestra en la figura 41

**Figura 41.** Ejemplo con preguntas incorrectas

Si todas las respuestas son correctas, habilitará un botón llamado “retroalimentación” que permite acceder a la sección donde se explica el proceso de obtención de los resultados. Esto es mostrado en la figura 42.

**Figura 42.** Ejemplo con preguntas correctas



El siguiente código, mostrado en la figura 43, define que al hacer clic en el botón "Retroalimentación", se mostrará el procedimiento para obtener los resultados y se deshabilitará la opción de modificar las respuestas.

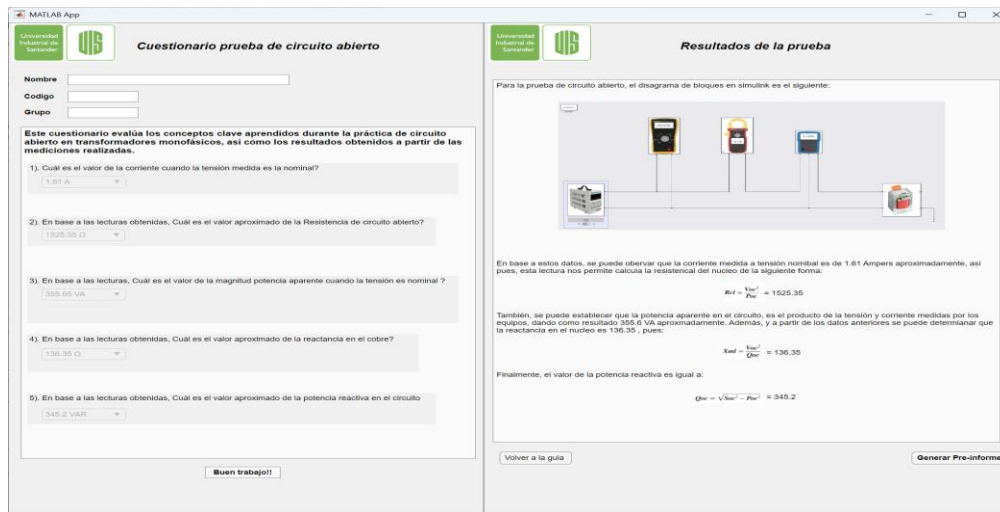
**Figura 43.** Segunda parte del código de los cuestionarios

```

% Button pushed function: RetroalimentacionButton
function RetroalimentacionButtonPushed(app, event)
%% volver invisible primera parte
app.Enviar.Visible = 'off';
app.RetroalimentacionButton.Visible = "off";
% Lista de botones específicos a deshabilitar
botones_a_deshabilitar = [app.CuleselvalordelacorrientemedidaButtonGroup.Children,
    app.ButtonGroup_2.Children, app.ButtonGroup_3.Children, app.ButtonGroup_4.Children,
    app.ButtonGroup_5.Children];
% Deshabilitar cada botón individualmente
for i = 1:numel(botones_a_deshabilitar)
    botones_a_deshabilitar(i).Enable = 'off';
end
%% Volver visible retroalimentacion
app.Resultadosdelapruebalabel.Visible = 'on';
app.TextArea_2.Visible = 'on';
app.a.Visible = "on";
app.b.Visible = "on";|
app.c.Visible = "on";
app.circuito.Visible = "on";
app.Volveralaguia.Visible = "on";
app.GenerarPreinforme.Visible = "on";
end
    
```

En la figura 44, se muestra como se ve el cuestionario al dar clic al botón “retroalimentación”.

**Figura 44.** Cuestionario con retroalimentación



En la sección del código mostrada en la figura 45, se establece la creación del PDF con las respuestas del informe. Este proceso se realiza a través de un botón ubicado en el parte inferior llamado "Generar preinforme". El código especifica que, para generar el PDF, es necesario completar los campos de código de estudiante, nombre y grupo, ya que estos datos se utilizarán para asignar el nombre al archivo, el cual estará compuesto por el código, el grupo y el nombre del estudiante.

**Figura 45.** Generación del PDF

```
% Button pushed function: GenerarPreinforme
function GenerarPreinformeButtonPushed(app, event)
% Verificar si los campos están vacíos
if isempty(app.NombreEditField.Value) || isempty(app.CodigoEditField.Value) || isempty(app.GrupoEditField.Value)
    uialert(app.UIFigure, 'No llenó los datos del estudiante.', 'Error', 'Icon', 'warning');
else
% Convertir valores a string y eliminar espacios extra
nombre = strtrim(char(app.NombreEditField.Value));
codigo = strtrim(char(app.CodigoEditField.Value));
grupo = strtrim(char(app.GrupoEditField.Value));

% Verificar si los valores siguen vacíos después de limpiar espacios
if isempty(nombre) || isempty(codigo) || isempty(grupo)
    uialert(app.UIFigure, 'Uno o más campos están vacíos después de limpiar espacios.', 'Error', 'Icon', 'warning');
    return;
end

% Generar el nombre del archivo PDF
nombrePDF = strcat(nombre, '_', codigo, '_', grupo, '.pdf');

% Reemplazar caracteres no válidos en nombres de archivo
nombrePDF = regexprep(nombrePDF, '[^\w.-]', '_');

% Definir una ruta válida para guardar el archivo
rutaCarpeta = fullfile(userpath, 'Preinformes'); % Carpeta dentro de Documentos

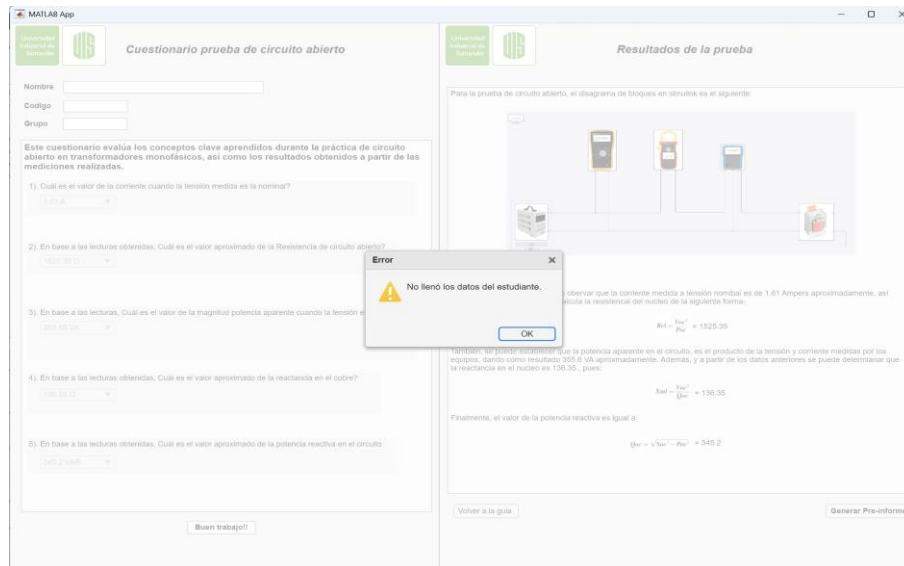
% Crear la carpeta si no existe
if ~exist(rutaCarpeta, 'dir')
    mkdir(rutaCarpeta);
end

% Generar la ruta completa del archivo
rutaCompletaPDF = fullfile(rutaCarpeta, nombrePDF);

% Verificar si el nombre del archivo es válido
if isempty(rutaCompletaPDF) || ~endsWith(rutaCompletaPDF, '.pdf')
    uialert(app.UIFigure, 'Error: el nombre del archivo PDF no es válido.', 'Error', 'Icon', 'error');
    return;
end
end
```

En caso de que estos campos no estén llenos, el código generara una advertencia para que estos datos sean llenados. La figura 46 muestra esta como se ve la advertencia en los cuestionarios.

**Figura 46.** Advertencia de la app al no llenar los datos del estudiante en los cuestionarios



En la figura 47 se muestra la última sección del código, la cual define lo que sucede cuando se completan los datos de código de estudiante, grupo y nombre

**Figura 47.** Última sección del código de los cuestionarios

```

try
    % Generar el PDF con la ruta válida
    exportapp(app.UIFigure, rutaCompletaPDF);

    % Mostrar mensaje de éxito
    uialert(app.UIFigure, ['El preinforme ha sido generado con éxito: ', nombrePDF], 'Exportación Completa', 'Icon', 'success');

    % Abrir el PDF automáticamente
    if ispc
        winopen(rutaCompletaPDF);
    elseif ismac
        system(['open ', rutaCompletaPDF]);
    elseif isunix
        system(['xdg-open ', rutaCompletaPDF]);
    end
catch ME
    uialert(app.UIFigure, ['Error al generar el PDF: ', ME.message], 'Error', 'Icon', 'error');
end
end
end
    
```

En este caso el código generará un mensaje indicando que el PDF ha sido creado, además de abrir el archivo automáticamente. Esto se muestra de mejor forma en la figura 48.

**Figura 48.** Mensaje de la app al crear el informe

The screenshot displays the MATLAB App interface, split into two main sections: "Cuestionario prueba de circuito abierto" (Open circuit test questionnaire) on the left and "Resultados de la prueba" (Test results) on the right. The questionnaire section includes fields for "Nombre" (dian), "Codigo" (2180220), and "Grupo" (B1). It contains five questions related to transformer parameters, with numerical input fields. The results section shows a block diagram of a transformer circuit and calculated values:  $I_{med} = \frac{V_{med}}{P_{med}} = 1525.35$ ,  $I_{med} = \frac{V_{med}^2}{Q_{med}} = 136.35$ , and  $Q_{med} = \sqrt{S_{med}^2 - P_{med}^2} = 345.2$ . A central dialog box titled "Exportación Completa" (Export Complete) with a green checkmark icon states: "El preinforme ha sido generado con éxito: dian\_2180220\_B1.pdf" (The pre-report has been generated successfully: dian\_2180220\_B1.pdf). The dialog box has an "OK" button. At the bottom of the app, there are buttons for "Buen trabajo!" (Good job!), "Volver a la guía" (Return to the guide), and "Generar Pre-informe" (Generate Pre-report).

#### 4. Conclusiones

- Dada la simplicidad visual del módulo (al no mostrar todos los equipos, medidores y elementos dentro de las máscaras), los estudiantes no requieren un conocimiento avanzado de Simulink, ya que solo deben realizar las conexiones para ejecutar las simulaciones. Esto resulta especialmente ventajoso, ya que facilita su uso sin necesidad de un aprendizaje profundo del software.
- Una posible implementación de este módulo en el currículo de la asignatura podría fortalecer el aprendizaje sin incurrir en grandes costos ni requerir cambios significativos en los contenidos. Además, este módulo es un gran apoyo en casos de contingencia, cuando el acceso al laboratorio sea limitado o imposible.
- Los modelos diseñados a partir de equipos existentes en el laboratorio presentan una gran ventaja, ya que pueden actualizarse de manera sencilla si es necesario. Esto demuestra su capacidad para mantenerse relevantes ante los cambios y su utilidad para futuras aplicaciones, como la implementación de este módulo en otras máquinas eléctricas como motores y generadores.
- Este módulo permite a los estudiantes realizar estas pruebas desde casa y repetirlas tantas veces como sea necesario, facilitando una mejor consolidación de los conocimientos. Además, contribuye a una mejor preparación para la práctica en el laboratorio, ya que no solo brinda una idea sobre cómo se lleva a cabo la prueba, sino que también permite familiarizarse con los equipos disponibles en el laboratorio.
- El módulo puede contribuir a la optimización del tiempo en el laboratorio, ya que, al completarlo previamente, los estudiantes llegarán mejor preparados y tendrán un desempeño óptimo durante las pruebas.

### Referencias bibliográficas

- Amprobe Test Tools. (2014). *Manual de usuario: AMP-210/AMP-210-EUR, AMP-220/AMP-220-EUR, AMP-310/AMP-310-EUR, AMP-320/AMP-320-EUR*. Amprobe. Disponible en <https://www.beha-amprobe.com/es/productos/pinzas-amperimetricas/amp-320-eur-0>
- Ayasun, S., & Nwankpa, C. O. (2006). Transformer tests using MATLAB/Simulink and their integration into undergraduate electric machinery courses. *\*Computer Applications in Engineering Education*, 14\*(2), 142–150. <https://doi.org/10.1002/cae.20077>
- Chad Allie (2025). *DC Circuit Analysis* (<https://github.com/MathWorks-Teaching-Resources/DC-Circuit-Analysis/releases/tag/v2.1.0>), GitHub. Recuperado 28 marzo, 2025.
- Díaz, L. A. (s.f.). *Prácticas de laboratorio de máquinas eléctricas* [Archivo PDF].
- Fluke Corporation. (2020). *110/113/114/115/117 True-rms multimeter: User's manual*. Fluke Corporation. <https://www.fluke.com/en-us/product/electrical-testing/digital-multimeters/fluke-117#>
- Guru, B. S., & Hiziroglu, H. R. (2003). *Máquinas eléctricas y transformadores* (3ª ed., J. E. Brito, Trad.). Oxford University Press.
- ICONTEC. (1998). *NTC 317: Electrotecnia: Transformadores de potencia y distribución. Terminología*. ICONTEC. Recuperado de <https://ecollection-icontec-org.bibliotecavirtual.uis.edu.co/colecao.aspx>
- ICONTEC. (2017). *NTC 471: Transformadores: Relación de transformación, polaridad y relación de fase*. ICONTEC. Recuperado de <https://ecollection-icontec-org.bibliotecavirtual.uis.edu.co/colecao.aspx>

ICONTEC. (2022). *NTC 1005: Transformadores: Determinación de la tensión de cortocircuito y pérdidas con carga*. ICONTEC. Recuperado de <https://ecollection-icontec-org.bibliotecavirtual.uis.edu.co/colecao.aspx>

ICONTEC. (2022). *NTC 1031: Transformadores: Ensayos para la determinación de pérdidas y corriente sin carga*. ICONTEC. Recuperado de <https://ecollection-icontec-org.bibliotecavirtual.uis.edu.co/colecao.aspx>

ICONTEC. (2023). *NTC 380: Transformadores eléctricos: Ensayos eléctricos. Generalidades*. ICONTEC. Recuperado de <https://ecollection-icontec-org.bibliotecavirtual.uis.edu.co/colecao.aspx>

Laboratorio UNILAB. (s.f.). *Transformador trifásico DL 1080* [Guía en PDF].

Md. Nahidul Islam (2025). *Transformer Open Circuit Test Using Simulink* (<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/96008-transformer-open-circuit-test-using-simulink>), MATLAB Central File Exchange. Recuperado 28 marzo, 2025.

M. W. Daniels and R. A. Shaffer, "Re-inventing the electrical machines curriculum," in IEEE Transactions on Education, vol. 41, no. 2, pp. 92-100, May 1998, doi: 10.1109/13.669717.

Universidad Industrial de Santander. (s.f.). *Práctica No. 2. Transformadores monofásicos: Prueba de vacío y corto circuito*. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones.

Universidad Industrial de Santander. (s.f.). *Práctica No. 3. Transformadores monofásicos: Rendimiento y regulación*. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones.

Apéndices

Apéndice A. Cuestionario prueba de cortocircuito en transformadores monofásicos

**Cuestionario prueba de cortocircuito**

Nombre

Codigo

Grupo

Este cuestionario evalúa los conceptos clave aprendidos durante la práctica de cortocircuito en transformadores monofásicos, así como los resultados obtenidos a partir de las mediciones realizadas.

1) Aproximadamente que tensión debe tener la fuente para alcanzar la corriente nominal en la prueba?  
18 V

2) En base a las lecturas obtenidas, Cuál es el valor de la Resistencia de corto circuito?  
1.08 Ω

3) En base a las lecturas, Cuál es el valor de la magnitud potencia aparente cuando la corriente es nominal ?  
201.4 VA

4) En base a las lecturas obtenidas, Cuál es el valor de la Impedancia en en cobre?  
1.88 Ω

5) En base a las lecturas obtenidas, Cuál es el valor de la reactiva en en cobre?  
1.16 Ω

**Buen trabajo!!**

**Resultados de la prueba**

Para la prueba de cortocircuito, el circuito en simulink es el siguiente:



En base a estos datos, se puede observar que la tensión en la fuente es aproximadamente 18V. Gracias a las lecturas tomadas, se puede establecer que la resistencia es igual a:

$$R_{cc} = \frac{P_c}{I_c^2} = 1.08$$

También, se puede establecer que la potencia aparente en el circuito, es el producto de la tensión y corriente medidas por los equipos, dando como resultado 201.4 VA aproximadamente. Además, y a partir de los datos anteriores se puede determinar que la impedancia de cortocircuito es igual a 1.88, pues:

$$Z_{cc} = \frac{V_c}{I_c} = 1.58$$

Finalmente, el valor de la reactiva es igual a:

$$X_{cc} = \sqrt{Z_{cc}^2 - R_{cc}^2} = 1.15$$

**Volver a la guía** **Generar Pre-informe**

Apéndice B. Cuestionario prueba de Circuito abierto en transformadores monofásicos

**Cuestionario prueba de circuito abierto**

Nombre

Codigo

Grupo

Este cuestionario evalúa los conceptos clave aprendidos durante la práctica de circuito abierto en transformadores monofásicos, así como los resultados obtenidos a partir de las mediciones realizadas.

1) Cuál es el valor de la corriente cuando la tensión medida es la nominal?  
1.61 A

2) En base a las lecturas obtenidas, Cuál es el valor aproximado de la Resistencia de circuito abierto?  
1525.35 Ω

3) En base a las lecturas, Cuál es el valor de la magnitud potencia aparente cuando la tensión es nominal ?  
355.68 VA

4) En base a las lecturas obtenidas, Cuál es el valor aproximado de la reactiva en el cobre?  
136.35 Ω

5) En base a las lecturas obtenidas, Cuál es el valor aproximado de la potencia reactiva en el circuito  
345.2 VAR

**Buen trabajo!!**

**Resultados de la prueba**

Para la prueba de circuito abierto, el diagrama de bloques en simulink es el siguiente:



En base a estos datos, se puede observar que la corriente medida a tensión nominal es de 1.61 Amperios aproximadamente, así pues, esta lectura nos permite calcular la resistencia del núcleo de la siguiente forma:

$$R_{ca} = \frac{V_{ca}^2}{P_{ca}} = 1525.35$$

También, se puede establecer que la potencia aparente en el circuito, es el producto de la tensión y corriente medidas por los equipos, dando como resultado 355.6 VA aproximadamente. Además, y a partir de los datos anteriores se puede determinar que la reactiva en el núcleo es 136.35, pues:

$$X_{ca} = \frac{V_{ca}^2}{Q_{ca}} = 136.35$$

Finalmente, el valor de la potencia reactiva es igual a:

$$Q_{ca} = \sqrt{S_{ca}^2 - P_{ca}^2} = 345.2$$

**Volver a la guía** **Generar Pre-informe**

**Apéndice C. Cuestionario prueba de Regulación y eficiencia en transformadores trifásicos**

**Cuestionario prueba de Regulación y Eficiencia**

Nombre:

Código:

Grupo:

Este cuestionario evalúa los conceptos clave aprendidos durante la práctica de regulación y eficiencia en transformadores monofásicos, así como los resultados obtenidos a partir de las mediciones realiza

1) ¿Es correcto afirmar que, si la carga es pequeña, la tensión será menor a la esperada de igual forma?

2) ¿Se puede afirmar que la carga inductiva hace que la tensión sea mayor a la esperada?

3) Para una tensión de 40 V ¿Cuál es la regulación de voltage para una carga de 100 Ω y 50μF?

4) Para una tensión de 40 V ¿Cuál es la eficiencia del transformador para una carga RC de 100 uF y 100 Ω ?

5) Para una tensión de 40 V ¿Cuál es la eficiencia para una carga RLC de 50 uF, 800 Ω y 400mH?


6) ¿Las pérdidas constantes se determinan por medio de la prueba de cortocircuito?

7) ¿Para las condiciones de la pregunta 5, cuáles son las pérdidas en el núcleo?

**Buen trabajo!!**

**Resultados de la prueba**

Para la prueba de Regulación y eficiencia, el circuito en simúlink es el siguiente:



Después de diversas variaciones, es evidente que la tensión en el secundario varía dependiendo de la carga, pues si es muy pequeña, por ley de ohm, la tensión va a ser pequeña. Resisivando como se comporta la tensión bajo diferentes tipos de carga, se pueden sacar las siguientes conclusiones:

1) Las cargas con componente inductiva afectan la tensión del circuito, reduciéndola y generando una tensión de salida menor a la esperada. Esta disminución se ve evidenciada en la regulación de tensión, ya que, al comparar una carga resistiva con una carga RL de igual resistencia, la regulación presentará variaciones debido a la presencia de la componente inductiva.

2) Las cargas con componente capacitivo producen el efecto contrario a las cargas inductivas, estas sobrecarga el circuito produciendo tensiones superiores a las esperadas. Esto produce que para este tipo de elementos, la regulación de voltage pueda llegar a ser negativa, como es el caso de la pregunta 3, pues:

$$r.g. = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} \times 100 = -1.04645$$

3) Las cargas RLC pueden sufrir ambos efectos si alguno de sus componenets, ya sea el capacitivo o inductivo, son predominantes; sin embargo, ambos efectos pueden anularse de forma que el circuito pueda actuar de forma mas optima.

Para el caso de las preguntas 4 y 5, tenemos que:

$$\eta = \frac{P_o}{P_{in}} = 85.27 \% \text{ para la carga RC}$$

$$\eta = \frac{P_o}{P_{in}} = 80.95 \% \text{ para la carga RLC}$$

En el caso de la eficiencia, se puede observar que el tipo de carga la impacta sustancialmente, ya que, si los efectos capacitivos e inductivos no están bien balanceados, las pérdidas variables afectaran su desempeño. Sin embargo, como se menciono en la guía, las pérdidas en el núcleo permanecen constantes bajo cualquier carga y se determinan como la diferencia entre la potencia de entrada y la potencia de salida en la prueba de cortocircuito. Dado que en esta prueba la potencia de salida es muy pequeña, suele asumirse como cero; no obstante, debe considerarse para un cálculo preciso de las pérdidas en el núcleo. En el caso de la pregunta 7, estas pérdidas fueron tenidas en cuenta, ya que existen pequeñas corrientes parásitas que generan una potencia en el secundario bajo condición sin carga, la cual debe considerarse en el análisis.

**Volver a la guía** **Generar Pre-Informe**

**Apéndice D. Cuestionario prueba de determinación del grupo de conexión en transformadores trifásicos**

**Cuestionario prueba de Grupo de conexión en transformadores trifásicos**

Nombre:

Código:

Grupo:

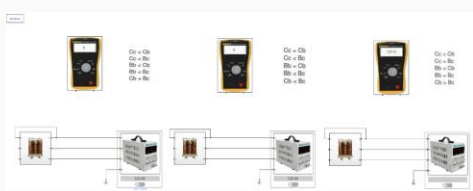
Este cuestionario evalúa los conceptos clave aprendidos durante la práctica de determinación del grupo de conexión, así como los resultados obtenidos a partir de las mediciones realizadas.

- En base a la explicación teórica, por que se realiza una conexión entre los terminales U y x ?
- En base a la explicación teórica, es posible cortocircuitar otros bornes para la prueba?
- En base en el diagrama fasoria obtenido para el Yy0, es correcto afirmar que BC > Bb ?
- En base en el diagrama fasoria obtenido para el Dy1, es correcto afirmar que BC = Bb ?
- En base en el diagrama fasoria obtenido para el Dy11, es correcto afirmar que BC > Cc ?

**Buen trabajo!!**


**Resultados de la prueba**

Para la prueba de cortocircuito, el circuito en simulink es el siguiente:




Después de verificar las condiciones, los diagramas fasoriales obtenidos, con base en dichas condiciones y considerando el grupo de conexión, son los siguientes:


Transformador Yy0



Transformador Dy1



Transformador Dy11



A partir de estos diagramas fasoriales, podemos determinar que el vector de la tensión BC es mayor que la tensión Bb en el transformador Yy0, diferente de Bb en el transformador Dy1 y mayor que la tensión Cc en el transformador Dy11.

### Apéndice E. Cuestionario prueba de Cortocircuito en transformadores trifásicos

**Cuestionario prueba de cortocircuito en transformadores trifásicos**

Nombre:

Código:

Grupo:

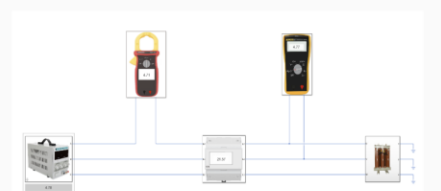
Este cuestionario evalúa los conceptos clave aprendidos durante la práctica de cortocircuito en transformadores trifásicos, así como los resultados obtenidos a partir de las mediciones realizadas.

- Aproximadamente que tensión debe tener la fuente para alcanzar la corriente nominal en la prueba?
- En base a las lecturas obtenidas, Cuál es el valor de la Resistencia de corto circuito?
- En base a las lecturas, Cuál es el valor de la magnitud potencia aparente cuando la corriente es nominal ?
- En base a las lecturas obtenidas, Cuál es el valor de la magnitud de la impedancia totar?
- En base a las lecturas obtenidas, Cuál es el valor de la reactiva en en cobre?

**Buen trabajo!!**

**Resultados de la prueba**

Para la prueba de cortocircuito, el circuito en simulink es el siguiente:



Se puede evidenciar rápidamente que la tensión mostrada en la fuente corresponde a la tensión de fase, cuyo valor, para alcanzar la corriente nominal, es de aproximadamente 14.25 V. Dado que se trata de un transformador Y-Y, la tensión de fase y la tensión de línea están relacionadas por un factor de raíz de 3, como se explica en la guía. En esta configuración, la corriente de línea y la corriente de fase son iguales. Para determinar la resistencia por fase, es necesario dividir la potencia entre 3 veces la corriente de línea al cuadrado, obteniendo lo siguiente:

$$R_{eq} = \frac{P_w}{3I_L^2} = 0.97$$

La potencia aparente para este circuito se calculaba mediante la siguiente expresión:

$$S = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L = 116 \text{ VA}$$

Para determinar la impedancia de cortocircuito y la reactiva, se debían emplear las siguientes fórmulas:

$$Z_{sc} = \frac{V_{sc}}{\sqrt{3} I_L} = 1.75$$

$$X_{eq} = \sqrt{Z_{sc}^2 - R_{eq}^2} = 1.46$$

### Apéndice F. Cuestionario prueba de circuito abierto en transformadores trifásicos

**Questionario prueba de circuito abierto en transformadores trifásicos**

Nombre:

Codigo:

Grupo:

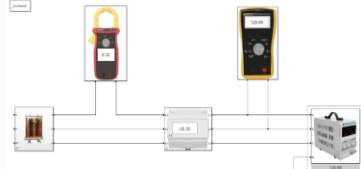
Este cuestionario evalúa los conceptos clave aprendidos durante la práctica de circuito abierto en transformadores trifásicos, así como los resultados obtenidos a partir de las mediciones realizadas.

- 1) ¿Cuál es el valor de la corriente cuando la tensión medida es la nominal?  
0.32 A
- 2) En base a los cálculos realizados, ¿cuál es la corriente I<sub>fe</sub>?  
0.093 A
- 3) En base a las lecturas, ¿cuál es el valor de la potencia aparente cuando la tensión es nominal?  
69.63 VA
- 4) En base a las lecturas obtenidas, ¿cuál es el valor aproximado de la resistencia en el hierro?  
1350.48 Ω
- 5) En base a las lecturas obtenidas, ¿cuál es el valor aproximado de la reactancia del núcleo?  
790.46 Ω

**Buen trabajo!**

**Resultados de la prueba**

Para la prueba de circuito abierto, el diagrama de bloques en simulink es el siguiente:



Con base en este modelo, se observa que la corriente medida a tensión nominal es de 0.32 A. Para determinar las pérdidas en el núcleo, es necesario calcular la corriente I<sub>fe</sub>, que circula a través de la resistencia. Asimismo, se debe determinar la corriente de magnetización I<sub>m</sub>. Para ello, se calcula el ángulo theta mediante la siguiente expresión:

$$P_{med} = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \times \cos(\phi)$$

Despejando de esta expresión el ángulo theta, se obtiene que el ángulo es 59.63. con este ángulo, usaremos la siguiente expresión para determinar las dos corrientes:

$$I_{fe} = I_{sen}(\phi) = 0.0933$$

$$I_m = I_{cos}(\phi) = 0.1594$$

Cabe aclarar que, dada la conexión, la corriente de línea es raíz de 3 veces la corriente de fase. Por lo tanto, en esta expresión se debe utilizar la corriente de fase. Dado que los equipos miden la corriente de línea, es necesario dividirla entre raíz de tres para emplear estas expresiones. De este modo, las resistencias R<sub>m</sub> y X<sub>m</sub> se determinan como:

$$R_m = \frac{V_L}{I_m} = 1350.48$$

$$X_m = \frac{V_L}{I_{fe}} = 790.46$$

Finalmente, la potencia aparente se calcula usando la siguiente expresión:

$$S = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L = 69.63$$

**Volver a la guía**      **Generar Pre-informe**

Apéndice G. Cuestionario prueba de regulación y eficiencia en transformadores trifásicos

**Questionario prueba de Regulación y Eficiencia para transformadores trifásicos**

Nombre:

Codigo:

Grupo:

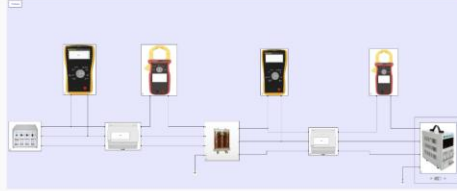
Este cuestionario evalúa los conceptos clave aprendidos durante la práctica de regulación y eficiencia en transformadores trifásicos, así como los resultados obtenidos a partir de las mediciones realiza

- 1) ¿Es posible medir la tensión de fase utilizando los modelos de voltímetro?  
Si es posible
- 2) ¿Se puede esperar el mismo comportamiento de las cargas inductivas en transformadores trifásicos y monofásicos?  
Verdadero
- 3) Para una tensión de 40 V ¿Cuál es la eficiencia para una carga de 100 Ω?  
96.66 %
- 4) Para una tensión de 40 V ¿Cuál es la regulación del transformador para una carga RLC de 100 uF, 100 Ω y 50mH?  
3.17 %
- 5) Para una tensión de 40 V ¿Cuál es la eficiencia para una carga RLC de 25 uF, 50 Ω y 30mH?  
74.82 %
- 6) ¿Cuál carga resulta con una eficiencia más óptima para el sistema para una tensión de 40 V?  
Carga resistiva 100 Ohm
- 7) ¿Se puede concluir, en base a los resultados obtenidos, que el transformador resulta eficiente en términos generales?  
Si, pues presenta buena efica...

**Buen trabajo!**

**Resultados de la prueba**

Para la prueba de Regulación y eficiencia, el circuito en simulink es el siguiente:



La conexión del transformador en este caso es Yd11, lo que implica que en el primario no habrá diferencia entre las tensiones de línea y de fase, mientras que en el secundario sí. Es fundamental tener precaución al analizar los datos ingresados de la fuente, ya que esta está conectada en Y. Dado que el neutro está expuesto, es posible determinar la tensión de fase entregada por la fuente. El concepto y la regulación en transformadores trifásicos no cambian en absoluto, por ello, es posible utilizar las mismas expresiones empleadas en transformadores monofásicos. Con base en esto, los resultados para las preguntas 3, 4 y 5 son los siguientes:

$$\eta = \frac{P_o}{P_{in}} = 96.66 \%$$

$$\%R = \frac{V_{nl} - V_{pl}}{V_{pl}} \times 100 = 3.17 \%$$

$$\eta = \frac{P_o}{P_{in}} = 74.82 \%$$

A partir de estos resultados, se pueden obtener conclusiones similares a las establecidas en transformadores monofásicos. La eficiencia depende de la carga conectada; si esta es demasiado pequeña o poco óptima en términos de consumo de reactivos, la eficiencia del transformador será baja. Sin embargo, cuando la carga tiene una buena compensación de los efectos capacitivos e inductivos, la eficiencia mejora. En el caso de la de 100 Ω, se obtiene una eficiencia aproximada del 96.6 %, lo que indica que, bajo condiciones óptimas, el transformador presenta un buen desempeño. Además, para niveles de carga considerables, la regulación también muestra buenos resultados, por lo que se puede concluir que el transformador es óptimo bajo estas condiciones de carga.

**Volver a la guía**      **Generar Pre-informe**