



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

CARRERA DE ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**“DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EVALUAR EL
DESEMPEÑO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS MEDIANTE EL SOFTWARE
MATLAB/SIMULINK”**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en electrónica

Autor: Johnny Andrés Rodríguez Veliz

Ricardo Milton Saltos Cepeda

Tutor: Teddy Jhennse Negrete Peña

Guayaquil - Ecuador

2024–2025

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Nosotros, Johnny Andrés Rodríguez Veliz con documento de identificación N° 0954919775 y Milton Ricardo Saltos Cepeda con documento de identificación N° 0957324262, manifestamos que:

Somos las autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación

Guayaquil, 4 de febrero del año 2025.

Atentamente,



Johnny Andrés Rodríguez Veliz

095491977-5



Milton Ricardo Saltos Cepeda

095732426-2

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Johnny Andrés Rodríguez Veliz con documento de identificación N° 0954919775 y, Milton Ricardo Salto Cepeda con documento de identificación N° 0957324262, manifestamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EVALUAR EL DESEMPEÑO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS MEDIANTE EL SOFTWARE MATLAB/SIMULINK.”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Electrónica y Automatización, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 04 de febrero del 2025.

Atentamente,



Johnny Andrés Rodríguez Veliz
095491977-5



Milton Ricardo Saltos Cepeda
095732426-2

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Teddy Jhennse Negrete Peña con documento de identificación N° 091720694, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EVALUAR EL DESEMPEÑO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS MEDIANTE EL SOFTWARE MATLAB/SIMULINK.”, realizado por Johnny Andrés Rodríguez Veliz con documento de identificación N° 0954919775 y, Milton Ricardo Saltos Cepeda con documento de identificación N° 0957324262, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 04 de febrero del 2025.

Atentamente,



Ing. Teddy Jhennse Negrete Peña

0912419611

Agradecimiento

En primer lugar, agradezco a Dios, por darme la fortaleza y la perseverancia necesarias para culminar esta etapa de mi vida. A mi familiar, por su apoyo, su amor incondicional y por ser mi fuente de motivación en cada desafío. A mis padres, quienes por su esfuerzo y dedicación me han enseñado el valor del trabajo y educación. A mis hermanas, por su compañía y palabras de aliento en los momentos difíciles. A mis amigos y compañeros de estudio, por su apoyo, compañerismo y por hacer de este camino una experiencia enriquecedora, y llena de aprendizajes. Este logro es el resultado del esfuerzo conjunto de muchas personas, y a cada una de ellas les estaré eternamente agradecido

Johnny Rodríguez Veliz.

Agradezco profundamente a mis padres, cuya guía y amor han sido fundamental en cada paso de mi formación. A mi familia, por su apoyo incondicional y por ser mi refugio en momentos difíciles. A mis amigos, por su amistad, compañía y por recordarme siempre la importancia de perseverar. También expreso mi gratitud a quienes me apoyaron de una u otra forma, contribuyeron a este logro con sus enseñanzas, consejos y aliento. Sin ustedes, este camino habría sido mucho más difícil. Gracias por ser parte de este proceso y por ayudarme a alcanzar esta meta.

Milton Ricardo Saltos.

Dedicatoria

Dedicó este trabajo a mis padres por ser mi pilar fundamental en cada etapa de mi vida, su amor, paciencia y apoyo que han sido mi mayor motivación para poder seguir adelante incluso en los momentos difíciles. A mis hermanas, por su compañía y palabras de aliento, que han sido un impulso en este camino. A mis amigos, por su apoyo, su confianza y por compartir conmigo este viaje lleno de aprendizajes, desafíos y momentos inolvidables, A todos aquellos que de una u otra manera han contribuido a mi formación y crecimiento, les agradezco de corazón.

Este logro también es suyo.

Johnny Rodríguez Veliz.

Dedico este trabajo con todo mi cariño a mis padres, cuyo amor, apoyo incondicional y sacrificio han sido la base de cada uno de mis logros. A mi familia, por su constante aliento y por ayudarme a creer en mí, incluso en los momentos difíciles. A mis amigos, quienes con su compañía y consejos me ánimo hacer que este camino sea más llevadero. Gracias a cada uno de ustedes por ser parte de este gran viaje y por motivarme a seguir adelante con una gran determinación y pasión.

Milton Ricardo Saltos.

Resumen

Año	Alumnos	Director de proyecto	Tema de proyecto de titulación
2024	Johnny Andrés Rodríguez Veliz Ricardo Milton Saltos Cepeda	Ing. Teddy Jhennse Negrete Peña	Diseño y simulación de un banco de pruebas para evaluar el desempeño de máquinas eléctricas mediante el software Matlab/Simulink

Este trabajo fija en las simulaciones del banco de prueba para analizar el rendimiento del motor utilizando MATLAB/Simulink. El programa tiene como objetivo optimizar el proceso de aprendizaje en materias motoras proporcionando herramientas prácticas y simulaciones que permitan a estudiantes y docentes comprender el comportamiento de estas máquinas de forma interactiva. El banco de pruebas de simulación le permitirá evaluar parámetros básicos como corriente, voltaje, velocidad, etc. motores básicos (especialmente motores eléctricos y transformadores), que permite analizar su rendimiento en diversas condiciones de operación. Las simulaciones se desarrollarán en MATLAB/Simulink utilizando sus herramientas de modelado dinámico y análisis numérico. Además, el programa incluye el desarrollo de guías prácticas estructuradas, orientadas tanto a aspectos teóricos como prácticos, para que los estudiantes puedan realizar ejercicios que integren conceptos básicos y observen cómo se comporta la máquina en escenarios específicos. Estas guías ayudarán a los docentes en su proceso de enseñanza y garantizarán una transición fluida de la teoría a la práctica. Este banco de pruebas de simulación se implementó para optimizar el aprendizaje, mejorar la conciencia motora y reducir los costos asociados con el equipo físico. También promueve la innovación pedagógica al incorporar tecnologías avanzadas en el aula, entregando resultados más dinámicos en la enseñanza de las asignaturas de ingeniería eléctrica.

Palabras claves: Banco de pruebas, máquinas eléctricas, MATLAB/Simulink, enseñanza, simulación.

Abstract

YEAR	STUDENTS	PRJ.DIRECTOR	SUBJECT
2024	Johnny Andrés Rodríguez Veliz Ricardo Milton Saltos Cepeda	Ing.Teddy Jhennse Negrete Peña	Design and simulation of a test bench to evaluate the performance of electrical machines using Matlab/Simulink software

This work is developed with design and simulation of a test bench to analyze engine performance using MATLAB/Simulink. The program aims to optimize the learning process in motor subjects by providing practical tools and simulations that allow students and teachers to understand the behavior of these machines in an interactive way. The simulation testbed will allow you to evaluate basic parameters such as current, voltage, speed, etc. basic motors (especially electric motors and transformers), which allows analyzing their performance in various operating conditions. The simulations will be developed in MATLAB/Simulink using its dynamic modeling and numerical analysis tools. In addition, the program includes the development of structured practical guides, aimed partly theoretical and experimental for students to perform exercises that integrate basic concepts and observe how the machine behaves in specific scenarios. These guides will help teachers in their teaching process and ensure a smooth transition from theory to practice. This simulation testbed was implemented to optimize learning, improve motor awareness, and reduce costs associated with physical equipment. It also promotes pedagogical innovation by incorporating advanced technologies in the classroom, delivering more dynamic results in the teaching of electrical engineering subjects.

Keywords: Test bench, electrical machines, MATLAB/Simulink, teaching, simulation.

Índice de contenido

Agradecimiento.....	5
Dedicatoria.....	6
Índice de contenido	9
índice de figuras.....	12
Índice de tabla.....	14
Introducción.....	15
1. Problema.....	16
1.1 Antecedentes.....	16
1.2 Importancia y alcances.....	17
1.3 Delimitación del problema.....	17
1.3.1 Temporal	17
1.3.2 Geográfica	17
1.3.3 Académica.....	17
1.4 Problema de estudio.....	18
1.5 Justificación.....	19
1.6 Objetivos	21
1.6.1 Objetivo general.....	21
1.6.2 Objetivos específicos.....	21
2. Revisión de literatura	21
2.1 Herramienta de simulación en máquinas eléctricas.....	21
2.1.1 Matlab.....	21
2.2.2 Simulink.....	22
2.2 Modelos matemáticos de las simulaciones	23
2.2.1 Ecuación 1	23
2.2.2 Ecuación 2	25
2.2.3 Ecuación 3	27
2.2.4 Ecuación 4	28
2.2.4 Ecuación 5	30
2.2.5 Ecuación 6	32
3. Marco Metodológico.....	35
3.1 Estrategia Metodológica	35

3.2	Diseño de banco de prueba virtual en Matlab/Simulink	35
3.3	Elaboración de guías prácticas	36
3.4	Simulación prueba en vacío y en cortocircuito en transformador monofásico real	36
3.4.1	Modelo de simulación para prueba en cortocircuito.....	37
3.4.2	Bloque fuente de voltaje ac	38
3.4.3	Bloque de transformador no lineal	38
3.4.4	Bloque solver configuration	39
3.4.4	Bloque current sensor	39
3.4.5	Bloque voltage sensor	40
3.4.6	Modelo de simulación para prueba en vacío.....	41
3.5	Simulación de Transformador trifásico	41
3.5.1	Modelo de simulación.....	42
3.5.2	Bloque Transformador trifásico (dos devanados)	43
3.5.3	Bloque Voltage Measurement	44
3.5.4	Bloque de medición de corriente.....	44
3.5.5	Bloque Fuente de voltaje programable trifásica	45
3.5.6	Bloque powergui	45
3.6	Simulación control de velocidad: Análisis del comportamiento dinámico de un motor de corriente continua bajo variación de carga y control de velocidad	46
3.6.1	Modelo de simulación.....	47
3.6.2	Bloque Dc machine	47
3.6.3	Bloque Gain.....	48
3.6.4	Bloque Dc voltaje source.....	48
3.6.5	Bloque Series RLC Branch.....	49
3.6.6	Bloque Voltage Measurement	49
3.6.7	Bloque Constant.....	50
3.6.8	Bloque Bus Creator	50
3.7	Simulación Motor DC con Carga Variable	51
3.7.1	Modelo de simulación.....	52
3.7.2	Bloque step	52
3.7.3	Bloque Speed Measurement.....	53
3.7.4	Bloque Product.....	53
3.8	Simulación Análisis del comportamiento dinámico de una máquina asíncrona trifásica con carga mecánica y eléctrica.....	54

3.8.1 Modelo de simulación.....	55
3.8.2 Bloque Asynchronous Machine SI Units	56
3.9 Simulación de arranque directo de un motor de inducción trifásico	56
3.9.1 Modelo de simulación.....	57
3.9.2 Bloque Three-Phase Breaker.....	58
4. Resultados.....	58
4.1 Resultados de la simulación prueba en vacío del transformador monofásico real	58
4.2 Resultados de la simulación prueba en cortocircuito del transformador monofásico real	61
4.3 Resultados de simulación transformador trifásico con magnetización y pérdidas en el núcleo	64
4.4 Resultados de la simulación control de velocidad: Análisis del comportamiento dinámico de un motor de corriente continua bajo variación de carga y control de velocidad	67
4.5 Resultados de simulación motor DC con carga variable	69
4.6 Resultados de simulación Análisis del comportamiento dinámico de una máquina asíncrona trifásica con carga mecánica y eléctrica.....	71
4.7 Resultados de simulación de Arranque Directo de un Motor de Inducción Trifásico.....	74
Cronograma de actividades	76
Presupuesto	77
Conclusiones	78
Recomendaciones	78
Bibliografía	79
Anexos.....	82

índice de figuras

Figura 1. Logo del software Matlab.....	22
Figura 2. Interfaz de inicio de Simulink	23
Figura 3. Circuito equivalente de Cortocircuito.....	25
Figura 4. Circuito equivalente de Cortocircuito.....	25
Figura 5. Circuito equivalente de transformador con magnetización	26
Figura 6. Circuito equivalente de control de velocidad	28
Figura 7. Circuito equivalente de motor con carga variable	30
Figura 8. Circuito equivalente comportamiento dinámico.....	32
Figura 9. Circuito equivalente de arranque directo.....	34
Figura 10. Mapa Conceptual de la Metodología.....	35
Figura 11. Simulación de cortocircuito del transformador en simulink.....	37
Figura 12. Símbolo de fuente de voltaje AC en Simulink	38
Figura 13. Transformador no lineal en Simulink	39
Figura 14. Bloque Solver configuration en simulink.....	39
Figura 15. Bloque de Current sensor en simulink.....	40
Figura 16. Bloque Voltage sensor en simulink	40
Figura 17. Simulación de prueba en vacío en simulink	41
Figura 18. Simulación de transformador trifásico en simulink.....	43
Figura 19. Transformador trifásico de dos devanados en simulink	43
Figura 20. Bloque de medición de voltaje en simulink.....	44
Figura 21. Bloque de medición de voltaje en simulink.....	44
Figura 22. Bloque de fuente de voltaje	45
Figura 23. Bloque Powergui	45
Figura 24. Simulación de control de velocidad en simulink.....	47
Figura 25. Bloque de máquina DC en simulink.....	47
Figura 26. Bloque Gain simulink.....	48
Figura 27. Bloque Dc voltaje source.....	49
Figura 28. Serie RLC modificado a resistencia	49
Figura 29. Bloque de voltage Measurement Simulink.....	50
Figura 30. Bloque Constant	50
Figura 31. Bloque Bus Creator	50
Figura 32. Simulación de un motor DC carga variable en simulink.....	52
Figura 33. Bloque step	53
Figura 34. Bloque Speed Measurement	53
Figura 35. Bloque Product	53
Figura 36. Simulación de máquina asincrónica en simulink	55
Figura 37. Simulación de máquina asincrónica en simulink	56
Figura 38. Arranque directo de un motor de inducción trifásico	57
Figura 39. Bloque Three-phase breaker.....	58
Figura 40. Resultado de Voltaje devanado primario	59
Figura 41. Resultado de corriente lado primario	60

Figura 42. Resultado de voltaje devanado secundario.....	61
Figura 43. Resultado de voltaje primario.....	62
Figura 44. Resultado de corriente de magnetización de lado primario.....	62
Figura 45. Resultado de corriente de magnetización de lado primario.....	63
Figura 46. Resultado de voltaje de lado de corto.....	64
Figura 47. Resultado de voltaje pico de lado primario	65
Figura 48. Resultado de voltaje pico secundario	66
Figura 49. Onda de corriente del lado primario	66
Figura 50. Resultado de voltaje de armadura del motor	67
Figura 51. Velocidad del motor DC en un periodo de 10s.....	68
Figura 52. Velocidad en rpm del motor DC.....	69
Figura 53. Respuesta transitoria del torque del motor	69
Figura 54. Resultado de velocidad angular del motor	70
Figura 55. Resultado de velocidad angular del motor	71
Figura 56. Resultado de corriente del estator en fase a.....	72
Figura 57. Resultado de velocidad del rotor	73
Figura 58. Evolución del torque electromagnético	73
Figura 59. Resultado del voltaje trifásico aplicado al motor	74
Figura 60. Voltaje línea a línea	75
Figura 61. Par electromagnético del motor.....	75
Figura 62. Cronograma de actividades	76
Figura 63. Simulación con mascara de los ensayos del transformador.....	82
Figura 64. Simulación con mascara del transformador trifásico.....	82
Figura 65. Simulación con mascara de la prueba de velocidad del motor Dc	83
Figura 66. Simulación con mascara de la prueba de velocidad del motor Dc	83
Figura 67. Simulación con mascara motor dc con carga variable.....	84
Figura 68. Simulación con mascara del motor trifásico.....	84
Figura 69. Guía práctica para profesor	85
Figura 70. Guía práctica para estudiante.....	86

Índice de tabla

Tabla 1. Parámetro del transformador	37
Tabla 2. Parámetros principales del transformador Trifásico	42
Tabla 3. Parámetros Principales del motor DC	46
Tabla 4. Parámetros de motor DC Con carga variable	51
Tabla 5. Parámetros del bloque de máquina AC en simulink	54
Tabla 6. Parámetros motores de inducción en simulink	56
Tabla 7. Tabla de presupuesto	77

Introducción

En la actualidad, la tecnología se ha transformado por completo, la educación en los campos técnicos como la ingeniería electrónica y de automatización, hace que las personas sean más capaces de captar ideas complejas. El modelo de las máquinas eléctricas se está convirtiendo en uno de los métodos alternativos más eficaces para poder aprender los funcionamientos y permite evitar el uso únicamente de los equipos costosos físicos. Matlab/Simulink es muy utilizada para poder interactuar con entornos virtuales que replican las condiciones operativas reales. En nuestro proyecto, su principal función es en desarrollar y poder simular un banco de pruebas virtual para poder evaluar el desempeño de los motores y transformadores, dos dispositivos que son importantes en la ingeniería eléctrica. Esta plataforma ayuda a analizar parámetros importantes como la velocidad, voltaje e impedancia.

Utilizando las simulaciones en Matlab/Simulink, los estudiantes podrán observar los comportamientos dinámicos de motores y transformadores, experimentar con las configuraciones específicas y poder analizar los resultados obtenidos. Este enfoque interactivo ayuda a proporcionar un entorno de prueba seguro y de fácil acceso que puede resultar costoso o peligroso en un laboratorio físico. Además, se desarrollará una guía práctica estructurada y orientada tanto a lo teórico como a lo práctico. Estas guías servirán como un recurso de aprendizaje para que los estudiantes se integren a nuevos conocimientos y apliquen soluciones a problemas en el mundo real. Al mismo tiempo, los profesores podrán utilizar estas herramientas para complementar la instrucción y promover la comprensión de temas complejos. La introducción de esta plataforma de pruebas virtuales responde a las necesidades actuales de modernización de la educación técnica. Su uso permitirá a los estudiantes de ingeniería electrónica y automatización desarrollar habilidades en el análisis, modelado y solución de problemas relacionados con motores y transformadores, preparándolos para los desafíos tecnológicos de la industria. En definitiva, el

programa no sólo promueve la innovación en la educación, sino que también produce futuros profesionales capacitados en el uso de herramientas digitales avanzadas. El banco de pruebas virtual ayuda con la teoría, con la práctica y refuerza las enseñanzas de los motores eléctricos en un entorno moderno y contemporáneo.

1. Problema

1.1 Antecedentes

El análisis de las máquinas eléctricas como los transformadores y motores es de gran importancia tanto en el ámbito académico como en la industria, ya que juegan un papel fundamental en diversos procesos relacionados con la generación, conversión y distribución de energía. Con el desarrollo de herramientas computacionales como Matlab/simulink, podrán ayudar a estudiar sus comportamientos, permitiendo a estudiantes e ingenieros evaluar sus propiedades sin depender únicamente de equipos físicos. Sin embargo, aún se necesitan sitios de prueba que combinen la simulación con métodos educativos para facilitar la comprensión de su desempeño en diferentes condiciones. El banco de pruebas nos ayuda a analizar parámetros relacionados con transformadores y motores que proporciona una solución práctica para la enseñanza y la investigación (Jorge Enrique Ordóñez García, 2022).

En algunas investigaciones que se encontraron, varios temas referentes al banco de pruebas, Se encontró uno de la Universidad Politécnica Salesiana para los laboratorios que carecen de las máquinas especiales. Es por ese motivo que se diseñó este trabajo, ya que se busca ayudar a los estudiantes a tener más equipos que ayuden profesionalmente, ya que con esto se profundiza a detalles prácticas en motores eléctricos (Pablo Brito, 2022).

1.2 Importancia y alcances

La importancia de este proyecto radica en brindar una herramienta que permita a los estudiantes y docentes de la carrera ingeniería en electrónica y automatización, analizar el comportamiento de motores y transformadores mediante simulaciones en la plataforma de Matlab/simulink. Esto ayudara en la comprensión de conceptos fundamentales, ayudando en la enseñanza teórica y práctica

El alcance de nuestro proyecto incluirá el diseño de un banco de pruebas virtual, que estará enfocado en evaluar los parámetros como la corriente, voltaje y velocidad. Además, se desarrollará una guía práctica para poder ayudar en la formación académica, beneficiando a los estudiantes y profesores en el proceso de aprendizaje.

1.3 Delimitación del problema

1.3.1 Temporal

El proyecto se llevará a cabo en un periodo de 4 meses, En este tiempo se realizarán las simulaciones y pruebas correspondientes.

1.3.2 Geográfica

El estudio se realizará en la Universidad Politécnica Salesiana, sede Guayaquil, donde podremos desarrollar el banco de pruebas virtual utilizando el Matlab/Simulink. Este proyecto estará enfocado a los estudiantes de la carrera de ingeniería en electrónica y automatización, ayudando en el estudio y análisis de las máquinas eléctricas en un entorno académico.

1.3.3 Académica

El proyecto integra conocimientos adquiridos en materias como máquinas eléctricas que son parte fundamental de la especialización en electrónica y automatización. Utilizando Matlab/Simulink, se desarrollará un banco de pruebas virtual para poder analizar parámetros claves como la corriente, el voltaje y la velocidad de los motores Dc y Ac igualmente para los

transformadores monofásicos y trifásicos. Este proyecto ayudará al aprendizaje práctico de los estudiantes proporcionando un entorno interactivo y seguro donde los estudiantes puedan aplicar la teoría que han aprendido en clase. También ayudará a los docentes a utilizar bancos de pruebas con las guías prácticas para enseñar los conceptos complicados con mayor facilidad y fomentará un aprendizaje más dinámico.

1.4 Problema de estudio

En la actualidad, los motores eléctricos y los transformadores desempeñan un papel fundamental en múltiples actividades de la vida diaria. Su uso se extiende a una amplia gama de sectores industriales, como la agroindustria, el manejo del agua, los sistemas de ventilación, la energía renovable, el transporte marítimo, la minería, la industria papelera y el transporte terrestre. Estas máquinas son responsables de una parte significativa del consumo energético global y se han convertido en componentes clave. Su continuo desarrollo tecnológico promete avances aún mayores en términos de eficiencia y funcionalidad (Coronado, 2023).

Por otra parte, los transformadores eléctricos juegan un rol esencial en la distribución de energía eléctrica que ayudará a asegurar que los equipos operen de manera segura y eficiente al proporcionar los niveles de voltaje necesarios. Sin ellos, la transferencia de energía sería desordenada y podría afectar la seguridad de los sistemas eléctricos. Las máquinas eléctricas no solo son importantes para garantizar un funcionamiento confiable, sino que también representan un pilar muy importante en la modernización de las infraestructuras energéticas (Salía Aracely Espinoza Loaiza, 2022).

Desde los inicios de la revolución industrial, la necesidad de evaluar el desempeño de motores y transformadores ha impulsado el desarrollo de bancos de prueba especializados. Sin embargo, estos sistemas suelen basarse en conceptos físicos complejos que no son evidentes a

simple vista. En un entorno industrial donde estos equipos operan en condiciones exigentes, como altas demandas energéticas o desempeño inadecuado en velocidad y par, es crucial contar con herramientas que permitan realizar diagnósticos precisos y confiables.

En el ámbito académico, los laboratorios de máquinas eléctricas suelen estar equipados con los módulos didácticos que ayudan a realizar pruebas prácticas. No obstante, existe una carencia de los bancos de pruebas digitales para que los estudiantes puedan simular el comportamiento de motores y transformadores de una forma virtual. Esta carencia de herramientas integradas limita la capacidad de los estudiantes para correlacionar conceptos teóricos con la experiencia práctica, lo que genera una brecha en el aprendizaje.

Por este motivo, el desarrollo de un banco de pruebas basado en simulación digital busca cubrir estas necesidades. Este proyecto está orientado a facilitar el análisis y la comprensión de las máquinas eléctricas mediante el uso de herramientas avanzadas de ingeniería, como MATLAB/Simulink. La implementación de este banco de pruebas permitirá a los usuarios visualizar y verificar el comportamiento de estos equipos de manera integral, fortaleciendo tanto la formación académica como la aplicación práctica de los conocimientos.

1.5 Justificación

El desarrollo del banco de pruebas digital basado en Matlab/Simulink responde a la necesidad de herramientas pedagógicas que fortalezcan la enseñanza de máquinas eléctricas a los estudiantes de electrónica y automatización. Actualmente, las limitaciones de los recursos materiales y la falta de disponibilidad continua de los equipos físicos en los laboratorios dificultan que los estudiantes puedan relacionar los conceptos teóricos con aplicaciones prácticas, lo que genera una falta en su aprendizaje y comprensión.

El proyecto fomenta un aprendizaje autónomo y flexible, permitiendo a los estudiantes experimentar y reforzar conocimientos de manera continua, independientemente de la disponibilidad de los laboratorios. La simulación en Matlab/Simulink permite replicar condiciones de operaciones reales, eliminando los riesgos asociados al manejo directo de equipos físicos y ayudando que sea un entorno seguro para el análisis y las experimentaciones.

La implementación del banco de pruebas digital tiene un impacto significativo en la modernización de los recursos educativos, promoviendo un enfoque práctico y visual en la enseñanza. Este enfoque permite que los estudiantes desarrollen competencias críticas en simulación, análisis y control de sistemas eléctricos, habilidades esenciales en un sector industrial en constante evolución. Además, el proyecto refuerza la capacidad de los docentes para explicar conceptos complejos de forma clara y efectiva, brindando una herramienta versátil que integra teoría y práctica en un único entorno (Pablo Andrés López Brito, 2022).

Desde una perspectiva tecnológica, el banco de pruebas no solo moderniza las metodologías de enseñanza, sino que también ayudará a preparar a los estudiantes para poder enfrentarse a las demandas actuales y futuras del sector eléctrico e industrial. La simulación digital, al estar alineada con las tecnologías utilizadas en las industrias, mejorará las preparaciones de los futuros ingenieros para poder enfrentar los desafíos del mundo laboral.

El proyecto hace un aporte a la actualización y fortalecimiento de los recursos educativos en electrónica y automatización. Su desarrollo promueve un enfoque práctico y accesible para el estudio de sistemas eléctricos, brindando un ambiente seguro que permite la experimentación y análisis de diversas condiciones de operación. También facilita la adquisición de habilidades básicas de simulación y control, esenciales para afrontar los retos de un sector industrial cambiante.

También promueve avances tecnológicos y produce ingenieros que pueden satisfacer las necesidades actuales y futuras en el campo eléctrico. (Universidad Veracruzana, 2020).

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo general

Diseñar un conjunto de simulaciones para las prácticas experimentales de la asignatura máquinas eléctricas, para que se complemente el aprendizaje teórico y práctico.

1.6.2 Objetivos específicos

- Diseñar el modelo de banco de pruebas que se realizará en el software Matlab/Simulink.
- Elaborar los modelos matemáticos y experimentales para la simulación de máquinas eléctricas.
- Desarrollar 1 guía práctica detallada para docentes de la materia de máquinas eléctricas que incluya procedimiento de simulación y análisis de máquinas eléctricas.
- Validar los modelos matemáticos de máquinas eléctricas con los resultados obtenidos en la simulación.

2. Revisión de literatura

2.1 Herramienta de simulación en máquinas eléctricas

2.1.1 Matlab

Matlab es una plataforma interactiva utilizada en diversos campos de la ingeniería, la ciencia y las matemáticas para ayudar a resolver problemas de ingeniería complejos. El nombre proviene de “Laboratorio de Matriz” porque su núcleo se basa en la gestión de datos matriciales, lo que permite realizar cálculos y operaciones matemáticas más sencillas. Las principales aplicaciones de MATLAB incluyen el desarrollo de algoritmos, procesamiento de señales e imágenes, análisis de datos, optimización de sistemas, modelado de circuitos eléctricos y electrónicos y diseño de sistemas de control.

Su entorno interactivo permite a los usuarios visualizar resultados de manera gráfica en tiempo real, creando gráficos en 2D y 3D que ayudan a interpretar de forma clara los datos y las simulaciones realizadas. (García J. E., 2022)

Figura 1

Logo del software Matlab



Nota. Logo del software Matlab donde se desarrollará nuestro proyecto. Tomado de (Nebrija, 2020).

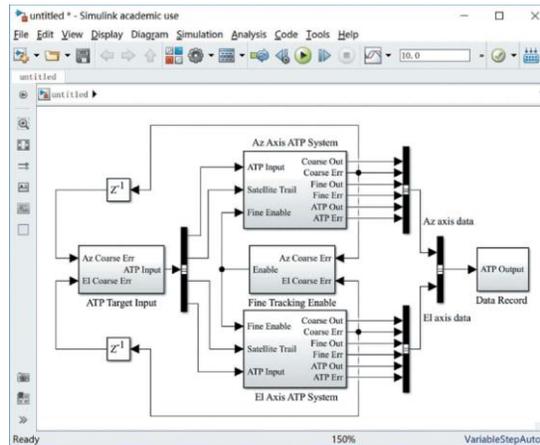
2.2.2 Simulink

Simulink es una plataforma gráfica que forma parte del entorno de MATLAB, diseñada para modelar, simular y analizar sistemas dinámicos en diversos campos de ingeniería y ciencias aplicadas. Su enfoque principal es la representación visual de sistemas mediante diagramas de bloques, lo que facilita la construcción y comprensión de modelos complejos sin necesidad de un profundo conocimiento de programación. Esta herramienta permite trabajar con sistemas que involucran señales continuas, discretas o combinaciones de ambas, integrando ecuaciones diferenciales, funciones lógicas y relaciones matemáticas en un entorno interactivo. Es especialmente útil en áreas como sistemas de control, procesamiento de señales, diseño de sistemas electrónicos, modelado de sistemas mecánicos y simulación de sistemas eléctricos. (Arévalo Fernández, 2020)

Debido a su versatilidad y potencia, Simulink es una herramienta clave tanto en el ámbito académico como en la industria, ya que permite a los usuarios explorar, probar y perfeccionar sistemas de manera eficiente y confiable, adaptándose a las necesidades de diferentes disciplinas.

Figura 2

Interfaz de inicio de Simulink



Nota. Interfaz de inicio de Simulink donde desarrollaremos nuestras simulaciones. Tomado de (Cong, 2019)

2.2 Modelos matemáticos de las simulaciones

Esta sección describe los modelos matemáticos desarrollados para las seis simulaciones realizadas dentro del proyecto.

2.2.1 Ecuación 1

Prueba en vacío y en cortocircuito en transformador monofásico real

- **Prueba en vacío**

Se aplica tensión nominal al primario, dejando el secundario en circuito abierto.

Se miden la corriente de excitación I_o y la potencia absorbida P_o

Datos

- $V_1 = 220V$
- $I_o = 0.5A$
- $P_o = 50W$

Se obtiene

$$G_e = \frac{P_o}{V_1^2} = \frac{50}{220^2} = 1.03 \times 10^{-3} S \quad (1)$$

$$B_m = \frac{\sqrt{I_o^2 - (P_o/V_1)^2}}{V_1} = \frac{\sqrt{0.5^2 - (50/220)^2}}{220} = 2.22 \times 10^{-3} S \quad (2)$$

Prueba de cortocircuito

- Se aplica una tensión reducida en el primario hasta que la corriente nominal circule en el secundario
- Se mide la corriente I_{cc} y la potencia absorbida P_{cc}

Datos obtenidos de la simulación

- $V_{cc} = 20 V$
- $I_{cc} = 2 A$
- $P_{cc} = 10 W$

Se calculan:

$$R_{eq} = \frac{P_{cc}}{I_{cc}^2} = \frac{10}{2^2} = 2.5 \Omega \quad (3)$$

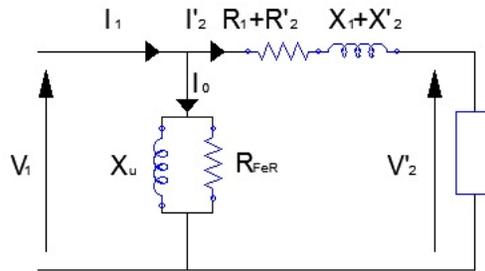
$$X_{eq} = \frac{\sqrt{V_{cc}^2 - P_{cc} \cdot R_{eq}}}{I_{cc}} = \frac{\sqrt{20^2 - (10 \times 2.5)}}{2} = 4.79 \Omega \quad (4)$$

Donde:

$$R_{eq} = R_1 + R_2, X_{eq} = X_1 + X_2$$

Figura 3

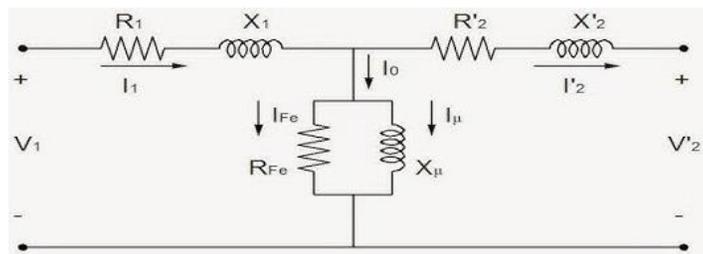
Circuito equivalente de Cortocircuito



Nota: Circuito equivalente de la primera práctica de cortocircuito (Ramirez, 2019)

Figura 4

Circuito equivalente en vacío



Nota: Circuito equivalente de la primera práctica de vacío (García J. F., 2023).

2.2.2 Ecuación 2

Transformador trifásico con magnetización y pérdidas en el núcleo

Modelo matemático

Transformador trifásico que considera magnetización y pérdidas en el núcleo.

Circuito equivalente del transformador trifásico

- Resistencias de los devanados primarios y secundarios R_1, R_2
- Reactancia de dispersión primarias y secundarias: X_1, X_2
- Admitancia del circuito de excitación

Ecuación general para la realización del voltaje y la corriente es:

$$V_1 = (R_1 + j X_1)I_1 + V_m$$

$$V_m = \frac{1}{Y_e} - \frac{1}{G_e + jB_m}$$

$$V_2 - (R_2 + jX_2)I_2$$

Donde G_e representa las pérdidas en el núcleo y B_m la magnetización

Sustituyendo valores numéricos:

$$V_1 = (0.002 + j 0.08)I_1 + V_m \quad (5)$$

$$V_m = \frac{1}{(1/500)+j(1/500)} \quad (6)$$

$$V_2 = (0.002 + j0.08)I_2 \quad (7)$$

Modelo matemático

$$H(s) = \frac{V_2(s)}{V_1(s)} = \frac{N}{1 + \frac{R_{eq} + jX_{eq}}{Z_m}} \quad (8)$$

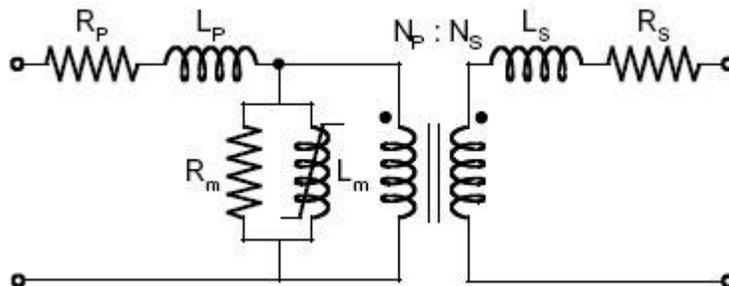
Donde

- N es la relación de transformación $220/210 = 1.0476$
- $Z_m = R_m + jX_m = 500 + j500$
- $R_{eq} = R_1 + R_2 = 0.004\Omega$
- $X_{eq} = X_1 + X_2 = 0.16\Omega$

$$H(s) = \frac{1.0476}{1 + \frac{0.004s + j0.16s}{500s + j500s}} \quad (9)$$

Figura 5

Circuito equivalente de transformador con magnetización



Nota: Circuito equivalente de la segunda práctica transformador con magnetización (Alejandro Daniel Blasco, 2023).

2.2.3 Ecuación 3

Control de velocidad: Análisis del comportamiento dinámico de un motor de corriente Continua bajo variación de carga y control de velocidad.

Modelos Matemático

- **Dinámica eléctrica en la armadura**

El circuito de armadura se modela como una resistencia R, una inductancia L y una fem inducida E su ecuación de tensión es:

$$V_a = R_a I_a + L_a \frac{dI_a}{dt} + e_a. \quad (10)$$

Sustituimos los valores

$$V_a = 0.6 I_a + 0.012 \frac{dI_a}{dt} + K_e \omega. \quad (11)$$

- **Dinámica eléctrica en el circuito de campo**

El circuito de campo R_f y una inductancia L_f.

La ecuación de tensión es:

$$V_f = R_f I_f + L_f \frac{dI_f}{dt}. \quad (12)$$

Sustituimos los valores

$$V_f = 240 I_f + 120 \frac{dI_f}{dt}. \quad (13)$$

Torque y dinámica mecánica

$$T_e = k_t I_a.$$

$$T_e = 1.8 I_a I_f.$$

$$T_e - T_L = J \frac{D\omega}{dt} + B_m \omega.$$

$$1.8 I_a I_f - T_L = 0.01 \frac{d\omega}{dt}.$$

Modelo completo

$$V_a = 0.6 I_a + 0.012 \frac{dI_a}{dt} + k_e \omega. \quad (14)$$

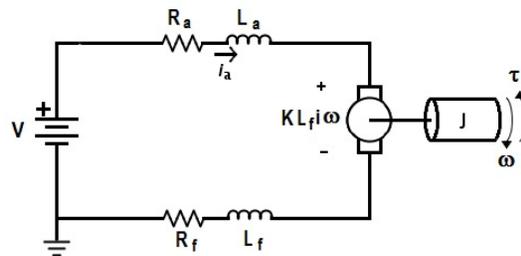
$$V_f = 250I_f + 120 \frac{dI_f}{dt}. \quad (15)$$

$$T_e = 1.8I_a I_f. \quad (16)$$

$$1.8I_a I_f - T_L = 0.01 \frac{d\omega}{dt}. \quad (17)$$

Figura 6

Circuito equivalente de control de velocidad



Nota: Circuito equivalente de la tercera práctica de un control de velocidad (Muñoz, 2021).

2.2.4 Ecuación 4

Motor DC con carga variable

Ecuación de la corriente de armadura

$$V_a = R_a I_a + L_a \frac{dI_a}{dt} + E_b \quad (18)$$

Como la FEM inducida (E_b) es: $E_b = K_e \omega$

Reemplazando en la ecuación de la armadura:

$$V_a = R_a I_a + L_a \frac{dI_a}{dt} + K_e \omega \quad (19)$$

Resolviendo para I_a :

$$\frac{dI_a}{dt} = \frac{V_a - R_a I_a - K_e \omega}{L_a} \quad (20)$$

Ecuación de la dinámica del motor

$$J \frac{dw}{dt} = T_e - T_L - B_m w \quad (21)$$

Reemplazando $T_e = K_t I_a$: $J \frac{dw}{dt} = K_t I_a - T_L - B_m w$

Resolviendo para $\frac{dw}{dt}$: $\frac{dw}{dt} = \frac{K_t I_a - T_L - B_m w}{J}$

Cálculo en Estado Estacionario

En estado estacionario

$$\frac{dI_a}{dt} = 0 \text{ y } \frac{dw}{dt} = 0$$

Corriente de armadura en estado estacionario

$$I_a = \frac{V_a - K_e w}{R_a}$$

Sustituyendo $V_a = 240V$, $R_a = 0.6 \text{ ohm}$ y $K_e = 1$ y tomando la velocidad final de la simulación $W_{ss} = 220 \text{ rad/s}$:

$$I_a = \frac{240 - (1 \times 220)}{0.6} \quad (22)$$

$$I_a = \frac{20}{0.6} = 33.33A \quad (23)$$

Torque Electromagnético en estado estacionario

$$T_e = K_t I_a = 1 \times 33.33 \quad (24)$$

$$T_e = 33.33 \text{ N} - \text{m} \quad (25)$$

Potencia mecánica en estado estacionario

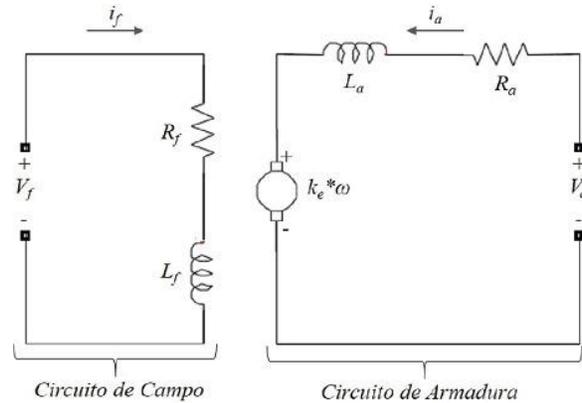
$$P_m = T_e \cdot w \quad (26)$$

$$P_m = 33.33 \times 220 \quad (27)$$

$$P_m = 7333.33 \text{ w} \quad (28)$$

Figura 7

Circuito equivalente de motor con carga variable



Nota: Circuito equivalente de la práctica 4 de motor con carga variable (Paredes, 2020).

2.2.4 Ecuación 5

Análisis del comportamiento dinámico de una máquina asíncrona trifásica con carga mecánica y eléctrica en Simulink

Ecuaciones de Tensión del Estator

$$V_d = R_s i_d + L_s \frac{di_d}{dt} + W_s L_m i_q \quad (29)$$

$$V_q = R_s i_q + L_s \frac{di_q}{dt} - w_s L_m i_d \quad (30)$$

Donde:

V_d, V_q son las tensiones en el estator en el eje dq

$R_s = 2.5$ ohmio es la resistencia del estator.

$L_s = 0.002H$ es la inductancia del estator.

i_d, i_q son las corrientes del estator en el eje dq

$W_s = 2\pi F$ es la velocidad síncrona del campo en rad/s.

$L_m = 0.05H$ es la inductancia mutua..

Ecuaciones de Tensión del Rotor

$$0 = R_r i_{dr} + L_r \frac{di_{dr}}{dt} + (\omega_s - \omega_r) L_m i_{qr} \quad (31)$$

$$0 = R_r i_{qr} + L_r \frac{di_{qr}}{dt} + (\omega_s - \omega_r) L_m i_{dr} \quad (32)$$

Donde:

$R_r = 2.7 \text{ ohmio}$ es la resistencia del rotor.

$L_r = 0.0025H$ es la inductancia del rotor.

i_{dr}, i_{qr} son las corrientes del rotor en el eje dq.

$\omega_r =$ es la velocidad del rotor.

Torque Electromagnético

El torque electromagnético generado por la máquina se obtiene como:

$$T_e = \frac{3}{2} P L_m (i_{dr} i_q - i_{qr} i_d) \quad (33)$$

Donde $P=2P$ es el número de polos de la máquina.

Ecuación de la Dinámica del Rotor

La ecuación de movimiento del rotor es:

$$J \frac{d\omega_r}{dt} = T_e - T_L - B_m \omega_r \quad (34)$$

Donde:

$J = 0.01 \text{ kg.m}^2$ es el momento de inercia

T_L es el torque de carga

$B_m = 0.002N.m.s$ es el coeficiente de fricción viscosa.

Ecuaciones de Potencia y Corrientes

La potencia activa suministrada por la fuente es:

$$P = 3V_{ph}I_{ph}\cos\theta \quad (35)$$

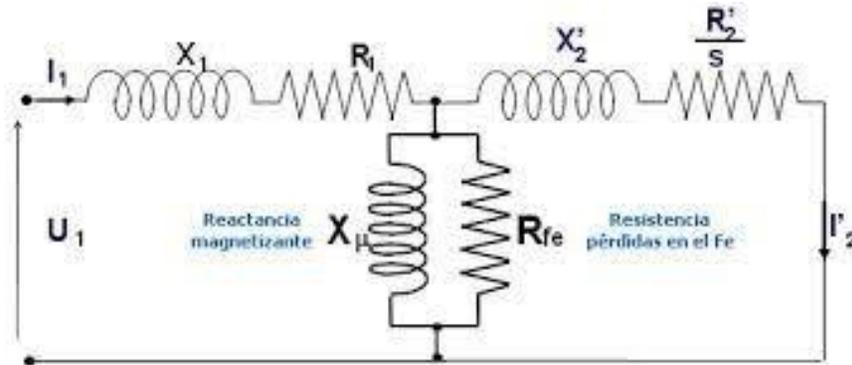
Donde V_{ph} e I_{ph} son los valores eficaces de voltaje y corriente por fase.

La corriente del estator en la fase a está dada por:

$$i_a = i_d\cos\theta + i_q\sin\theta \quad (36)$$

Figura 8

Circuito equivalente comportamiento dinámico



Nota: Circuito equivalente de la práctica cinco sobre un comportamiento dinámico (Edwin David, 2021).

2.2.5 Ecuación 6

Simulación de arranque directo de un motor de inducción trifásico dinámica eléctrica del estator

Ecuaciones de Voltaje del Estator

$$V_d = R_s i_d + L_s \frac{di_d}{dt} + \omega_s L_m i_q \quad (37)$$

$$V_q = R_s i_q + L_s \frac{di_q}{dt} + \omega_s L_m i_d \quad (38)$$

Donde:

V_d, V_q son los voltajes en los ejes dq del estator.

$R_s = 0.5968$ ohmio es la resistencia del estator.

$L_s = 0.0003495H$ es la inductancia del estator.

i_d, i_q son las corrientes en los ejes dq del estator.

$\omega_s = 2\pi F$ es la velocidad síncrona rad/s.

$L_m = 0.0354H$ es la inductancia mutua..

Ecuaciones de Voltaje del Rotor

$$0 = R_r i_{dr} + L_r \frac{di_{dr}}{dt} + (\omega_s - \omega_r) L_m i_{qr} \quad (39)$$

$$0 = R_r i_{qr} + L_r \frac{di_{qr}}{dt} + (\omega_s - \omega_r) L_m i_{dr} \quad (40)$$

Donde:

$R_r = 0.6258$ ohmio es la resistencia del rotor.

$L_r = 0.0005473H$ es la inductancia del rotor.

i_{dr}, i_{qr} son las corrientes del rotor en el marco dq.

$\omega_r =$ es la velocidad del rotor.

Cálculo del Torque Electromagnético

El torque electromagnético se obtiene a partir de la interacción entre los campos magnéticos del estator y rotor:

$$T_e = \frac{3}{2} P L_m (i_{dr} i_{qr} - i_{qr} i_{dr}) \quad (41)$$

Donde $P=2$ es el número de polos del motor.

Ecuación de Movimiento del Rotor

$$J \frac{d\omega_r}{dt} = T_e - T_L - B_m \omega_r \quad (42)$$

Donde:

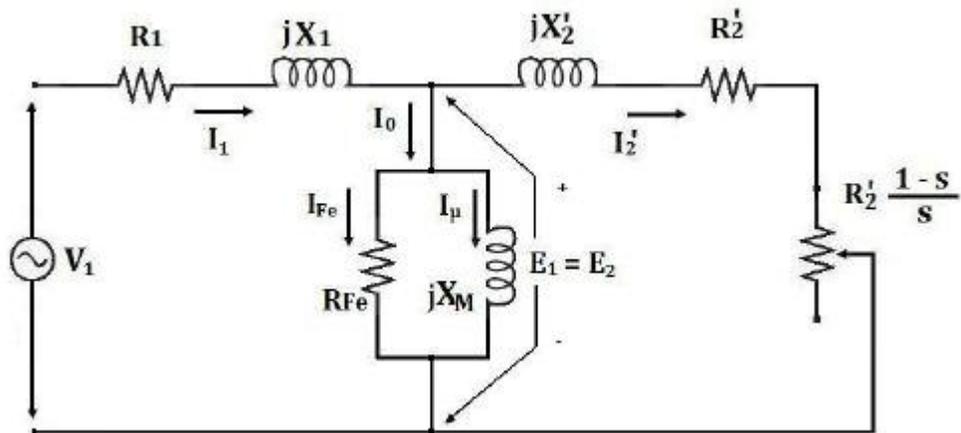
$J = 0.05 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ es el momento de inercia.

$T_L =$ es el torque de carga mecánica.

$B_m = 0.005879 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}$ es el coeficiente de fricción viscosa.

Figura 9

Circuito equivalente de arranque directo



Nota: Circuito equivalente de la práctica 6 de arranque directo (Saldivar, 2021)

3. Marco Metodológico

3.1 Estrategia Metodológica

Figura 10

Mapa Conceptual de la Metodología



Nota: El esquema visual ilustra la organización metodológica del trabajo de investigación.

3.2 Diseño de banco de prueba virtual en Matlab/Simulink

El banco de pruebas en Matlab/Simulink nos ayudará a crear un entorno que replique el comportamiento de motor y transformadores en condiciones controladas por el usuario.

Componentes del diseño:

- Entorno MATLAB/Simulink: Uso exclusivo de bloques de una misma librería para garantizar la compatibilidad y la conexión fluida entre módulos.
- Interfaz de Usuario Virtual (GUI): Presentación gráfica de resultados en tiempo real: gráficos de corriente, voltaje, y curvas de eficiencia.

- Instrumentación Virtual: Configuración de medidores digitales que permiten observar valores durante las simulaciones.
- Escenarios de Prueba: Configuración de diversos casos prácticos, como arranque directo de motores, análisis de pérdidas magnéticas en transformadores, y evaluación de conexiones estrella y delta.

3.3 Elaboración de guías prácticas

Las guías prácticas que incluirán el contenido de las simulaciones del software Simulink para el banco de pruebas virtual son importantes para garantizar que los estudiantes y profesores puedan aprovechar al máximo esta herramienta. Estas guías actuarán como manuales que expliquen paso a paso las simulaciones, su configuración y el análisis de resultados; nos ayudará con el aprendizaje, así como la aplicación de conceptos teóricos. (Domínguez, 2022)

Estructura de las guías

- Introducción general
- Descripción del modelo en Simulink
- Procedimiento paso a paso
- Análisis de resultados
- Ejercicios complementarios
- Conclusión
- Bibliografía y recursos

3.4 Simulación prueba en vacío y en cortocircuito en transformador monofásico real

La simulación de las pruebas en vacío y cortocircuito del transformador monofásico real en Simulink permite analizar las pérdidas en el núcleo y los devanados del transformador bajo diferentes condiciones específicas. En la prueba en vacío, se aplica el voltaje nominal al primario con el secundario en circuito abierto, midiendo la corriente de magnetización y sus pérdidas en el núcleo (Macas AVECILLAS, 2023).

En la prueba del cortocircuito, se aplica un voltaje reducido primario, mientras que en el secundario está cortocircuitado, evaluando las pérdidas resistivas en los devanados primario y secundario en la impedancia equivalente. En la tabla 1 se pueden observar los parámetros principales del transformador para desarrollar la simulación

Tabla 1

Parámetro del transformador

Parámetros	Valores
Número de vueltas primarias	200
Número de vueltas secundarias	100
Resistencia combinada del devanado	0.002 Ω
Inductancia de fuga combinada	0.0001 H

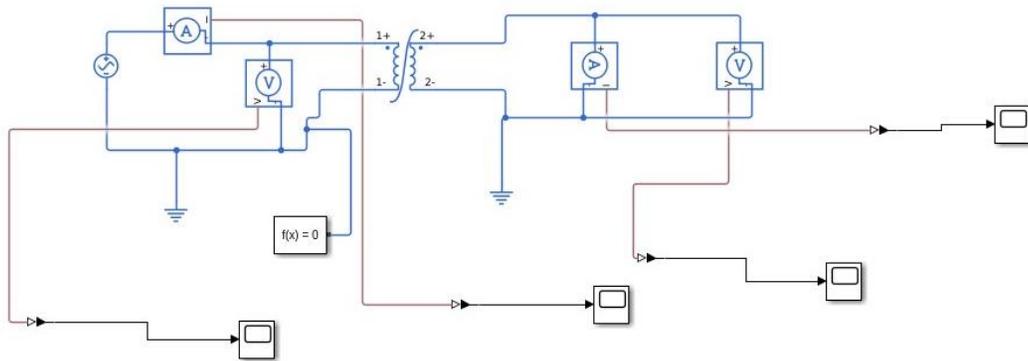
Nota. En esta tabla se presenta los valores de los parámetros principales del transformador utilizados en la simulación.

3.4.1 Modelo de simulación para prueba en cortocircuito

El modelo de prueba de cortocircuito se puede observar al simular el comportamiento eléctrico de un transformador aplicando un voltaje reducido al primario mientras el secundario está en cortocircuito. Esto incluye una fuente de alimentación CA para poder alimentar el transformador, instrumentos virtuales como un amperímetro y un voltímetro para que se pueda medir la corriente y el voltaje aplicado y un medidor de potencia para poder observar las pérdidas resistivas en los devanados. La unidad de visualización permite observar inmediatamente los resultados de la simulación, lo que ayuda a analizar la resistencia equivalente y las pérdidas del devanado. El modelo reproduce condiciones controladas para probar los parámetros eléctricos centrales del transformador.

Figura 11

Simulación de cortocircuito del transformador en simulink



Nota. En esta simulación de cortocircuito se analizan las pérdidas resistivas en los devanados del transformador.

3.4.2 Bloque fuente de voltaje ac

Este bloque nos permite configurar los parámetros como amplitud de voltaje, frecuencia y fase para adaptarse a condiciones de prueba específicas. En el caso de una prueba de cortocircuito, la fuente de alimentación nos proporciona un voltaje reducido al lado primario del transformador, lo que evita la sobrecarga y garantiza condiciones de funcionamiento seguras. (MathWorks, 2024).

Figura 12

Símbolo de fuente de voltaje AC en Simulink



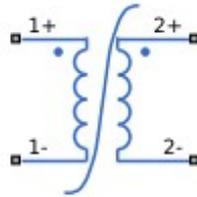
Nota. Representación de fuente de voltaje AC utilizada en Simulink para configurar parámetros de voltaje, frecuencia y fase. (Moler, 2024).

3.4.3 Bloque de transformador no lineal

Este bloque representa un transformador monofásico con características no lineales y está diseñado para simular el comportamiento del núcleo y los devanados en diversas condiciones de operación (MathWorks, 2024).

Figura 13

Transformador no lineal en Simulink



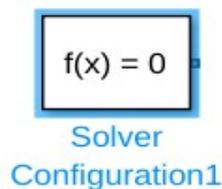
Nota. Representación de un transformador no lineal diseñado para poder observar el comportamiento del núcleo en simulink (Moler, 2024).

3.4.4 Bloque solver configuration

Este bloque nos proporciona la información necesaria para resolver un sistema de ecuaciones diferenciales algebraicas que describen el comportamiento dinámico de un sistema. En conclusión, este bloque garantiza que el modelo tenga las condiciones correctas para realizar cálculos correctos y establece un marco consistente para configurar componentes no lineales como los transformadores (MathWorks, 2024).

Figura 14

Bloque Solver configuration en simulink



Nota. Representación del bloque utilizado para resolver ecuaciones en sistemas de simulación (MathWorks, 2024).

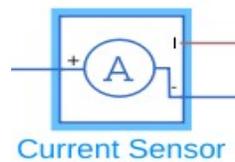
3.4.4 Bloque current sensor

Este bloque convierte la corriente física en una señal proporcional que puede utilizarse para análisis o visualización en un modelo. El sensor determina la magnitud y la dirección de la corriente conectando dos terminales en un circuito. Esto es particularmente útil porque puede

registrar instantáneamente corrientes primarias o secundarias, lo que ayuda a analizar parámetros como las pérdidas de impedancia y el rendimiento del sistema en diversas condiciones de operación. (MathWorks, 2024).

Figura 15

Bloque de Current sensor en simulink



Nota. Representación del bloque current sensor que se utiliza para detectar y registrar las corrientes primarias o secundarias en circuitos eléctricos. (MathWorks, 2024).

3.4.5 Bloque voltage sensor

El módulo sensor de voltaje en la analogía se utiliza para medir el voltaje entre dos puntos de un circuito. Este sensor convierte el voltaje físico en una señal proporcional que puede procesarse o mostrarse en un modelo. Al conectar los terminales en paralelo al componente o circuito que desea medir, puede registrar instantáneamente el valor de voltaje. (MathWorks, 2024).

Figura 16

Bloque Voltage sensor en simulink



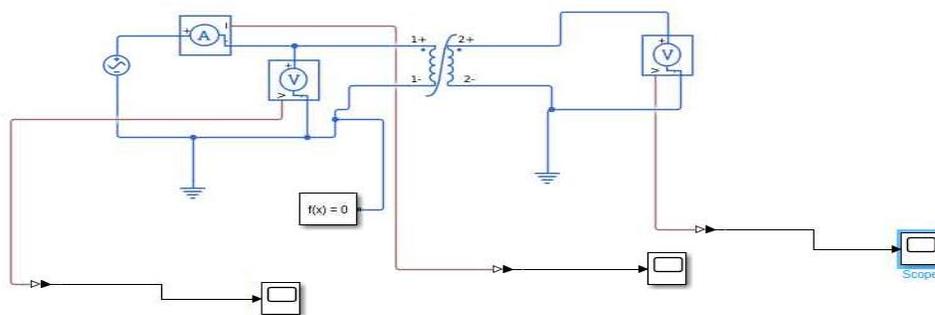
Nota. Representación del Bloque voltaje sensor que se utiliza para medir voltaje entre dos puntos en un circuito en simulink (MathWorks, 2024).

3.4.6 Modelo de simulación para prueba en vacío

La prueba en vacío del modelo Simulink simula el funcionamiento de un transformador con el lado secundario abierto, permitiendo analizar las pérdidas del núcleo y las corrientes de magnetización. La fuente de CA suministra el voltaje nominal al devanado primario, mientras que el amperímetro mide la corriente de magnetización y el voltímetro registra el voltaje aplicado.

Figura 17

Simulación de prueba en vacío en Simulink



Nota. Simulación de prueba de vacío su utilizada para analizar las pérdidas del núcleo y las corrientes de magnetización de un transformador.

3.5 Simulación de Transformador trifásico

Simulación de transformador trifásico con magnetización y pérdidas en el núcleo Simulink representa el funcionamiento de un transformador trifásico, incluidos los efectos de la magnetización y las pérdidas en el núcleo. El transformador transfiere esta energía al lado secundario, que también está en configuración en estrella, donde se proporciona una carga equilibrada. Durante la simulación, se tienen en cuenta las propiedades magnéticas del núcleo, como la saturación, la histéresis y las corrientes de Foucault, para analizar las pérdidas asociadas. (Jhosselin Madahi Flores Camayo, 2021)

Los voltajes y corrientes en el primero y segundo devanado son monitoreados mediante instrumentación virtual, y los resultados se visualizan gráficamente para evaluar el equilibrio de

las fases, el flujo de potencia y la eficiencia del transformador. En la Tabla 2 se muestra los parámetros importantes del transformador para desarrollar la simulación.

Tabla 2

Parámetros principales del transformador Trifásico

Parámetro	Valores
Potencia nominal y frecuencia	250 MVA, 60 Hz
Parámetros del bobinado 1 (Primario)	400e3, 0.002, 0.08
Bobinado 2 parámetros (Secundario)	230e3, 0.002, 0.08
Resistencia a la magnetización (Rm)	500 pu
Inductancia de magnetización (Lm)	500 pu
Inductancia L0 del flujo de secuencia cero	0.5 pu
Característica de saturación	[0.0024, 1.2; 0.01, 1.5]

Nota. En esta tabla se presentan los valores principales del transformador trifásico.

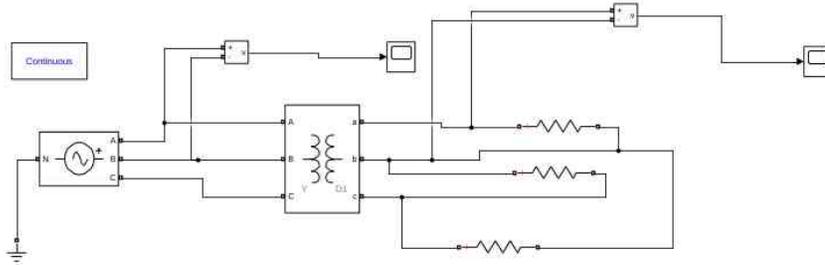
3.5.1 Modelo de simulación

En la simulación del transformador trifásico en el que una fuente de voltaje CA trifásica está conectada a un transformador trifásico que regula el nivel de voltaje ante una carga resistiva. Estos incluyen bloques de medición para observar un registro del voltaje y corriente para observar las formas de las ondas se usa un osciloscopio. Además, hay un bloque de referencia con un sumador, lo que sugiere es que el sistema puede comparar mediciones con una señal de referencia.

La simulación nos permite analizar el comportamiento y la respuesta de la carga del transformador bajo diferentes condiciones de operación.

Figura 18

Simulación de transformador trifásico en Simulink



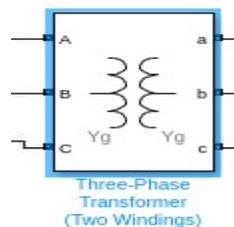
Nota. Simulación en Simulink que permite observar el comportamiento y respuesta de la carga del transformador trifásico bajo diferentes condiciones.

3.5.2 Bloque Transformador trifásico (dos devanados)

El bloque del transformador trifásico incluye terminales en cada fase del lado primario y secundario y se puede configurar para las conexiones en estrella (Y) o en triángulo (Δ). Al integrar parámetros como la relación de transformación, la resistencia, la inductancia de fuga y las propiedades del núcleo, se tienen en cuenta fenómenos como las pérdidas por histéresis y corrientes parásitas.

Figura 19

Transformador trifásico de dos devanados en simulink



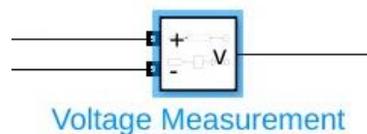
Nota. Bloque utilizado para modelar transformadores trifásicos con dos devanados y configurar las conexiones estrella o triángulo. (MathWorks, 2023)

3.5.3 Bloque Voltage Measurement

El módulo de medición del voltaje en simulink se lo utiliza para poder medir el voltaje entre dos nodos de circuito dentro de la simulación del Simscape. Tiene dos terminales de entrada (y -) que deben conectarse en paralelo al componente cuyo voltaje se desea medir. La salida del módulo proporciona una señal de voltaje en forma de datos que se pueda utilizar para analizar, monitorear o visualizar en un osciloscopio u otros módulos de procesamiento de señales en el modelo (MathWorks, 2024).

Figura 20

Bloque de medición de voltaje en simulink



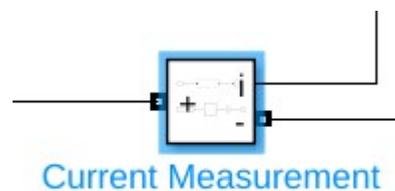
Nota. Bloque que puede medir voltaje entre nodos en un circuito en la simulación de sistemas eléctricos. (MathWorks, 2024)

3.5.4 Bloque de medición de corriente

Este módulo convierte la corriente en una señal proporcional que puede procesarse o mostrarse en el modelo. Es particularmente útil para analizar el funcionamiento de los sistemas eléctricos porque monitorea y registra inmediatamente el flujo de energía, ayudando a diagnosticar las condiciones de operación y verificar los parámetros del sistema.

Figura 21

Bloque de medición de corriente



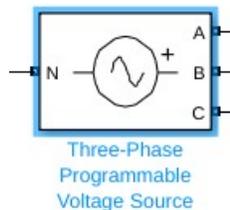
Nota. Bloque que se utiliza para analizar el funcionamiento de los sistemas eléctricos en Simulink (Moler, 2024).

3.5.5 Bloque Fuente de voltaje programable trifásica

Este módulo es ideal para simular sistemas eléctricos trifásicos ya que permite ajustar parámetros como amplitud, frecuencia, fase y desequilibrio de fase. Además, es posible replicar condiciones específicas, como fluctuaciones de voltaje o perturbaciones de la red, lo que ayuda a analizar cómo responde el sistema en diferentes condiciones de operación. Se utiliza ampliamente en modelos de transformadores, motores y redes eléctricas para evaluar su comportamiento dinámico y verificar su desempeño en función de cambios en el suministro de energía.

Figura 22

Bloque de fuente de voltaje



Nota. Bloque que permite ajustar parámetros de frecuencia, fase, y desequilibrio (MathWorks, 2023).

3.5.6 Bloque powergui

Este módulo permite la simulación continua de sistemas eléctricos, especialmente sistemas con componentes no lineales o dinámicas complejas. Actúa como gestor del entorno eléctrico, facilita el cálculo del estado del sistema y proporciona acceso a herramientas de análisis como FFT (Transformada Rápida de Fourier) para el análisis armónico. (MathWorks, 2024).

Figura 23

Bloque Powergui



Nota. Bloque que facilita el cálculo del estado del sistema y proporciona acceso a herramientas de análisis como FFT (MathWorks, 2024).

3.6 Simulación control de velocidad: Análisis del comportamiento dinámico de un motor de corriente continua bajo variación de carga y control de velocidad

Esta simulación analiza el comportamiento dinámico de un motor de corriente continua (CC) durante cambios de carga y regulación de velocidad, permitiendo evaluar la respuesta del sistema a cambios en las condiciones de operación. Incluye un controlador de velocidad que ajusta el voltaje del motor para mantener la velocidad deseada incluso cuando se producen perturbaciones, como variación del par de carga. (Chinchay Aponte, 2022) En la tabla 3 que se muestra, se detallan los parámetros que se deben colocar en el motor DC.

Tabla 3

Parámetros Principales del motor DC

Parámetro	Valor
Resistencia de armadura (Ra)	0.6Ω
Inductancia de armadura (La)	0.012H
Resistencia de campo (Rf)	240Ω
Inductancia de campo (Lf)	120H
Inductancia mutua armadura-campo (Laf)	1.8H
Inercia total (J)	1kg·m ²
Coefficiente de fricción viscosa (Bm)	0N·m·s
Velocidad inicial (rad/s)	1rad/s
Torque de fricción de Coulomb (Tf)	0N·m

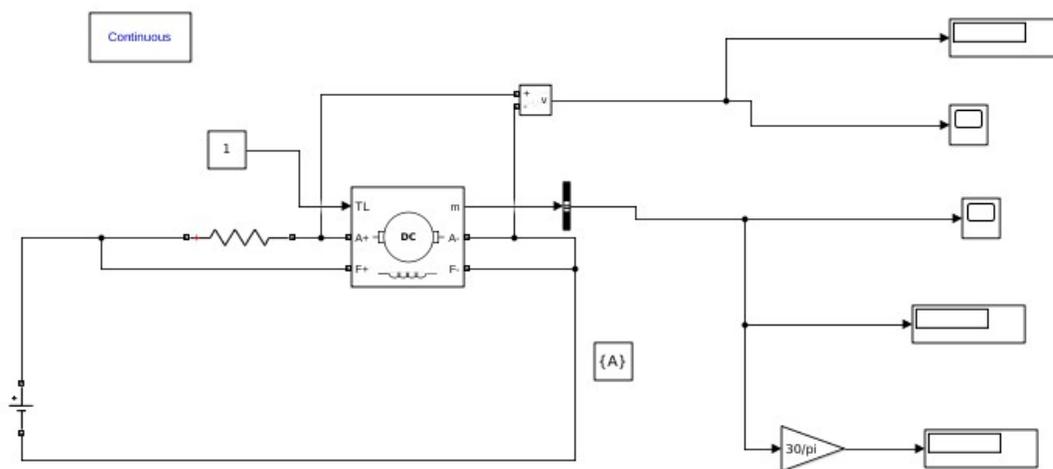
Nota. En esta tabla se presenta los valores principales del motor DC.

3.6.1 Modelo de simulación

El modelo consta de un motor de corriente continua accionado por una fuente de voltaje, donde la corriente y la velocidad son reguladas por un sistema de control que ajusta la entrada del motor. Este modelo mide y muestra parámetros clave del motor, como la corriente de armadura, el voltaje aplicado, el torque y la velocidad angular. Además, incluye un módulo que simula el par de carga para evaluar cómo el sistema de control compensa estos cambios para mantener la velocidad deseada.

Figura 24

Simulación de control de velocidad en Simulink



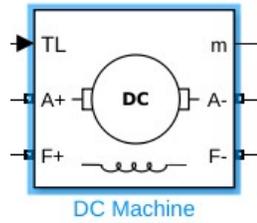
Nota. Simulación en Simulink para regular la velocidad de un motor DC.

3.6.2 Bloque Dc machine

El módulo simula el comportamiento eléctrico y mecánico del motor, teniendo en cuenta los devanados de la armadura (A y A-), los campos magnéticos (F y F-) y la conexión al eje mecánico (m) interactuando con la carga aplicada a través de los terminales de torque de carga (TL). (MathWorks, 2024).

Figura 25

Bloque de máquina DC en Simulink



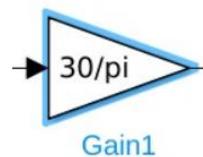
Nota. Bloque que simula el comportamiento eléctrico y mecánico de un motor (MathWorks, 2024).

3.6.3 Bloque Gain

El bloque Gain configurado como $30/\pi$ en Simulink representa un amplificador de ganancia constante que multiplica la señal de entrada por el factor especificado, en este caso, $\frac{30}{\pi}$. Este bloque se utiliza para escalar una señal, convirtiéndola a una unidad o rango específico. En el contexto de un sistema de control de motor DC, este bloque podría estar transformando una velocidad angular medida en radianes por segundo (rad/s) a revoluciones por minuto (RPM), dado que el factor $\frac{30}{\pi}$ corresponde a esta conversión (MathWorks, 2024).

Figura 26

Bloque Gain simulink



Nota. Bloque que se utiliza para representar un amplificador de ganancia constante (MathWorks, 2024).

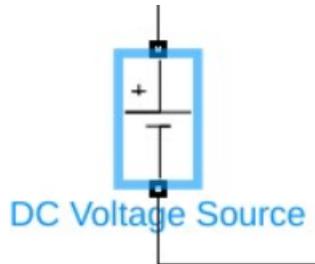
3.6.4 Bloque Dc voltage source

El bloque de fuente de voltaje de CC de Simulink es una fuente de voltaje de CC que proporciona un voltaje constante a un circuito. Este módulo se utiliza para controlar componentes

eléctricos, como motores de corriente continua, simulando su comportamiento en determinadas condiciones y proporcionando una entrada estable. (MathWorks, 2024).

Figura 27

Bloque Dc voltaje source



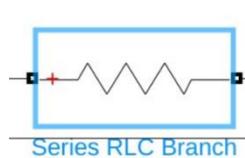
Nota. Bloque que simula su comportamiento en determinadas condiciones y proporcionando una entrada estable (MathWorks, 2024).

3.6.5 Bloque Series RLC Branch

El bloque de derivación serie RLC en Simulink representa una rama eléctrica que consta de elementos de resistencia (R), inductancia (L) y capacitancia (C) conectados en serie. Este módulo se utiliza para modelar y analizar circuitos en los que las interacciones entre resistencias, inductores y capacitores afectan el comportamiento de la corriente y el voltaje. (MathWorks, 2023)

Figura 28

Serie RLC modificado a resistencia



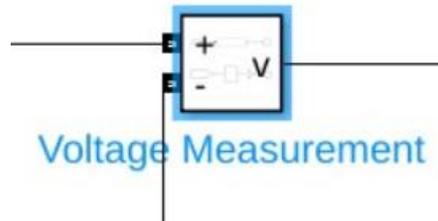
Nota. Bloque útil para poder modelar y analizar circuitos entre resistencias, inductores y capacitores. (MathWorks, 2023).

3.6.6 Bloque Voltage Measurement

El módulo de medición de voltaje Simulink se utiliza para medir el voltaje entre dos nodos del circuito. Este módulo convierte el voltaje en una señal proporcional que puede procesarse, analizarse o mostrarse en una simulación.

Figura 29

Bloque de voltage Measurement Simulink



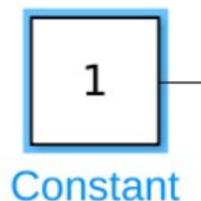
Nota. Bloques que mide el voltaje entre dos nodos del circuito (MathWorks, 2024).

3.6.7 Bloque Constant

El bloque Constante de Simulink genera una señal constante con un valor fijo definido por el usuario, en este caso 1.

Figura 30

Bloque Constant



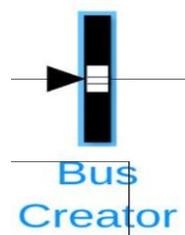
Nota. Bloques que genera una señal constante y permite ingresar un valor que se puede usar en diferentes partes de una simulación (Moler, 2024).

3.6.8 Bloque Bus Creator

El bloque Bus Creator en Simulink se utiliza para combinar múltiples señales individuales en una sola señal de tipo bus, lo que facilita la organización y manejo de datos en un modelo.

Figura 31

Bloque Bus Creator



Nota. Bloques utiliza para combinar múltiples señales individuales en una sola señal de tipo bus (Moler, 2024).

3.7 Simulación Motor DC con Carga Variable

Simulación de motor de CC de carga variable. Analiza el comportamiento dinámico y la eficiencia de un motor de corriente continua (CC) cuando se expone a condiciones de carga que varían en el tiempo. El sistema consta de un modelo de motor de CC alimentado por una fuente de voltaje constante y un módulo que aplica un par de carga variable al eje del motor. Esto nos permite estudiar cómo se regula la velocidad del motor y cómo cambian parámetros como la corriente del inducido, el par producido y la velocidad angular en estas condiciones. A continuación, se muestra una lista de parámetros del bloque de CC.

Tabla 4

Parámetros de motor DC Con carga variable

Parámetro	Valor
Resistencia de armadura (R_a)	0.6Ω
Inductancia de armadura (L_a)	$0.012H$
Resistencia de campo (R_f)	240Ω
Inductancia de campo (L_f)	$120H$
Inductancia mutua armadura-campo (L_{af})	$1.8H$
Inercia total (J)	$1kg \cdot m^2$
Coefficiente de fricción viscosa (B_m)	$0N \cdot m \cdot s$
Velocidad inicial (rad/s)	$1rad/s$

Torque de fricción de Coulomb (Tf)	0N·m
------------------------------------	------

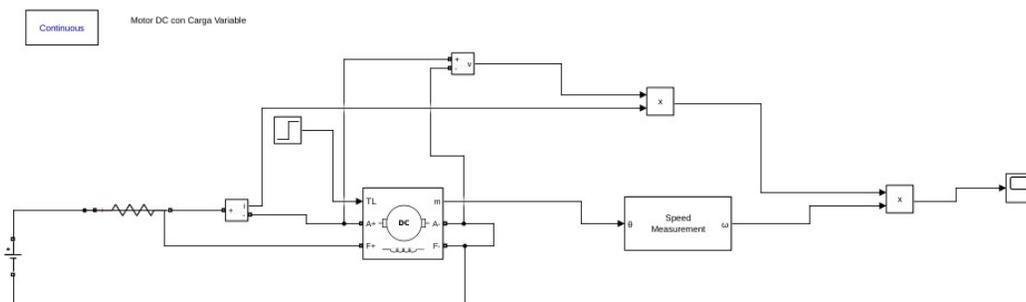
Nota. En esta tabla se presentan los valores principales del motor DC utilizados en la simulación.

3.7.1 Modelo de simulación

La solución analógica para un motor de CC de carga variable incluye una fuente de voltaje para impulsar el motor de CC, un módulo para analizar el torque de carga variable y un medidor de velocidad angular conectado al convertidor para analizar la respuesta en diferentes unidades. También incluye controles para ajustar parámetros como el voltaje y la velocidad de referencia, y utiliza bloques de osciloscopio para visualizar la velocidad del motor y la respuesta a los cambios de carga para evaluar su rendimiento dinámico y estabilidad.

Figura 32

Simulación de un motor DC carga variable en simulink



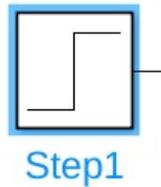
Nota. Simulación en simulink donde se analiza la respuesta del motor DC ante variaciones de carga.

3.7.2 Bloque step

El módulo de paso genera una señal de paso que cambia de un valor inicial a otro valor inicial en un momento determinado. Este módulo se puede utilizar para simular cambios repentinos en las entradas del sistema, como un aumento de voltaje, torque o cualquier otra variable controlada. El usuario puede configurar el tiempo de cambio y los valores antes y después del paso para poder analizar la respuesta transitoria y la estabilidad del sistema ante perturbaciones.

Figura 33

Bloque step



Nota. Bloque que se utiliza para simular cambios repentinos como aumento de voltaje, torque o cualquier otra variable controlada (Moler, 2024).

3.7.3 Bloque Speed Measurement

El módulo de medición de velocidad de Simulink se utiliza para calcular y medir la velocidad angular (ω) de un sistema giratorio en función de la posición angular (θ). Este módulo convierte los cambios de posición en señales de velocidad en tiempo real, lo que le permite analizar el comportamiento dinámico de motores, generadores u otros sistemas mecánicos. (MathWorks, 2023).

Figura 34

Bloque Speed Measurement



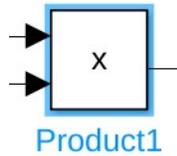
Nota. Bloque que ayuda a calcular y medir velocidad angular en un sistema giratorio (MathWorks, 2023).

3.7.4 Bloque Product

El bloque Producto en Simulink realiza la multiplicación de dos o más señales de entrada. Se utiliza para combinar señales o calcular productos matemáticos necesarios en un modelo, como calcular potencia, par o cualquier relación entre variables que requiera multiplicación.

Figura 35

Bloque Product



Nota. Bloque que se utiliza para la combinación de señales y calcular productos matemáticos (Moler, 2024).

3.8 Simulación Análisis del comportamiento dinámico de una máquina asíncrona trifásica con carga mecánica y eléctrica.

Esta simulación analiza el comportamiento dinámico de un motor de inducción trifásico alimentado por una fuente de tensión trifásica y sometido a carga mecánica. Evaluar cómo la corriente del estator, la velocidad del rotor y el par electromagnético cambian en respuesta a los cambios en la excitación eléctrica y la carga aplicada. Al medir y visualizar estas variables, es posible estudiar la eficiencia y estabilidad del motor, su capacidad de adaptación a los cambios de carga y su desempeño en condiciones reales de operación, proporcionando una herramienta clave para analizar y optimizar los sistemas eléctricos industriales. Los siguientes son los parámetros de la unidad de aire acondicionado.

Tabla 5

Parámetros del bloque de máquina AC en simulink

Parámetro	Valor
Potencia nominal (Pn)	18.45e+03 VA
Voltaje nominal línea-línea (Vn)	400 Vrms
Frecuencia nominal (fn)	50Hz
Relación de voltaje Rotor/Estator	Hz
Resistencia del estator (Rs)	0.5968Ω
Inductancia del estator (Ls)	0.0003495 H
Resistencia del rotor (Rr)	0.6258 Ω

Inductancia del rotor (L_r)	0.005473 H
Inductancia mutua (L_m)	0.035 H
Inercia (J)	0.05 kg·m ²
Factor de fricción (F)	0.005879 N·m·s
Número de pares de polos (p)	2
Condiciones iniciales (slip, corriente, etc.)	[0 0 0 0 0 0]

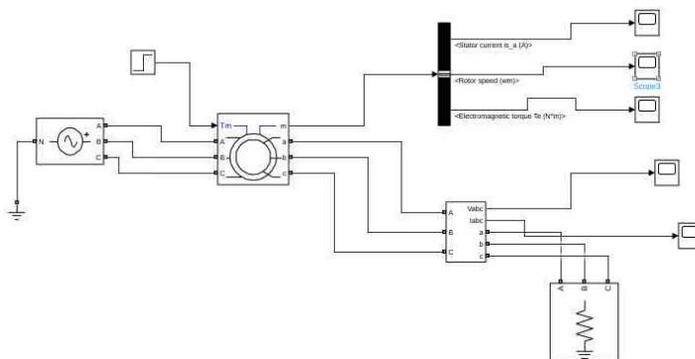
Nota. En esta tabla se presentan los parámetros principales del motor AC.

3.8.1 Modelo de simulación

La simulación consiste en una fuente de voltaje trifásico que acciona una máquina de inducción trifásica conectada a una carga mecánica que simula la resistencia aplicada al eje del motor. Para analizar el rendimiento del sistema, se incluyen medidores de voltaje y corriente para registrar señales eléctricas en el estator y el rotor. El selector de bus organiza y extrae variables clave como la corriente del estator, a velocidad del rotor y el par electromagnético, y las visualiza mediante bloques de osciloscopio. Además, se ha añadido el módulo Powergui para controlar simulaciones en el dominio del tiempo. Estos componentes pueden evaluar el rendimiento del motor en términos de estabilidad, eficiencia y respuesta dinámica a los cambios de carga.

Figura 36

Simulación de máquina asincrónica en Simulink



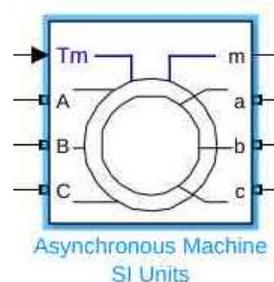
Nota. Simulación que puede analizar el rendimiento de una máquina asincrónica.

3.8.2 Bloque Asynchronous Machine SI Units

El módulo Unidades SI de máquinas asíncronas en Simulink modela máquinas asíncronas trifásicas en unidades SI. Tiene terminales para conectar el estator y el rotor y una entrada de torque mecánico (T_m) para simular la carga del eje. Analiza la velocidad del rotor, el comportamiento dinámico de los motores y su eficiencia en aplicaciones industriales y sistemas de potencia. (MathWorks, 2023).

Figura 37

Bloque Asynchronous Machine



Nota. Bloque que analiza la velocidad del rotor, el comportamiento dinámico y su eficiencia. (MathWorks, 2023).

3.9 Simulación de arranque directo de un motor de inducción trifásico

La simulación de arranque directo de un motor de inducción trifásico analiza el funcionamiento de un motor de inducción cuando está conectado directamente a una fuente de voltaje trifásico sin utilizar un arrancador suave. Durante la simulación, se pueden observar la corriente de arranque, los cambios de velocidad del rotor y el par electromagnético a medida que el motor pasa de ralentí a velocidad nominal.

Tabla 6

Parámetros motores de inducción en Simulink

Parámetro	Valor
Potencia nominal (Pn)	18.45e+03 VA
Voltaje nominal línea-línea (Vn)	400 Vrms
Frecuencia nominal (fn)	50Hz
Relación de voltaje Rotor/Estator	Hz
Resistencia del estator (Rs)	0.5968Ω
Inductancia del estator (Ls)	0.0003495 H
Resistencia del rotor (Rr)	0.6258 Ω
Inductancia del rotor (Lr)	0.005473 H
Inductancia mutua (Lm)	0.035 H
Inercia (J)	0.05 kg·m ²
Factor de fricción (F)	0.005879 N·m·s
Número de pares de polos (p)	2
Condiciones iniciales (slip, corriente, etc.)	[0 0 0 0 0 0]

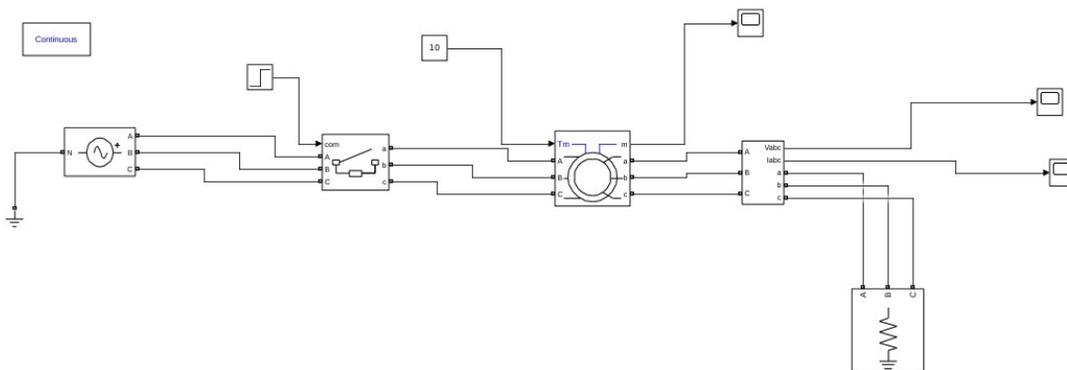
Nota. En la tabla se presentan los valores del motor de inducción en Simulink.

3.9.1 Modelo de simulación

En esta nueva simulación del arranque directo de un motor asíncrono trifásico tiene una fuente de tensión trifásica que alimenta una maquina asincrónica trifásica, un contacto de conexiones para el arranque analógico. Los sensores detectan las variables como la corriente del estator, la velocidad del rotor y el par electromagnético, con sus datos se puede mostrar en la unidad de osciloscopio. Además, el módulo powergui gestiona las simulaciones en el dominio del tiempo. El modelo se puede analizar para el funcionamiento del motor desde el arranque hasta el estado estable.

Figura 38

Arranque directo de un motor de inducción trifásico



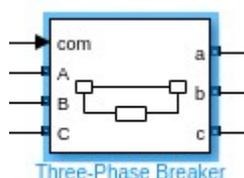
Nota. Simulación donde se podrá observar el análisis para el funcionamiento del motor desde el arranque hasta el estado estable.

3.9.2 Bloque Three-Phase Breaker

El bloque Three-Phase Breaker en Simulink es un interruptor trifásico que permite conectar o desconectar un sistema eléctrico en respuesta a una señal de control. Es utilizado en simulaciones de redes eléctricas y motores trifásicos para evaluar el impacto de la conexión y desconexión de cargas o fuentes en el comportamiento del sistema (MathWorks, 2023).

Figura 39

Bloque Three-phase breaker



Nota. Bloque que es utilizado para evaluar el impacto de la conexión y desconexión de cargas o fuentes en un sistema (MathWorks, 2023).

4. Resultados

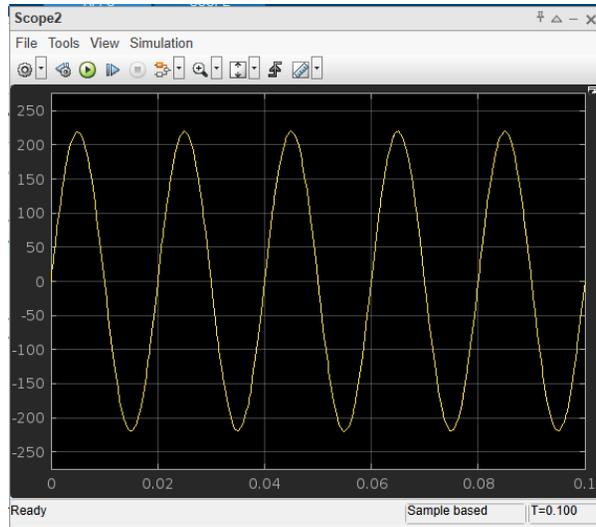
4.1 Resultados de la simulación prueba en vacío del transformador monofásico real

En la Figura 32. Se percibe una señal sinusoidal con un máximo voltaje de cerca de 250 V y una frecuencia de 50 Hz, lo que se asemeja al voltaje que se aplica al devanado primario sin tener

carga en el secundario conectada. La forma de onda es constante y uniforme, lo que señala un funcionamiento adecuado del transformador bajo estas circunstancias.

Figura 40

Resultado del voltaje devanado primario

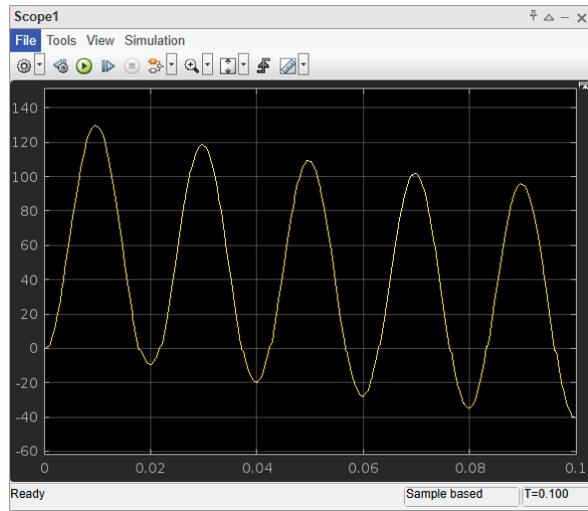


Nota. Resultado de la prueba de vacío donde se observa la señal sinusoidal y su correcto funcionamiento bajo las condiciones establecidas.

La Figura 33, muestra la estructura de onda de la corriente en la parte primaria del transformador monofásico durante el ensayo en vacío. Se percibe una señal sinusoidal con una amplitud máxima cercana a 140 mA, lo que es considerablemente inferior al voltaje primario que se aplica. Esto concuerda con que, en el ensayo en vacío, la única corriente que fluye por el devanado primario es la corriente de excitación, que tiene la función de magnetizar el núcleo del transformador y equilibrar las pérdidas en el hierro. Es evidente que la forma de onda no es totalmente sinusoidal, lo que podría deberse a la existencia de componentes armónicos provocados por la falta de linealidad en el núcleo magnético.

Figura 41

Resultado de corriente lado primario

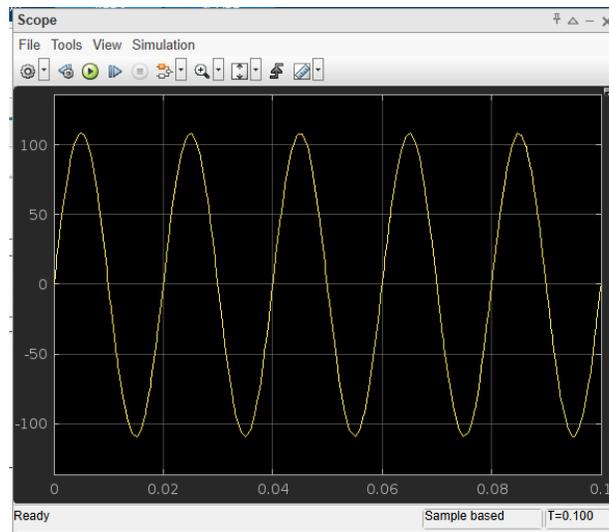


Nota. Resultado del scope donde se observa que la corriente que fluye por el devanado primario es la corriente de excitación.

En la figura 34, muestra la forma de la onda de voltaje en el extremo del secundario del transformador monofásico durante el experimento de prueba de vacío. Se percibe una señal senoidal con una amplitud máxima cerca de 110 V, lo que señala una adecuada conversión del voltaje con relación al devanado primario. Como el secundario se encuentra abierto en esta prueba, no existe un flujo de corriente en este lado del transformador. Esto facilita la medición del voltaje en vacío y la evaluación de la relación de transformación del dispositivo. La señal se encuentra en forma sinusoidal evidencia de que el transformador funciona dentro de los parámetros previstos, sin alteraciones notables, lo que nos ayudara asegurar una conversión eficaz de la energía sin consecuencias negativas debido a la saturación o perdidas en el núcleo.

Figura 42

Resultado de voltaje devanado secundario



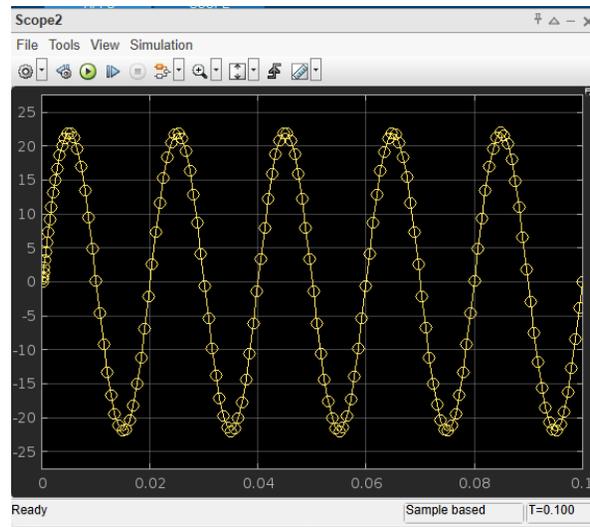
Nota. El resultado del scope se puede observar que la señal se encuentra en forma sinusoidal evidencia de que el transformador funciona dentro de los parámetros previstos.

4.2 Resultados de la simulación prueba en cortocircuito del transformador monofásico real

En la Figura 35, se aplica un voltaje reducido al devanado primario, generalmente entre el 10% y el 20% del valor nominal, para prevenir daños en el transformador y garantizar una medición precisa de las pérdidas en los devanados. En este caso, se ha utilizado un voltaje de 22 V en lugar de 220 V, lo que equivale aproximadamente al 10% de la tensión nominal. Se puede observar una señal sinusoidal estable, lo que indica que el transformador está funcionando correctamente en estas condiciones. Esta prueba permite evaluar la impedancia de cortocircuito y las pérdidas en el cobre, ya que al utilizar una tensión reducida se logra que circule una corriente significativa en el circuito, facilitando así la medición de la resistencia y la reactancia del devanado sin comprometer la integridad del transformador.

Figura 43

Resultado de voltaje primario

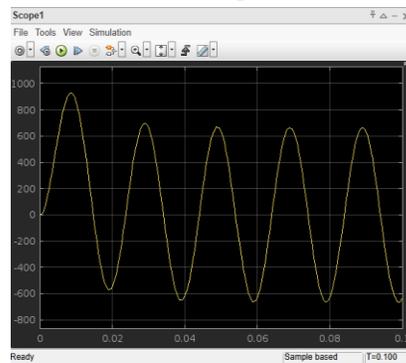


Nota. El resultado del scope se puede observar que la señal se encuentra en forma sinusoidal evidencia de que el transformador funciona dentro de los parámetros previstos.

En la figura 36 se puede observar la forma de onda de la corriente en el devanado primario del transformador monofásico durante la prueba de cortocircuito. Se puede observar una señal sinusoidal una amplitud máxima de 900 mA (0.9 A), lo cual es típico de esta prueba, donde el devanado secundario está en cortocircuito y el voltaje aplicado en el primario se reduce (en este caso, 22 V en lugar de los 220 V nominales). Dado que la resistencia del bobinado es baja, la corriente que fluye es relativamente alta, lo que permite analizar las pérdidas en el cobre del transformador.

Figura 44

Resultado de corriente de magnetización de lado primario

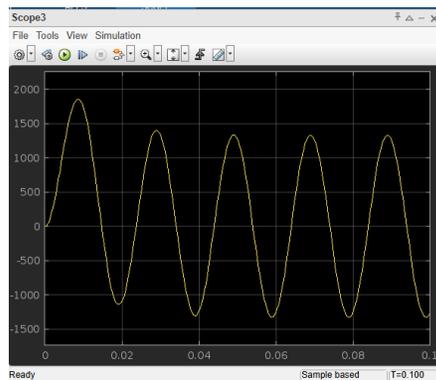


Nota. Se puede observar que la resistencia del bobinado es baja, la corriente que fluye es relativamente alta, lo que permite analizar las pérdidas en el cobre del transformador.

En la Figura 37 se presenta la forma de onda de la corriente en el devanado secundario del transformador monofásico durante la prueba de cortocircuito. Se puede observar una señal sinusoidal con una amplitud máxima de aproximadamente 1.8 A (1800 mA). Durante esta prueba, el secundario está en cortocircuito, lo que permite que fluya una corriente elevada en el circuito, dado que la impedancia del transformador en esta condición es prácticamente la misma que la de los devanados. La relación de transformación entre el primario y el secundario afecta la corriente en el secundario, ya que esta es mayor que la corriente en el primario debido a la proporción inversa de la relación de transformación.

Figura 45

Resultado de corriente de lado en corto



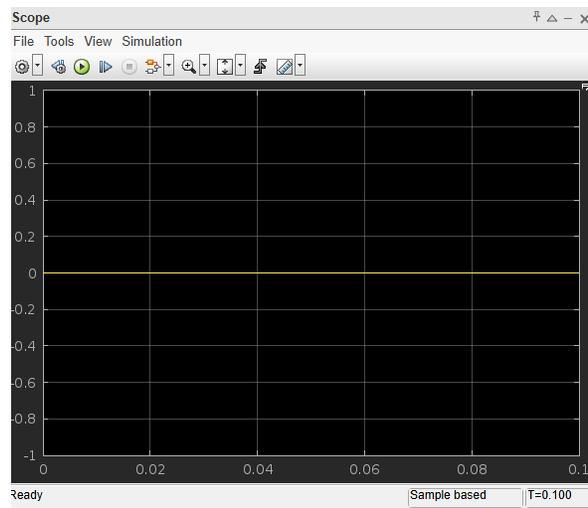
Nota. Resultados del scope donde se observa la onda de corriente del transformador monofásico durante la prueba de cortocircuito.

En la Figura 38 se presenta la forma de onda del voltaje en el devanado secundario del transformador monofásico durante la prueba de cortocircuito. Se puede observar que el voltaje se mantiene cerca de cero, lo cual es un resultado esperado en este tipo de prueba, dado que el secundario del transformador está cortocircuitado. En esta situación, la impedancia total del secundario es muy baja, lo que permite que circule una corriente elevada, mientras que la

diferencia de potencial (voltaje) se reduce a un valor casi insignificante. Este comportamiento confirma que el transformador está funcionando correctamente durante la prueba de cortocircuito, en la que se busca analizar las pérdidas en los devanados, la impedancia equivalente y la reactancia de dispersión del transformador.

Figura 46

Resultado de voltaje de lado de corto



Nota. Se puede observar que el voltaje se mantiene cerca de cero, lo cual es un resultado esperado en la prueba de cortocircuito.

4.3 Resultados de simulación transformador trifásico con magnetización y pérdidas en el núcleo

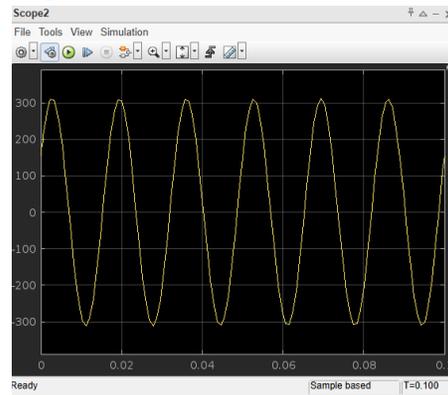
En esta simulación, se llevó a cabo la prueba de carga resistiva que se realizó en el laboratorio de máquinas eléctricas, siguiendo la práctica descrita en la documentación de referencia. En este experimento, se utilizó un transformador trifásico de 2 kVA con una conexión delta-estrella (Δ -Y), donde la carga resistiva está conectada al lado estrella del secundario.

En la Figura 39, se puede ver el voltaje del primario del transformador obtenido en la simulación de Simulink. Aunque se esperaba un voltaje de 220V, el Scope muestra valores que varían entre aproximadamente +310V y -310V. Esto ocurre porque el Scope representa el voltaje

instantáneo (pico), mientras que el valor que normalmente se indica en sistemas de corriente alterna (CA) es el voltaje eficaz (RMS). Para un voltaje RMS de 220V, el voltaje pico esperado es de aproximadamente 311V, lo que coincide con la gráfica observada.

Figura 47

Resultado de voltaje pico de lado primario

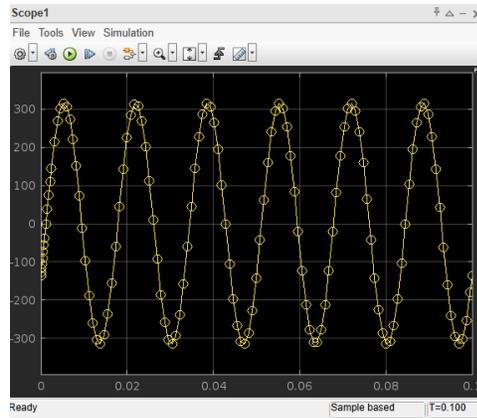


Nota. El scope muestra valores del voltaje instantáneos y el voltaje pico tiene un aproximado de 311V.

En la Figura 40, se puede ver el voltaje en el lado secundario del transformador, obtenido a partir de la simulación en Simulink. Aunque se esperaba un voltaje de 210V RMS, la gráfica muestra valores que varían entre aproximadamente +300V y -300V. Esto es correcto, ya que el Scope representa el voltaje instantáneo (pico) y no el voltaje eficaz (RMS). Dado que el voltaje esperado en el secundario es de 210V RMS, el voltaje pico calculado es aproximadamente 297V, lo que coincide con la señal mostrada en la simulación.

Figura 48

Resultado de voltaje pico secundario

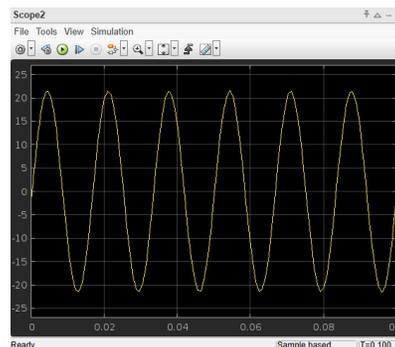


Nota. Resultado del scope que muestra el voltaje instantáneo y no el voltaje eficaz.

En la Figura 41, se ilustra la forma de onda de la corriente en el lado secundario del transformador, obtenida a partir de la simulación en Simulink. La gráfica muestra un comportamiento senoidal, que es típico de un sistema de corriente alterna (CA) alimentado por una fuente sinusoidal de 220V RMS a 60 Hz. Este valor variará según la carga conectada en el secundario del transformador, ya que una carga mayor resultará en una corriente más alta en el primario debido a la relación de transformación del transformador.

Figura 49

onda de corriente del lado primario



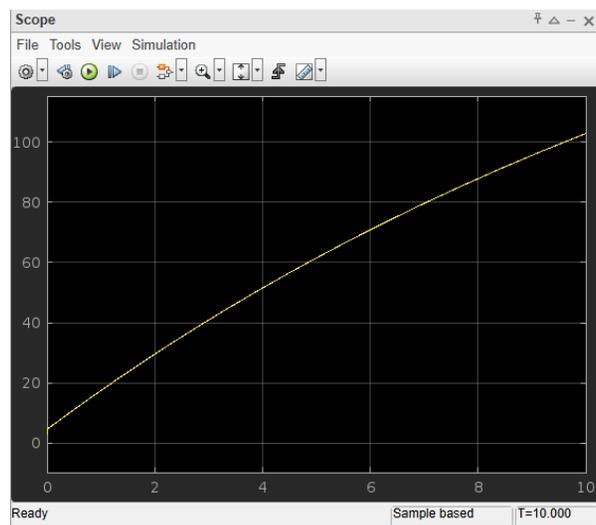
Nota. Se muestra la forma de onda de la corriente en el lado secundario del transformador, obtenida a partir de la simulación en Simulink.

4.4 Resultados de la simulación control de velocidad: Análisis del comportamiento dinámico de un motor de corriente continua bajo variación de carga y control de velocidad

En la Figura 42, se muestra cómo varía el voltaje de armadura de un motor de corriente continua a lo largo de un período de 10 segundos. En lugar de alcanzar de inmediato los 240V DC proporcionados por la fuente, el voltaje aumenta de manera gradual y se estabiliza en un valor cercano a 100V. Esto indica que hay una caída significativa de voltaje en el circuito. Esta caída es consecuencia de la resistencia de 50Ω que está en serie con el inducido, lo que provoca una disminución en el voltaje efectivo que se aplica al motor.

Figura 50

Resultado de voltaje de armadura del motor DC



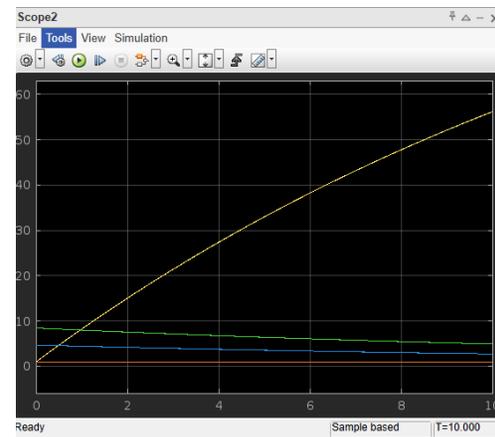
Nota. Se muestra en el scope cómo varía el voltaje de armadura de un motor de corriente continua a lo largo de un período de 10 segundos.

En la Figura 43, se muestra la evolución de la velocidad del motor de corriente continua a lo largo de un período de 10 segundos. Se observa que la velocidad del motor aumenta de manera progresiva, siguiendo una curva ascendente sin alcanzar una estabilización clara dentro del tiempo de simulación. La curva de color amarillo representa la velocidad principal del motor en rad/s,

mientras que las demás curvas podrían corresponder a señales auxiliares, como la corriente del inducido, la corriente de campo o el par electromagnético.

Figura 51

velocidad del motor DC en un periodo de 10s

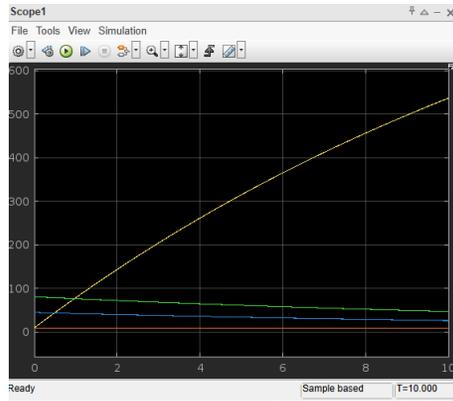


Nota. se muestra la evolución de la velocidad del motor de corriente continua a lo largo de un período de 10 segundos.

En la Figura 44, se muestra la evolución de la velocidad del motor de corriente continua en revoluciones por minuto (RPM) a lo largo de un período de 10 segundos. La curva principal, representada en color amarillo, indica que la velocidad del motor aumenta progresivamente de 0 hasta aproximadamente 600 RPM, sin mostrar una estabilización clara dentro del tiempo de simulación. Las demás curvas, de menor magnitud, pueden estar representando variables auxiliares como la corriente del inducido, la corriente de campo o el torque electromagnético.

Figura 52

velocidad en rpm del motor DC



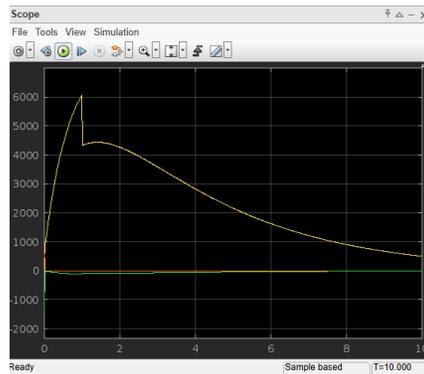
Nota. se muestra la evolución de la velocidad del motor de corriente continua en revoluciones por minuto (RPM) a lo largo de un período de 10 segundos.

4.5 Resultados de simulación motor DC con carga variable

En el gráfico 45, se observa un pico inicial de torque alrededor de 6000 N·m, lo que indica una fuerte respuesta transitoria al arranque del motor. Posteriormente, el torque disminuye gradualmente y sigue una curva decreciente hasta estabilizarse en un valor cercano a cero. Este comportamiento es característico de un motor DC cuando se encuentra bajo la influencia de la inercia y la fricción, donde el torque inicial es alto debido a la aceleración necesaria para vencer estas resistencias, pero luego se reduce a medida que el motor alcanza su velocidad nominal y la carga se estabiliza.

Figura 53

Respuesta transitoria del torque del motor

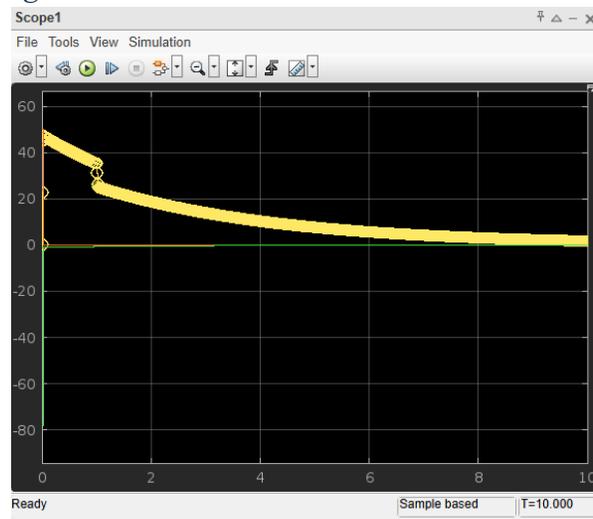


Nota. se observa un pico inicial de torque alrededor de 6000 lo que indica una fuerte respuesta transitoria al arranque del motor.

La Figura 46, muestra la respuesta de la velocidad angular del motor de corriente continua (DC) en Simulink a lo largo del tiempo. Se observa un valor inicial de velocidad cercano a 60 rad/s, lo que indica que el motor comienza con una aceleración notable tras la aplicación del voltaje. Sin embargo, con el paso del tiempo, la velocidad decrece de forma progresiva hasta estabilizarse en un valor cercano a 0 rad/s. Este comportamiento sugiere que el motor está sometido a una carga resistiva o a una influencia de fricción significativa, lo que provoca una desaceleración gradual. La curva de respuesta indica una dinámica de frenado natural debido a la disipación de energía en el sistema.

Figura 54

Resultado de velocidad angular del motor



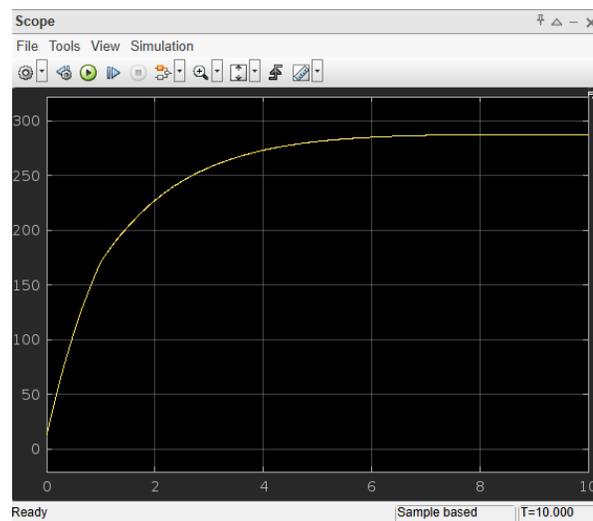
Nota. El resultado del scope muestra la respuesta de la velocidad angular del motor de corriente continua.

En la figura 47, muestra la evolución de la potencia de un motor de corriente continua (DC) en Simulink a lo largo del tiempo. Se observa que la potencia inicia en 0 W y aumenta rápidamente en los primeros segundos, alcanzando aproximadamente 300 W antes de estabilizarse. Este

comportamiento es característico de un motor DC cuando se somete a una tensión de alimentación constante y a una carga mecánica, donde inicialmente se requiere más potencia para lograr vencer la inercia y las pérdidas del sistema. A medida que la velocidad se estabiliza, la potencia también alcanza un valor constante, reflejando un estado de operación en régimen permanente. La curva sigue una tendencia exponencial en el sistema de primer orden, lo que sugiere que la dinámica del motor está dominada entre la resistencia eléctrica y las pérdidas mecánicas.

Figura 55

Resultado de potencia del motor DC



Nota. El resultado del scope muestra la evolución de la potencia de un motor de corriente continua.

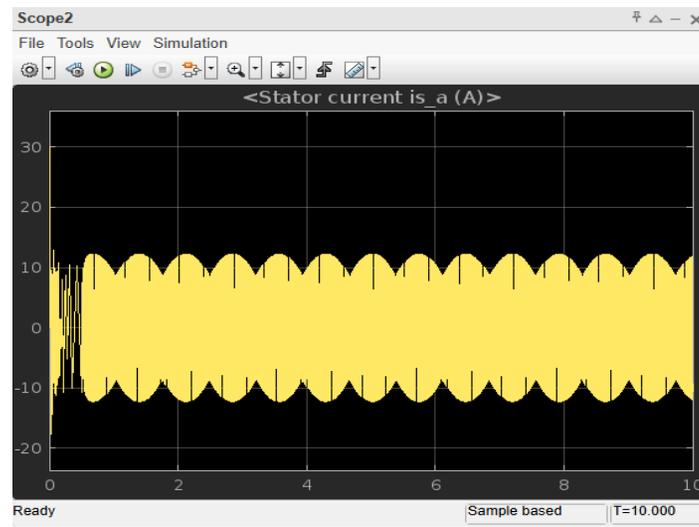
4.6 Resultados de simulación Análisis del comportamiento dinámico de una máquina asíncrona trifásica con carga mecánica y eléctrica.

En la figura 48, Se muestra la corriente en el estator en la fase "a" de la máquina asíncrona trifásica durante un período de simulación de 10 segundos. Inicialmente, se observa un pico transitorio significativo en la corriente, lo cual es característico del arranque del motor de inducción. Este comportamiento se debe a la alta impedancia inicial del rotor y la falta de campo electromagnético completamente desarrollado. A medida que transcurre el tiempo, la corriente

comienza a estabilizarse, presentando un régimen periódico con una amplitud de aproximadamente ± 15 A. La forma de onda indica una naturaleza sinusoidal con una leve modulación en la amplitud, lo que podría deberse a la interacción con la carga conectada al motor o a la respuesta dinámica del rotor a las variaciones de torque.

Figura 56

Resultado de corriente del estator en fase a

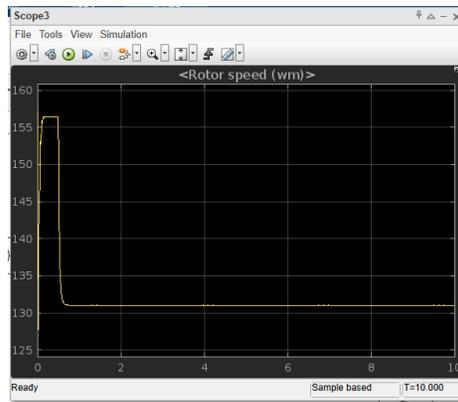


Nota. El resultado del scope muestra la corriente en el estator en la fase "a" de la máquina asíncrona trifásica durante un período de simulación de 10 segundos.

En la Figura 49, se muestra la evolución de la velocidad del rotor en radianes por segundo (rad/s) durante un período de simulación de 10 segundos. Inicialmente, el rotor experimenta un aumento rápido de velocidad, alcanzando un valor cercano a 155 rad/s en menos de 0.5 segundos, lo cual es típico en el arranque de una máquina asíncrona trifásica. Sin embargo, posteriormente se observa una caída brusca de la velocidad hasta aproximadamente 130 rad/s, donde se estabiliza en el régimen permanente.

Figura 57

Resultado de velocidad del rotor

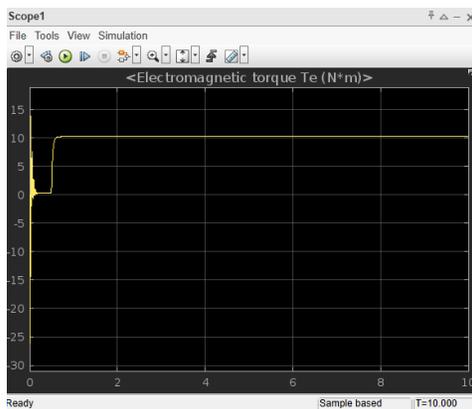


Nota. El resultado del scope muestra la evolución de la velocidad del rotor en radianes por segundo (rad/s) durante un período de simulación de 10 segundos.

En la Figura 50, se muestra la evolución del torque electromagnético en Newton-metro ($N\cdot m$) de la máquina asíncrona trifásica durante un período de simulación de 10 segundos. Inicialmente, el motor experimenta un torque transitorio negativo, alcanzando valores por debajo de $-30 N\cdot m$, lo cual es característico del arranque del motor debido a la corriente de irrupción y el proceso de establecimiento del campo electromagnético en el estator y el rotor. Luego, el torque comienza a aumentar rápidamente y se estabiliza alrededor de $7.5 N\cdot m$, lo que indica que el motor ha alcanzado su régimen permanente.

Figura 58

Evolución del torque electromagnético

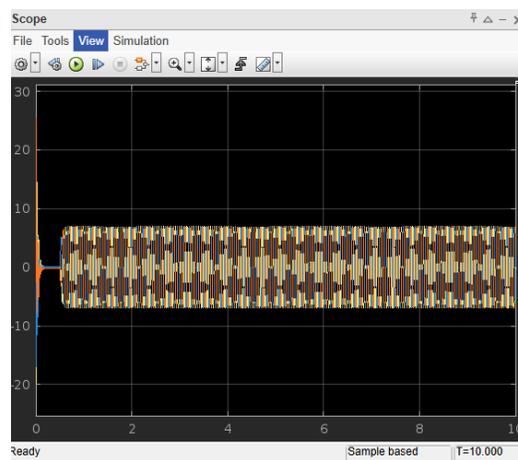


Nota. El resultado del scope muestra el torque electromagnético en Newton-metro (N·m) de la máquina asíncrona trifásica durante un período de simulación de 10 segundos.

En la Figura 51, se ilustra la señal de voltaje trifásico que se suministra a la máquina asíncrona durante un período de simulación de 10 segundos. La gráfica muestra tres señales sinusoidales que están desfasadas entre sí, lo cual es típico de un sistema de alimentación trifásico balanceado. Desde el comienzo de la simulación, se puede observar que el voltaje alcanza un régimen estable sin presentar transitorios significativos, lo que sugiere que la fuente de voltaje programada en Simulink está operando correctamente y proporcionando una alimentación adecuada al motor.

Figura 59

Resultado del voltaje trifásico aplicado al motor



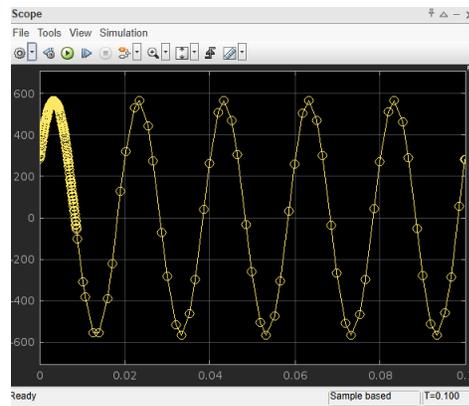
Nota. Se muestra el voltaje trifásico que se suministra a la máquina asíncrona durante un período de simulación de 10 segundos.

4.7 Resultados de simulación de Arranque Directo de un Motor de Inducción Trifásico

En la Figura 52, se muestra la medición del voltaje en la simulación del motor de inducción trifásico, donde se observa una señal sinusoidal estable con una frecuencia de 50 Hz y una amplitud de aproximadamente $\pm 600\text{V}$. Este comportamiento indica que el voltaje medido corresponde al voltaje línea a línea (VLL), lo cual es coherente con la configuración de la fuente en 400V RMS.

Figura 60

Voltaje línea a línea

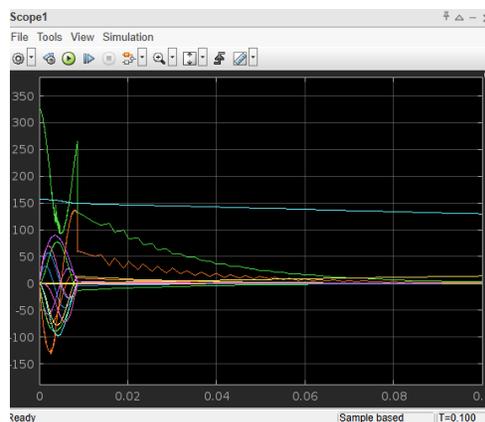


Nota. Se muestra la medición del voltaje en la simulación del motor de inducción trifásico.

En la Figura 53, se muestra la evolución del par electromagnético del motor de inducción trifásico durante los primeros 0.1 segundos de simulación. Se observa que, en el instante inicial, el par experimenta una oscilación brusca con valores máximos y mínimos elevados, lo que indica la respuesta transitoria del motor al arranque. Posteriormente, el par empieza a disminuir gradualmente y tiende a estabilizarse a medida que el motor alcanza su régimen permanente.

Figura 61

Par electromagnético del motor



Nota. Se muestra la evolución del par electromagnético del motor de inducción Trifásica.

Cronograma de actividades

En la figura 54 se puede observar las actividades que se desarrollaron a lo largo del periodo 65.

Figura 62

Cronograma de actividades

Actividades	Cronograma de Actividades																		
	Octubre				Noviembre				Diciembre				Enero				Febrero		
	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	
Elaboración del anteproyecto			X	X	X														
Revisión de programa analítico de máquinas eléctricas	X	X																	
Modelado de máquinas eléctricas en Simulink						X	X												
Simulación de escenarios en MATLAB/Simulink				X	X														
Entrega de el anteproyecto					X	X													
Elaboración del banco de pruebas en Matlab/Simulink								X	X	X									
Elaboración de guías para prácticas simuladas y elaboración de guías prácticas para docentes teóricos										X	X								
Validación de simulaciones y ajustes finales												X	X						
Redacción del informe final del anteproyecto													X	X					
Revisión y corrección del informe escrito														X	X				
Redacción del informe final de la tesis																X			
Entrega del Libro con la documentación																		X	
Exposición del tema de titulación																			X

Nota. Se muestra el cronograma de actividades con su respectivo mes donde se realizaron las actividades mostradas.

Presupuesto

Se observa en la tabla 8 el valor del presupuesto estimado para el proyecto, incluyendo el análisis del tiempo requerido para su desarrollo. Dado que la simulación se llevó a cabo íntegramente en el software Simulink, no fue necesario incurrir en costos relacionados con la adquisición de materiales ni en la implementación física del sistema. En este sentido, el desarrollo del proyecto se basó exclusivamente en la modelización y análisis computacional, optimizando así los recursos y eliminando gastos asociados a infraestructura o componentes físicos.

Tabla 7

Tabla de presupuesto

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO TOTAL
Horas de ingeniería	60h	\$2,87	156,8
Total			156,8

Nota. Se muestra la tabla de presupuesto donde se observan las horas de ingeniería.

Conclusiones

- La creación de guías detalladas proporcionó un marco estructurado para la simulación y el análisis de máquinas eléctricas, facilitando la replicabilidad de las prácticas. Esto permite que estudiantes e investigadores puedan seguir procedimientos claros y obtener resultados consistentes sin desviaciones significativas.
- El uso del banco de pruebas ayudó agilizar la evaluación del desempeño de máquinas eléctricas, reduciendo la dependencia de equipos físicos y minimizando riesgos asociados con las pruebas experimentales.
- Al contar con las guías detalladas, los estudiantes podrán seguir un proceso estructurado para poder realizar las simulaciones sin la necesidad de tener un conocimiento avanzado sobre el tema. Estos les permiten familiarizarse con el uso del banco de pruebas virtual de manera sencilla, reforzando los conceptos teóricos vistos en clase y desarrollando una mejor comprensión del comportamiento de las máquinas eléctricas a través de la experimentación virtual.

Recomendaciones

- Para facilitar el aprendizaje, sería útil incluir muchos más ejemplos prácticos y ejercicios en las guías, de modo que los estudiantes puedan reforzar sus conocimientos a través de la práctica y la resolución de problemas reales en bancos de pruebas.
- Revisar y actualizar las guías prácticas conforme se vayan identificando nuevas necesidades o avances tecnológicos en Matlab/Simulink ya que es una plataforma que con el paso de tiempo sigue evolucionando. Mantener el material actualizado garantizará que los estudiantes trabajen con información más actual.
- Antes de poder iniciar cualquier simulación, es importante que los estudiantes puedan revisar las configuraciones de los parámetros y conexiones de los modelos en Matlab/Simulink. Estos ayudaran a evitar errores en los resultados y garantizarán que las simulaciones se representen con mayor exactitud en el comportamiento real de las máquinas eléctricas.

Bibliografía

- Alejando Daniel Blasco, J. D. (5 de abril de 2023). Obtenido de <https://www.undef.edu.ar/libros/wp-content/uploads/2023/07/8-2-4.pdf>
- Arévalo Fernández, S. (28 de Junio de 2020). Obtenido de <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/47727/TFG-I-1889.pdf;jsessionid=0400E01ED523767DC12A9813567AAF51?sequence=1>
- Chinchay Aponte, J. C. (8 de Marzo de 2022). *repositorio*. Obtenido de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/18020/1/T-UCSG-PRE-TEC-IEM-287.pdf>
- Cong, S. (10 de Agosto de 2019). *researchgate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/figure/Simulink-user-interface-and-the-diagram-of-ATP-system_fig1_335056245
- Coronado, S. R. (14 de julio de 2023). *Desarrollo Motor: Desde una perspectiva integral*. Obtenido de <file:///C:/Users/Rodriguez/Downloads/Dialnet-DesarrolloMotor-9094333.pdf>
- Domínguez, I. C. (28 de abril de 2022). *Manual-de-Praticas-de-Laboratorio-de-Maquinas-Elctrica*. Obtenido de [Manual-de-Praticas-de-Laboratorio-de-Maquinas-Elctrica: https://eim.uas.edu.mx/page/wp-content/uploads/2023/07/Manual-de-Praticas-de-Laboratorio-de-Maquinas-Elctricas.pdf](https://eim.uas.edu.mx/page/wp-content/uploads/2023/07/Manual-de-Praticas-de-Laboratorio-de-Maquinas-Elctricas.pdf)
- Edwin David, A. I. (5 de mayo de 2021). Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/15114/1/15T00764.pdf>
- García, J. E. (9 de junio de 2022). *Matlab como una herramienta informática útil a la contabilidad*. Obtenido de <file:///C:/Users/Rodriguez/Downloads/Dialnet-MatlabComoUnaHerramientaInformaticaUtilALaContabil-8491899.pdf>
- García, J. F. (14 de Diciembre de 2023). Obtenido de <https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/15389/2/04%20IEL%20019%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>
- Jhosselin Madahi Flores Camayo, N. R. (29 de Septiembre de 2021). *repositorio*. Obtenido de https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/10091/1/IV_FIN_109_TE_Flores_Inderique_Javier_2021.pdf
- Jorge Enrique Ordóñez García, E. M. (9 de Junio de 2022). *Revista Científica mundo de la investigación*. Obtenido de [file:///C:/Users/Rodriguez/Downloads/Dialnet-MatlabComoUnaHerramientaInformaticaUtilALaContabil-8491899%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Rodriguez/Downloads/Dialnet-MatlabComoUnaHerramientaInformaticaUtilALaContabil-8491899%20(1).pdf)
- Macas Avecillas, G. A. (21 de abril de 2023). *repositorio.ucsg*. Obtenido de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/20925/1/T-UCSG-PRE-TEC-IEM-317.pdf>
- MathWorks. (2023). *Asynchronous Machine*. Obtenido de MathWorks: <https://la.mathworks.com/help/sps/powersys/ref/asynchronousmachine.html>
- MathWorks. (2023). *Series RLC Branch*. Obtenido de MathWorks: <https://la.mathworks.com/help/sps/powersys/ref/seriesrlcbranch.html>

MathWorks. (2023). *Speed Measurement*. Obtenido de MathWorks:
<https://la.mathworks.com/help/mcb/ref/speedmeasurement.html?requestedDomain=>

MathWorks. (2023). *Three-Phase Breaker*. Obtenido de MathWorks:
<https://la.mathworks.com/help/sps/powersys/ref/threephasebreaker.html>

MathWorks. (2024). *AC Voltage Source*. Obtenido de MathWorks:
<https://la.mathworks.com/help/simscape/ref/acvoltage.html>

MathWorks. (2024). *Current Sensor*. Obtenido de MathWorks:
<https://la.mathworks.com/help/simscape/ref/currentsensor.html>

MathWorks. (2024). *DC Machine*. Obtenido de MathWorks:
<https://la.mathworks.com/help/sps/powersys/ref/dcmachine.html>

MathWorks. (2024). *DC Voltage Source*. Obtenido de MathWorks:
<https://la.mathworks.com/help/sps/powersys/ref/dcvoltage.html>

MathWorks. (2024). *Gain*. Obtenido de MathWorks:
<https://la.mathworks.com/help/simulink/sref/gain.html>

MathWorks. (2024). *Nonlinear Transformer*. Obtenido de MathWorks:
<https://la.mathworks.com/help/sps/ref/nonlineartransformer.html>

MathWorks. (2024). *powergui*. Obtenido de MathWorks:
<https://la.mathworks.com/help/sps/powersys/ref/powergui.html>

MathWorks. (2024). *Solver Configuration*. Obtenido de MathWorks:
<https://la.mathworks.com/help/simscape/ref/solverconfiguration.html>

MathWorks. (2024). *Voltage Measurement*. Obtenido de MathWorks:
<https://la.mathworks.com/help/sps/powersys/ref/voltage.html>

MathWorks. (2024). *Voltage Sensor*. Obtenido de MathWorks:
<https://la.mathworks.com/help/simscape/ref/voltage.html>

Moler, J. L. (27 de Diciembre de 2024). *Matlab*. Obtenido de <https://matlab.mathworks.com/>

Muñoz, H. V. (16 de Marzo de 2021). Obtenido de
<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/81267/1085660973.2021.pdf;jsessionid=C23D5D270B73C4324ECA65FED4A1EBA6?sequence=3>

Nebrija. (12 de Mayo de 2020). *Nebrija*. Obtenido de
<https://www.nebrija.com/medios/actualidadnebrija/2020/05/12/gran-acogida-del-curso-de-programacion-en-matlab-organizado-por-el-club-del-automovil/>

Pablo Andrés López Brito, J. S. (6 de Enero de 2022). *Dspace*. Obtenido de
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/24014/1/UPS-CT010264.pdf>

Pablo Brito, J. Q. (20 de septiembre de 2022). *Diseño y simulación de un banco de pruebas para máquinas eléctricas especiales*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/24014/1/UPS-CT010264.pdf>

Paredes, E. (26 de julio de 2020). Obtenido de <https://es.scribd.com/document/472714319/Circuito-equivalente-de-un-motor>

Ramirez, J. (Noviembre de 2019). Obtenido de https://www.researchgate.net/figure/Circuito-equivalente-de-un-transformador-en-cortocircuito_fig3_335892480

Saldivar, L. F. (15 de Abril de 2021). Obtenido de <https://es.scribd.com/presentation/503077508/MOTOR-DE-INDUCCION-TRIFASICO-HASTA-EFICIENCIA-MAXIMA-1-1-1-3>

Salía Aracely Espinoza Loaiza, L. O. (11 de Enero de 2022). *dspace*. Obtenido de dspace: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/23716/1/UPS-GT004016.pdf>

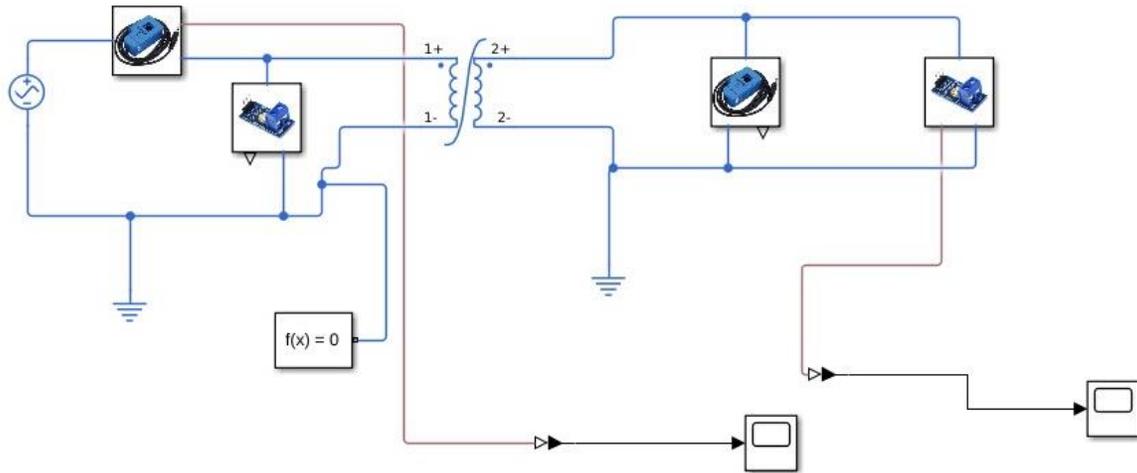
Simulink. (28 de Diciembre de 2024). Obtenido de <https://la.mathworks.com/products/simulink.html>

Universidad Veracruzana. (18 de Marzo de 2020). *Universidad Veracruzana*. Obtenido de Universidad Veracruzana: <https://www.uv.mx/coatza/ingenieria/files/2020/10/Plan-de-estudios-Ingenieria-Mecanica-Elctrica-VF.pdf>

Anexos

Figura 63

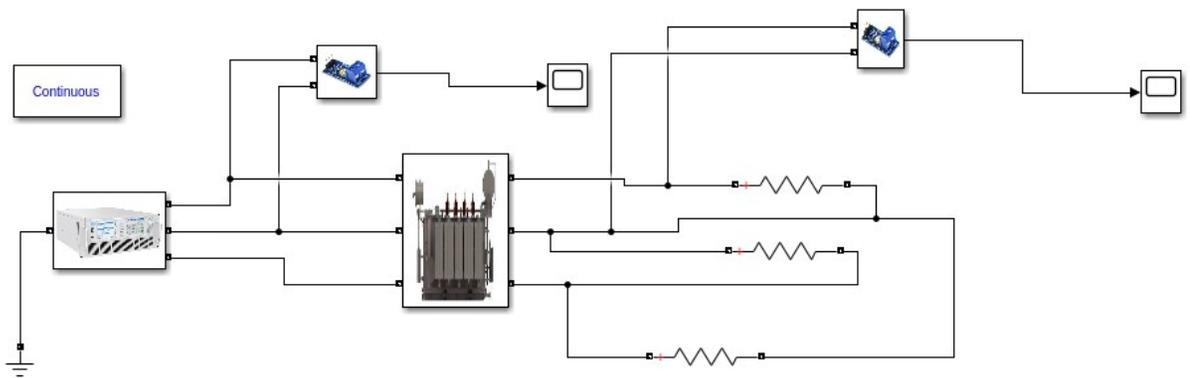
Simulación con mascara de los ensayos del transformador



Nota. Se muestra la primera simulación de la unidad 1 con mascara.

Figura 64

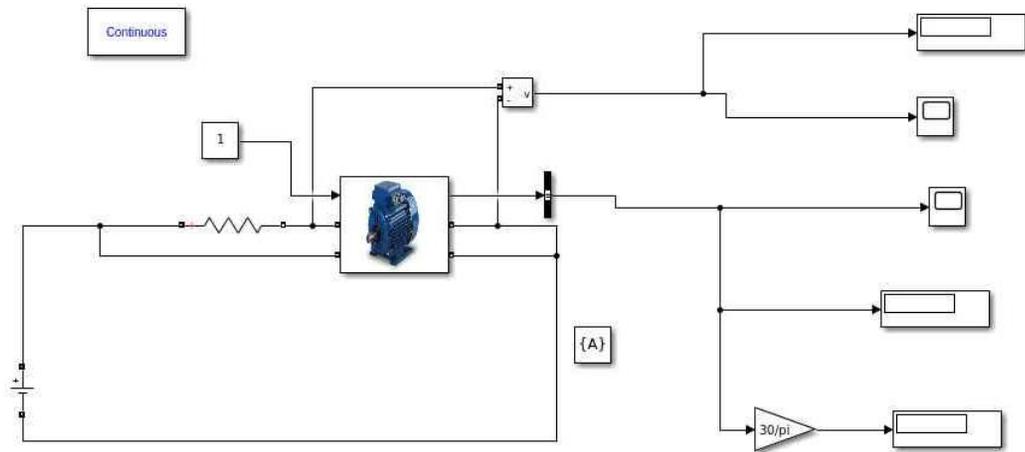
Simulación con mascara del transformador trifásico



Nota. Se muestra la segunda simulación de la unidad 1 con mascara.

Figura 65

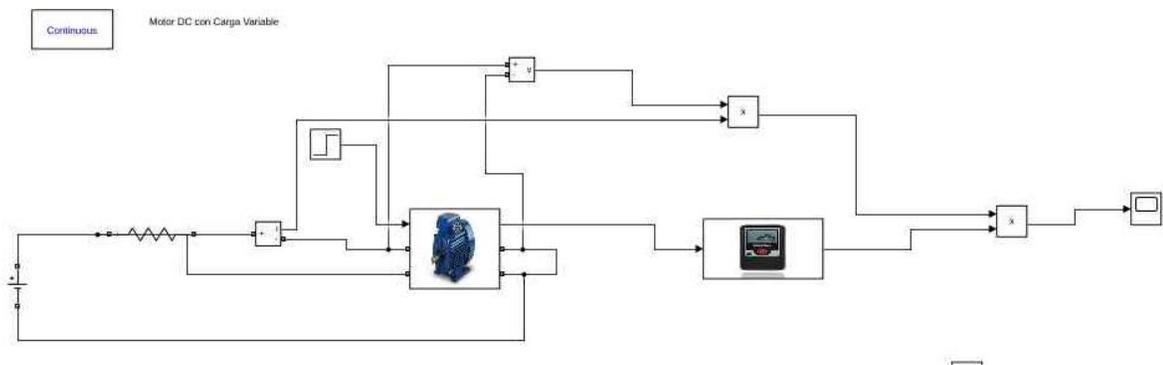
Simulación con mascara de la prueba de velocidad del motor Dc



Nota. Se muestra la primera simulación de la unidad 2 con mascara.

Figura 66

Simulación con mascara motor Dc con carga variable



Nota. Se muestra la segunda simulación de la unidad 2 con mascara.

Figura 69

Guía práctica para profesor

		REVISION 1/1	Página 1 de -
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Laboratorio de Electrónica Analógica		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

Guía de practica para los docentes de la universidad politécnica Salesiana

1. DATOS INFORMATIVOS

- a. MATERIA / CÁTEDRA RELACIONADA: Electrónica Analógica I
- b. No. DE PRÁCTICA: 1
- c. NÚMERO DE ESTUDIANTES: 30
- d. NOMBRE DOCENTE: Ing. Jorge Fariño
- e. TIEMPO ESTIMADO: 2 Horas

2. DATOS DE LA PRÁCTICA

- a. TEMA: Simulación prueba en vacío y en corto circuito en transformador monofásico real mediante Matlab/simulink
- b. OBJETIVO GENERAL:

Simular y analizar el comportamiento del transformador monofásico bajo condiciones de prueba en vacío y cortocircuito utilizando MATLAB/Simulink, evaluando las características eléctricas y de operación del transformador.
- c. OBJETIVOS ESPECIFICOS:
 - 1. Configurar el modelo del transformador monofásico en MATLAB/Simulink
 - 2. Determinar los parámetros fundamentales del transformador monofásico
 - 3. Validar el modelo de simulación comparando los resultados obtenidos en MATLAB/Simulink con valores teóricos o experimentales
- d. MARCO TEÓRICO

igar [D], C

Nota. Se muestra la guía práctica para los docentes.

Figura 70

Guía práctica para estudiante

 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR		REVISION 1/1	Página 1 de -
		MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE PRÁCTICAS	
LABORATORIO	Laboratorio de Electrónica Analógica		
CARRERA	Ingeniería Electrónica		
SEDE	Guayaquil		

Práctica 1 unidad 1

1. DATOS INFORMATIVOS

- a. MATERIA / CÁTEDRA RELACIONADA: Electrónica Analógica I
- b. No. DE PRÁCTICA: 1
- c. NÚMERO DE ESTUDIANTES: 30
- d. NOMBRE DOCENTE: Ing. Jorge Fariño
- e. TIEMPO ESTIMADO: 2 Horas

2. DATOS DE LA PRÁCTICA

- a. TEMA: Simulación prueba en vacío y en corto circuito en transformador monofásico real mediante Matlab/simulink.
- b. OBJETIVO GENERAL:

Simular y analizar el comportamiento del transformador monofásico bajo condiciones de prueba en vacío y cortocircuito utilizando MATLAB/Simulink, evaluando las características eléctricas y de operación del transformador.
- c. OBJETIVOS ESPECIFICOS:
 - 1. Configurar el modelo del transformador monofásico en MATLAB/Simulink.
 - 2. Determinar los parámetros fundamentales del transformador monofásico
 - 3. Validar el modelo de simulación comparando los resultados obtenidos en MATLAB/Simulink con valores teóricos o experimentales
- d. MARCO TEÓRICO

Nota. Se muestra la guía práctica para los estudiantes