



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE INGENIERÍAS

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

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

TÍTULO:

**“ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DEL MÓDULO DE MÁQUINA
ASÍNCRONA”**

AUTORES:

**KATHERINE NICOLE MOLINA SUBÍA
MISHELLE STEFANY TOMALÁ SUÁREZ**

GUAYAQUIL - ECUADOR

SEPTIEMBRE 2018

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

Nosotras, **KATHERINE NICOLE MOLINA SUBÍA** y **MISHELLE STEFANY TOMALÁ SUÁREZ**, autorizamos a la **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA** la publicación total o parcial de este trabajo de titulación y su reproducción sin fines de lucro.

Además, declaramos que los conceptos, análisis desarrollados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad de los autores.

Guayaquil, 4 de Octubre del 2018

KATHERINE MOLINA SUBÍA
CI: 0930409396

MISHELLE TOMALÁ SUÁREZ
CI: 0950804310

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

Yo, **KATHERINE NICOLE MOLINA SUBÍA** con documento de identificación N° **0930409396**, manifiesto mi voluntad y cedo a la **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA** la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de grado titulado “**ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DEL MÓDULO DE LA MÁQUINA ASÍNCRONA**” mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de **INGENIERO(A) ELÉCTRICO(A)** en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la universidad facultada para ejercer plenamente los derechos antes cedidos

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscrito este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato, impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 4 de Octubre del 2018

KATHERINE MOLINA SUBÍA
CI: 0930409396

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

Yo, **MISHELLE STEFANY TOMALÁ SUÁREZ** con documento de identificación N° **0950804310**, manifiesto mi voluntad y cedo a la **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA** la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de grado titulado “**ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DEL MÓDULO DE LA MÁQUINA ASÍNCRONA**” mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de **INGENIERO(A) ELÉCTRICO(A)** en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la universidad facultada para ejercer plenamente los derechos antes cedidos

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscrito este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato, impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 4 de Octubre del 2018

MISHELLE TOMALÁ SUÁREZ
CI: 0950804310

**CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN
SUSCRITO POR EL TUTOR**

Yo, **DAVID HUMBERTO CÁRDENAS VILLACRES**, director del proyecto de Titulación denominado “**ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DEL MÓDULO DE LA MÁQUINA ASÍNCRONA**” realizado por las estudiantes **KATHERINE NICOLE MOLINA SUBÍA** y **MISHELLE STEFANY TOMALÁ SUÁREZ**, certifico que ha sido orientado y revisado durante su desarrollo, por cuanto se aprueba la presentación del mismo ante las autoridades pertinentes.

Guayaquil, 4 de Octubre del 2018

Msc. **DAVID CÁRDENAS
VILLACRES**

DEDICATORIA

Este proyecto se lo dedico a mis padres, quienes han sido mi modelo y ejemplo de perseverancia para sacar a la familia adelante. A mis abuelas Julieta y María por siempre darme su amor y confianza en cada etapa de mi vida.

Katherine Nicole Molina Subía.

Dedico este trabajo principalmente a Dios por haberme brindado la salud y sabiduría necesaria para llegar hasta este momento, a mis padres Ruth Suarez Alvarado y Pedro Tomalá por enseñarme a ser perseverante y a travesar cualquier dificultad que obstaculice mi camino, a mi abuela Rosa Veliz por brindarme su ayuda incondicional y a mi abuelo Víctor Suárez por creer en mí, y aunque hoy en día no nos acompañes, gracias por tu apoyo incondicional y por la ayuda que me brindaste a pesar de las circunstancias en las que te encontrabas, gracias por enseñarme a cumplir mis sueños.

Mishelle Stefany Tomalá Suarez.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por haberme guiado a lo largo de mi vida, dándome la suficiente fortaleza y perseverancia para poder lograr uno de mis objetivos de vida.

A mi familia, en especial a mi madre Karina Subía y abuela Julieta Aguilar por el esfuerzo, guía y confianza que han puesto en mí siempre, por ser ese ejemplo de mujer luchadora que siempre las ha caracterizado y las ha convertido en mi luz y guía para siempre ir en busca de más.

A Daniel Bayas y Mishelle Tomalá por su constancia, apoyo, paciencia y su cariño brindado durante todo este tiempo, siendo ese pilar que toda persona necesita.

De igual manera mis agradecimientos a mis docentes por la dedicación y amistad brindada, en especial al Ing. David Cárdenas y Johanna Vera por su apoyo y ayuda incondicional durante este largo proceso.

Katherine Nicole Molina Subía.

Agradezco a Dios por ayudarme durante todo este camino y darme la sabiduría necesaria para llegar hasta este momento.

A mis padres Ruth Suarez Alvarado y Pedro Tomalá Sellan por todo el esfuerzo realizado a lo largo de mi vida y familiares cercanos a mis abuelos.

A mis amigos Katherine Molina Subía y Daniel Bayas Senisterra por el apoyo incondicional que me han brindado a lo largo de estos 5 años y a ti gracias por todo.

Gracias Ing. David Cárdenas por habernos brindado la oportunidad de desarrollar este proyecto bajo su tutoría y por su ayuda brindada a lo largo de nuestra formación académica.

Mishelle Stefany Tomalá Suarez.

RESUMEN

Tema: ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DEL MÓDULO DE LA MÁQUINA ASÍNCRONA

Autor: Katherine Molina Subía, Mishelle Tomalá Suárez

Director de tesis: Msc. David Cárdenas Villacrés

Para la ejecución del proyecto, se iniciará con la representación del Módulo de la Máquina Asíncrona, al desarrollar el presente proyecto, se pretende simular el comportamiento real del Módulo de Máquina Asíncrona realizando las siguientes pruebas; prueba a vacío, por variación del par resistente, maniobra del frenado por inyección de la corriente continua. Permitiendo de esta manera la predicción del estado de las variables del equipo según su funcionamiento.

Previo a la simulación se realizaron tres pruebas necesarias para obtención de los parámetros eléctricos del Motor de inducción Hampden WRM-300 estas pruebas son la prueba de circuito abierto, prueba de rotor bloqueado y prueba de voltaje de corriente continua, luego de obtener los parámetros necesarios se procedió a realizar la simulación del Motor de inducción Hampden WRM-300 en Simulink de Matlab® y por medio de una interfaz llevar estos resultados al software LabView® donde se realizara de forma gráfica la simulación del Módulo de la Máquina Asíncrona.

Luego de la simulación, se realizaron pruebas experimentales de cada prueba planteada en anteriormente en la simulación para verificar el correcto funcionamiento del mismo, a su vez se realizó un análisis de las curvas obtenidas, verificando el porcentaje de error que puede existir entre un modelo de simulación ideal vs datos obtenidos en pruebas realizadas en el laboratorio de máquinas eléctricas I & II.

El proyecto tiene como finalidad brindar a los estudiantes un material didáctico que sea de fácil acceso, el cual contribuirá con el desarrollo y aprendizaje de ellos ya que por este medio de simulación podrán verificar o corroborar sus conocimientos obtenidos a lo largo de su carrera.

ABSTRACT

Topic: ANALYSIS AND SIMULATION OF THE ASYNCHRONOUS MACHINE MODULE

For the execution of the project, it will start with the representation of the Asynchronous Machine Module, when developing the present project, it is intended to simulate the real behavior of the Asynchronous Machine Module performing the following tests; vacuum test, by variation of the resistant torque, braking maneuver by injection of direct current. Allowing in this way the prediction of the state of the equipment variables according to their operation.

Prior to the simulation, three tests were required to obtain the electrical parameters of the Hampden WRM-300 induction motor. These tests are the open circuit test, blocked rotor test and DC voltage test, after obtaining the necessary parameters The simulation of the Hampden WRM-300 induction motor in simulink of Matlab® was carried out and through an interface, these results were transferred to the LabView® software, where the simulation of the Asynchronous Machine Module was performed graphically.

After the simulation, experimental tests were carried out on each test set out in the simulation to verify its correct functioning, in turn an analysis of the obtained curves was made, verifying the percentage of error that may exist between a model of ideal simulation vs. data obtained in tests carried out in the I & II electrical machines laboratory.

The purpose of the project is to provide students with easily accessible didactic material, which will contribute to the development and learning of them, since by means of this simulation they will be able to verify or corroborate their knowledge obtained throughout their career.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPITULO I.....	1
1. EL PROBLEMA	1
1.1. Descripción del problema.....	1
1.2. Antecedentes.....	1
1.3. Importancia y alcance.....	2
1.4. Delimitación	2
1.5. Objetivos.....	3
1.5.1. Objetivo general	3
1.5.2. Objetivos específicos	3
CAPITULO II.....	4
2. MARCO TEÓRICO	4
2.1. Máquina Asíncrona	4
2.2. PARTES DE LA MAQUINA ASÍNCRONA	5
2.2.1. Estator	5
2.2.2. Rotor.....	6
2.2.3. Carcasa	6
2.2.4. Cojinetes.....	7
2.2.5. Tapas	7
2.3. Determinación de parámetros.....	7
2.3.1. Principio de funcionamiento de la máquina asíncrona	7
2.4. Diagrama equivalente al motor de inducción.....	9
2.5. Rendimiento del Motor trifásico Hampden WRM-300.....	11
2.5.1. Factores que influyen en el rendimiento de un motor de inducción	11
2.5.1.1. Factores externos que influyen en el rendimiento de un motor de inducción.....	11
2.5.1.2. Factores internos que influyen en el rendimiento de un motor de inducción.....	12
2.5.1.3. Fallas dadas por componentes de un motor de inducción	13
2.5.1.4. Datos estadísticos de falla del motor de inducción	14
CAPITULO III.....	15
3. MARCO METODOLÓGICO	15
3.1. Equipos y software utilizados para la realización del proyecto	15
3.1.1. Equipos utilizados en el desarrollo de las pruebas realizadas.....	15
3.1.1.1. Banco de pruebas para Máquina Asíncrona	15
3.1.1.2. Motor trifásico Hampden WRM-300	16
3.1.1.3. Variac 3Ø.....	16
3.1.1.4. Freno electromecánico.....	17
3.1.1.5. Máquina Hampden DYN-400	17
3.1.1.6. Analizador de red (FLUKE 345 Series II Power Quality And Energy Analyzer).....	18

3.1.1.7. Módulo de adquisición y procesamiento de parámetros electromecánicos para el laboratorio de motores y generadores (M.A.P.P.E)..	18
3.1.2. Softwares implementados en el desarrollo de la simulación del proyecto	19
3.1.2.1. Matlab®.....	19
3.1.2.2. LabView®	20
3.2. Simulación del Módulo de la Máquina Asíncrona	20
3.3. Programación de la simulación realizada en el software LabView®.....	20
3.3.1. Prueba de vacío	24
3.3.2. Prueba por variación del par resistente	25
3.3.3. Prueba de arranque por variación de la tensión	26
3.3.4. Prueba de maniobra de frenado por inyección de corriente continua	27
3.3.5. Simulación del Motor Hampden WRM-300.....	28
3.3.5.1. Los elementos usados para la realización de la simulación fueron los siguientes:.....	28
3.3.6. Pruebas y determinación de los parámetros eléctricos del motor de inducción Hampden WRM-300.....	31
3.3.6.1. Prueba de circuito abierto (CA).....	31
3.3.6.2. Prueba de rotor bloqueado (RB).....	32
3.3.6.3. Prueba de voltaje de corriente continua (DC)	32
3.3.6.4. Determinación de parámetros:.....	32
3.4. Pruebas a realizar en el laboratorio de máquinas I&II para la comprobación del proyecto	34
3.4.1. Prueba de vacío	34
3.4.2. Prueba por variación del par resistente	35
3.4.3. Arranque por variación de tensión	37
3.4.4. Maniobra del frenado por inyección de corriente continua.....	38
CAPITULO IV	40
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	40
4.1. Graficas obtenidos en las pruebas realizadas mencionadas en el cap. 3	40
4.1.1. Prueba de vacío	40
4.1.1.1. Gráficas obtenidas a partir de las pruebas experimentales realizadas	40
4.1.2. Prueba por variación del par resistente	42
4.1.2.1. Gráficas obtenidas a partir de las pruebas experimentales realizadas	42
4.1.2.2. Curvas obtenidas con carga (1,2 N.m.)	42
4.1.2.3. Curvas obtenidas con carga (3 N.m.)	43
4.1.2.4. Curvas obtenidas con carga (5 N.m.)	44
4.1.3. Arranque por variación de tensión	46
4.1.3.1. Gráficas obtenidas a partir de las pruebas experimentales realizadas	46
4.1.4. Maniobra del frenado por inyección de corriente continua.....	47
4.1.4.1. Gráfica obtenida a partir de las pruebas experimentales realizadas ...	47
4.2. Simulación realizada utilizando el software LabView®	48
4.2.1. Pantalla de presentación	48
4.2.2. Menú principal	49
4.2.2.4. Maniobra del frenado por inyección de corriente continua.....	60

4.3. Análisis del porcentaje de error entre la simulación y las pruebas realizadas en el laboratorio	63
4.3.1. Prueba de vacío	63
4.3.1.1. Comparación de las curvas de corriente de los datos obtenidos mediante la simulación vs datos obtenidos en la práctica realizada	63
4.3.1.2. Comparación de las curvas de velocidad de los datos obtenidos mediante la simulación vs datos obtenidos en la práctica realizada	64
4.3.1.3. Comparación de las curvas de torque de los datos obtenidos mediante la simulación vs datos obtenidos en la práctica realizada	65
4.3.2. Prueba de arranque por variación del par resistente.....	66
4.3.2.1. Carga 1,2 N.m.....	66
4.3.2.1.1. Comparación de las curvas de corriente de los datos obtenidos mediante la simulación vs datos obtenidos en la práctica realizad	66
4.3.2.1.2. Comparación de las curvas de velocidad de los datos obtenidos mediante la simulación vs datos obtenidos en la práctica realizada	67
4.3.2.2. Carga 3 N.m.....	69
4.3.2.3. Carga 5 N.m.....	72
4.3.3. Prueba de arranque por variación de la tensión	75
4.3.3.1. Comparación de las curvas de corriente de los datos obtenidos mediante la simulación vs datos obtenidos en la práctica realizada	75
4.3.3.2. Comparación de las curvas de velocidad de los datos obtenidos mediante la simulación vs datos obtenidos en la práctica realizada	76
4.3.3.3. Comparación de las curvas de torque de los datos obtenidos mediante la simulación vs datos obtenidos en la práctica realizada	77
4.3.4. Prueba de maniobra de frenado por inyección de corriente continua	78
4.3.4.1. Comparación de las curvas de corriente mediante prácticas realizadas	78
CAPITULO V	80
5. Conclusiones	80
5.1. Recomendaciones	81
5.2. Bibliografía.....	82

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA N° 1: UBICACIÓN DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE GUAYAQUIL.....	2
FIGURA N° 2: ROTOR JAULA DE ARDILLA.....	4
FIGURA N° 3: ROTOR DEVANADO	5
FIGURA N° 4 : COMPONENTES DEL MOTOR	5
FIGURA N° 5: COMPONENTE DEL MOTOR – ESTATOR	6
FIGURA N° 6 : COMPONENTE DEL MOTOR – ROTOR	6
FIGURA N° 7: COMPONENTE DEL MOTOR – CARCASA.....	6
FIGURA N° 8: COMPONENTE DEL MOTOR – COJINETE.....	7
FIGURA N° 9: COMPONENTE DEL MOTOR – COJINETE.....	7

FIGURA N° 10: CIRCUITO EQUIVALENTE DEL MOTOR DE INDUCCIÓN	9
FIGURA N° 11: DATOS ESTADÍSTICOS DE FALLA DE UN MOTOR SEGÚN ESTUDIOS REALIZADOS ENTRE EL INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA (EPRI) Y EL GENERAL ELECTRIC (GE).....	14
FIGURA N° 12 : BANCO DE PRUEBA PARA UNA MÁQUINA ASÍNCRONA TRIFÁSICO.....	15
FIGURA N° 13: MOTOR TRIFÁSICO HAMPDEN WRM-300.....	16
FIGURA N° 14: VARIAC 3Ø	16
FIGURA N° 15: FRENO ELECTROMECAÁNICO	17
FIGURA N° 16: MAQUINA HAMPDEN DYN-400	18
FIGURA N° 17 : ANALIZADOR DE RED FLUKE 345.....	18
FIGURA N° 18: MÓDULO DE ADQUISICIÓN Y PROCESAMIENTO DE PARÁMETROS ELECTROMECAÁNICOS PARA EL LABORATORIO DE MOTORES Y GENERADORES.....	19
FIGURA N° 19: MATLAB®	19
FIGURA N° 20: LABVIEW®.....	20
FIGURA N° 21: PROGRAMACIÓN PARA PRUEBA DE VACÍO	24
FIGURA N° 22: PROGRAMACIÓN PARA PRUEBA POR VARIACIÓN DEL PAR RESISTENTE	25
FIGURA N° 23: PROGRAMACIÓN PARA PRUEBA DE ARRANQUE POR VARIACIÓN DE TENSIÓN	26
FIGURA N° 24: PROGRAMACIÓN PARA PRUEBA DE ARRANQUE POR VARIACIÓN DE TENSIÓN	27
FIGURA N° 25: SIMULACIÓN EN MATLAB®	28
FIGURA N° 26: SIMULACIÓN EN MATLAB®	28
FIGURA N° 27: CONFIGURACION Y PARAMETROS DEL MOTOR.....	29
FIGURA N° 28: PARÁMETROS DE LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN	29
FIGURA N° 29: PARÁMETROS DEL BUS SELECTOR	30
FIGURA N° 30: PARÁMETROS DEL WORKSPACE	30
FIGURA N° 31: PARÁMETROS DEL MULTIPORT SWITCH.....	31
FIGURA N° 32: CIRCUITO EQUIVALENTE	33
FIGURA N° 33: PRUEBA A VACÍO	35
FIGURA N° 34: PRUEBA POR VARIACIÓN DEL PAR RESISTENTE	36
FIGURA N° 35: PRUEBA DE ARRANQUE POR VARIACIÓN DE TENSIÓN	37
FIGURA N° 36: PRUEBA DE MANIOBRA DEL FRENADO POR INYECCIÓN DE CORRIENTE CONTINUA	38
FIGURA N° 37 CURVA DE CORRIENTE VS TIEMPO	40
FIGURA N° 38: CURVA DE VELOCIDAD VS TIEMPO	41
FIGURA N° 39: CURVA DE TORQUE VS TIEMPO	41
FIGURA N° 40: CURVA DE CORRIENTE VS TIEMPO	42
FIGURA N° 41: CURVA DE VELOCIDAD VS TIEMPO	42
FIGURA N° 42: CURVA DE TORQUE VS TIEMPO	43
FIGURA N° 43: CURVA DE CORRIENTE VS TIEMPO	43
FIGURA N° 44: CURVA DE VELOCIDAD VS TIEMPO	44
FIGURA N° 45: CURVA DE TORQUE VS TIEMPO	44
FIGURA N° 46: CURVA DE CORRIENTE VS TIEMPO	45
FIGURA N° 47: CURVA DE VELOCIDAD VS TIEMPO	45

FIGURA N° 48: CURVA DE TORQUE VS TIEMPO	46
FIGURA N° 49: CURVA DE CORRIENTE VS TIEMPO	46
FIGURA N° 50: CURVA DE VELOCIDAD VS TIEMPO	47
FIGURA N° 51: CURVA DE TORQUE VS TIEMPO	47
FIGURA N° 52: CURVA DE CORRIENTE VS VOLTAJE.....	48
FIGURA N° 53: PANTALLA DE PRESENTACIÓN	48
FIGURA N° 54: MENÚ PRINCIPAL	49
FIGURA N° 55: MENÚ DE LA PRUEBA DE VACÍO	50
FIGURA N° 56: BANCO DE PRUEBAS. CONEXIONES	51
FIGURA N° 57: SELECCIÓN DE CURVAS	51
FIGURA N° 58: CURVA DE CORRIENTE.....	52
FIGURA N° 59: CURVA DE VELOCIDAD.....	52
FIGURA N° 60: CURVA DE TORQUE	53
FIGURA N° 61: MENÚ DE LA PRUEBA POR VARIACIÓN DEL PAR RESISTENTE	54
FIGURA N° 62: MENÚ DE LA CARGA DE 1.2 N.m.	54
FIGURA N° 63: BANCO DE PRUEBAS. CONEXIONES	55
FIGURA N° 64: SELECCIÓN DE CURVAS	55
FIGURA N° 65: CURVA DE CORRIENTE VS TIEMPO	56
FIGURA N° 66: DE VELOCIDAD VS TIEMPO	56
FIGURA N° 67: TORQUE VS TIEMPO	57
FIGURA N° 68: MENÚ DE LA PRUEBA DE ARRANQUE POR VARIACIÓN DE TENSIÓN	58
FIGURA N° 69: BANCO DE PRUEBA. CONEXIONES	58
FIGURA N° 70: CURVA DE CORRIENTE VS TIEMPO	59
FIGURA N° 71: CURVA DE VELOCIDAD VS TIEMPO	59
FIGURA N° 72: CURVA DE TORQUE VS TIEMPO	60
FIGURA N° 73: MENÚ DE LA PRUEBA DE MANIOBRA DEL FRENADO POR INYECCIÓN DE CORRIENTE CONTINUA	61
FIGURA N° 74: BANCO DE PRUEBA. CONEXIONES	61
FIGURA N° 75: SELECCIÓN DE CURVAS	62
FIGURA N° 76: CURVA DE CORRIENTE VS TIEMPO	62
FIGURA N° 77: COMPARACIÓN DE LAS CURVAS DE CORRIENTE.....	63
FIGURA N° 78: ERROR OBTENIDO EN LA COMPARACIÓN	64
FIGURA N° 79: COMPARACIÓN DE LAS CURVAS DE VELOCIDAD.....	64
FIGURA N° 80: ERROR OBTENIDO EN LA COMPARACIÓN	65
FIGURA N° 81: COMPARACIÓN DE LAS CURVAS DE TORQUE.....	65
FIGURA N° 82: ERROR OBTENIDO EN LA COMPARACIÓN	66
FIGURA N° 83: COMPARACIÓN DE LAS CURVAS DE CORRIENTE.....	66
FIGURA N° 84: ERROR OBTENIDO EN LA COMPARACIÓN	67
FIGURA N° 85: COMPARACIÓN DE LAS CURVA DE VELOCIDAD	67
FIGURA N° 86: ERROR OBTENIDO EN LA COMPARACIÓN	68
FIGURA N° 87: COMPARACIÓN DE LAS CURVAS DE TORQUE.....	68
FIGURA N° 88: ERROR OBTENIDO EN LA COMPARACIÓN	69
FIGURA N° 89: COMPARACIÓN DE LAS CURVAS DE CORRIENTE.....	69
FIGURA N° 90: ERROR OBTENIDO EN LA COMPARACIÓN	70
FIGURA N° 91: COMPARACIÓN DE LAS CURVAS DE VELOCIDAD	70

FIGURA N° 92: ERROR OBTENIDO EN LA COMPARACIÓN	71
FIGURA N° 93: COMPARACIÓN DE LAS CURVAS DE VELOCIDAD	71
FIGURA N° 94: ERROR OBTENIDO EN LA COMPARACIÓN	72
FIGURA N° 95: COMPARACIÓN DE LAS CURVAS DE CORRIENTE.....	72
FIGURA N° 96: ERROR OBTENIDO EN LA COMPARACIÓN	73
FIGURA N° 97: COMPARACIÓN DE LAS CURVAS DE VELOCIDAD	73
FIGURA N° 98: ERROR OBTENIDO EN LA COMPARACIÓN	74
FIGURA N° 99: COMPARACIÓN DE LAS CURVAS DE TORQUE.....	74
FIGURA N° 100: ERROR OBTENIDO EN LA COMPARACIÓN	75
FIGURA N° 101: COMPARACIÓN DE LAS CURVAS DE CORRIENTE.....	75
FIGURA N° 102: ERROR OBTENIDO EN LA COMPARACIÓN	76
FIGURA N° 103: COMPARACIÓN DE LAS CURVAS DE VELOCIDAD.....	76
FIGURA N° 104: ERROR OBTENIDO EN LA COMPARACIÓN	77
FIGURA N° 105: COMPARACIÓN DE LAS CURVAS DE TORQUE.....	77
FIGURA N° 106: ERROR OBTENIDO EN LA COMPARACIÓN	78
FIGURA N° 107: COMPARACIÓN DE LAS CURVAS DE CORRIENTE.....	78
FIGURA N° 108: ERROR OBTENIDO EN LA COMPARACIÓN	79

ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN N° 1: VELOCIDAD DE ROTACIÓN DEL CAMPO MAGNÉTICO	8
ECUACIÓN N° 2: DESLIZAMIENTO DEL MOTOR DE INDUCCIÓN.....	8
ECUACIÓN N° 3: TORQUE INDUCIDO DEL MOTOR DE INDUCCIÓN	9
ECUACIÓN N° 4: LEY DE OHM	10
ECUACIÓN N° 5: RESISTENCIA DE LA CARGA.....	11

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA N° 1: FACTORES EXTERNOS	12
TABLA N° 2: FACTORES INTERNOS	13
TABLA N° 3: CAUSAS DE FALLA DE UN MOTOR SEGÚN ESTUDIOS REALIZADOS ENTRE EL INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA (EPRI) Y EL GENERAL ELECTRIC (GE).....	13
TABLA N° 4: DATOS DE PLACA DEL MOTOR	16
TABLA N° 5: DATOS OBTENIDOS DE LA PRUEBA DE CIRCUITO ABIERTO (CA)	31
TABLA N° 6: DATOS OBTENIDOS DE LA PRUEBA DE ROTOR BLOQUEADO	32
TABLA N° 7: DATOS OBTENIDOS DE LA PRUEBA DE VOLTAJE DE CORRIENTE CONTINUA	32
TABLA N° 8: HERRAMIENTAS DEL PANEL FRONTAL.....	21
TABLA N° 9: HERRAMIENTAS DEL PANEL FRONTAL.....	23

INTRODUCCIÓN

Con el presente proyecto es posible realizar la simulación del Módulo de la Máquina Asíncrona; esto se llevó a cabo, con la ayuda de tres componentes principales que fueron pruebas experimentales, la simulación del motor de inducción Hampden WRM-300 en el software Matlab® y la simulación del Módulo de la Máquina Asíncrona en el software Labview® por medio de diferentes tipos de pruebas y analizando así el comportamiento de la misma; este proyecto surge por la carencia de un programa que permite simular los equipos o instrumentos físicos que posee el Módulo de Máquina Asíncrona. Existen simulaciones realizadas pero estas no son amigables con el usuario debido a que solo funcionan mediante el ingreso de parámetros y no permite observar el comportamiento físico de la máquina o equipos utilizados durante la prueba.

Ante la problemática expuesta, realizamos la programación en la plataforma LabView® la cual permite realizar de forma gráfica, utilizando bloques en sustitución de líneas de lenguaje haciendo que la programación sea de fácil entendimiento; además, su operación nos permite simular los equipos o instrumentos físicos que posee el Módulo de Máquina Asíncrona y de esta manera que los estudiantes puedan interpretar de forma didáctica lo aprendido en clases.

CAPITULO I

2. EL PROBLEMA

2.1.Descripción del problema

En el laboratorio de Máquinas Eléctricas de la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana, existen módulos didácticos pero presentan algunas problemáticas y entre la más importante se encuentra: la limitación del estudiante al momento de realizar pruebas, puesto que en caso de algún error de conexión generaría una pérdida de equipos los cuales tienen un alto costo. Esta situación repercute en el aprendizaje de los estudiantes, generando posibles dificultades en su futuro desempeño laboral.

Debido a esto surge la necesidad de crear un recurso didáctico acoplado al módulo ya existente dentro de la universidad, que sea amplio y sin restricciones; así como también, que represente el funcionamiento del Módulo de la Máquina Asíncrona en el cual se pueda simular, observar y analizar el funcionamiento de un motor de inducción trifásico, facilitando y optimizando los recursos de la universidad y el aprendizaje de los estudiantes.

La herramienta de simulación que ha permitido lograr el objetivo principal de este proyecto es el software LabView® de National Instrument; el cual es un programa eficaz, práctico y productivo para los estudiantes de la carrera.

Esta problemática de la necesidad de un recurso didáctico y los beneficios del software, incentivan al desarrollo del presente proyecto, con el fin de incrementar el conocimiento académico de los estudiantes y docentes.

2.2.Antecedentes

Las máquinas asíncronas siendo de constante uso en las industrias por su sencillez de construcción y uso, ha sido una causa indispensable de estudio y análisis de las variables que rigen su comportamiento; por lo que, como futuros Ingenieros Eléctricos es parte importante de conocimiento.

Uno de los temas principales que debe ser dominado es el de los motores eléctricos y uno de los problemas de enseñar este tema es su complejidad y falta de tiempo y equipos

al momento de realizar prácticas, para lo cual el proyecto surge ante esta necesidad de un recurso didáctico de fácil manejo que simule el funcionamiento de una máquina asíncrona; donde los alumnos puedan reforzar de forma teórica-práctica los conocimientos adquiridos en el aula de clases y de esta manera saber qué procedimientos seguir y qué resultados esperar, fortaleciendo las ponencias de los docentes con la expectativa de mejoras en los resultados académicos de los estudiantes de la Universidad Politécnica Salesiana.

2.3. Importancia y alcance

Con el presente proyecto de titulación los alumnos de la Universidad Politécnica Salesiana tendrán una guía la cual los podrá beneficiar o ayudar de una forma que el alumno pueda aprender sobre el comportamiento real de la máquina asíncrona o motor de inducción mediante las diferentes pruebas.

2.4. Delimitación

El proyecto está orientado hacia los estudiantes desde sexto a décimo semestre de la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil para la materia de Máquinas Eléctricas I y II.

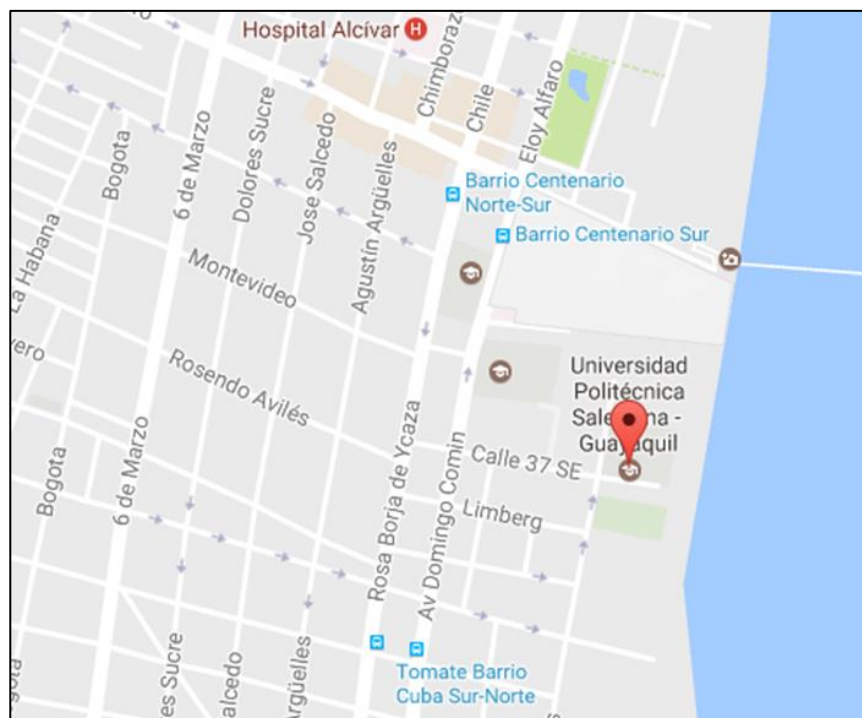


FIGURA N° 1: UBICACIÓN DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE GUAYAQUIL

2.5.Objetivos

2.5.1. Objetivo general

Desarrollar la simulación del Módulo de Máquina Asíncrona para obtener los parámetros eléctricos reales de un motor de inducción mediante la programación en el software Labview® y el desarrollo de pruebas experimentales creando de esta manera aplicaciones teóricas y prácticas que permitan entender el comportamiento de las mismas.

2.5.2. Objetivos específicos

- Analizar el estado de arte del Módulo de la Máquina Asíncrona.
- Realizar pruebas experimentales para obtener los parámetros eléctricos de del motor Hampden WRM-300.
- Desarrollar un programa que permita realizar la simulación del motor Hampden WRM-300.
- Desarrollar una aplicación del módulo de la máquina asíncrona mediante una interfaz gráfica.
- Realizar comparaciones de los datos obtenidos de la simulación y los datos obtenidos en las pruebas realizadas en laboratorio de máquinas I&II.

CAPITULO II

3. MARCO TEÓRICO

3.1.Máquina Asíncrona

La máquina asíncrona o de inducción se define como una máquina eléctrica de tipo rotatorio que trabaja por efectos de inducción.

El nombre de asíncrona hace referencia a que no existe sincronismo entre la velocidad de los campos magnéticos que se generan en el estator y el rotor; esto se debe a que el estator produce un campo magnético giratorio cuya velocidad es diferente a la que origina el rotor; por lo tanto, no marchan a la misma velocidad [1].

Cuando la velocidad angular del rotor es menor que la velocidad angular del estator, la máquina trabaja como motor; es decir, transforma la energía eléctrica en energía mecánica.

Cuando la velocidad angular del rotor supera la velocidad angular del estator, la máquina trabaja como generador; es decir, transforma la energía mecánica en energía eléctrica [2].

El rotor de la máquina asíncrona puede ser de jaula de ardilla o con anillos.

- En la jaula de ardilla, se observan conductores que pueden ser de cobre o aluminio puestos en cortocircuito usando dos anillos adyacentes.

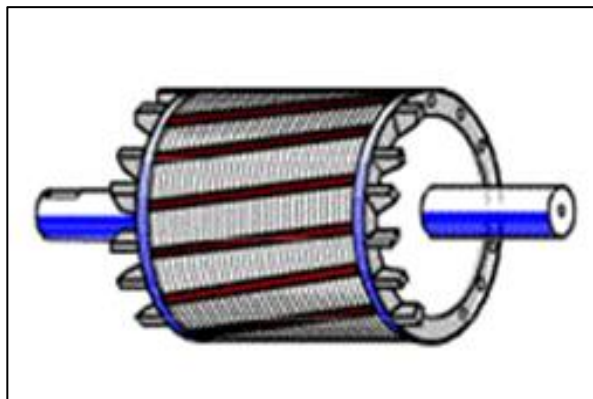


FIGURA N° 2: ROTOR JAULA DE ARDILLA

- En el rotor con anillos o devanado, se tiene un arrollamiento trifásico similar al que se puede observar en el estator, con conexión estrella, de manera que las tres

fases se conectan por un lado y por el otro se transfieren a unos anillos aislados entre ellos, gracias a esto se puede realizar la conexión de resistencias externas mediante dichos anillos, logrando así tener definida las corrientes de arranque a su vez incrementar la calidad del par y poder controlar la velocidad.

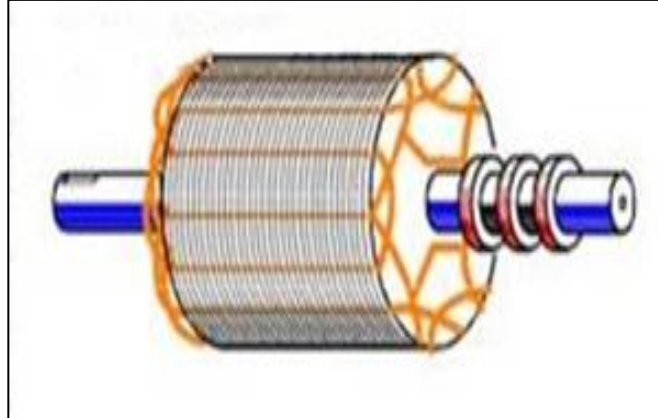


FIGURA N° 3: ROTOR DEVANADO

En toda máquina eléctrica existen partes principales o componentes como el estator y el rotor y partes auxiliares como la carcasa flecha, cojinete, tapas laterales, rodamiento, entre otros.

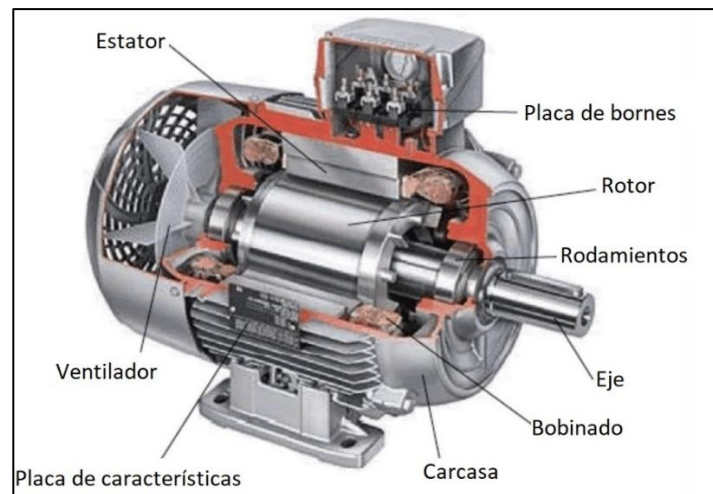


FIGURA N° 4 : COMPONENTES DEL MOTOR

3.2.PARTES DE LA MAQUINA ASÍNCRONA

3.2.1. Estator

Es la parte inmóvil de motor y está compuesto por un apilamiento de chapas de acero la cual posee ranuras en su circunferencia interior donde se encuentra el devanado trifásico que está alimentado por un sistema eléctrico de la misma clase.

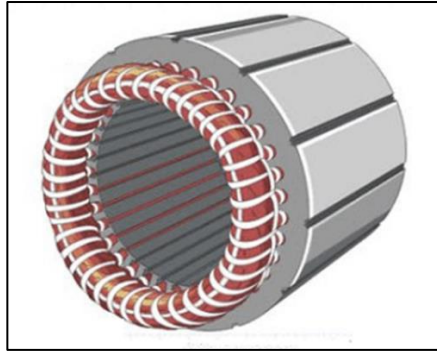


FIGURA N° 5: COMPONENTE DEL MOTOR – ESTATOR

3.2.2. Rotor

Está compuesto por varias chapas apiladas constituyendo un cilindro con ranuras del lado exterior, donde se ubica el devanado, en este tipo de rotor se tiene un conjunto de conductores el cual puede ser de cobre o aluminio puestos en cortocircuito por dos anillos laterales.

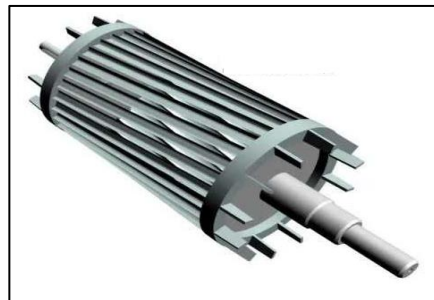


FIGURA N° 6 : COMPONENTE DEL MOTOR – ROTOR

3.2.3. Carcasa

Tiene como funcionamiento proteger al bobinado y al rotor, así como también disipar el calor del motor por medio de las ranuras.



FIGURA N° 7: COMPONENTE DEL MOTOR – CARCASA

3.2.4. Cojinetes

Cojinetes o rodamientos se usan para la fijación del eje mecánico en el interior del motor, disminuye la fricción mecánica y gracias esto se reduce las pérdidas.

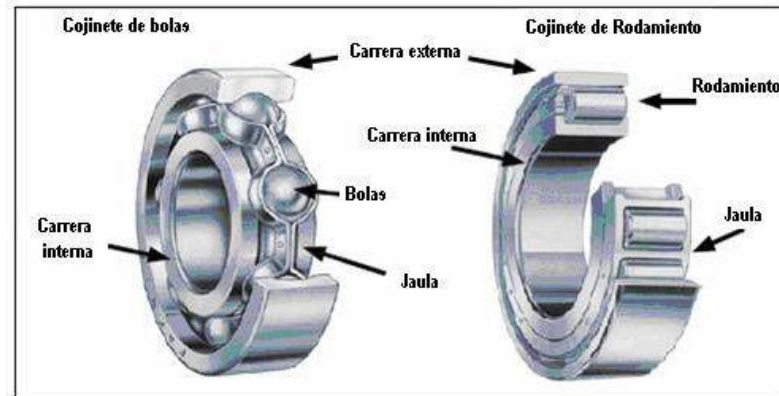


FIGURA N° 8: COMPONENTE DEL MOTOR – COJINETE

3.2.5. Tapas

Las tapas se encargan de mantener y sostener los cojinetes permitiéndoles soportar la acción del rotor.



FIGURA N° 9: COMPONENTE DEL MOTOR – COJINETE

3.3. Determinación de parámetros

3.3.1. Principio de funcionamiento de la máquina asíncrona

Se debe considerar como aspecto principal de una máquina asíncrona la cual generalmente trabaja o funciona como un motor que el devanado del estator está compuesto por tres arrollamientos desfasados 120° en el espacio.

Al momento de inyectar corriente eléctrica del alimentador de frecuencia F_r se produce una onda rotativa de f.m.m. distribuida senoidalmente por la periferia del entrehierro, produciendo un flujo giratorio de velocidad [2].

$$N_s = \frac{60 * F_r}{P}$$

ECUACIÓN N° 1: VELOCIDAD DE ROTACIÓN DEL CAMPO MAGNÉTICO

Donde:

N_s = La velocidad de sincronismo del flujo giratorio.

F_r = La frecuencia de la corriente eléctrica del alimentador.

P = El número de pares de polos.

En los motores de inducción o máquinas asíncronas la velocidad del giro del rotor es menor que la velocidad de giro de campo magnético del estator, resultado de la fricción del rotor en los cojinetes, rozamiento con el aire y a la carga acoplada al eje del rotor.

$$N_s > N_r$$

Donde:

N_s = Velocidad de giro de campo magnético del estator o de sincronismo.

N_r = Velocidad del rotor

A esto también se lo denomina como deslizamiento y se puede expresar de la siguiente forma:

- Deslizamiento absoluto:

$$S = N_s - N_r$$

- Deslizamiento relativo:

$$S\% = \frac{N_s - N_r}{N_s} * 100$$

ECUACIÓN N° 2: DESLIZAMIENTO DEL MOTOR DE INDUCCIÓN

El torque inducido tiene que ser mayor al torque resistente para que el motor arranque; conociendo que se tienen dos torques inducidos, uno debido a las barras que envuelven al rotor y otro por el rotor.

$$T_{\text{ind}} > T_{\text{res}}$$

$$T_{\text{ind}} = n * l * B * I * r$$

ECUACIÓN N° 3: TORQUE INDUCIDO DEL MOTOR DE INDUCCIÓN

Donde:

T_{ind} = Torque inducido.

T_{res} = Torque resistente.

n = Número de barras del rotor.

R = Radio del rotor.

I = Corriente de fase.

B = Campo magnético rotatorio.

L = Longitud de barras del rotor.

3.4. Diagrama equivalente al motor de inducción

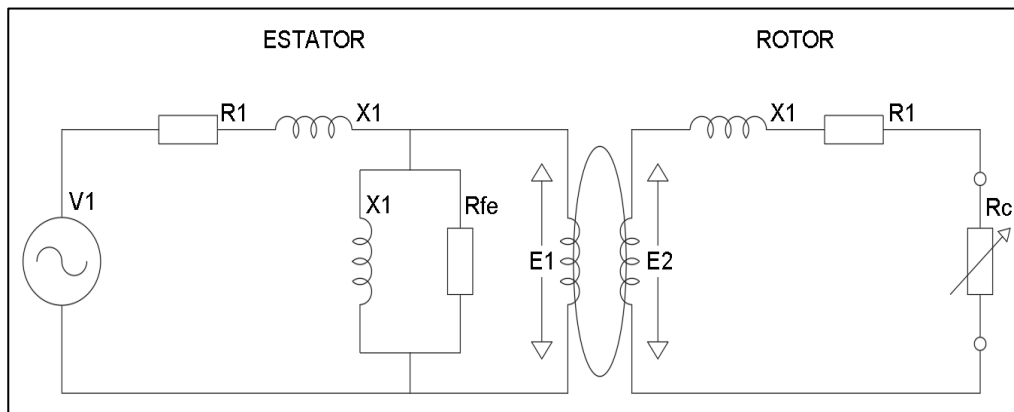


FIGURA N° 10: CIRCUITO EQUIVALENTE DEL MOTOR DE INDUCCIÓN

Se puede observar que el circuito equivalente del motor es similar al del transformador, el cual produce un voltaje en el devanado secundario al momento de proporcionar voltaje en el devanado primario; mientras que, al conectar el estator del motor a una fuente de voltaje, el campo magnético que se genera en él produce un campo magnético secundario en el rotor. Dichos campos magnéticos interactúan entre sí, lo que hace girar el rotor, pero con una diferencia entre la velocidad de dichos campos [2].

El circuito del estator está compuesto por una resistencia y una reactancia de dispersión de la bobina. Por otro lado, el circuito del rotor está compuesto por una resistencia y una inductancia por el mismo inductor, así como también una resistencia variable definida por la carga mecánica que se encuentra en el motor.

Otra variable que debe ser considerada es la frecuencia en el rotor la cual es definida por causa del deslizamiento de la máquina, por lo que las variables del rotor dependen de dicha frecuencia [3].

Cuando se haya la corriente en el circuito del rotor también se encuentra la ecuación eléctrica que equivale a la carga mecánica del motor y se define como:

$$I_2 = \frac{E_2}{Z_2}$$

ECUACIÓN N° 4: LEY DE OHM

La siguiente ecuación presentada es para conocer la corriente del rotor y está dada por:

$$I_2 = \frac{SE_2}{Z_2}$$

$$I_2 = \frac{SE_2}{R_2 + jSX_2}$$

Se divide para el desplazamiento y todo quedando en función de un solo término, dado por:

$$I_2 = \frac{SE_2}{R_2 + jSX_2} * \frac{\frac{1}{s}}{\frac{1}{s}} = \frac{E_2}{\frac{R_2}{s} + jX_2}$$

$$I_2 = \frac{E_2}{\frac{R_2}{s} + jSX_2}$$

Quedando la resistencia dependiendo del deslizamiento de la máquina, obteniendo así:

$$I_2 = \frac{E_2}{R_2 + jSX_2 + R_2 - R_2} = \frac{E_2}{R_2 + jX_2 + \frac{R_2}{s} - R_2}$$

$$I_2 = \frac{E_2}{R_2 + jSX_2 + R_2 - R_2 \left(\frac{1}{s} - 1 \right)}$$

$$I_2 = \frac{E_2}{R_2 + j SX_2 + R_2 \left(\frac{1}{S} - 1 \right)}$$

Donde:

- R_2 = Representa la resistencia del rotor
- $R_2 \left(\frac{1}{S} - 1 \right)$ = Representa la resistencia del rotor

La resistencia de la carga mecánica que se aplica al motor está dada por:

$$R_C = R_2 \left(\frac{1}{S} - 1 \right)$$

ECUACIÓN N° 5: RESISTENCIA DE LA CARGA

3.5.Rendimiento del Motor trifásico Hampden WRM-300

3.5.1. Factores que influyen en el rendimiento de un motor de inducción

Existen diversos factores que influyen en el rendimiento de un motor los cuales pueden ser clasificados en factores externos y factores internos; entre los que están:

3.5.1.1.Factores externos que influyen en el rendimiento de un motor de inducción.

FACTORES EXTERNOS	
CONDICIONES AMBIENTALES ADVERSAS	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Temperatura del medio debido a que el motor trabaja con una limitación que se encuentra en los datos de placa. ✓ La humedad es un factor influyente en las fallas comunes debido a que, si se condensa en la superficie del aislamiento, lo absorbe y con el paso del tiempo hará que la resistencia dieléctrica del aislamiento se reduce hasta ocasionar la falla.
INSTALACIÓN INADECUADA	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Pernos flojos o muy ajustados pueden ocasionar vibraciones y desalineación, esto ocasiona daños en los cojinetes y en un tiempo determinado la quemadura de los devanados. ✓ La base del motor debe ser capaz de resistir los paros y arranque.

DESPERFECTOS MECÁNICOS	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cargas excesivas. ✓ los cojinetes comenzaran a fallar, los engranajes llegaran a trabarse. ✓ En este caso, el motor consumirá más corriente y se incrementará su temperatura.
FALLAS ELÉCTRICAS	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Si el voltaje de la fuente tiene variaciones, dañara el motor de manera inmediata. ✓ El bajo voltaje hará incrementar la corriente sobrepasando la corriente nominal y esto puede generar un sobrecalentamiento en el motor ✓ El alto voltaje reducirá las perdidas en el cobre, pero el flujo magnético será más intenso y eso ocasionará aumento en las perdidas del hierro.

TABLA N° 1: FACTORES EXTERNOS

3.5.1.2. Factores internos que influyen en el rendimiento de un motor de inducción.

FACTORES INTERNOS	
CORTO ENTRE ESPIRAS	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Contaminación interna del motor. ✓ Fallo del esmalte de aislamiento del hilo ✓ Fallo de barniz de impregnación ✓ Rápidas oscilaciones en la tensión de alimentación.
CORTO ENTRE FASES	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Contaminación interna del motor. ✓ Degradación del material aislante por resecado, ocasionado por exceso de temperatura
CORTO EN LA CONEXIÓN	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Fallo de material aislante del motor. ✓ Sobrecalentamiento de la conexión debido a un mal contacto.
CORTO EN LA SALIDA DE LA RANURA O CORTO DENTRO DE LA RANURA	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Contaminación interna del motor ✓ Degradación del material aislante por resecado, ocasionado por exceso de temperatura. ✓ Fallo del barniz de impregnación.

ROTOR BLOQUEADO	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Dificultad en el arranque del motor (elevación de la caída de tensión, inercia o par de carga elevado).
SOBRECALENTAMIENTO	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cable de alimentación muy largos o de sección inferior a la necesaria. ✓ Conexión incorrecta de los cables de alimentación de motor. ✓ Ventilación deficiente (tapa dañada u obstruida, suciedad en la carcasa, temperatura ambiental elevada).
PICO DE TENSIÓN	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Motor accionado por convertidor de frecuencia con algunos parámetros incorrectos ✓ Oscilación violenta en la tensión de alimentación como: descargas atmosféricas ✓ Surtos de maniobra de banco de condensadores
FALLO DE FASE	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Mal contacto en el interruptor, contactor. ✓ Mal contacto en las conexiones. ✓ Mal contacto de una fase del transformador. ✓ Quema de un fusible.

TABLA N° 2: FACTORES INTERNOS

3.5.1.3. Fallas dadas por componentes de un motor de inducción

FALLAS DADAS POR COMPONENTES DE UN MOTOR					
COJINETES		ESTATOR		ROTOR	
Cojinetes de rodamiento	16%	Aislamiento a tierra	23%	Jaula	5%
Cojinetes de fricción	8%	Aislamiento entre espiras	4%	Eje	2%
Empaquetaduras	6%	Tirantes	3%	Núcleo magnético	1%
Cojinetes de empuje	5%	Cuñas	1%		
Lubricación	3%	Carcasa	1%		
		Núcleo magnético	1%		
Otros	3%	Otros	3%	Otros	2%

TABLA N° 3: CAUSAS DE FALLA DE UN MOTOR SEGÚN ESTUDIOS REALIZADOS ENTRE EL INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA (EPRI) Y EL GENERAL ELECTRIC (GE)

3.5.1.4. Datos estadísticos de falla del motor de inducción

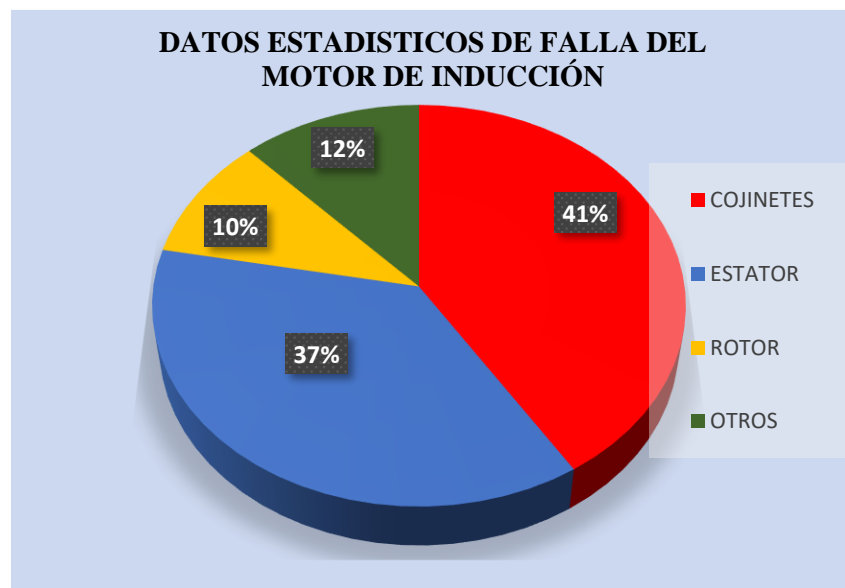


FIGURA N° 11: DATOS ESTADÍSTICOS DE FALLA DE UN MOTOR SEGÚN ESTUDIOS REALIZADOS ENTRE EL INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA (EPRI) Y EL GENERAL ELECTRIC (GE)

Según los resultados del estudio realizado entre el Instituto de Investigación de Energía Eléctrica (EPRI) y General Electric (GE) mostrado en la Figura N° 43, hay un mayor porcentaje de probabilidad de que se genere una falla por problemas en los cojinetes o también denominados rodamientos, seguidas por las fallas dadas en el estator.

La primera falla es posible de reconocer dado a que se suele generar ruido cuando los cojinetes fallan; mientras que, un problema en el estator es más complejo de que sea reconocido el punto exacto ya que va directamente relacionado con el devanado del estator y puede ser un cortocircuito entre espiras.

Este estudio se realizó utilizando el software Matlab® por medio de elementos finitos o datos de placa de la máquina.

CAPITULO III

4. MARCO METODOLÓGICO

4.1. Equipos y software utilizados para la realización del proyecto

Para la ejecución de las diferentes pruebas experimentales en el laboratorio de máquinas I&II, se procedió con la utilización e implementación de los equipos detallados posteriormente.

Para la simulación del módulo de la máquina asíncrona se utilizarán dos softwares los cuales son; Matlab® y LabView® que permitirán observar el comportamiento del motor en los estados más comunes, a su vez tener una interfaz gráfica que permita al usuario realizar pruebas sin restricciones.

4.1.1. Equipos utilizados en el desarrollo de las pruebas realizadas

4.1.1.1. Banco de pruebas para Máquina Asíncrona

El banco de prueba elaborado en la Universidad Politécnica Salesiana tiene el fin de ayudar en el aprendizaje de los estudiantes que cursan los niveles intermedios de la carrera de Ingeniería Eléctrica e Ingeniería en Electricidad; comprende elementos que permiten al estudiante ampliar sus conocimientos respecto a motores de inducción, profundizando su funcionamiento y conceptos aprendidos dentro de las horas de clase.

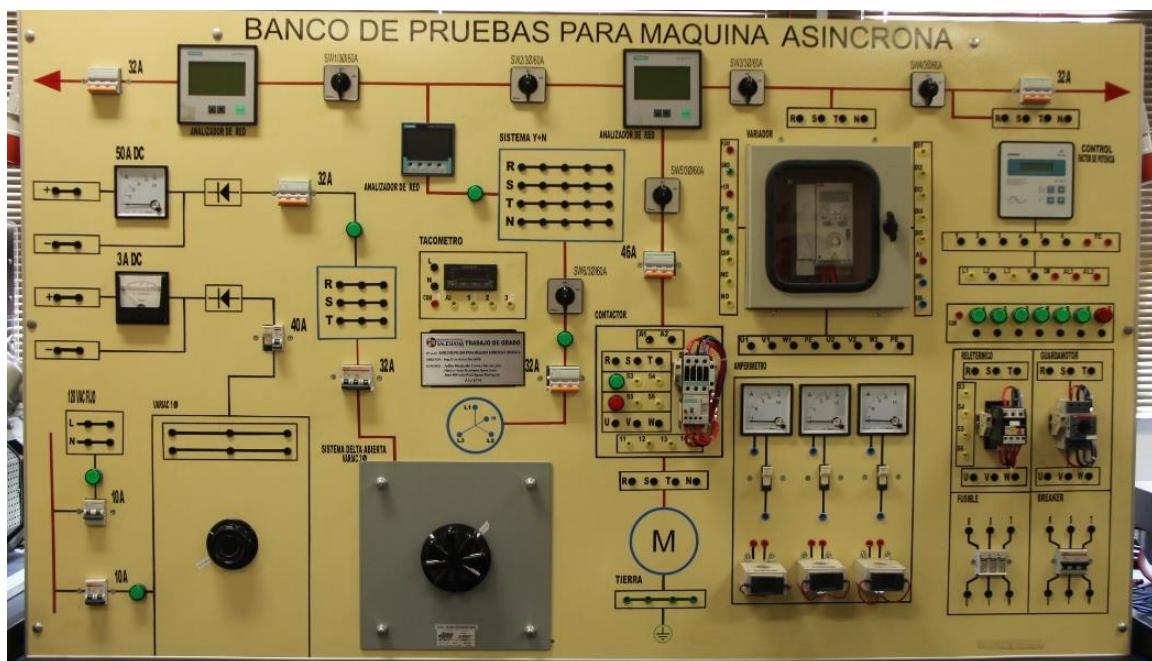


FIGURA N° 12 : BANCO DE PRUEBA PARA UNA MÁQUINA ASÍNCRONA TRIFÁSICO

4.1.1.2. Motor trifásico Hampden WRM-300

El modelo WRM-300 es un motor de rotor devanado de cuatro polos y cuatro fases, que contiene un devanado del estator y un devanado del rotor con anillos deslizantes y cepillos. Un interruptor de circuito tripolar que se proporciona en la caja de bornes.



FIGURA N° 13: MOTOR TRIFÁSICO HAMPDEN WRM-300

P	V	f	ω	In
3 HP	127 - 220 V	60 HZ	1800 r.p.m.	17,3 - 10 A

TABLA N° 4: DATOS DE PLACA DEL MOTOR

4.1.1.3. Variac 3Ø

Un variac o transformador variable sirve para el ajuste de una línea eléctrica, tomando una línea de voltaje de entrada obteniendo así la salida de voltaje variable. El transformador variable se utiliza de forma muy amplia en los diferentes sectores como zonas industriales, laboratorios de investigación donde se necesita de un voltaje variable para ser ejecutados.



FIGURA N° 14: VARIAC 3Ø

4.1.1.4.Freno electromecánico

El freno electromecánico cumple con el principio de funcionamiento de un electroimán, el cual constituye una bobina eléctrica que al momento de hacer circular una corriente por ella, se genera un campo magnético que con las piezas fijas y móviles ya sean estas mecánicas y eléctricas forman así el conocido freno electromecánico, se puede destacar que el mantenimiento a este tipo de freno es de costo muy reducido y con poca frecuencia.

Es de fácil funcionamiento y a pesar de ser de pequeñas dimensiones, es capaz de controlar considerables cargas de inercia, cumpliendo así su funcionamiento principal de generar suficiente contra torque para detener el eje en movimiento durante el tiempo necesario.

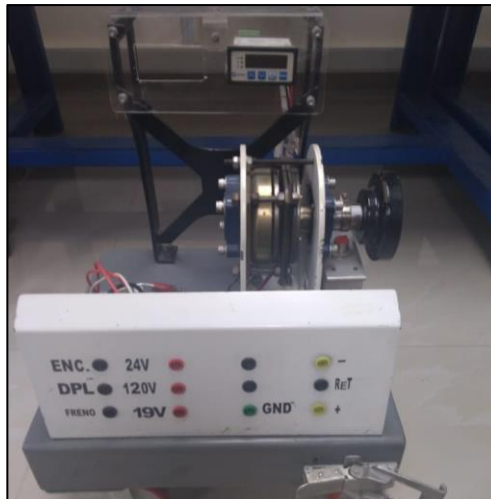


FIGURA N° 15: FRENO ELECTROMECAÁNICO

4.1.1.5.Máquina Hampden DYN-400

La máquina puede funcionar como motor o generador, el electrodinamómetro funciona con corriente continua DC bipolar y está formado por bobinado de campo, bobinado serie, bobinado interpolo, bobinado de compensación, armadura, núcleo, carcasa, interruptor de circuito de dos polos y una base metálica con ruedas. El marco se encuentra encima de rulimanes, enlazado por medio de un brazo metálico de 12 pulgadas a una balanza de resorte.



FIGURA N° 16: MAQUINA HAMPDEN DYN-400

4.1.1.6. Analizador de red (FLUKE 345 Series II Power Quality And Energy Analyzer)

Es un instrumento que se utiliza para realizar un análisis de las variaciones de las redes eléctricas, mostrando los parámetros que se desee obtener como voltajes, corrientes, potencias, armónicos, entre otros. Debido a que poseen una memoria interna estos parámetros pueden ser observados mediante el display del equipo o mediante un software.



FIGURA N° 17 : ANALIZADOR DE RED FLUKE 345

4.1.1.7. Módulo de adquisición y procesamiento de parámetros electromecánicos para el laboratorio de motores y generadores (M.A.P.P.E)

M.A.P.P.E es un instrumento que es utilizado para la adquisición de parámetros electromecánicos por medio de transductores, que trabaja con una interfaz con el software LabView®, y de esta forma generando datos, tablas para la correcta comparación entre en una modelo ideal de un motor o generador y pruebas experimentales.



FIGURA N° 18: MÓDULO DE ADQUISICIÓN Y PROCESAMIENTO DE PARÁMETROS ELECTROMECÁNICOS PARA EL LABORATORIO DE MOTORES Y GENERADORES

4.1.2. Softwares implementados en el desarrollo de la simulación del proyecto

4.1.2.1. Matlab®

La plataforma Matlab® está optimizada para resolver problemas de ingeniería y científicos. El lenguaje de Matlab®, basado en matrices, es la forma más natural del mundo para expresar las matemáticas computacionales.



FIGURA N° 19: MATLAB®

4.1.2.2.LabView®

LabView® es un software de ingeniería de sistemas que requiere pruebas, medidas y control con acceso rápido a hardware e información de datos. El entorno de programación de LabView® simplifica la integración de hardware para aplicaciones de ingeniería, para así adquirir datos desde hardware de NI y de terceros.

LabView® reduce la complejidad de la programación, permitiendo enfocarse en algún problema de ingeniería y visualizar resultados inmediatamente con la creación integrada de interfaces de usuario de clic-y-arrastre y visualizadores de datos integrados. Para convertir datos adquiridos en resultados del negocio reales, se puede desarrollar algoritmos para análisis de datos y control avanzado con IP de matemáticas y procesamiento de señales o reutilizar sus propias bibliotecas desde una variedad de herramientas. Para garantizar la compatibilidad con otras herramientas de ingeniería, LabView® puede interactuar o reutilizar bibliotecas de otros software y lenguajes de fuente abierta.

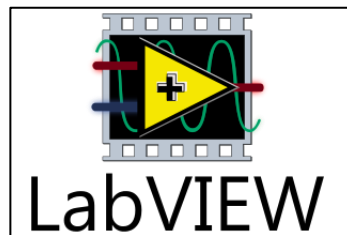


FIGURA N° 20: LABVIEW®

4.2.Simulación del Módulo de la Máquina Asíncrona

4.3.Programación de la simulación realizada en el software LabView®

Para la elaboración de la simulación del Módulo de la Máquina Asíncrona en LabView® se realizó la programación de las ventanas del Panel Frontal y la ventana del Diagrama de Bloque, siendo ambas indispensables para el correcto funcionamiento de la simulación.

Luego de haber realizado el Módulo de Máquina Asíncrona en Autocad® se procedió a importar la imagen a la ventana del Panel Frontal de LabView® donde se realizó la programación de la interfaz gráfica para lo cual se crearon botones de control, indicadores numéricos, ventanas gráficas y elementos de decoración; encontrándose todos estos componentes dentro de las herramientas de la Paleta de Control del Panel Frontal descritas en la tabla N° 8.

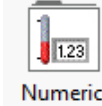
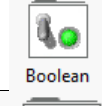
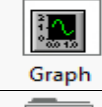
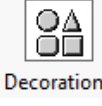
FRONT PANEL			
Control	Modern	Numeric	 Numeric
		Boolean	 Boolean
		Waveform Graph	 Graph
		Decorations	 Decorations

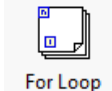
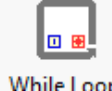
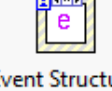
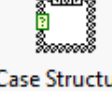
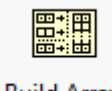
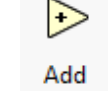
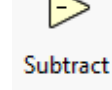
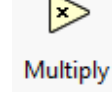

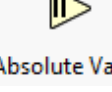
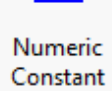
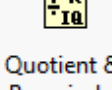
TABLA N° 5: HERRAMIENTAS DEL PANEL FRONTAL

Al momento de que fueron creados los elementos en el Panel Frontal se instauraron automáticamente íconos de los mismos en la ventana del Diagrama de Bloque; para que, en conjunto con las herramientas de la Paleta de Función poder realizar la programación. Dentro de las herramientas usadas de la Paleta de Función se encuentran elementos de estructura, formación, numéricos, comparación y booleanos descritos en la tabla N° 9, los cuales al usarse según la necesidad forman la simulación del Módulo de la Máquina Asíncrona.

Para las gráficas de los datos obtenidos se hizo uso de las herramientas For Loop, While Loop, Waveform Graph, Array, Numeric Constant y Read From Measurement File, los cuales permitieron importar los datos obtenidos de la simulación del Motor de Inducción Trifásico Hampden WRM-300 en Simulink de Matlab®, procesarlos por medio del Build Array y graficarlo por medio del Waveform Graph. Para la selección de atajos y direccionamiento a las pestañas de la programación se hizo uso de las herramientas Select, Or, Numeric Constant y los íconos de los botones booleanos creados en el Panel Frontal, los cuales por medio de combinaciones direccionarán a las pestañas al momento de estar realizando la simulación.

Para el funcionamiento del tablero en la pestaña correspondiente a la simulación del Módulo de la Máquina Asíncrona, según la prueba seleccionada se hizo uso de las herramientas Event Structure, Case Structure, Add, Subtract, Multiply, Divide, Absolute Value, Quotient & Remainder, Equal, And, Or, True Constant, False Constant y los íconos de los botones booleanos creados en el Panel Frontal, los cuales por medio

de funciones condicionales dieron paso a la elaboración de la simulación de las cuatro pruebas establecidas.

BLOCK DIAGRAM			
Programming	Structure	For Loop	 For Loop
		While Loop	 While Loop
		Event Structure	 Event Structure
		Case Structure	 Case Structure
	Array	Build Array	 Build Array
	Numeric	Add	 Add
		Subtract	 Subtract
		Multiply	 Multiply
		Divide	 Divide
		Absolute Value	 Absolute Value
		Numeric Constant	 Numeric Constant
		Quotient & Remainder	 Quotient & Remainder









Comparison	Equal	 Equal?
	Greater Or Equal	 Greater Or Equal?
	Less Or Equal	 Less Or Equal?
	Select	 Select
Boolean	And	 And
	Or	 Or
	True Constant	 True Constant
	False Constant	 False Constant

TABLA N° 6: HERRAMIENTAS DEL PANEL FRONTAL

4.3.1. Prueba de vacío

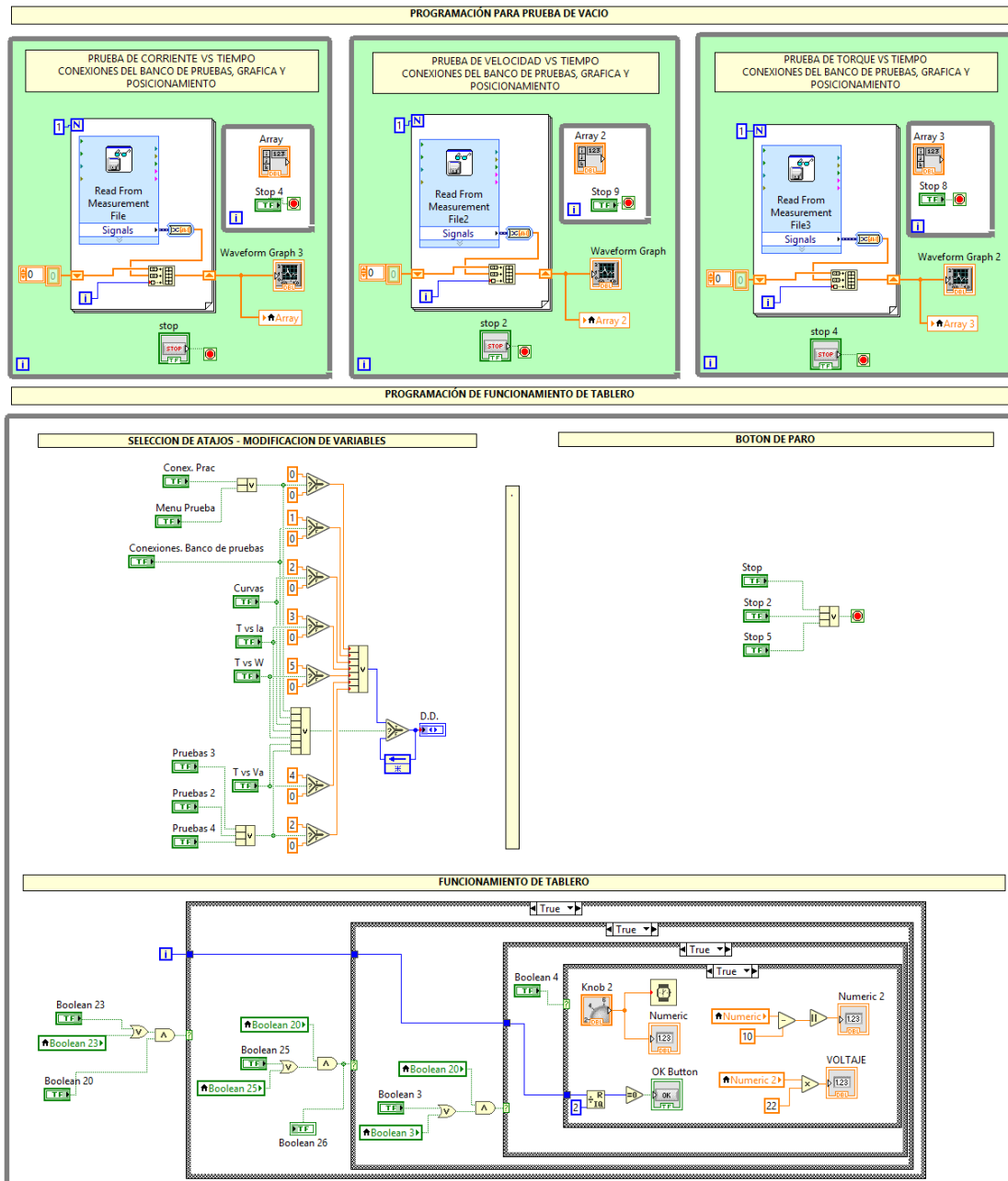


FIGURA N° 21: PROGRAMACIÓN PARA PRUEBA DE VACÍO

4.3.2. Prueba por variación del par resistente

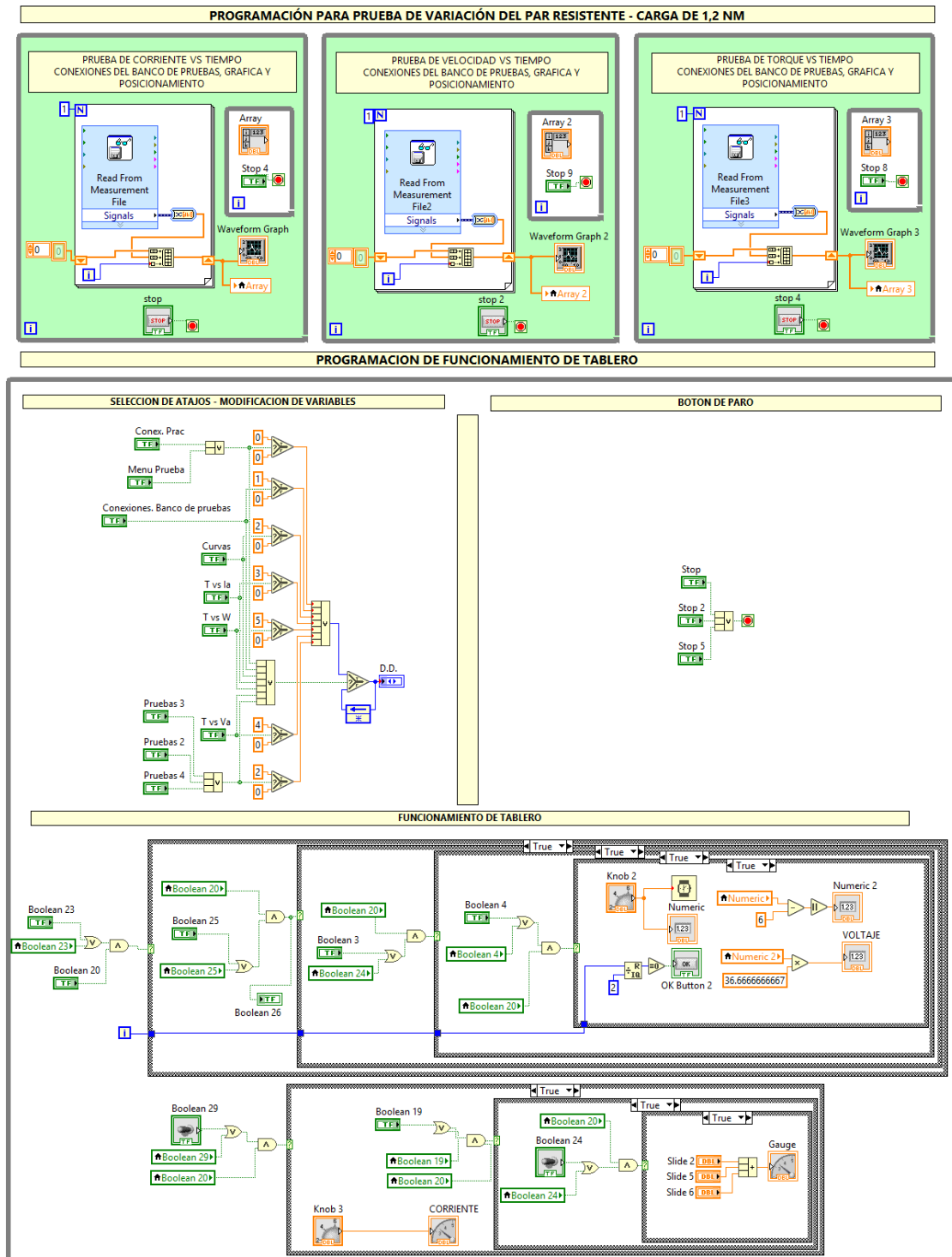


FIGURA N° 22: PROGRAMACIÓN PARA PRUEBA POR VARIACIÓN DEL PAR RESISTENTE

4.3.3. Prueba de arranque por variación de la tensión

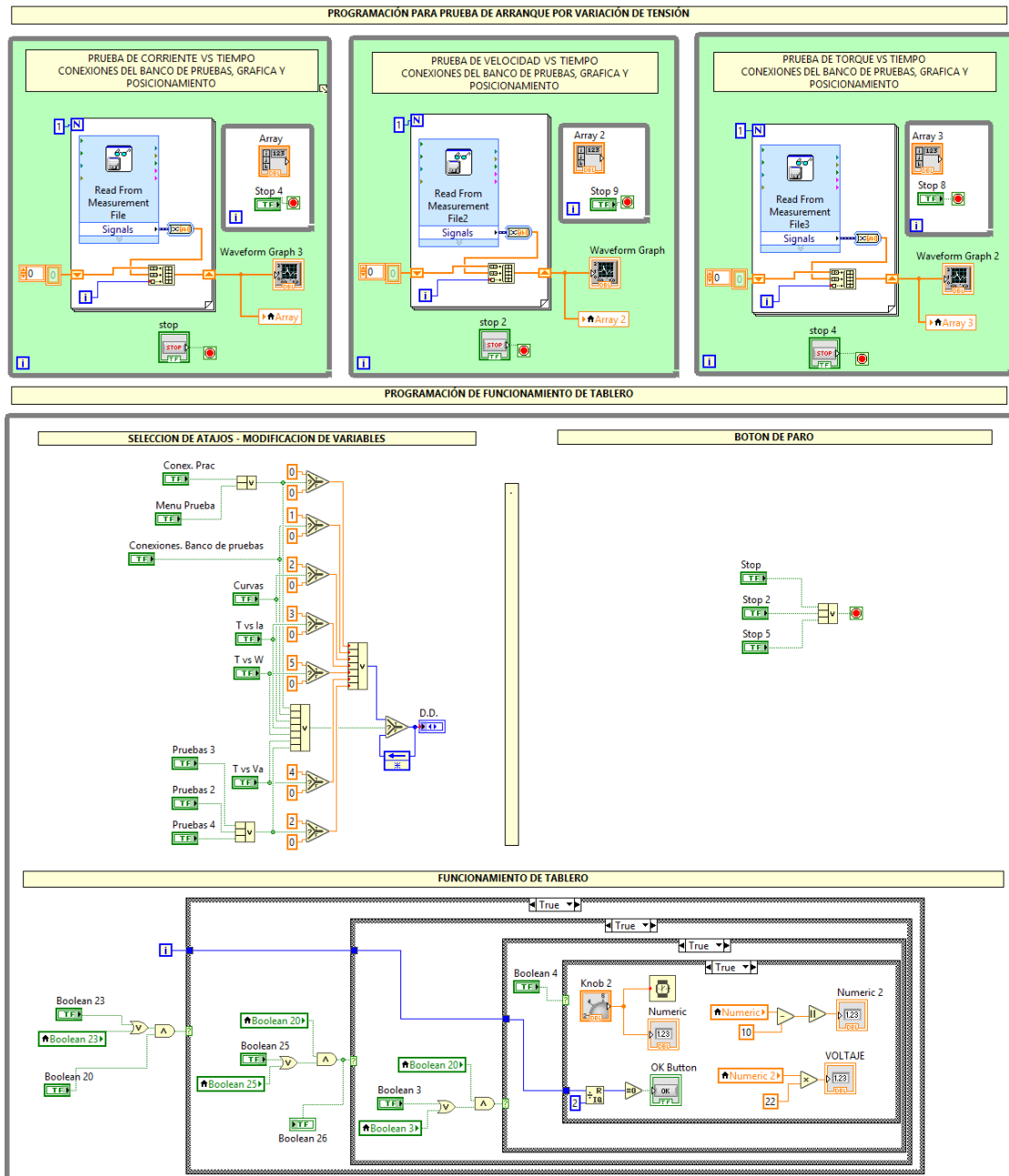


FIGURA N° 23: PROGRAMACIÓN PARA PRUEBA DE ARRANQUE POR VARIACIÓN DE TENSION

4.3.4. Prueba de maniobra de frenado por inyección de corriente continua

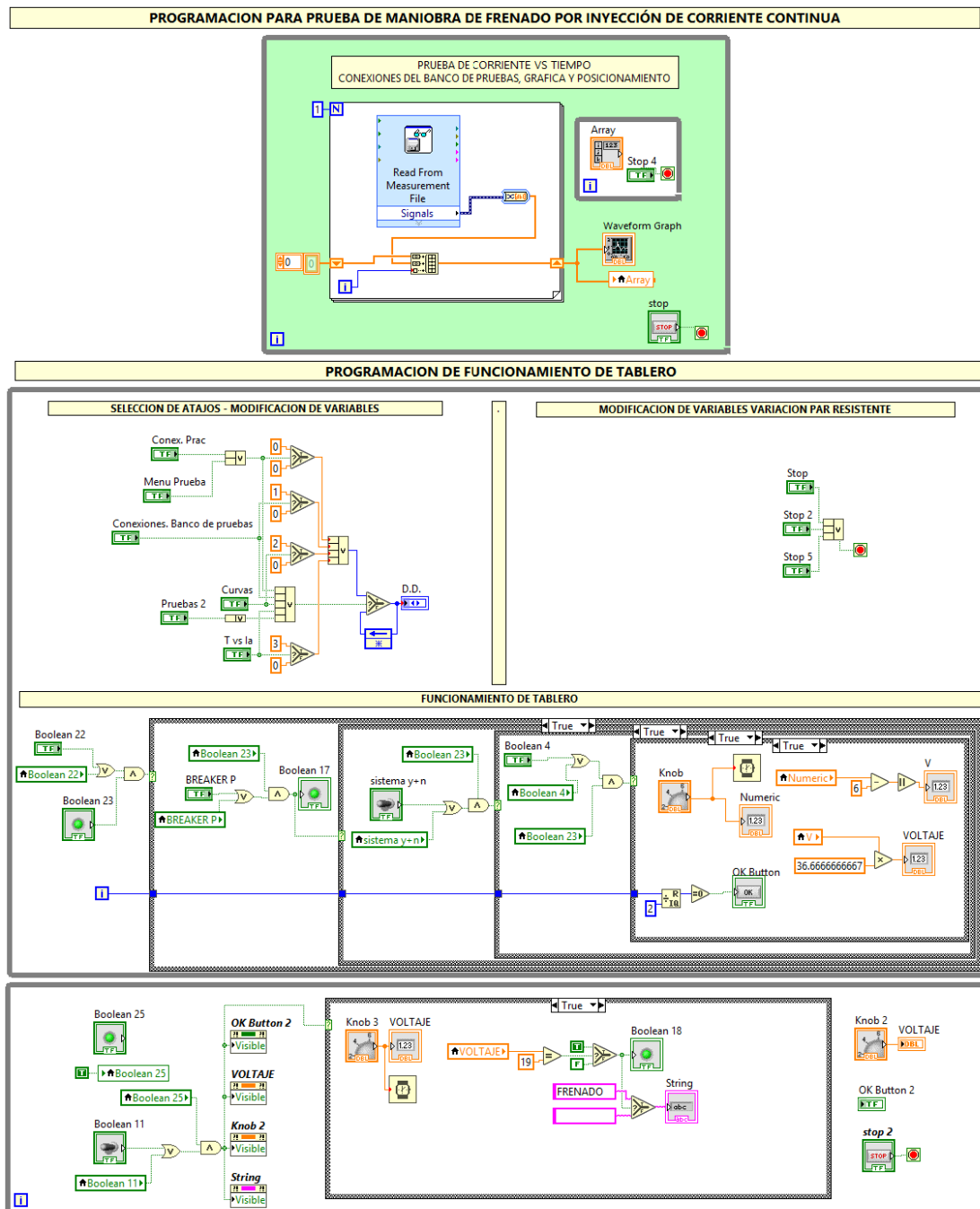


FIGURA N° 24: PROGRAMACIÓN PARA PRUEBA DE ARRANQUE POR VARIACIÓN DE TENSIÓN

4.3.5. Simulación del Motor Hampden WRM-300

Previo a la realización de la simulación del Módulo de Máquina Asíncrona en el software LabView®, se realizó la simulación del funcionamiento ideal del Motor de Inducción Trifásico Hampden WRM-300 en la plataforma Simulink de Matlab®; estos datos obtenidos tanto de corriente, velocidad y torque para cada práctica planteada en este proyecto de tesis, fueron importados para luego ser comparados con los datos obtenidos de manera práctica presentados en LabView®.

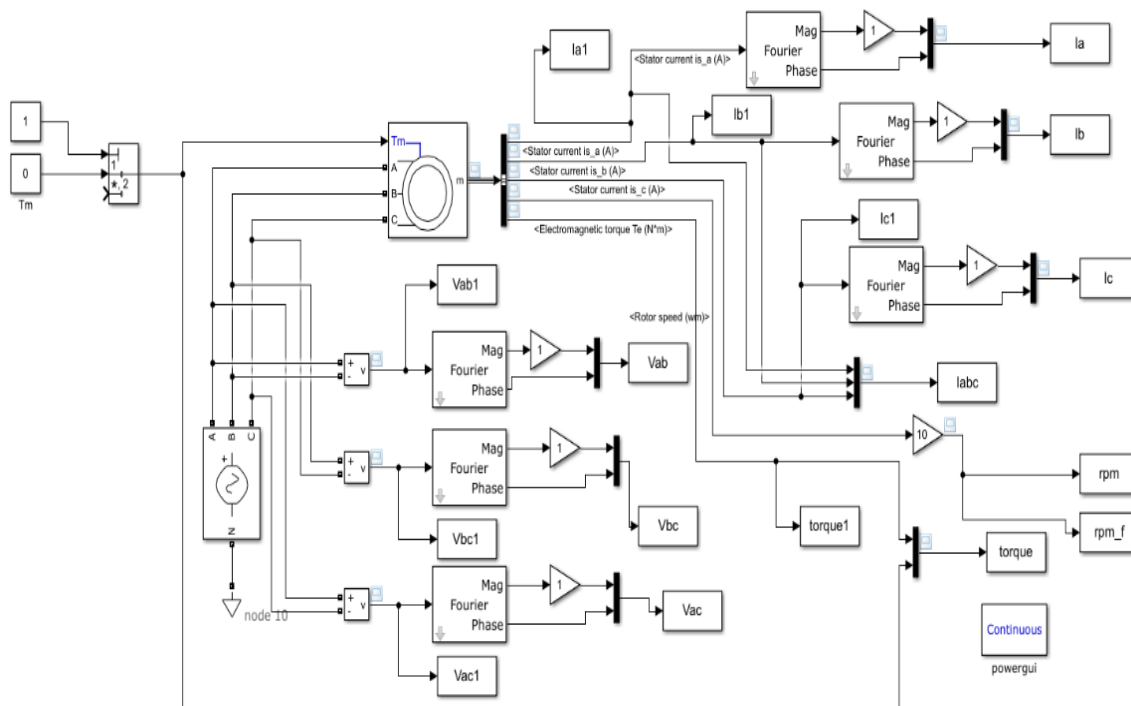


FIGURA N° 25: SIMULACIÓN EN MATLAB®

4.3.5.1. Los elementos usados para la realización de la simulación fueron los siguientes:

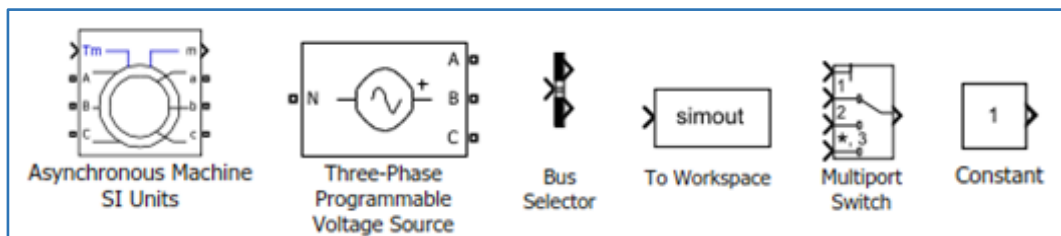


FIGURA N° 26: SIMULACIÓN EN MATLAB®

- Una vez seleccionado los elementos necesarios, se procedió a configurar los mismos; en el caso del motor objeto de estudio y según sus datos de placa se

ingresaron los datos de configuración y parámetros como se muestra a continuación:

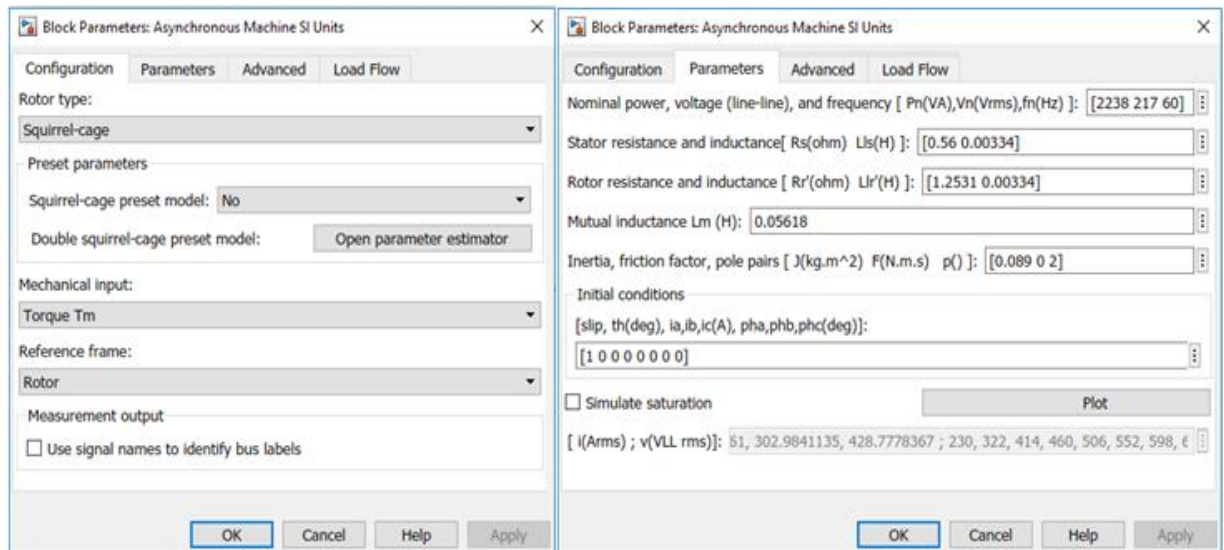


FIGURA N° 27: CONFIGURACION Y PARAMETROS DEL MOTOR

- Posterior a eso, de la misma manera se configuró la fuente que suministrará de corriente a la máquina, ingresando los siguientes parámetros:

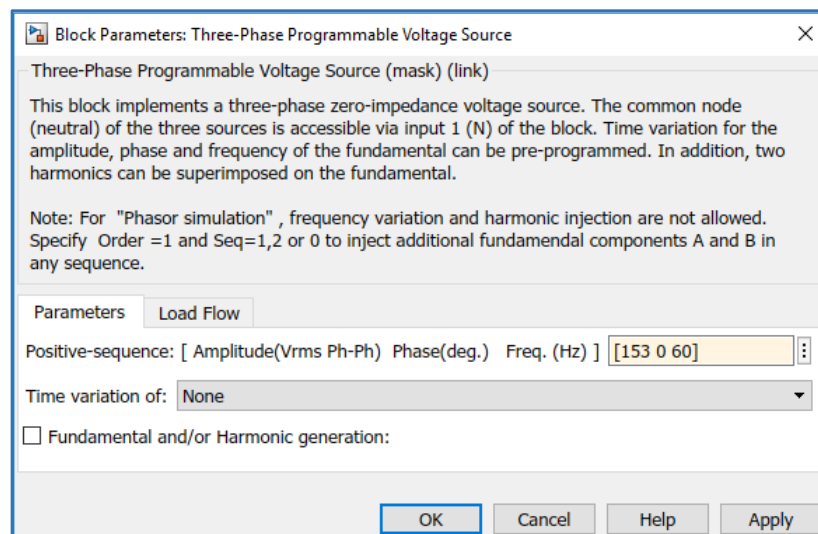


FIGURA N° 28: PARÁMETROS DE LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN

- Para obtener datos de la simulación del Motor de Inducción Trifásico Hampden WRM-300 fue necesario conectar a la misma, un bus selector para obtener las señales de corriente de las tres fases, la velocidad y el torque.
- En este elemento se eligieron las señales de las que se desean obtener datos, para lo que se seleccionó en el lado izquierdo el parámetro, permitiendo de esta manera que el bus selector tenga las suficientes salidas para poder mostrar las señales escogidas.

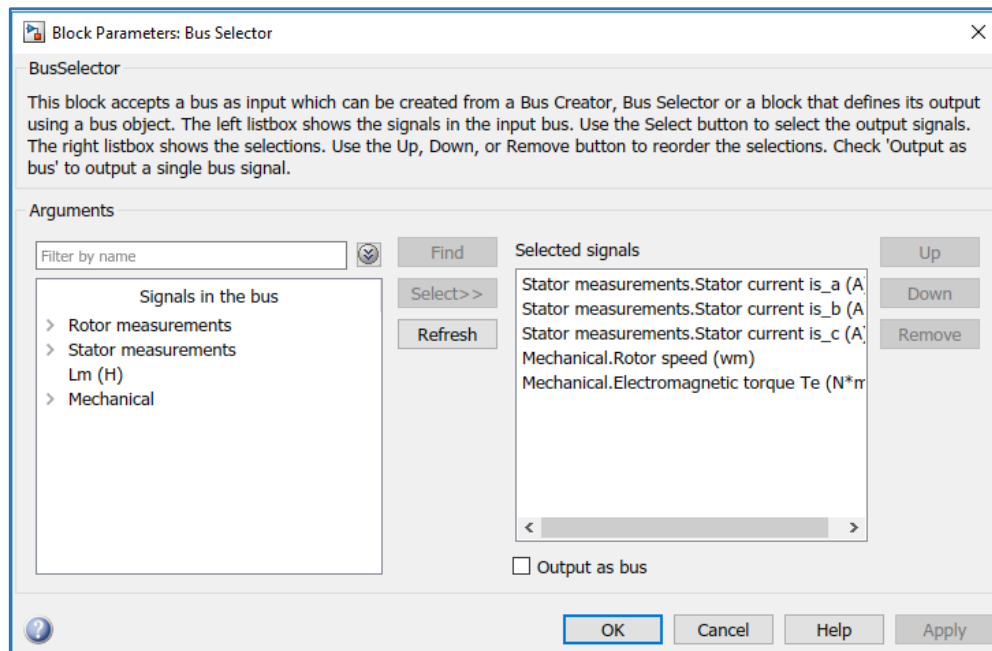


FIGURA N° 29: PARÁMETROS DEL BUS SELECTOR

- Para poder mostrar los datos, fue necesario conectar al bus selector un workspace que muestre la información del motor de inducción, este proceso fue realizado con cada parámetro de corriente, velocidad y torque.

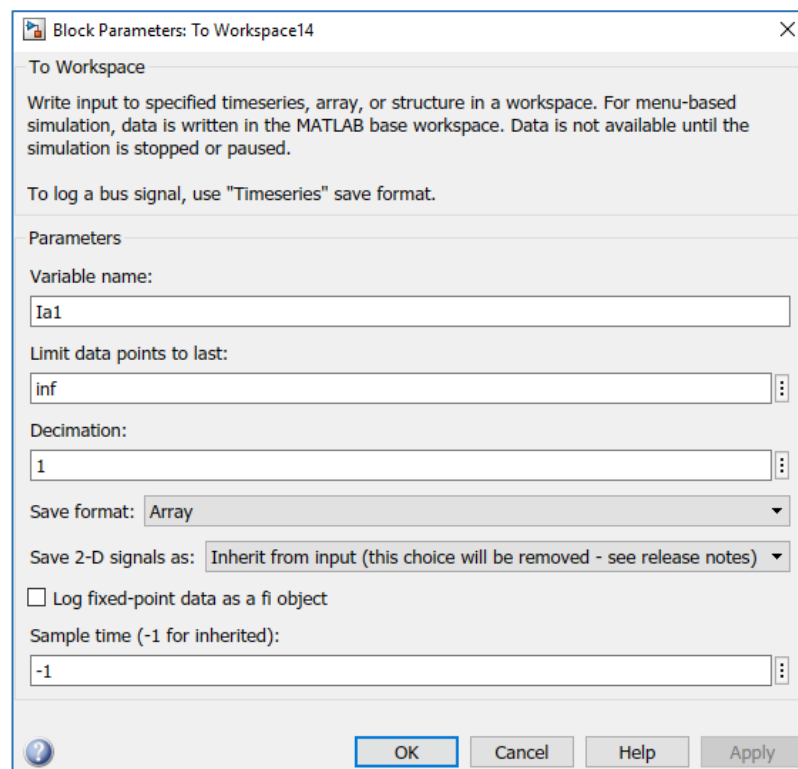


FIGURA N° 30: PARÁMETROS DEL WORKSPACE

- Por último, se conectó al Motor de Inducción Trifásico Hampden WRM-300 un Multiport Switch con dos puertos; permitiendo así, la conexión de la carga al eje

de la misma. En el caso de ser la prueba a vacío, arranque por variación de tensión y maniobra del frenado por inyección de corriente continua se conectaron las constantes de 1 y 0 a la entrada del elemento en mención; en el caso de ser la prueba de variación del par resistente se conectaron las constantes de 1 y 1.2, 1 y 3 o 1 y 5 según correspondía.

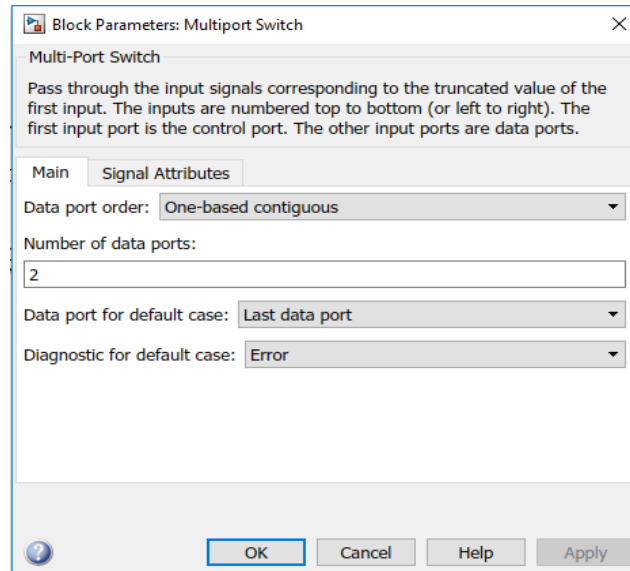


FIGURA N° 31: PARÁMETROS DEL MULTIPORT SWITCH

4.3.6. Pruebas y determinación de los parámetros eléctricos del motor de inducción Hampden WRM-300

Previo a la realización de la simulación, fue necesario realizar pruebas al Motor de Inducción Trifásico para de esta manera poder determinar el diagrama del circuito equivalente de la máquina y así realizar la configuración de los parámetros de la simulación en Simulink. Las pruebas fueron las siguientes:

4.3.6.1. Prueba de circuito abierto (CA)

Consiste en hacer funcionar a la máquina asíncrona sin carga resistente al eje del rotor, pero con sus valores nominales de voltaje [2]. Luego de la práctica realizada se obtuvieron los datos con el analizador de redes los cuales se pueden observar en la tabla N° 7:

V_{Promedio}	V_{Fase}	I_{Promedio}
218	125,86	5,38

TABLA N° 7: DATOS OBTENIDOS DE LA PRUEBA DE CIRCUITO ABIERTO (CA)

4.3.6.2. Prueba de rotor bloqueado (RB)

Consiste en colocar un torque resistente al eje del rotor, evitando que este se mueva al momento de energizarlo y alcanzando su corriente nominal [2]. Luego de la práctica realizada se obtuvieron los datos con el analizador de redes los cuales se pueden observar en la tabla N° 8:

$V_{Promedio}$	V_{Fase}	$I_{Promedio}$
54	31,18	9,88

TABLA N° 8: DATOS OBTENIDOS DE LA PRUEBA DE ROTOR BLOQUEADO

4.3.6.3. Prueba de voltaje de corriente continua (DC)

Consiste en alimentar con voltaje DC las bobinas del motor, obteniendo de esta manera voltaje y corriente para determinar las resistencias del motor [2]. Luego de la práctica realizada se obtuvieron los siguientes datos con el multímetro digital los cuales se pueden observar en la tabla N° 9:

V_{DC}	I_{DC}
2,9	2,6

TABLA N° 9: DATOS OBTENIDOS DE LA PRUEBA DE VOLTAJE DE CORRIENTE CONTINUA

4.3.6.4. Determinación de parámetros:

- Con los valores mostrados en la tabla N° 5 es posible calcular la impedancia de circuito abierto, teniendo así:

$$|Z_{ca_{fase}}| = \frac{V_{fase}}{I_{fase}}$$

$$|Z_{ca_{fase}}| = \frac{125,86 \text{ V}}{5,38 \text{ A}}$$

$$|Z_{ca_{fase}}| = \mathbf{23,4 \Omega}$$

- Con los valores mostrados en la tabla N° 6 es posible calcular la resistencia del rotor de la máquina asíncrona, teniendo así:

$$R1 = \frac{V_{dc}}{2 \times I_{dc}}$$

$$R1 = \frac{2,9 \text{ V}}{2 \times 2,6 \text{ A}} = \mathbf{0,56 \Omega}$$

- Para determinar el circuito equivalente de la máquina asíncrona se determinaron los siguientes valores:

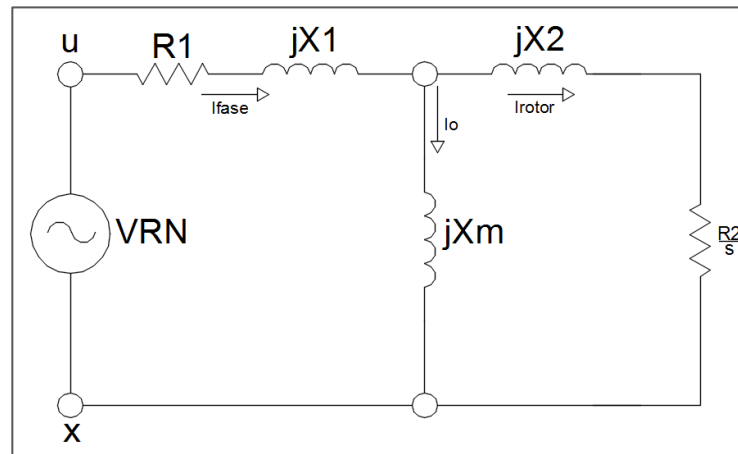


FIGURA N° 32: CIRCUITO EQUIVALENTE

- Potencia por fase:

$$P_{\text{fase}} = \frac{P_{\text{RB}}(3\phi)}{3}$$

$$P_{\text{fase}} = \frac{530 \text{ W}}{3} = 176,7 \text{ W}$$

- Impedancia de rotor bloqueado:

$$Z_{\text{RB}} = \frac{V_{\text{RB}}}{I_{\text{RB}}} \left| \frac{P_{\text{fRB}}}{V_{\text{RB}} \times I_{\text{RB}}} \right.$$

$$Z_{\text{RB}} = \frac{31,18 \text{ V}}{9,88 \text{ A}} \left| \frac{176,7 \text{ W}}{31,18 \text{ V} \times 9,88 \text{ A}} \right. = 3,16 \angle 54,9^\circ \Omega$$

Es necesario la representación en coordenadas rectangulares para determinar la resistencia y reactancia del rotor bloqueado, teniendo así:

$$Z_{\text{RB}} = (R_{\text{RB}} + X_{\text{RB}})$$

$$Z_{\text{RB}} = (1,81 + j 2,58) \Omega$$

$$R_{\text{RB}} = 1,81 \Omega$$

$$X_{\text{RB}} = j 2,58 \Omega$$

- Resistencia del rotor (R_2):

$$R_{\text{RB}} = R_1 + R_2$$

$$R_2 = R_{\text{RB}} - R_1$$

$$R_2 = 1,81 \Omega - 0,56 \Omega = 1,25 \Omega$$

- Reactancia del rotor y del estator (X_1 y X_2):

$$\begin{aligned} X_{RB} &= X_1 + X_2 \\ X_1 &= X_2 \\ &= \frac{j 2,58 \Omega}{2} = j 1,29 \Omega \end{aligned}$$

- Inductancia de Magnetización (X_M):

$$\begin{aligned} X_M &= X_{ca_{fase}} - X_1 \\ X_M &= j 23,4 - j 1,29 \Omega \\ X_M &= j 22,11 \Omega \end{aligned}$$

4.4.Pruebas a realizar en el laboratorio de máquinas I&II para la comprobación del proyecto

En esta sección se detallan los equipos que fueron utilizados exclusivamente en cada prueba; a su vez, se mostrará cuáles son los pasos a seguir para la realización o ejecución de las mismas.

4.4.1. Prueba de vacío

Esta prueba se realiza para determinar los parámetros de la rama magnetizante del circuito equivalente. Para obtener las lecturas de vacío se obtiene el promedio de las tensiones y las corrientes; para el caso de la potencia en vacío se hace la suma de las potencias monofásicas.

Para realizar esta prueba se utilizarán los siguientes equipos:

- Banco de prueba para Máquina Asíncrona.
- Variac 3Ø.
- Motor trifásico Hampden WRM-300.
- Analizador Fluke 345.

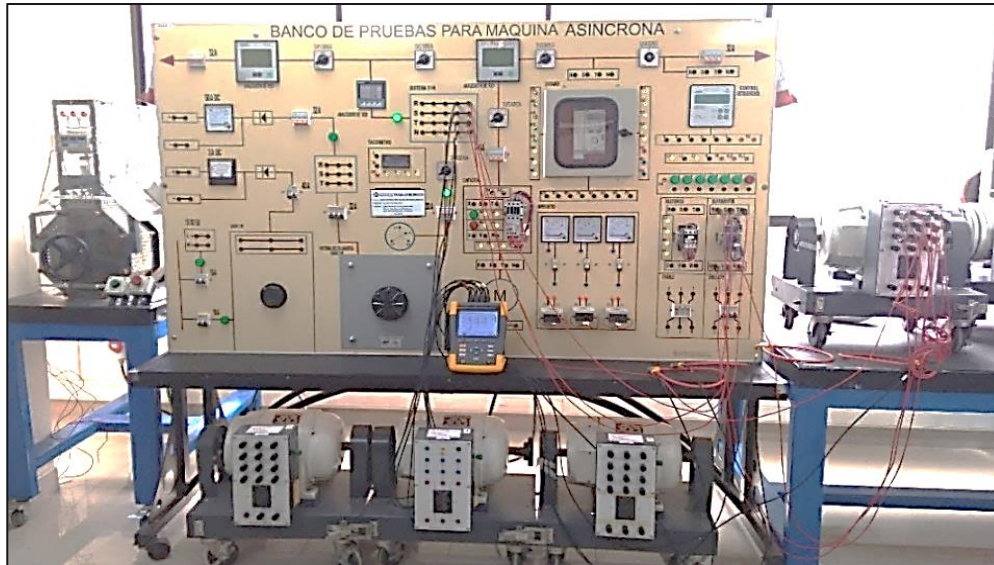


FIGURA N° 33: PRUEBA A VACÍO

Pasos para realizar la prueba:

- Asegurar que todos los equipos se encuentren des-energizados.
- Conectar el motor en estrella.
- Realizar la conexión entre el sistema Y+N del módulo y el guardamotor.
- Conectar el guardamotor del módulo y el motor.
- Conectar el analizador de redes con el motor.
- Encender el Variac 3Ø y activar el Sistema Y+N del módulo.
- Incrementar la tensión del Variac 3Ø hasta 220V de Línea a Línea.
- Activar el guardamotor.
- Toma de datos.

4.4.2. Prueba por variación del par resistente

Esta prueba se realiza para determinar la variación de distintos parámetros de funcionamiento del motor al variar sus condiciones operativas.

Para realizar esta prueba se utilizarán los siguientes equipos:

- Banco de prueba para Máquina Asíncrona.
- Módulo de resistencias.
- Variac 3Ø.
- Motor trifásico Hampden WRM-300.
- Analizador Fluke 345.
- Generador Hampden DYN-400.

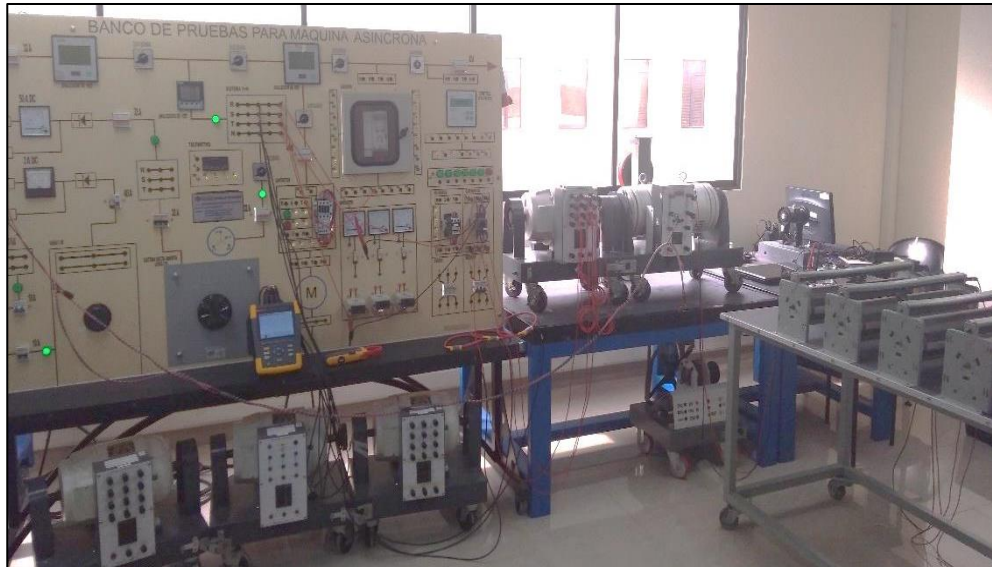


FIGURA N° 34: PRUEBA POR VARIACIÓN DEL PAR RESISTENTE

Pasos para realizar la prueba:

- Asegurar que todos los equipos se encuentren des-energizados.
- Acoplar el eje del generador DC al eje del motor mediante un matrimonio (acople de caucho).
- Conectar el motor en estrella.
- Conectar el circuito de campo del generador DC con la fuente de 30 A DC del Variac 1Ø del módulo, conectar las resistencias en serie y colocarlas en 0 Ω para así al alimentarlas la carga sea de 0 N.m.
- Conectar el circuito de armadura del generador DC a la carga (banco de resistencias) realizar la conexión entre el sistema Y+N del módulo y el guardamotor, a su vez conectar el guardamotor del módulo y el motor.
- Conectar el analizador de redes con el motor
- Encender el Variac 3Ø y activar el Sistema Y+N del módulo.
- Encender el Variac 1Ø e incrementar su corriente hasta que el analizador del módulo marque 0.7 A, incrementar la tensión del Variac 3Ø hasta 220V de Línea a Línea.
- Activar el guardamotor y el banco de resistencias.
- Tomar datos mientras se incrementa la carga a cada 0.5 N.m. Es posible ver la variación de la carga por medio de la balanza que se encuentra en la parte trasera del generador DC.

4.4.3. Arranque por variación de tensión

Esta prueba se realiza para determinar la proporción de variación de la corriente de arranque según la tensión de alimentación. Así mismo, la variación del par de arranque al cuadrado de la tensión de alimentación; esto debido a que la intensidad de arranque disminuye algo más que proporcionalmente respecto a la tensión.

Para realizar esta prueba se utilizarán los siguientes equipos:

- Banco de prueba para Máquina Asíncrona.
- Módulo de resistencias.
- Variac 3Ø.
- Motor trifásico Hampden WRM-300.
- Analizador Fluke 345.

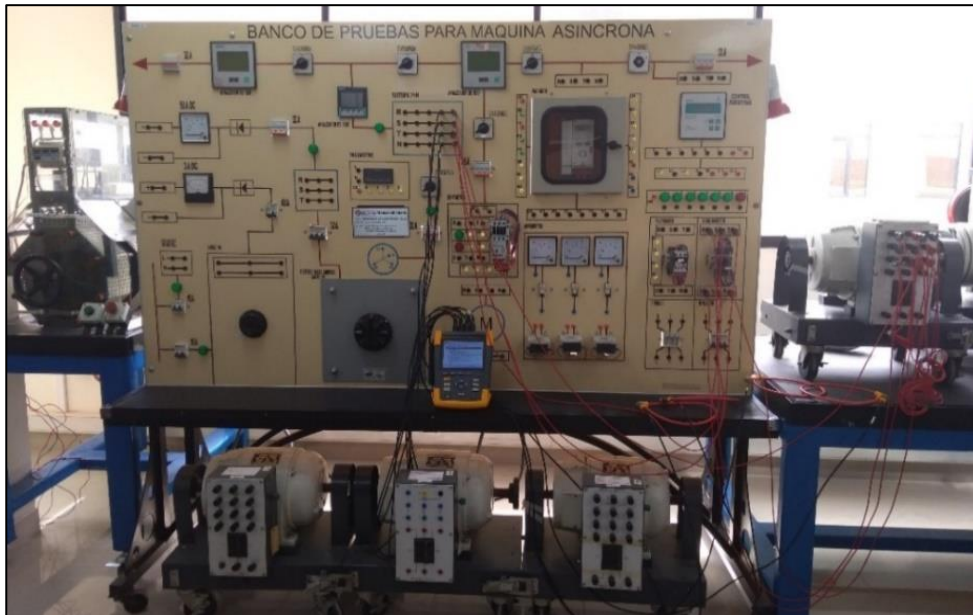


FIGURA N° 35: PRUEBA DE ARRANQUE POR VARIACIÓN DE TENSIÓN

Pasos para realizar la prueba:

- Asegurar que todos los equipos se encuentren des-energizados.
- Conectar el motor en estrella.
- Realizar la conexión entre el sistema Y+N del módulo y el guardamotor.
- Conectar el guardamotor del módulo y el motor.
- Conectar el analizador de redes con el motor.
- Encender el Variac 3Ø y activar el Sistema Y+N del módulo.
- Verificar que el analizador se encuentre en 0V.

- Activar el guardamotor.
- Tomar datos mientras se incrementa la tensión del Variac 3Ø de 0V hasta 220V de Línea a Línea.

4.4.4. Maniobra del frenado por inyección de corriente continúa

Esta prueba se realiza para observar el paro del motor al momento de inyectar una corriente continua en el estator creando un campo magnético fijo y así el rotor tratará de alinearse con este campo, produciéndose el paro del mismo.

Además, se realiza para determinar los parámetros del circuito equivalente en caso de cortocircuito mecánico.

Para realizar esta prueba se utilizarán los siguientes equipos:

- Banco de prueba para Máquina Asíncrona.
- Variac 3Ø.
- Motor trifásico Hampden WRM-300.
- Analizador Fluke 345
- Multímetro Fluke.

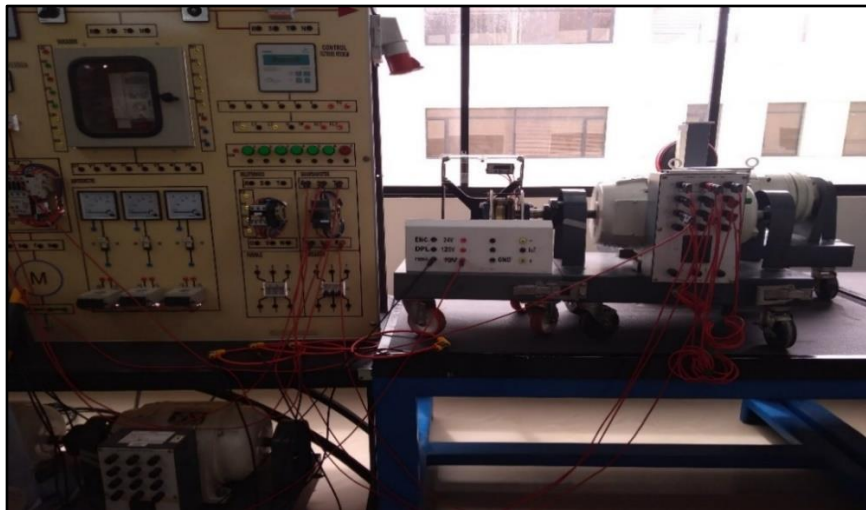


FIGURA N° 36: PRUEBA DE MANIOBRA DEL FRENADO POR INYECCIÓN DE CORRIENTE CONTINUA

Pasos para realizar la prueba:

- Asegurar que todos los equipos estén des-energizados.
- Acoplar el eje del freno electromecánico al eje del motor mediante un matrimonio (acople de caucho).
- Conectar el motor en estrella.

- Encender el Variac 1Ø e incrementar su voltaje hasta que el multímetro marque 19 V.
- Realizar la conexión entre el sistema Y+N del módulo y el guardamotor.
- Conectar el guardamotor del módulo y el motor.
- Conectar el analizador de redes con el motor.
- Conectar el freno electromecánico con la fuente de 30 A DC del Variac 1Ø del módulo configurada anteriormente.
- Encender el Variac 3Ø y activar el Sistema Y+N del módulo.
- Incrementar la tensión del Variac 3Ø hasta 220V de Línea a Línea.
- Tomar datos mientras se incrementa la tensión del Variac 3Ø que la corriente nominal de la máquina llegue a 10 A.

CAPITULO IV

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el presente capítulo, se observan los resultados obtenidos de la simulación del Módulo de la Máquina Asíncrona en general y las pruebas experimentales realizadas en el laboratorio de Máquinas Eléctricas I&II de la Universidad Politécnica Salesiana; así como también la comparación de los resultados obtenidos entre ambas para conocer el porcentaje error que puede existir entre un modelo ideal y pruebas experimentales del motor de inducción.

5.1. Gráficas obtenidos en las pruebas realizadas mencionadas en el cap. 3

5.1.1. Prueba de vacío

5.1.1.1. Gráficas obtenidas a partir de las pruebas experimentales realizadas

En la Figura N° 37 es posible observar que el motor logra consumir durante su arranque hasta 50 A y se estabiliza luego de 1.3 segundos de haber sido energizado; posterior a eso, su consumo sin carga es de aproximadamente 5 A.

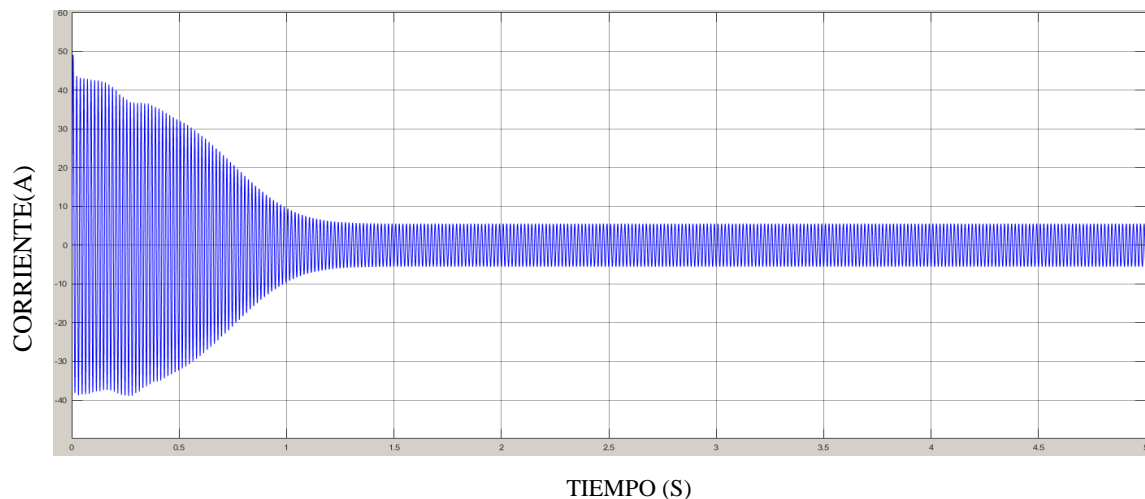


FIGURA N° 37 CURVA DE CORRIENTE VS TIEMPO

En la Figura N° 38 es posible observar que el motor luego de romper su inercia, comienza a incrementar su velocidad exponencialmente hasta que se estabiliza luego de 1.5 segundos en aproximadamente en 1800 r.p.m.

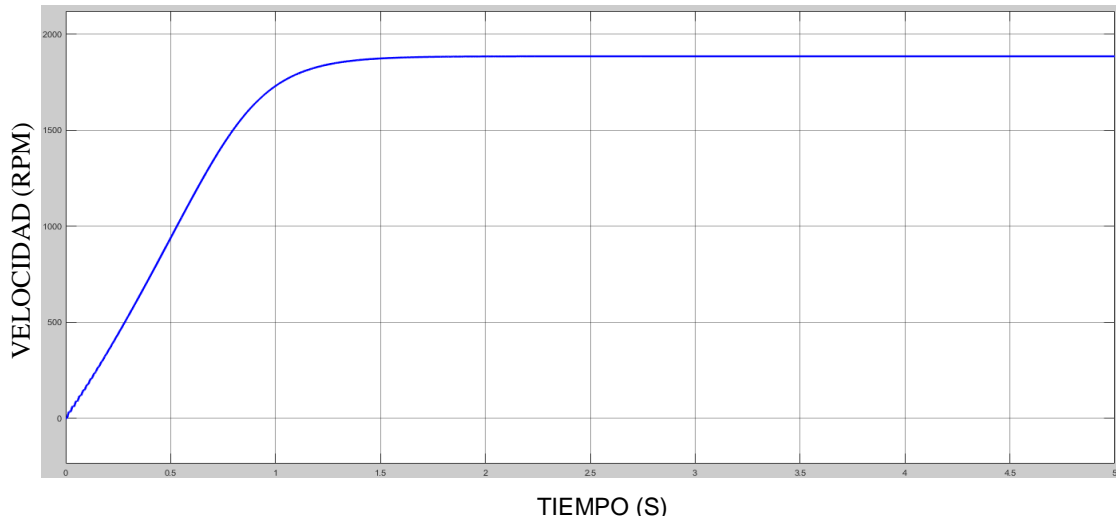


FIGURA N° 38: CURVA DE VELOCIDAD VS TIEMPO

En la Figura N° 39 es posible observar que el motor para poder romper su propia inercia requiere ejercer un torque de aproximadamente 40 N.m. hasta que se logra estabilizar luego de 1.6 segundos.

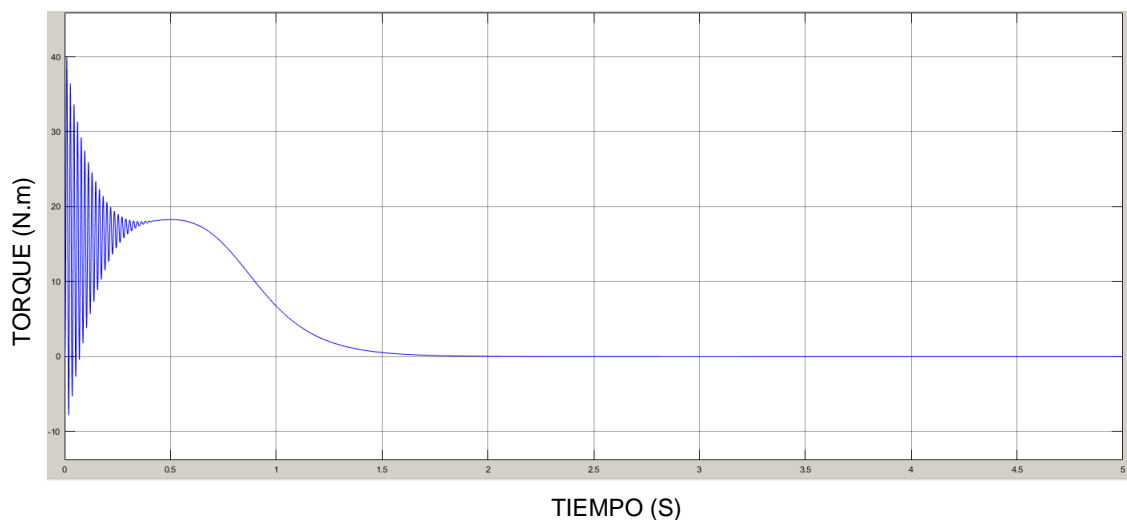


FIGURA N° 39: CURVA DE TORQUE VS TIEMPO

5.1.2. Prueba por variación del par resistente

5.1.2.1. Gráficas obtenidas a partir de las pruebas experimentales realizadas

5.1.2.2. Curvas obtenidas con carga (1,2 N.m.)

En la Figura N° 40 es posible observar que el motor logra consumir durante su arranque hasta 50 A y se estabiliza luego de 1.5 segundos de haber sido energizado; posterior a eso, su consumo sin carga es de aproximadamente 5.1 A.

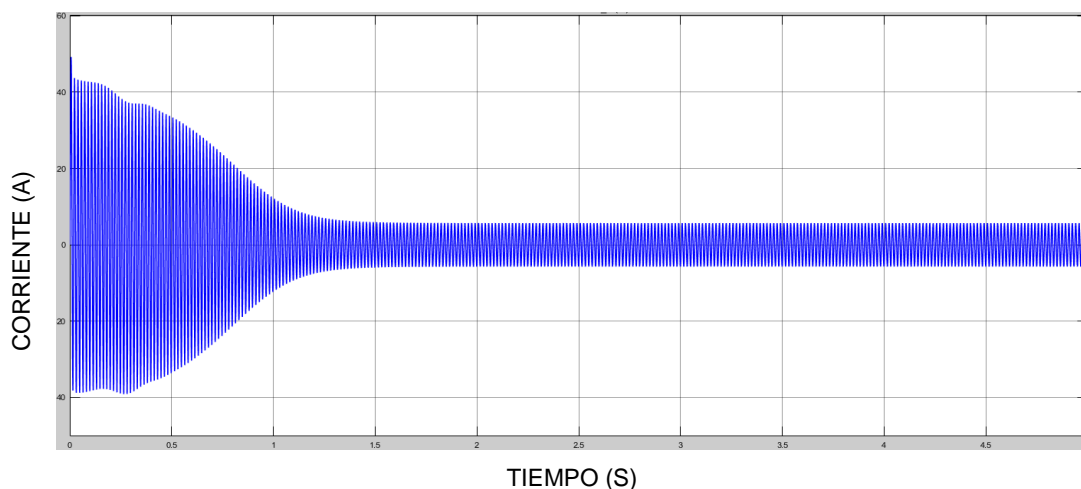


FIGURA N° 40: CURVA DE CORRIENTE VS TIEMPO

En la Figura N° 41 es posible observar que el motor luego de romper su inercia, comienza a incrementar su velocidad exponencialmente hasta que se estabiliza luego de 1.7 segundos en aproximadamente en 1830 r.p.m.

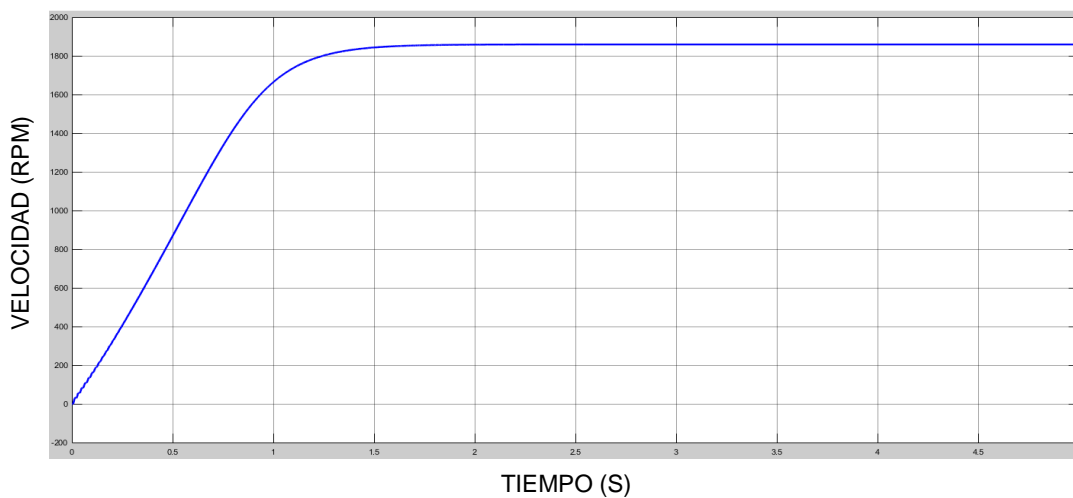


FIGURA N° 41: CURVA DE VELOCIDAD VS TIEMPO

En la Figura N° 42 es posible observar que el motor para poder romper su propia inercia requiere ejercer un torque de aproximadamente 40 N.m. hasta que se logra estabilizar luego de 1.7 segundos

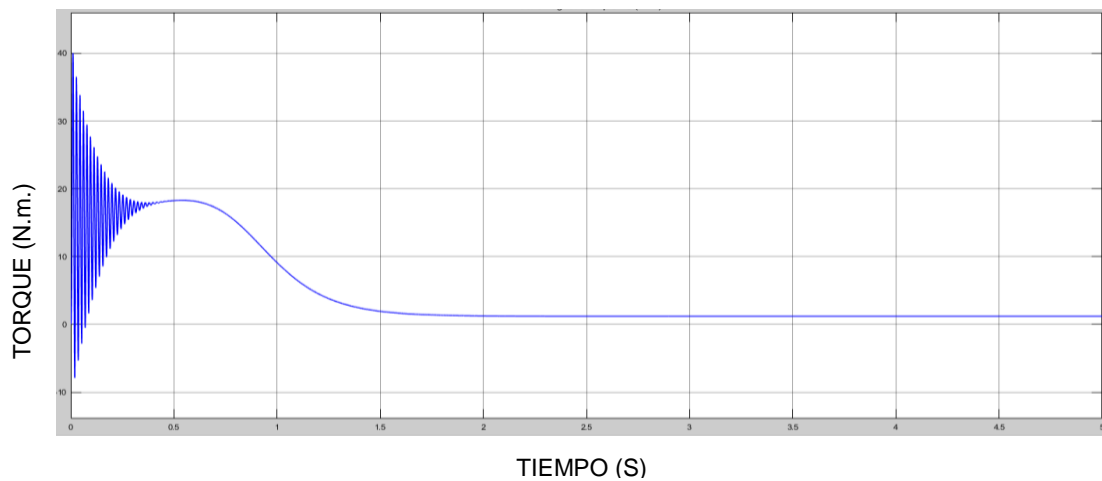


FIGURA N° 42: CURVA DE TORQUE VS TIEMPO

5.1.2.3. Curvas obtenidas con carga (3 N.m.)

En la Figura N° 43 es posible observar que el motor logra consumir durante su arranque hasta 49 A y se estabiliza luego de 1.9 segundos de haber sido energizado; posterior a eso, su consumo sin carga es de aproximadamente 5.9 A

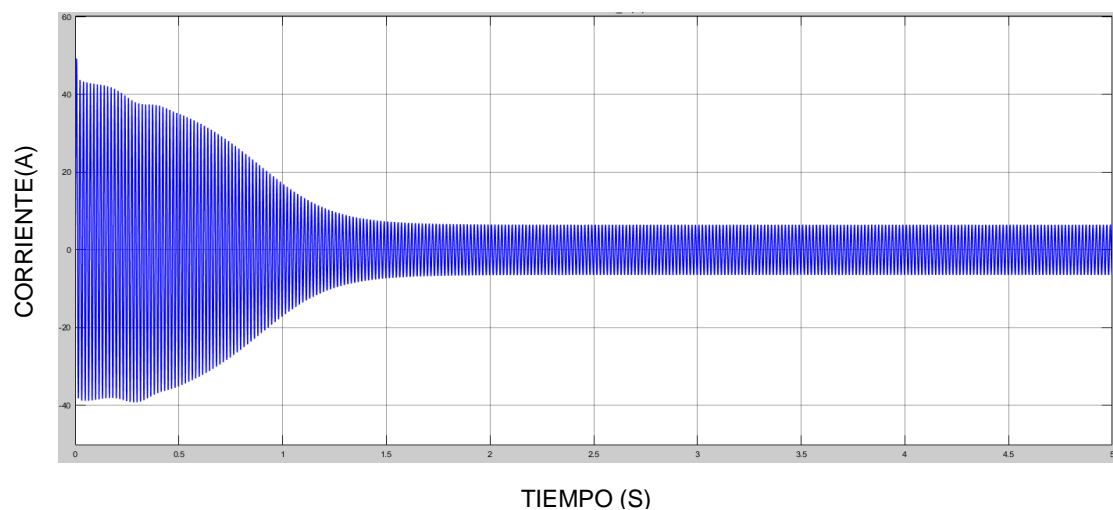


FIGURA N° 43: CURVA DE CORRIENTE VS TIEMPO

En la Figura N° 44 es posible observar que el motor luego de romper su inercia, comienza a incrementar su velocidad exponencialmente hasta que se estabiliza luego de 1.9 segundos en aproximadamente en 1810 r.p.m.

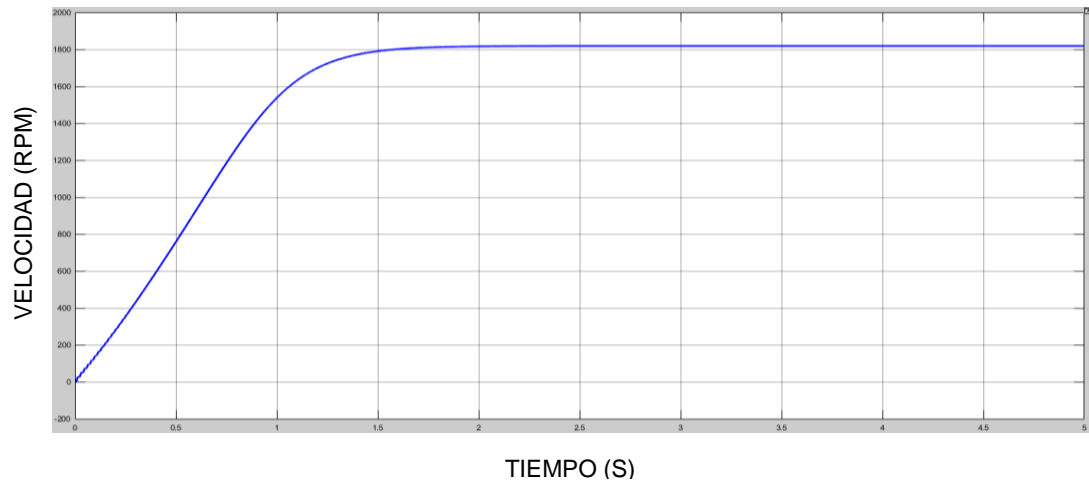


FIGURA N° 44: CURVA DE VELOCIDAD VS TIEMPO

En la Figura N° 45 es posible observar que el motor para poder romper su propia inercia requiere ejercer un torque de aproximadamente 41 N.m. hasta que se logra estabilizar luego de 2.1 segundos.

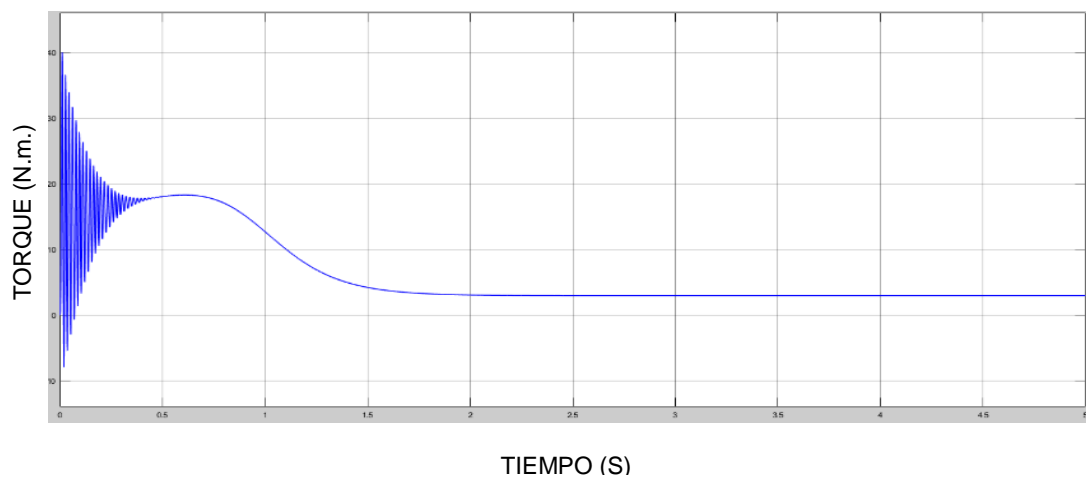


FIGURA N° 45: CURVA DE TORQUE VS TIEMPO

5.1.2.4. Curvas obtenidas con carga (5 N.m.)

En la Figura N° 46 es posible observar que el motor logra consumir durante su arranque hasta 49 A y se estabiliza luego de 2 segundos de haber sido energizado; posterior a eso, su consumo sin carga es de aproximadamente 6.8 A.

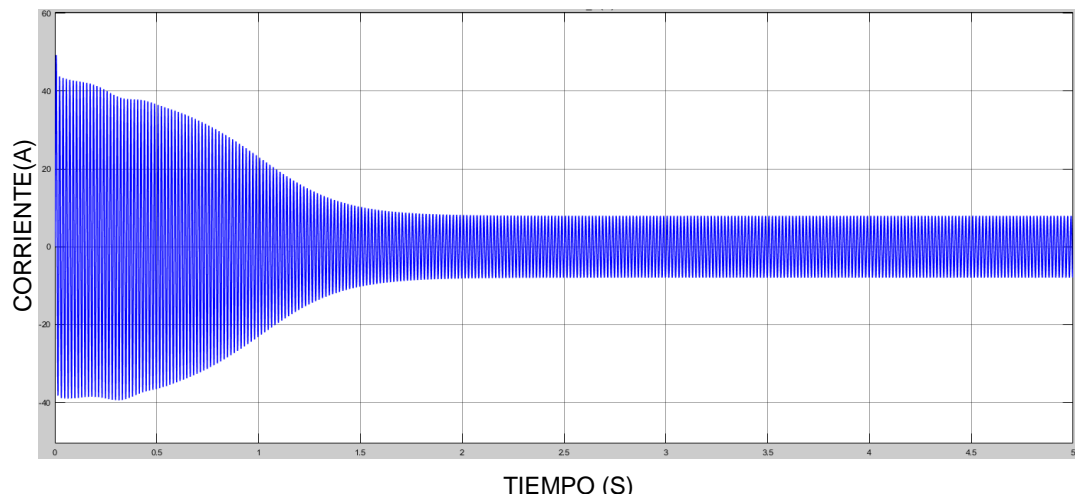


FIGURA N° 46: CURVA DE CORRIENTE VS TIEMPO

En la Figura N° 47 es posible observar que el motor luego de romper su inercia, comienza a incrementar su velocidad exponencialmente hasta que se estabiliza luego de 2 segundos en aproximadamente en 1790 r.p.m.

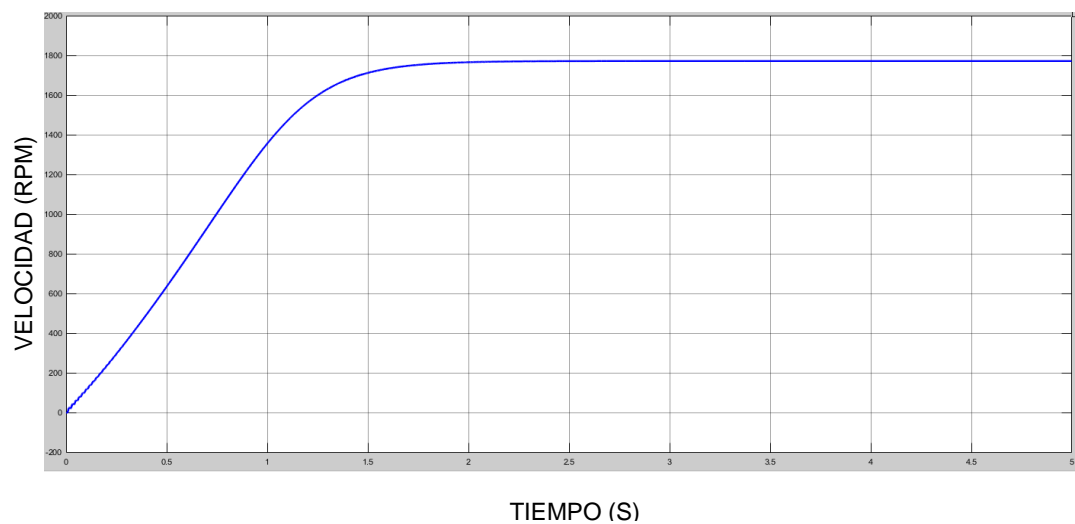


FIGURA N° 47: CURVA DE VELOCIDAD VS TIEMPO

En la Figura N° 48 es posible observar que el motor para poder romper su propia inercia requiere ejercer un torque de aproximadamente 41 N.m. hasta que se logra estabilizar luego de 2.2 segundos.

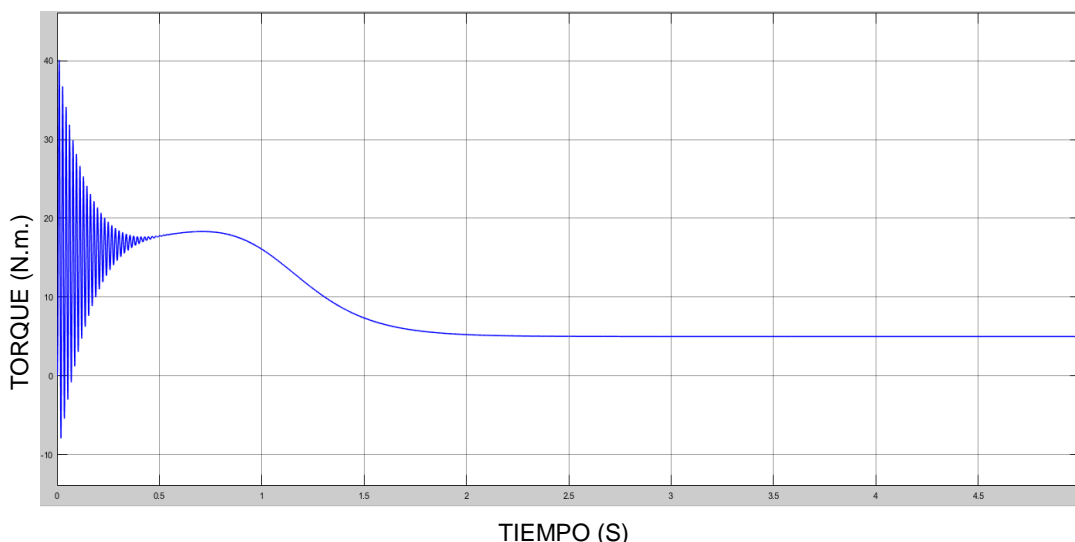


FIGURA N° 48: CURVA DE TORQUE VS TIEMPO

5.1.3. Arranque por variación de tensión

5.1.3.1. Gráficas obtenidas a partir de las pruebas experimentales realizadas

En la Figura N° 49 es posible observar que el motor logra consumir durante su arranque hasta 50 A y se estabiliza luego de 1.3 segundos de haber sido energizado; posterior a eso, su consumo sin carga es de aproximadamente 5 A.

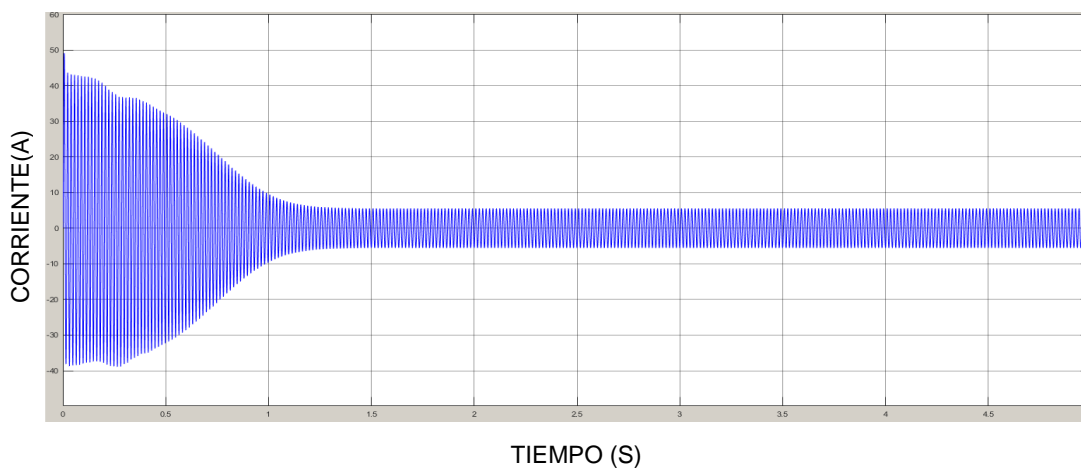


FIGURA N° 49: CURVA DE TORQUE VS TIEMPO

En la Figura N° 50 es posible observar que el motor luego de romper su inercia, comienza a incrementar su velocidad exponencialmente hasta que se estabiliza luego de 1.5 segundos en aproximadamente en 1800 r.p.m.

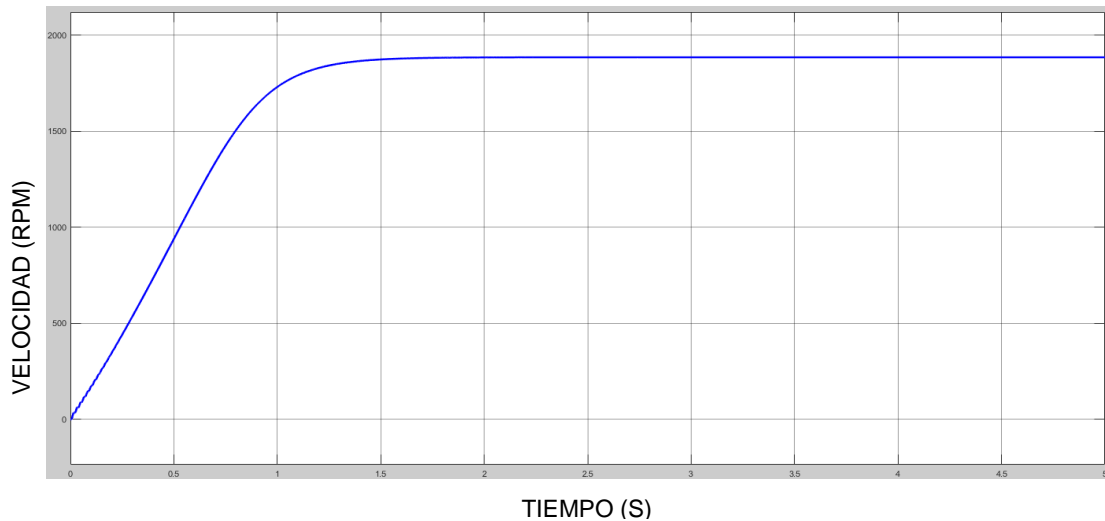


FIGURA N° 50: CURVA DE VELOCIDAD VS TIEMPO

En la Figura N° 51 es posible observar que el motor para poder romper su propia inercia requiere ejercer un torque de aproximadamente 40 N.m. hasta que se logra estabilizar luego de 1.6 segundos.

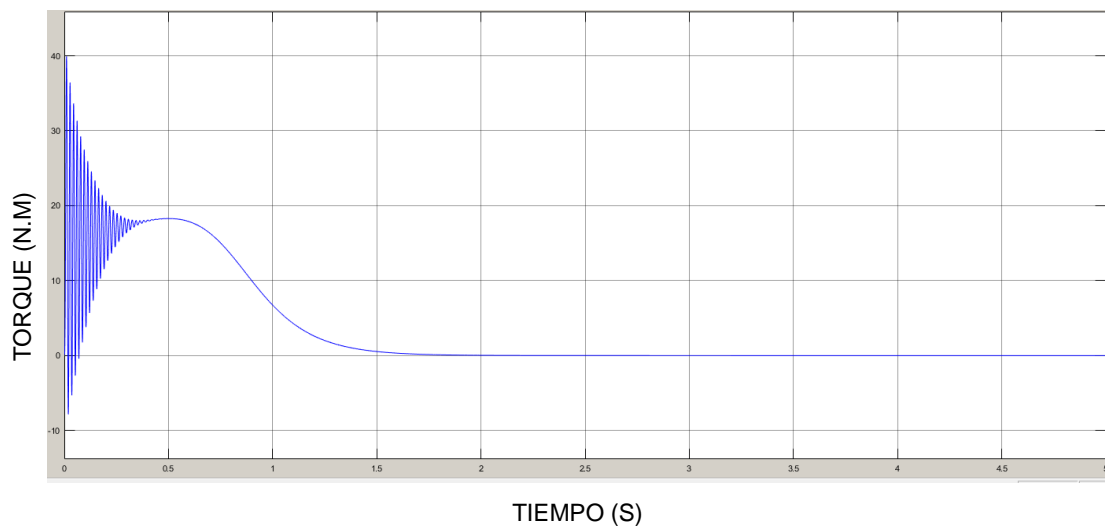


FIGURA N° 51: CURVA DE TORQUE VS TIEMPO

5.1.4. Maniobra del frenado por inyección de corriente continúa

5.1.4.1. Gráfica obtenida a partir de las pruebas experimentales realizadas

En la Figura N° 52 es posible observar que, al encontrarse la máquina frenada, esta llegará a su corriente nominal a menor voltaje que el que indican sus datos de placa; es decir, cuando se esté energizando el motor a 60 V de línea a línea el motor consumirá 10 A.

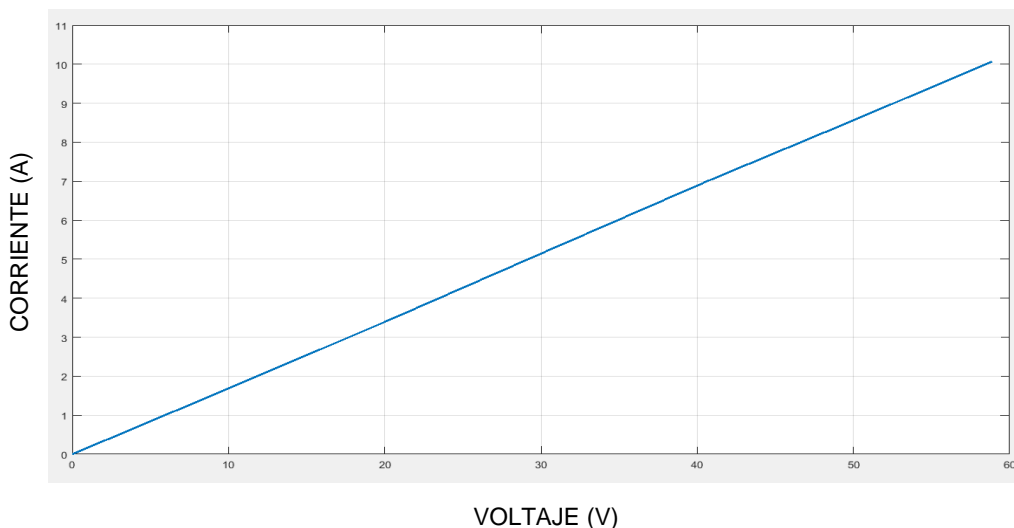


FIGURA N° 52: CURVA DE CORRIENTE VS VOLTAJE

5.2.Simulación realizada utilizando el software LabView®

5.2.1. Pantalla de presentación

Al iniciar el programa se presentará una ventana de inicio, la cual nos mostrará los componentes del Banco De Pruebas Para Máquina Asíncrona, a su vez encontraremos un botón denominado “ejecutar” el cual nos dirige a la selección del menú principal o selección de la prueba que deseemos realizar, las cuales fueron presentadas en el capítulo anterior; por último en dicha presentación encontraremos el botón denominado “stop” el cual al ser presionado detendrá el programa en el caso que esto fuera requerido.

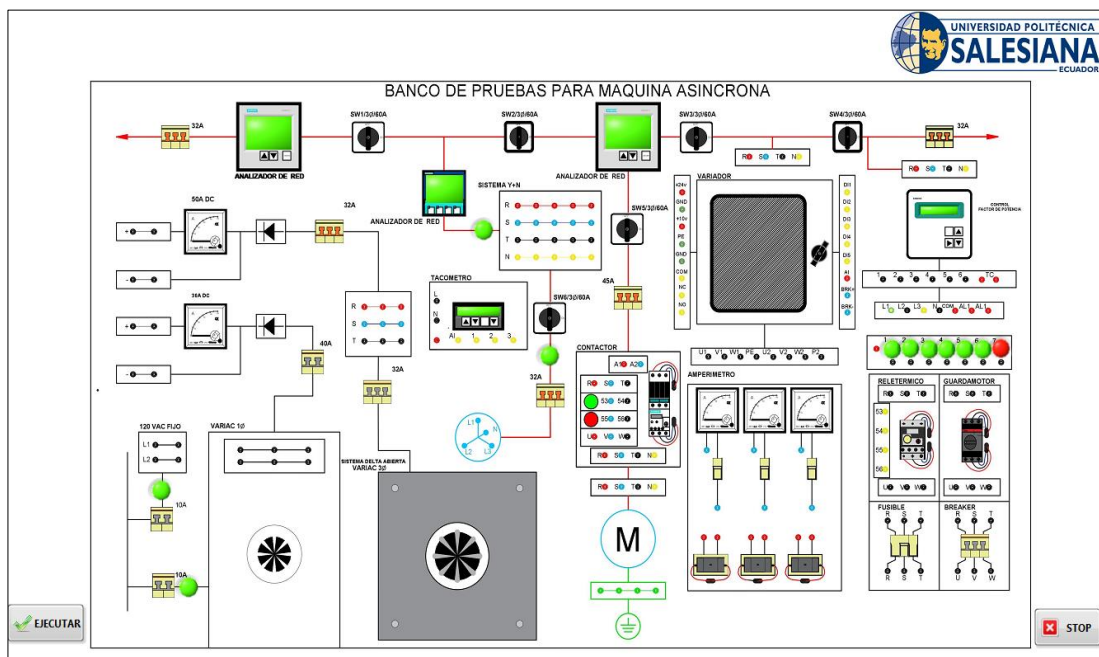


FIGURA N° 53: PANTALLA DE PRESENTACIÓN

5.2.2. Menú principal

Luego de la apertura y ejecución del programa, se mostrará un menú que nos permitirá seleccionar cada simulación realizada con el objetivo de que el estudiante tenga la oportunidad de poder estudiar el comportamiento del motor en régimen permanente.

Las prácticas que podrán ser simuladas son:

- Prueba de vacío
- Prueba por variación del par resistente
- Arranque por variación de tensión
- Maniobra del frenado por inyección de corriente continua

Al seleccionar cualquiera de estas opciones se podrán visualizar los datos obtenidos en cada una de estas prácticas. Adicional, se tendrá un botón para cancelar en el caso de no querer abrir las prácticas o querer cerrar el programa.

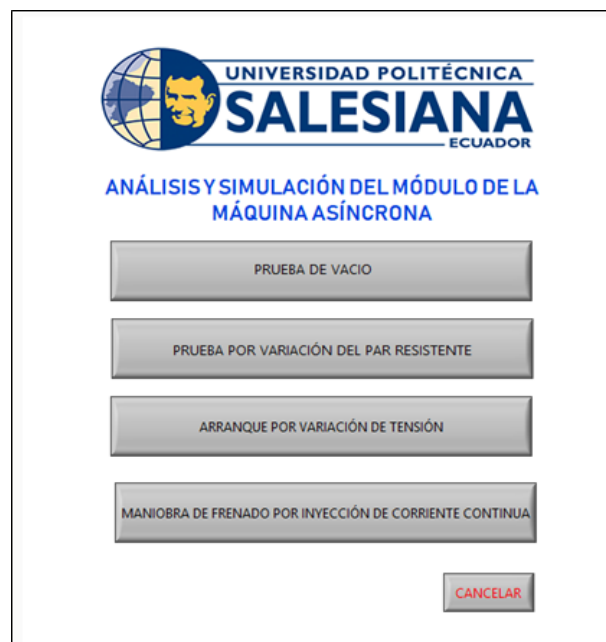


FIGURA N° 54: MENÚ PRINCIPAL

5.2.2.1. Prueba de vacío

Esta prueba se realizó con los datos del motor Hampden WRM-300 con las características mencionadas en la tabla N°1 funcionando este a su tensión nominal de Línea a Línea, es decir 220V.

Cuando el motor se encuentre sin carga, la corriente en el estator se encuentra entre 0.3 y 0.5 pu de la corriente a plena carga; con esta prueba se podrá observar el comportamiento y las características típicas del motor, es por dicha razón que esta prueba es necesaria para verificar los datos de placa del motor.

- Menú de la prueba de vacío. - En esta sección tenemos la posibilidad de seleccionar un botón denominado “BANCO DE PRUEBAS. CONEXIONES” y otro denominado “GRAFICAS DE PRACTICAS REALIZADAS”.

En ambos casos se desplazarán a ventanas adjuntas con el objetivo de conocer tanto las conexiones a realizar al momento de realizar la práctica a vacío de un motor asíncrono, así como también la opción de visualizar las gráficas de los datos obtenidos al momento de realizar dichas prácticas.

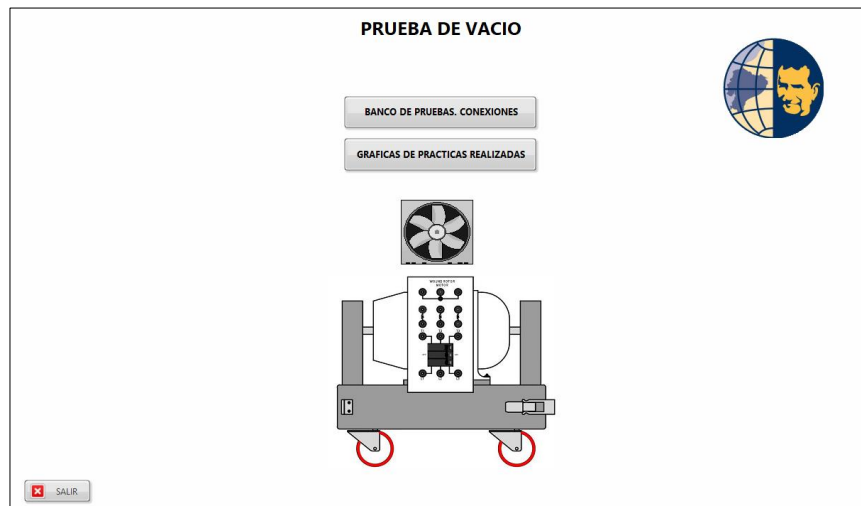


FIGURA N° 55: MENÚ DE LA PRUEBA DE VACÍO

- Banco de pruebas. Conexiones. - Al momento de seleccionar este botón, el estudiante tendrá la posibilidad de realizar una simulación de la prueba a vacío de la máquina asíncrona, con los elementos necesarios para la elaboración de la misma.

Esto le permite conocer el procedimiento al momento de realizar de manera real la práctica, así como también poder verificar que las conexiones estén correctas ya que no ser este el caso, el programa no le permitirá proceder con la programación y el motor no girará.

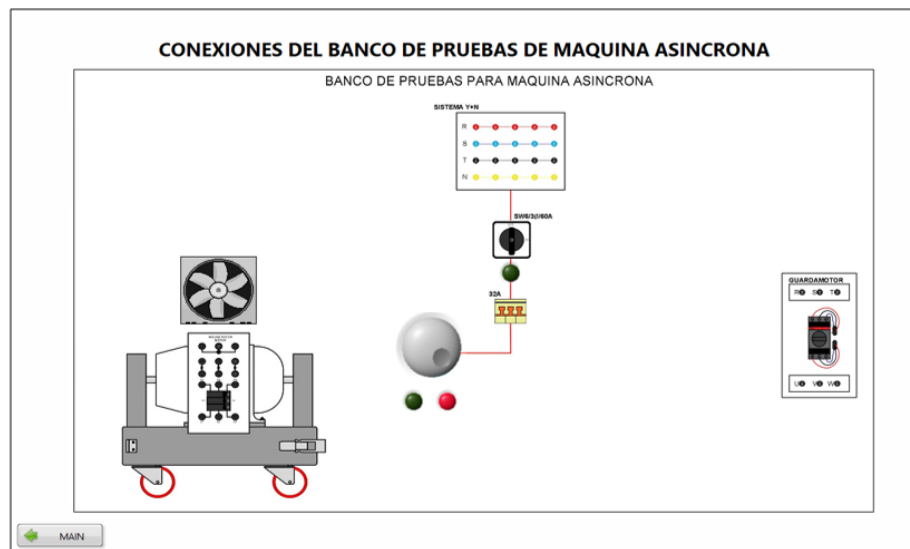


FIGURA N° 56: BANCO DE PRUEBAS. CONEXIONES

- Selección de curvas. - Al momento de seleccionar este botón y desplegarse la ventana correspondiente al mismo, el estudiante tendrá la posibilidad de seleccionar y observar gráficamente el comportamiento de la máquina ya sea de corriente, velocidad y torque; todas con respecto al tiempo como se puede ver a continuación:



FIGURA N° 57: SELECCIÓN DE CURVAS

- Curva de Corriente VS Tiempo: Esta curva es obtenida con los datos tomados al momento de la realización de la práctica.

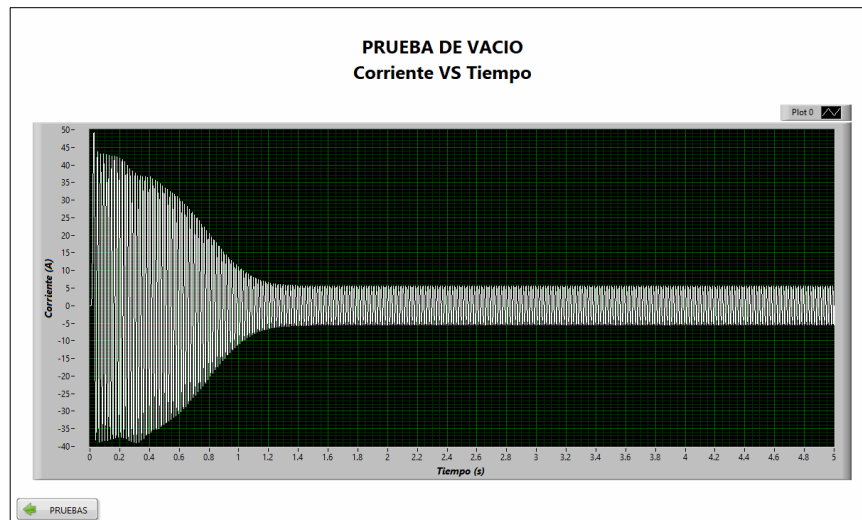


FIGURA N° 58: CURVA DE CORRIENTE

- Curva de Velocidad VS Tiempo: Esta curva es obtenida con los datos tomados al momento de la realización de la práctica.

En la Figura N° 59 es posible observar que el motor luego de romper su inercia, comienza a incrementar su velocidad exponencialmente hasta que se estabiliza luego de 1.6 segundos en aproximadamente en 1850 r.p.m.

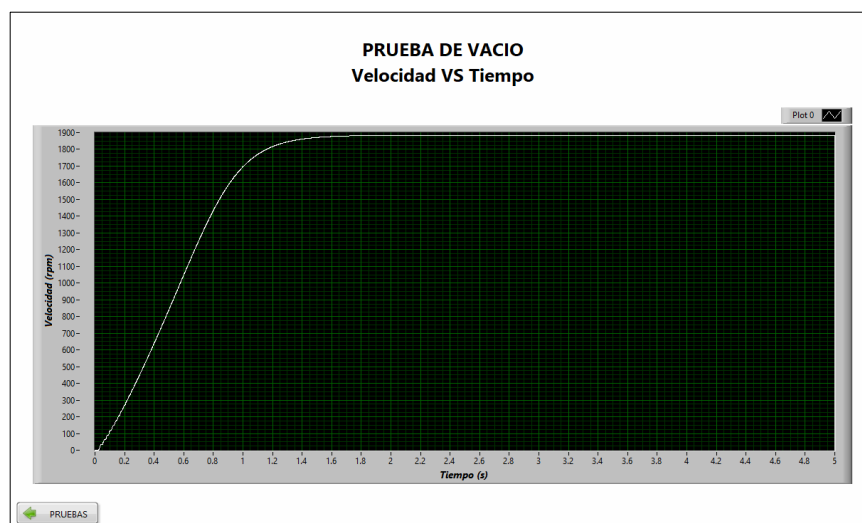


FIGURA N° 59: CURVA DE VELOCIDAD

- Curva de Torque VS Tiempo: Esta curva es obtenida con los datos tomados al momento de la realización de la práctica.

En la Figura N° 60 es posible observar que el motor para poder romper su propia inercia requiere ejercer un torque de aproximadamente 40 N.m. hasta que se logra estabilizar luego de 1.7 segundos.

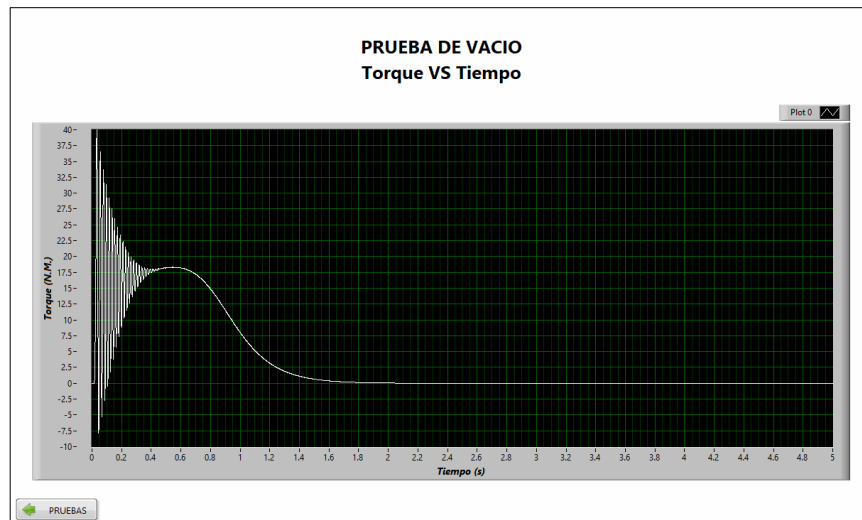


FIGURA N° 60: CURVA DE TORQUE

5.2.2.2. Prueba por variación del par resistente

Existen mecanismos que tienen acoplados un motor para poder tener la utilidad de la energía mecánica, estos sistemas llevan a cabo cargas con par resistente constantes estas son independientes a la velocidad. Esta clase de par resistente lo podemos encontrar en máquinas de cargas, bandas transportadoras.

- Menú de la prueba por variación del par resistente. - En esta sección tenemos la posibilidad de seleccionar un botón denominado “CARGA DE 1.2 N.m.”, “CARGA DE 3 N.m.” y otro botón denominado “CARGA DE 5 N.m.”.

En cualquiera de estos tres casos se desplazarán a ventanas adjuntas con el objetivo de poder realizar cada una de estas prácticas con diferentes torques de carga conectados al motor.



FIGURA N° 61: MENÚ DE LA PRUEBA POR VARIACIÓN DEL PAR RESISTENTE

- Menú para carga de 1.2 N.m.- En esta sección tenemos la posibilidad de seleccionar un botón denominado “BANCO DE PRUEBAS. CONEXIONES” y otro denominado “GRAFICAS DE PRACTICAS REALIZADAS”.

En ambos casos se desplazarán a ventanas adjuntas con el objetivo de conocer tanto las conexiones a realizar al momento de realizar la práctica por variación del par resistente con carga de 1.2 N.m., así como también la opción de visualizar las gráficas de los datos obtenidos al momento de realizar dichas prácticas.

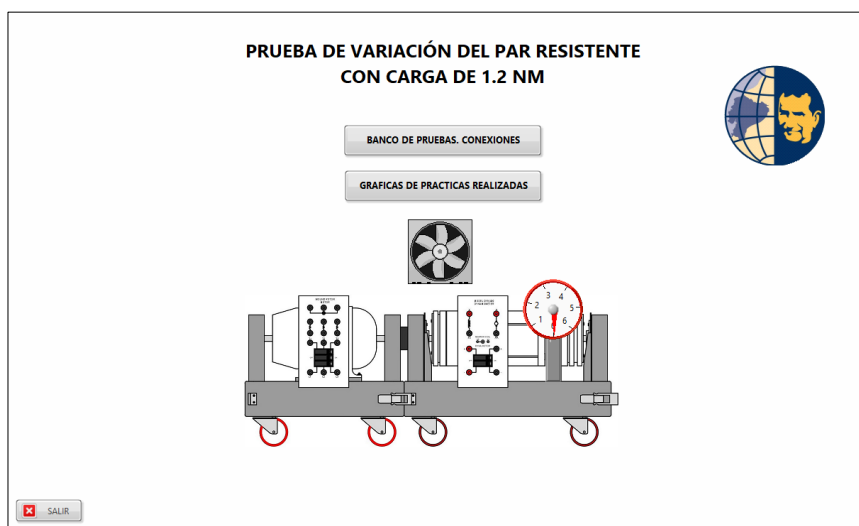


FIGURA N° 62: MENÚ DE LA CARGA DE 1.2 N.m.

- Banco de pruebas. Conexiones. - Al momento de seleccionar este botón, el estudiante tendrá la posibilidad de realizar una simulación de la prueba por variación del par resistente para carga de 1.2 N.m. con los elementos necesarios y la selección

correcta de los interruptores ya que no ser este el caso, el programa no le permitirá proceder con la programación y el motor no girará.

De esta manera el estudiante conocerá el procedimiento al momento de realizar de manera real la práctica, así como también poder verificar que las conexiones estén correctas.

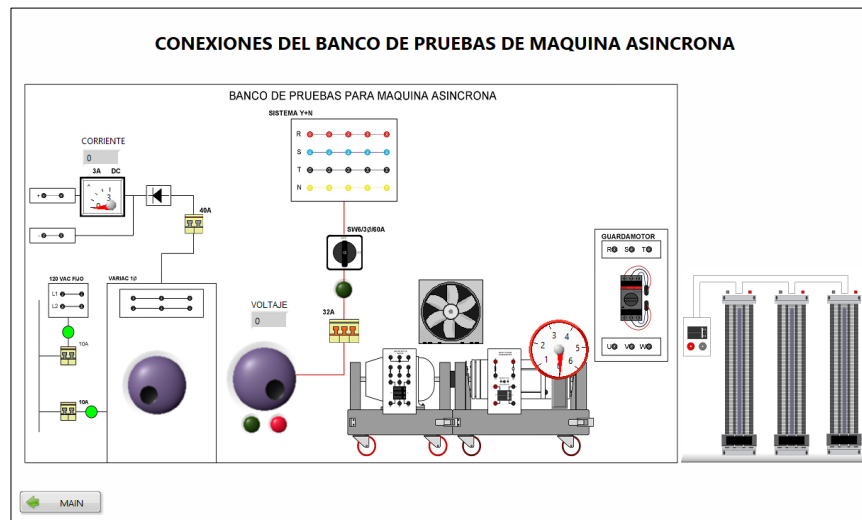


FIGURA N° 63: BANCO DE PRUEBAS. CONEXIONES

- Selección de curvas.- Al momento de seleccionar este botón y desplegarse la ventana correspondiente al mismo, el estudiante tendrá la posibilidad de seleccionar y observar gráficamente el comportamiento de la máquina ya sea de corriente, velocidad y torque; todas con respecto al tiempo como se puede ver a continuación:

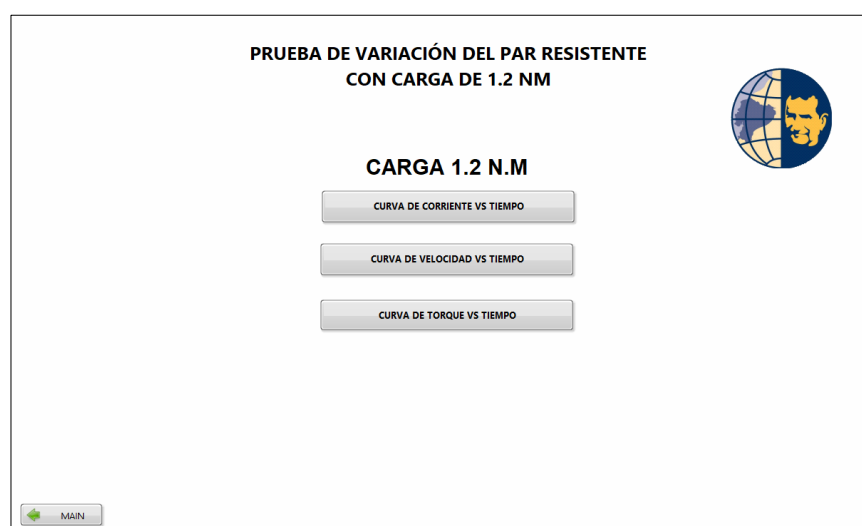


FIGURA N° 64: SELECCIÓN DE CURVAS

- Curva de Corriente VS Tiempo: Esta curva es obtenida con los datos tomados al momento de la realización de la práctica.

En la Figura N° 65 es posible observar que el motor logra consumir durante su arranque hasta 50 A y se estabiliza luego de 1.5 segundos de haber sido energizado; posterior a eso, su consumo sin carga es de aproximadamente 5.1 A.

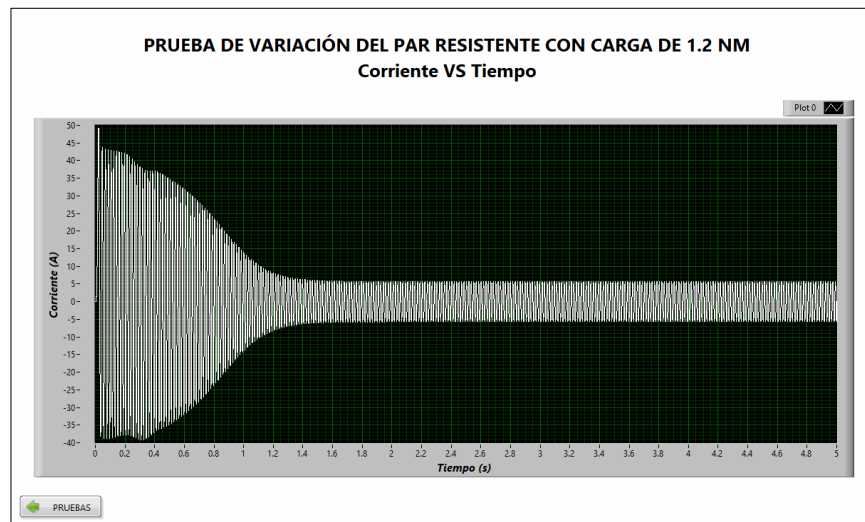


FIGURA N° 65: CURVA DE CORRIENTE VS TIEMPO

- Curva de Velocidad VS Tiempo: Esta curva es obtenida con los datos tomados al momento de la realización de la práctica.

En la Figura N° 66 es posible observar que el motor luego de romper su inercia, comienza a incrementar su velocidad exponencialmente hasta que se estabiliza luego de 1.9 segundos en aproximadamente en 1830 r.p.m.

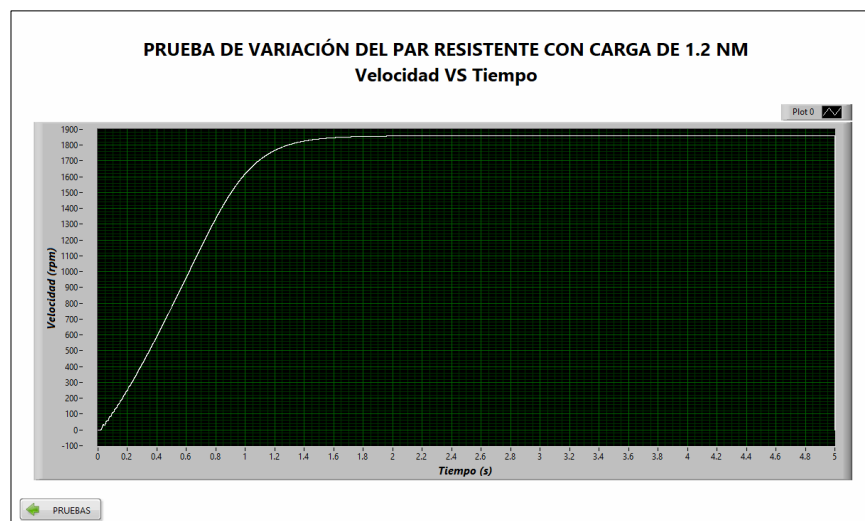


FIGURA N° 66: DE VELOCIDAD VS TIEMPO

- Curva de Torque VS Tiempo: Esta curva es obtenida con los datos tomados al momento de la realización de la práctica.

En la Figura N° 67 es posible observar que el motor para poder romper su propia inercia requiere ejercer un torque de aproximadamente 40 N.m. hasta que se logra estabilizar luego de 1.9 segundos.

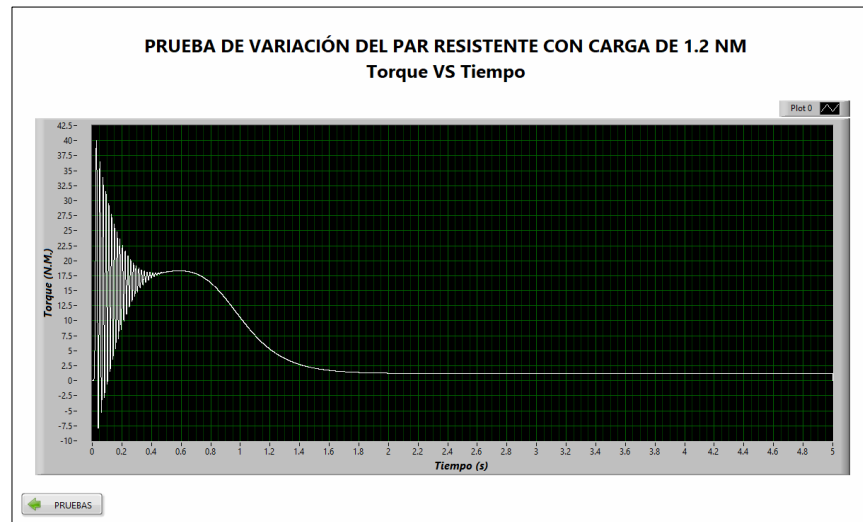


FIGURA N° 67: TORQUE VS TIEMPO

5.2.2.3. Arranque por variación de tensión

Esta prueba consiste en verificar el momento que el motor vence la inercia, en las pruebas realizadas en el laboratorio se pudo observar que esto se daba cuando el voltaje de la fuente se encontraba entre 25 y 30% de su voltaje nominal.

- Menú de la prueba de arranque por variación de tensión.- En esta sección tenemos la posibilidad de seleccionar un botón denominado “BANCO DE PRUEBAS. CONEXIONES” y otro denominado “GRAFICAS DE PRACTICAS REALIZADAS”.

En ambos casos se desplazarán a ventanas adjuntas con el objetivo de conocer tanto las conexiones a realizar al momento de realizar la práctica a vacío de un motor asíncrono, así como también la opción de visualizar las gráficas de los datos obtenidos al momento de realizar dichas prácticas.

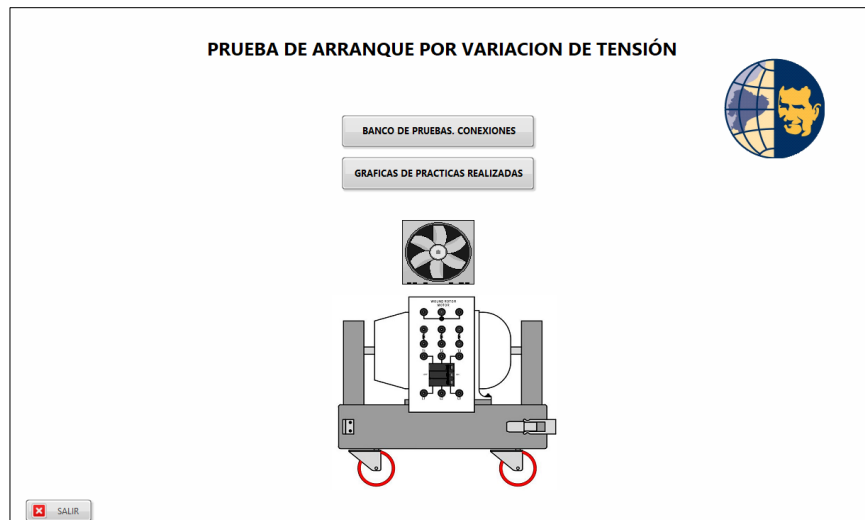


FIGURA N° 68: MENÚ DE LA PRUEBA DE ARRANQUE POR VARIACIÓN DE TENSION

- Banco de pruebas. Conexiones. - Al momento de seleccionar este botón, el estudiante tendrá la posibilidad de realizar una simulación de la prueba de arranque por variación de tensión, con los elementos necesarios para la elaboración de la misma. Esto le permite conocer el procedimiento al momento de realizar de manera real la práctica, así como también poder verificar que las conexiones estén correctas ya que no ser este el caso, el programa no le permitirá proceder con la programación y el motor no girará.

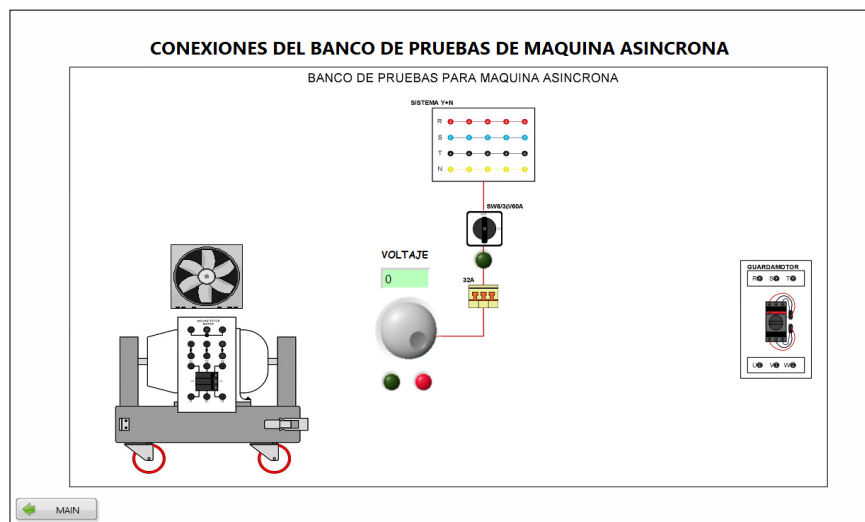


FIGURA N° 69: BANCO DE PRUEBA. CONEXIONES

- Selección de curvas.- Al momento de seleccionar este botón y desplegarse la ventana correspondiente al mismo, el estudiante tendrá la posibilidad de seleccionar y observar gráficamente el comportamiento de la máquina ya sea de corriente, velocidad y torque; todas con respecto al tiempo.

- Curva de Corriente VS Tiempo: Esta curva es obtenida con los datos tomados al momento de la realización de la práctica.

En la Figura N° 70 es posible observar que el motor logra consumir durante su arranque 49 A y se estabiliza luego de 1.3 segundos de haber sido energizado; posterior a eso, su consumo sin carga es de aproximadamente 5.2 A.

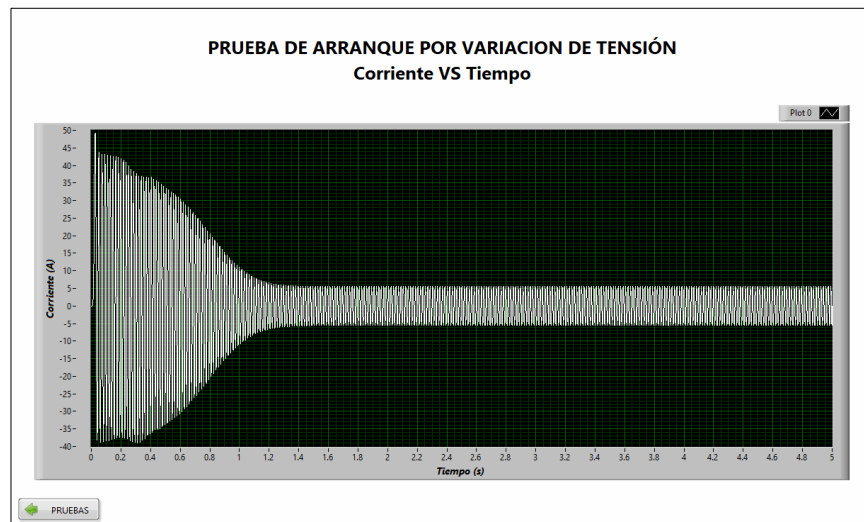


FIGURA N° 70: CURVA DE CORRIENTE VS TIEMPO

- Curva de Velocidad VS Tiempo: Esta curva es obtenida con los datos tomados al momento de la realización de la práctica.

En la Figura N° 71 es posible observar que el motor luego de romper su inercia, comienza a incrementar su velocidad exponencialmente hasta que se estabiliza luego de 1.6 segundos en aproximadamente en 1850 r.p.m.

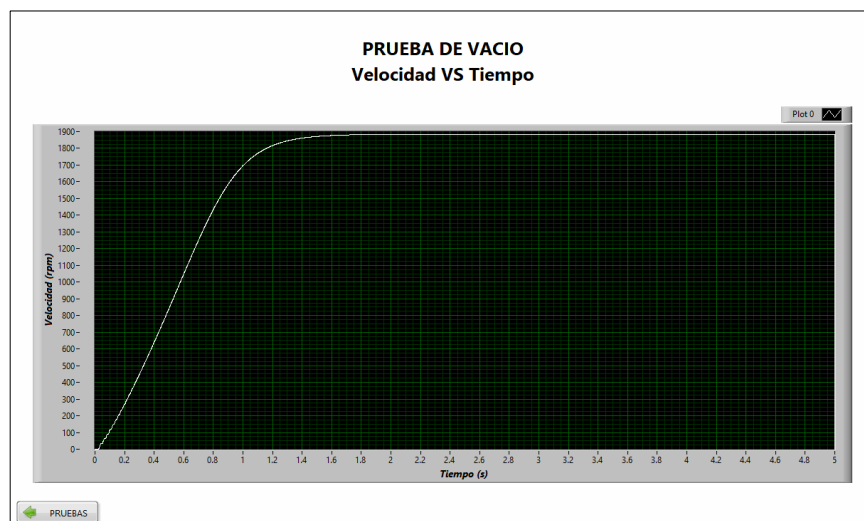


FIGURA N° 71: CURVA DE VELOCIDAD VS TIEMPO

- Curva de Torque VS Tiempo: Esta curva es obtenida con los datos tomados al momento de la realización de la práctica.

En la Figura N° 72 es posible observar que el motor para poder romper su propia inercia requiere ejercer un torque de aproximadamente 40 N.m. hasta que se logra estabilizar luego de 1.7 segundos.

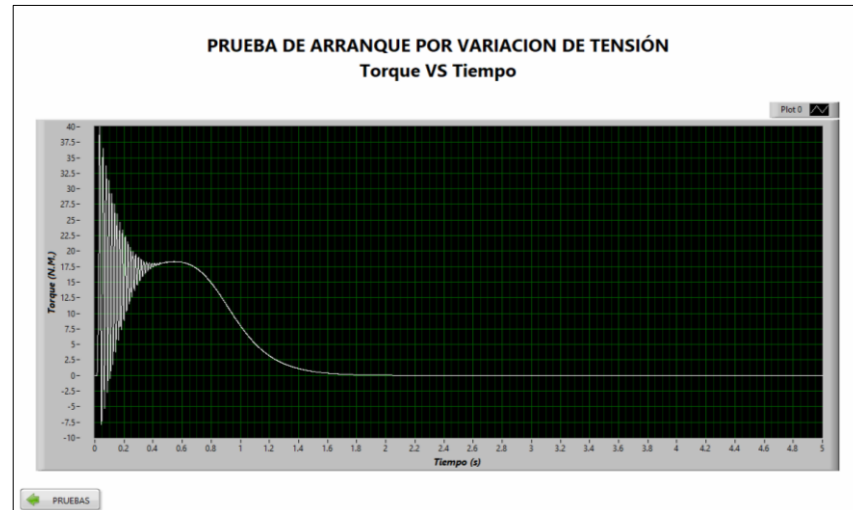


FIGURA N° 72: CURVA DE TORQUE VS TIEMPO

5.2.2.4. Maniobra del frenado por inyección de corriente continua

Esta maniobra también se la conoce como prueba de rotor bloqueado, debido a que el motor se encuentra estático dado por la fuerza que ejerce el freno electromecánico al mismo.

- Menú de la prueba de maniobra del frenado por inyección de corriente continua. - En esta sección tenemos la posibilidad de seleccionar un botón denominado “BANCO DE PRUEBAS. CONEXIONES” y otro denominado “GRAFICAS DE PRACTICAS REALIZADAS”.

En ambos casos se desplazarán a ventanas adjuntas con el objetivo de conocer tanto las conexiones a realizar al momento de realizar la práctica de maniobra del frenado por inyección de corriente continua, así como también la opción de visualizar la gráfica de los datos obtenidos al momento de realizar dicha práctica.



FIGURA N° 73: MENÚ DE LA PRUEBA DE MANIOBRA DEL FRENADO POR INYECCIÓN DE CORRIENTE CONTINUA

- Banco de pruebas. Conexiones. - Al momento de seleccionar este botón, el estudiante tendrá la posibilidad de realizar una simulación de la prueba de maniobra del frenado por inyección de corriente continua, con los elementos necesarios para la elaboración de la misma.

Esto le permite conocer el procedimiento al momento de realizar de manera real la práctica, así como también poder verificar que las conexiones estén correctas ya que no ser este el caso, el programa no le permitirá proceder con la programación y le saldrá error ya que en este caso el motor no debería girar por el freno electromecánico.

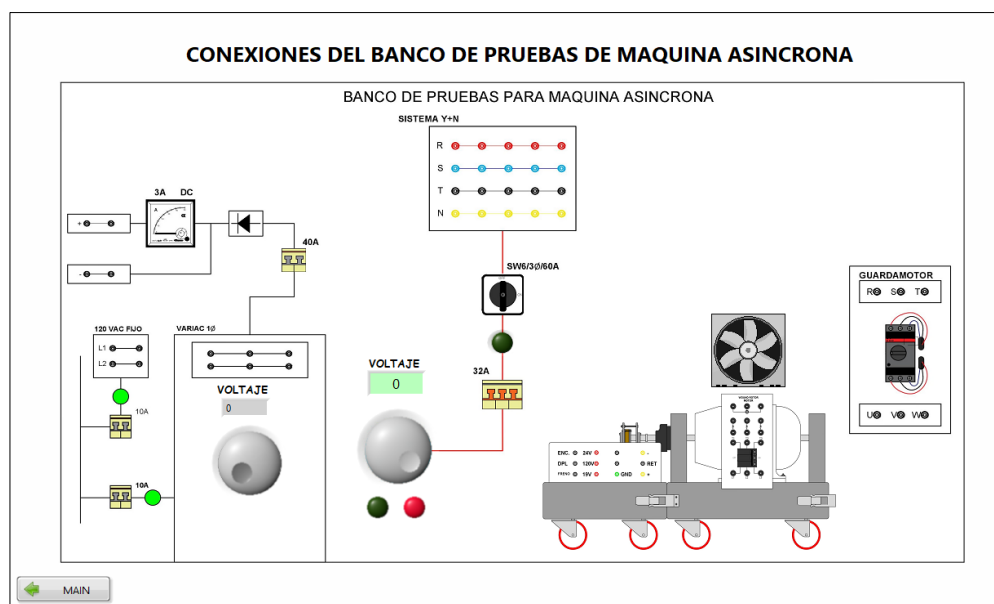


FIGURA N° 74: BANCO DE PRUEBA. CONEXIONES

- Selección de curvas.- Al momento de seleccionar este botón y desplegarse la ventana correspondiente al mismo, el estudiante tendrá una única opción para seleccionar y observar gráficamente el comportamiento de la máquina al momento de encontrarse frenada mecánicamente ya que su comportamiento no será el mismo que en las otras condiciones; en este caso se podrá observar solo la curva de corriente con respecto al tiempo como se puede ver a continuación:

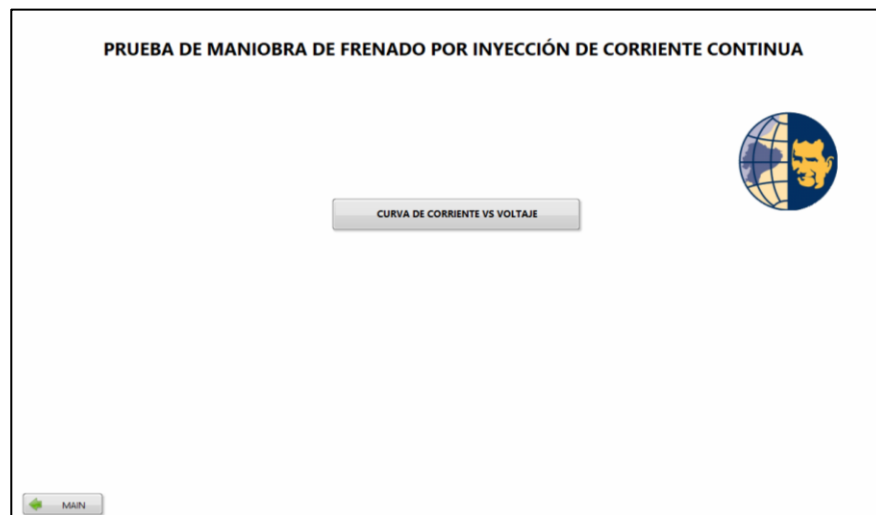


FIGURA N° 75: SELECCIÓN DE CURVAS

- Curva de Corriente VS Tiempo: Esta curva es obtenida con los datos tomados al momento de la realización de la práctica.

En la Figura N° 76 es posible observar que, al encontrarse la máquina frenada, esta llegará a su corriente nominal a menor voltaje que el que indican sus datos de placa; es decir, cuando se esté energizando el motor a 60 V de línea a línea el motor consumirá 10 A.

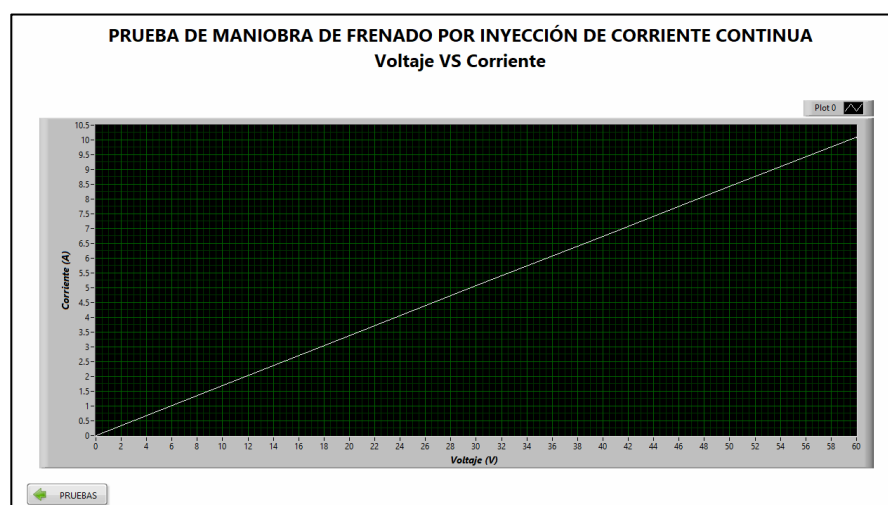


FIGURA N° 76: CURVA DE CORRIENTE VS TIEMPO

5.3. Análisis del porcentaje de error entre la simulación y las pruebas realizadas en el laboratorio

Para realizar el análisis de error se consideró tomar una muestra 10.000 y 7.000 datos de los 23.886 datos obtenidos según las pruebas realizadas.

5.3.1. Prueba de vacío

Realizando el análisis entre las dos curvas obtenidas previamente en la simulación y en las prácticas realizadas con el módulo de la máquina asíncrona se pudo verificar que el porcentaje de error entre ellas es bajo.

5.3.1.1. Comparación de las curvas de corriente de los datos obtenidos mediante la simulación vs datos obtenidos en la práctica realizada

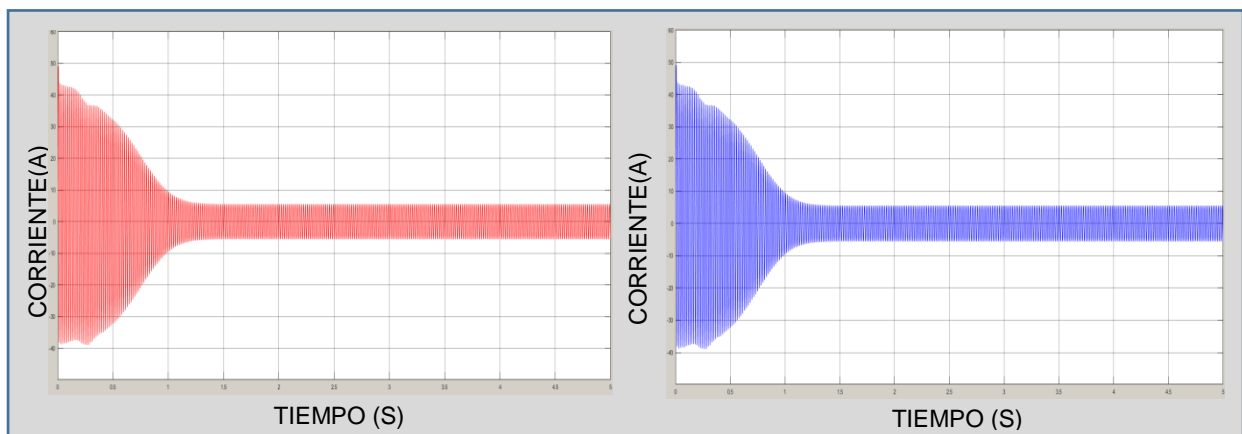


FIGURA N° 77: COMPARACIÓN DE LAS CURVAS DE CORRIENTE

En la Figura N° 77 se puede visualizar que la mayoría de los puntos de error se encuentran en un rango de 0 a 20%, pero 13 de los 7.000 puntos tomados se encuentran fuera del mismo por lo que se considera que dichos resultados simulados son confiables.

Los 13 puntos que se encuentran fuera del 20% de error se encuentran en parte de la muestra tomada durante el tiempo de arranque del motor por lo que dichos errores pueden ser causados por diversas causas como por ejemplo mal contacto con los bornes del motor en el momento del arranque, mal contacto de una fase del variador de voltaje o incluso rápidas oscilaciones en la tensión de alimentación.

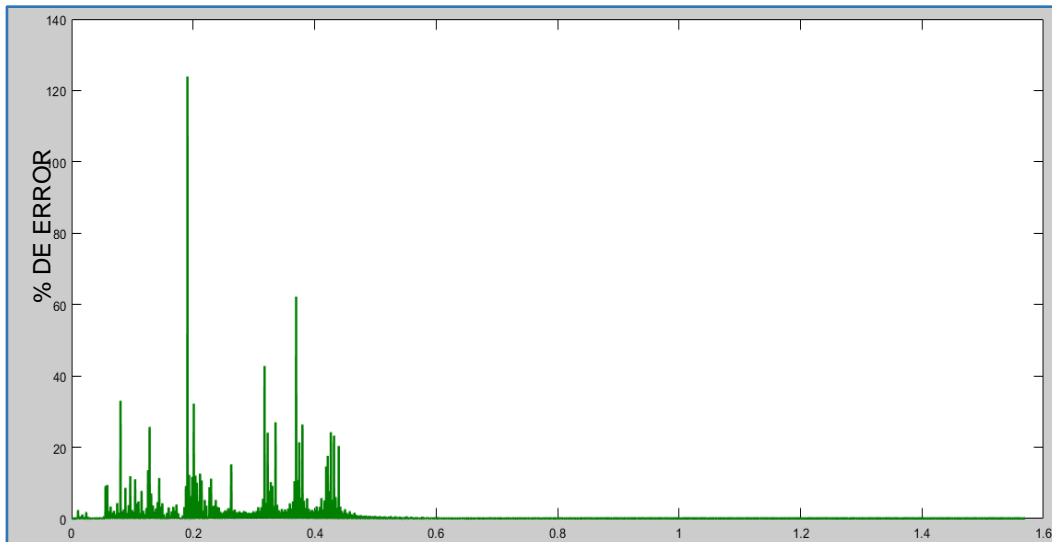


FIGURA N° 78: ERROR OBTENIDO EN LA COMPARACIÓN

5.3.1.2. Comparación de las curvas de velocidad de los datos obtenidos mediante la simulación vs datos obtenidos en la práctica realizada

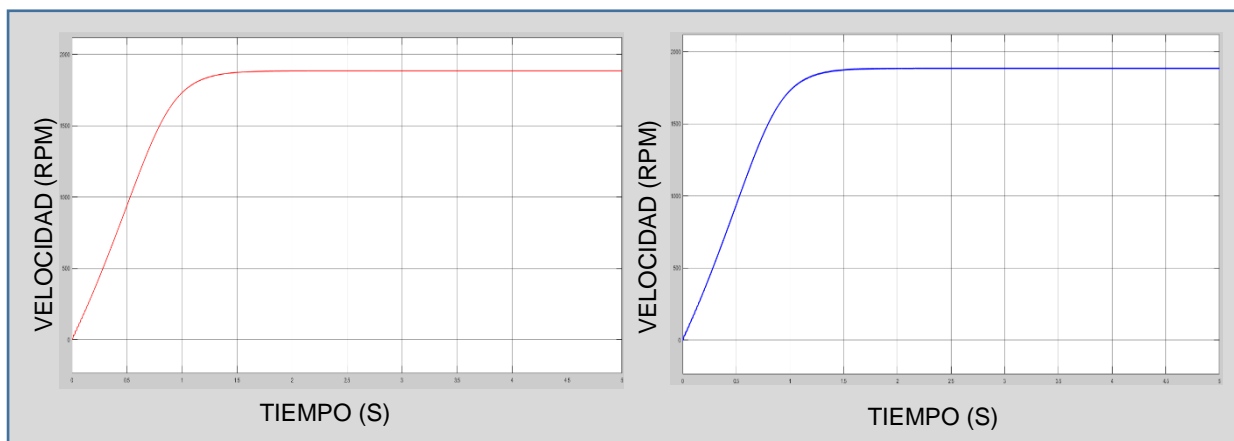


FIGURA N° 79: COMPARACIÓN DE LAS CURVAS DE VELOCIDAD

En la Figura N° 79 se puede visualizar que el porcentaje de error es mínimo porque se encuentra entre 0 y 0.2%, pero luego de los primeros 2.000 puntos aproximadamente se estabiliza la curva, con este resultado se comprueba que la simulación es confiable.

Los puntos que se encuentran entre 0 y 2.000 son datos tomados durante el arranque de la máquina por lo que dichos porcentajes pueden ser mayor al resto por causa de desgaste en los cojinetes.

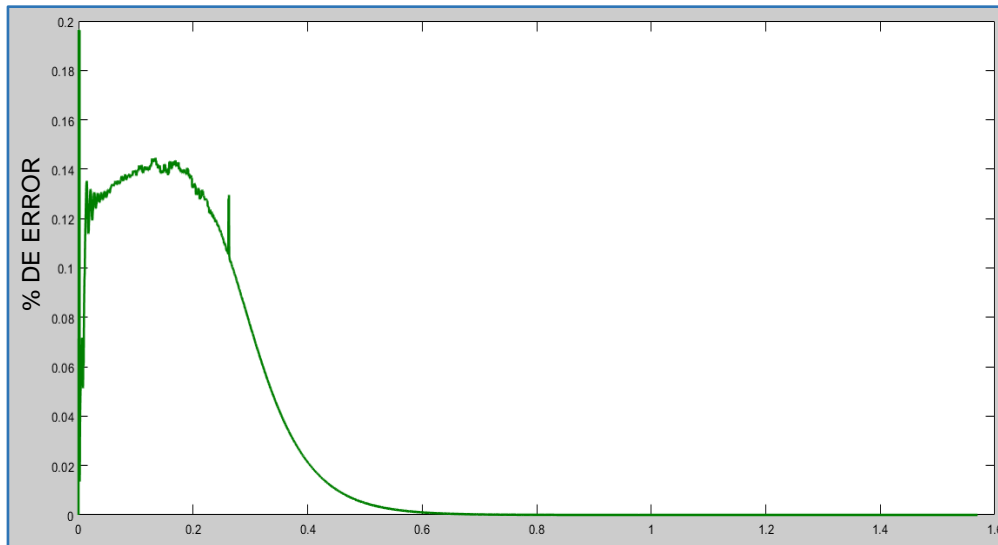


FIGURA N° 80: ERROR OBTENIDO EN LA COMPARACIÓN

5.3.1.3. Comparación de las curvas de torque de los datos obtenidos mediante la simulación vs datos obtenidos en la práctica realizada

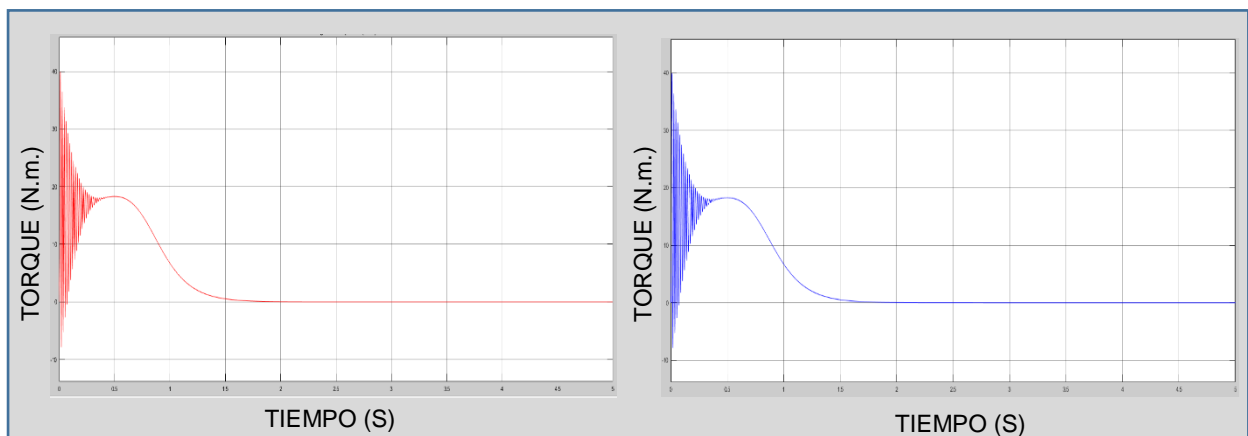


FIGURA N° 81: COMPARACIÓN DE LAS CURVAS DE TORQUE

En la Figura N° 81 se puede visualizar que el porcentaje de error es bajo debido a que el motor se encuentra sin carga, entonces el par resistente será nulo y el motor solo debe vencer su propio par generado por los roces internos y el momento de inercia del motor. El porcentaje de error se encuentra entre 0 y 5% confirmando así la confiabilidad del sistema simulado.

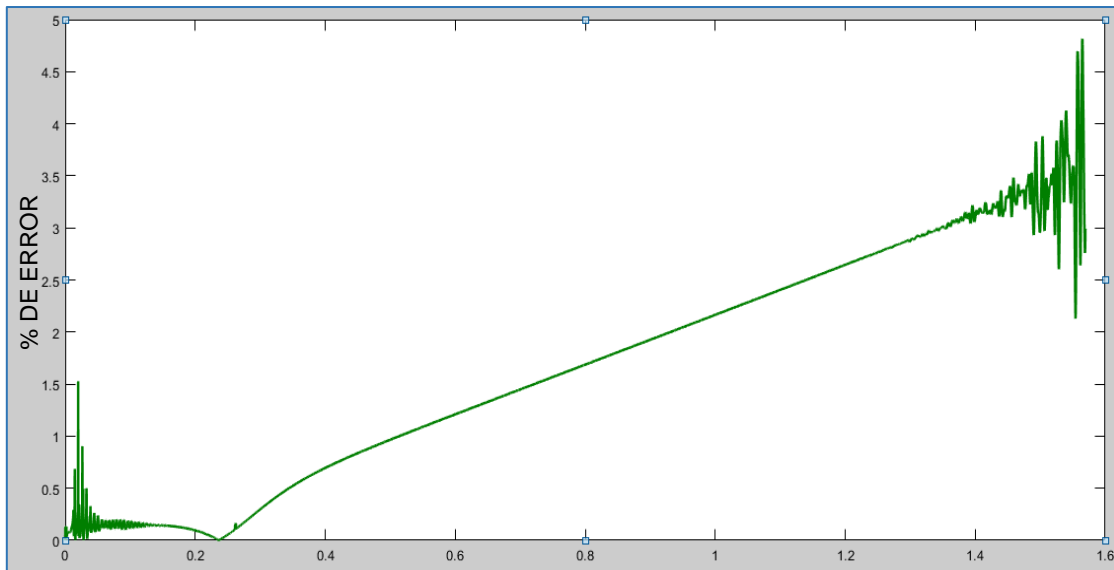


FIGURA N° 82: ERROR OBTENIDO EN LA COMPARACIÓN

5.3.2. Prueba de arranque por variación del par resistente

5.3.2.1. Carga 1,2 N.m.

Realizando el análisis entre las dos curvas obtenidas previamente en la simulación y en las prácticas realizadas con el módulo de la máquina asíncrona se obtiene lo siguiente:

5.3.2.1.1. Comparación de las curvas de corriente de los datos obtenidos mediante la simulación vs datos obtenidos en la práctica realizada

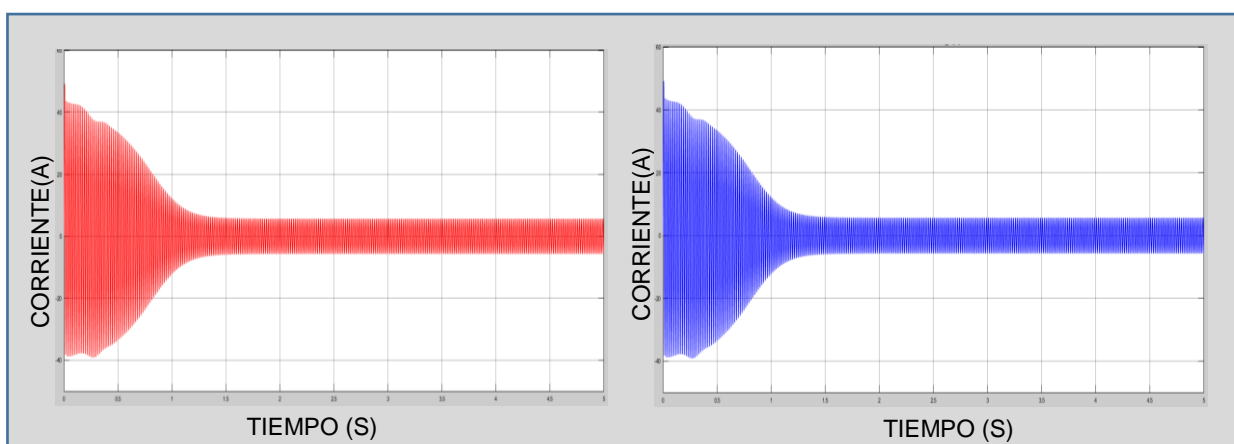


FIGURA N° 83: COMPARACIÓN DE LAS CURVAS DE CORRIENTE

En la Figura N° 83 se pueden observar datos que en el rango de 1.5 segundos pasan el 100% de error, esto puede ser debido a que en ese instante de tiempo se produjo un

cambio en los factores de funcionamiento propios de la máquina como son las vibraciones, borneras flojas, cables en mal estado, desperfectos en el motor; sin embargo, estos 87 puntos no afectan el análisis debido a que es una pequeña parte de la muestra y la variación comienza luego de los 6.500 datos obtenidos

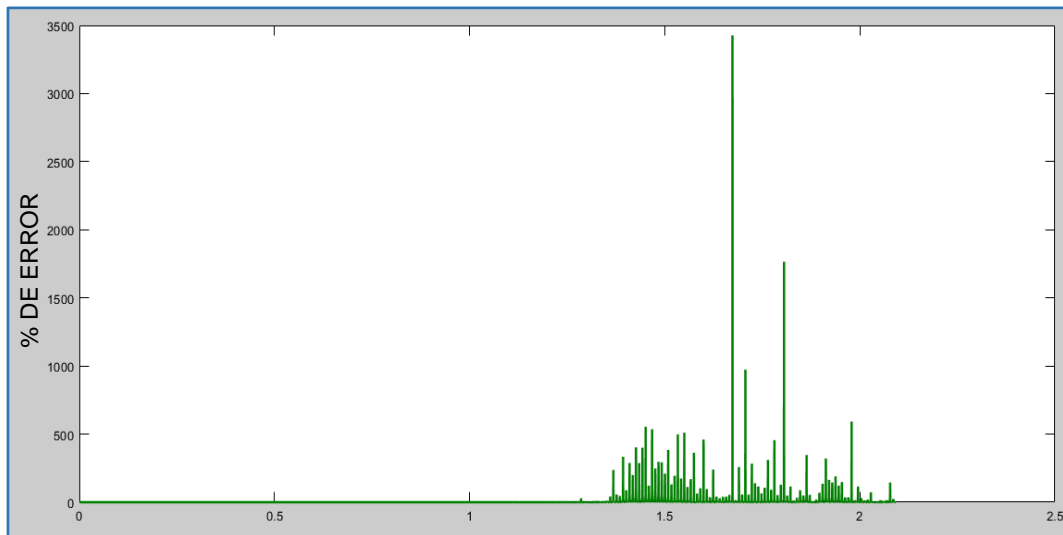


FIGURA N° 84: ERROR OBTENIDO EN LA COMPARACIÓN

5.3.2.1.2. Comparación de las curvas de velocidad de los datos obtenidos mediante la simulación vs datos obtenidos en la práctica realizada

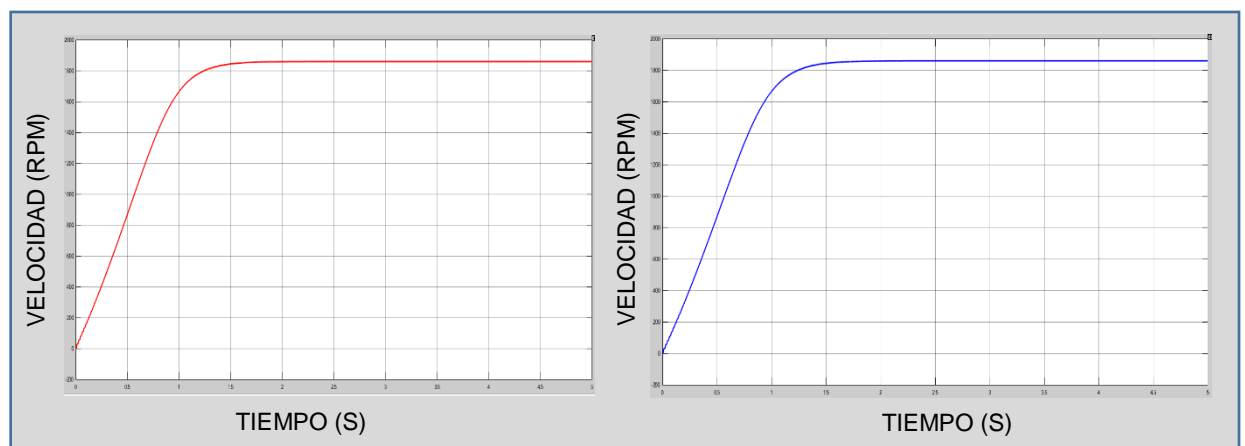


FIGURA N° 85: COMPARACIÓN DE LAS CURVA DE VELOCIDAD

En la figura N° 85 se puede observar que el porcentaje de error es mínimo porque se encuentra entre 0 y 0.0025%, pero a partir del punto 6000 aproximadamente se desestabiliza la curva; sin embargo, con este resultado se comprueba que la simulación es confiable debido a su bajo porcentaje de error.

Los picos en la comparación del error al igual que en la Figura N° 84 se dan en el mismo intervalo de tiempo, por lo que se considera que pueden haberse ocasionado por los factores de funcionamiento propios de la máquina en ese instante de tiempo como son las vibraciones, borneras flojas, cables en mal estado, desperfectos en el motor.

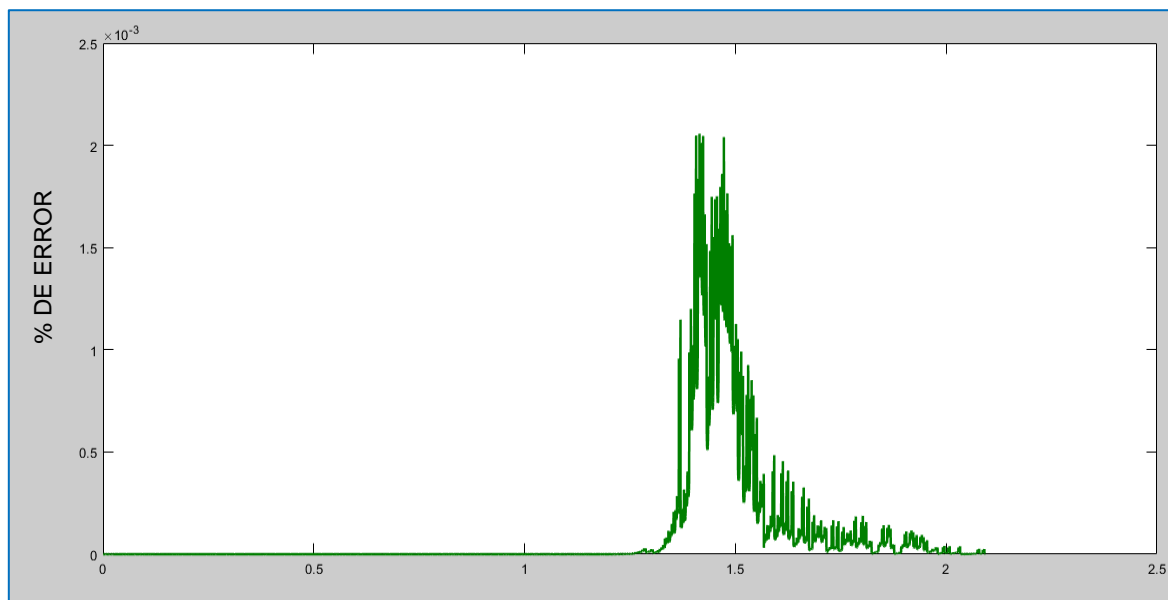


FIGURA N° 86: ERROR OBTENIDO EN LA COMPARACIÓN

5.3.2.1.3. Comparación de las curvas de torque de los datos obtenidos mediante la simulación vs datos obtenidos en la práctica realizada

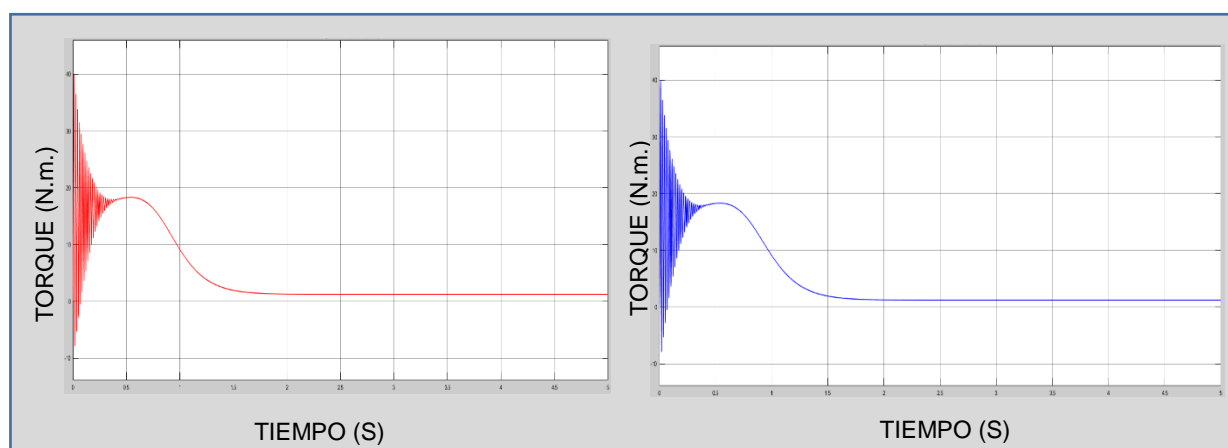


FIGURA N° 87: COMPARACIÓN DE LAS CURVAS DE TORQUE

En la figura N° 87 se puede visualizar que el porcentaje de error es bajo, encontrándose entre 0 y 0.08% confirmando así la confiabilidad del sistema simulado.

Los picos en la comparación del error al igual que en la Figura N° 84 y 86 se dan en el mismo intervalo de tiempo, por lo que se considera que pueden haberse ocasionado por los factores de funcionamiento propios de la máquina en ese instante de tiempo como son las vibraciones, borneras flojas, cables en mal estado, desperfectos en el motor.

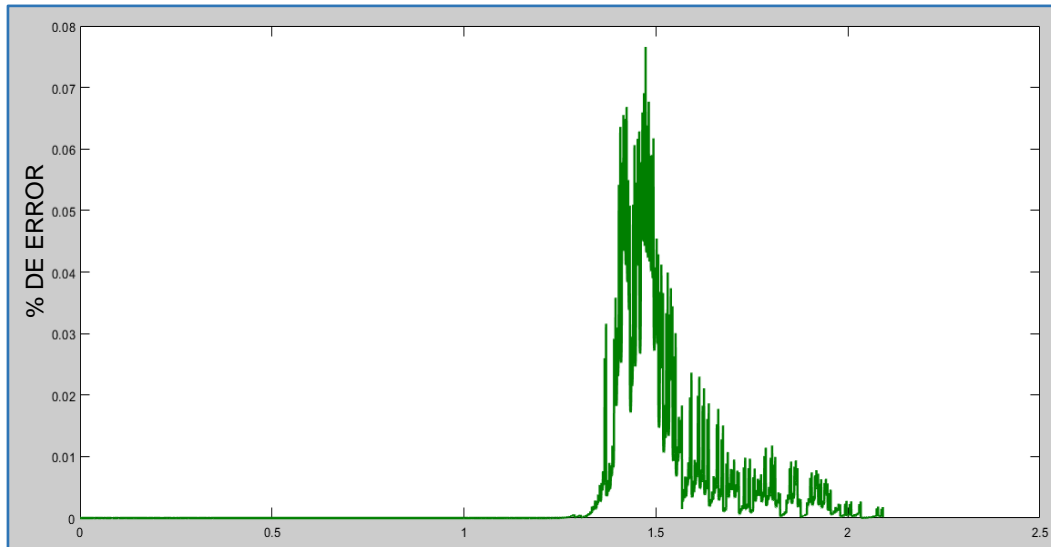


FIGURA N° 88: ERROR OBTENIDO EN LA COMPARACIÓN

5.3.2.2. Carga 3 N.m.

5.3.2.2.1. Comparación de las curvas de corriente de los datos obtenidos mediante la simulación vs datos obtenidos en la práctica realizada

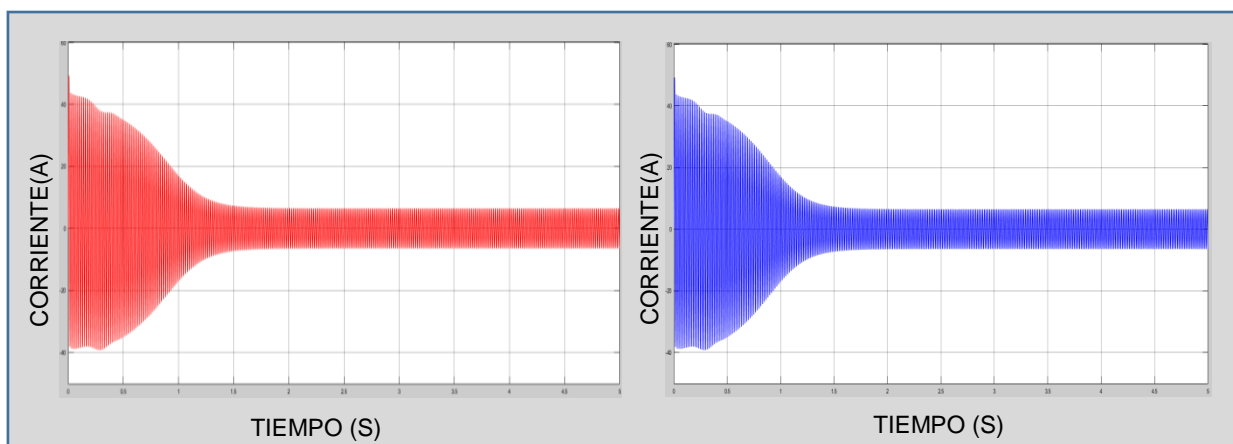


FIGURA N° 89: COMPARACIÓN DE LAS CURVAS DE CORRIENTE

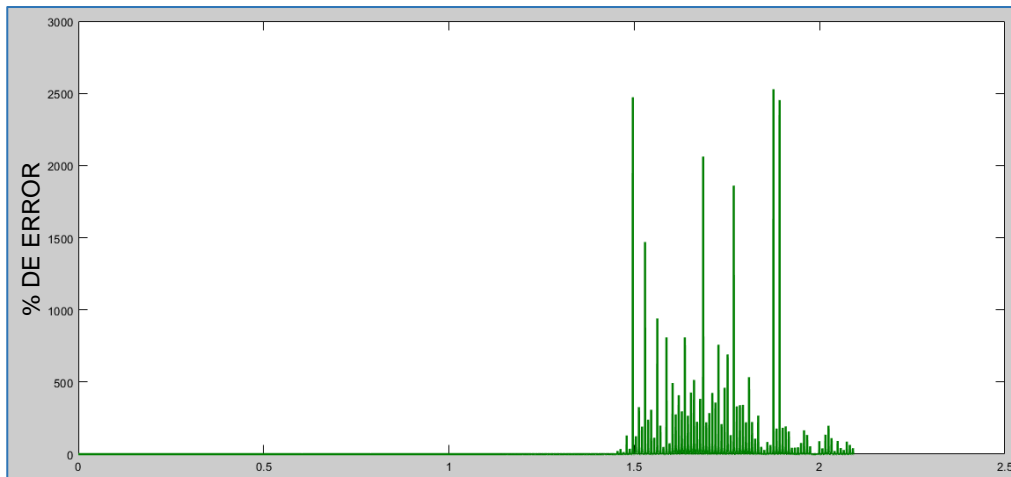


FIGURA N° 90: ERROR OBTENIDO EN LA COMPARACIÓN

En la figura N° 90 se pueden observar datos que en el rango de 1.5 segundos pasan el 100% de error, esto puede ser debido a que en ese instante de tiempo se produjo un cambio en los factores de funcionamiento propios de la máquina como son las vibraciones, borneras flojas, cables en mal estado, desperfectos en el motor; sin embargo, estos 76 puntos no afectan el análisis debido a que es una pequeña parte de la muestra y la variación comienza luego de los 7.000 datos obtenidos.

5.3.2.2.2. Comparación de las curvas de velocidad de los datos obtenidos mediante la simulación vs datos obtenidos en la práctica realizada

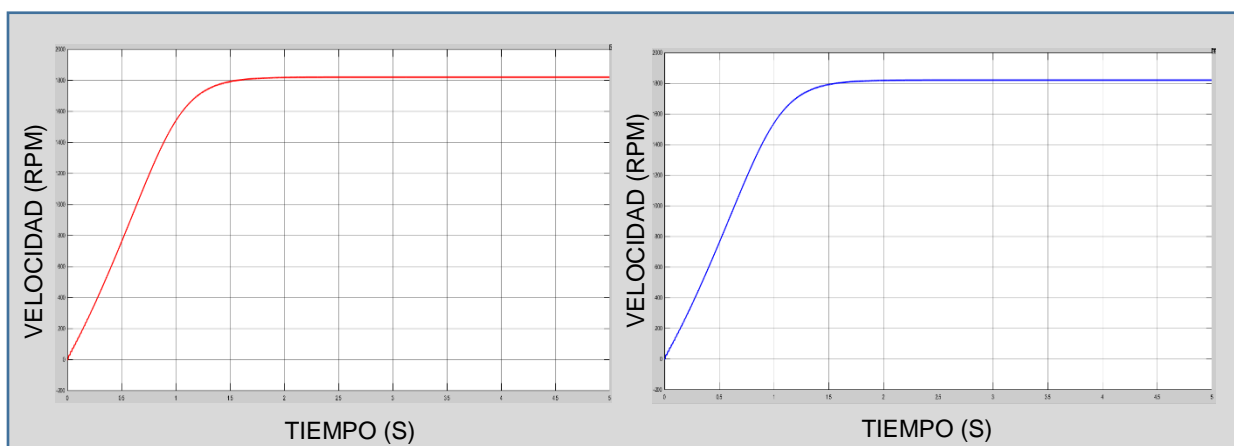


FIGURA N° 91: COMPARACIÓN DE LAS CURVAS DE VELOCIDAD

En la figura N°91 se puede observar que el porcentaje de error es mínimo porque se encuentra entre 0 y 0.0025%, pero a partir del punto 7000 aproximadamente se

desestabiliza la curva; sin embargo, con este resultado se comprueba que la simulación es confiable debido a su bajo porcentaje de error.

Los picos en la comparación del error al igual que en la Figura N° 90 se dan en el mismo intervalo de tiempo, por lo que se considera que pueden haberse ocasionado por los factores de funcionamiento propios de la máquina en ese instante de tiempo como son las vibraciones, borneras flojas, cables en mal estado, desperfectos en el motor.

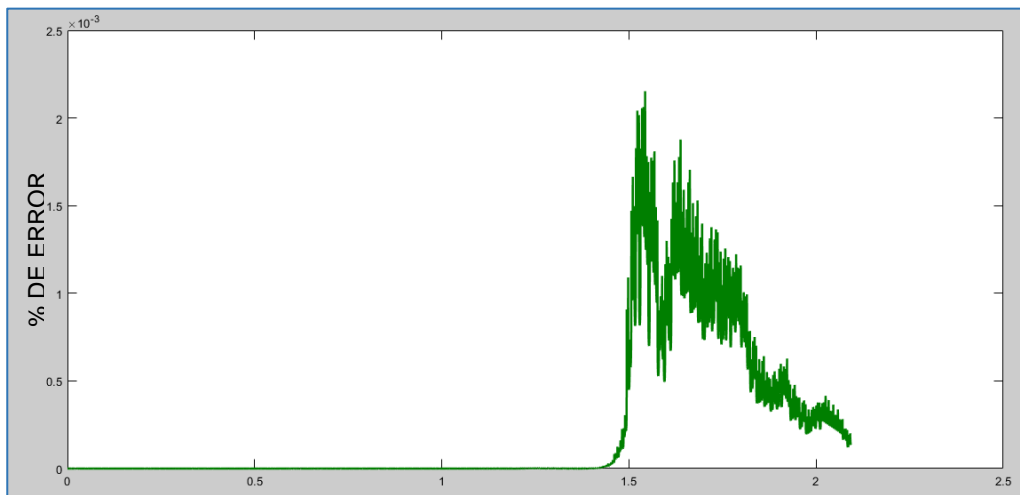


FIGURA N° 92: ERROR OBTENIDO EN LA COMPARACIÓN

5.3.2.2.3. Comparación de las curvas de torque de los datos obtenidos mediante la simulación vs datos obtenidos en la práctica realizada

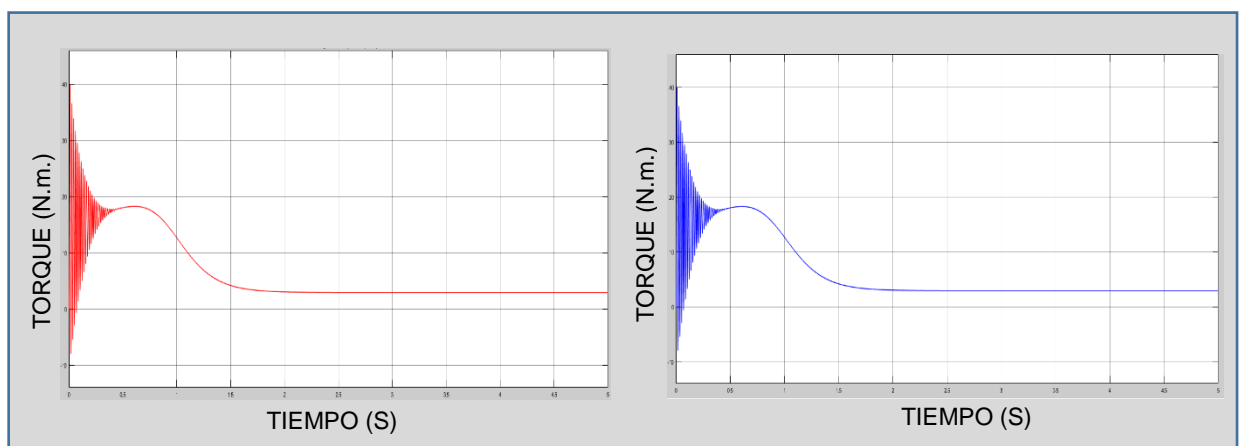


FIGURA N° 93: COMPARACIÓN DE LAS CURVAS DE VELOCIDAD

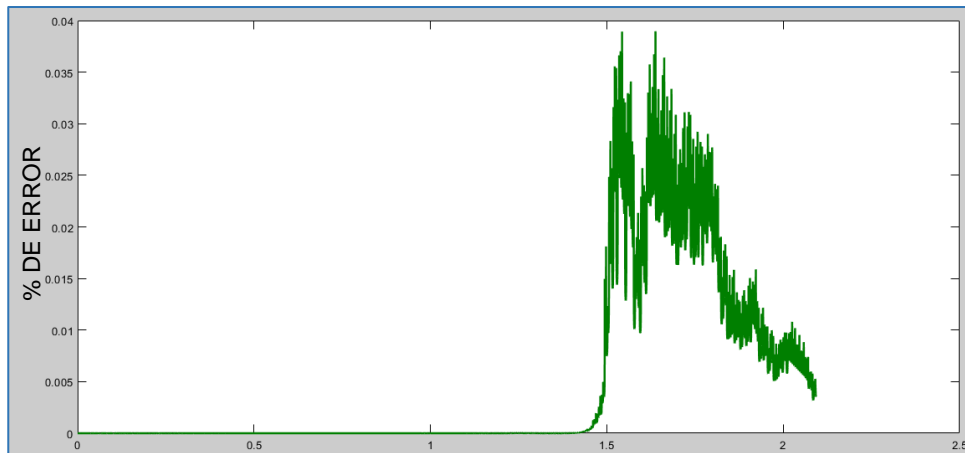


FIGURA N° 94: ERROR OBTENIDO EN LA COMPARACIÓN

En la figura N° 94 se puede visualizar que el porcentaje de error es bajo, encontrándose entre 0 y 0.04% confirmando así la confiabilidad del sistema simulado.

Los picos en la comparación del error al igual que en la Figura N° 90 y 92 se dan en el mismo intervalo de tiempo, por lo que se considera que pueden haberse ocasionado por los factores de funcionamiento propios de la máquina en ese instante de tiempo como son las vibraciones, borneras flojas, cables en mal estado, desperfectos en el motor.

5.3.2.3. Carga 5 N.m.

5.3.2.3.1. Comparación de las curvas de corriente de los datos obtenidos mediante la simulación vs datos obtenidos en la práctica realizada

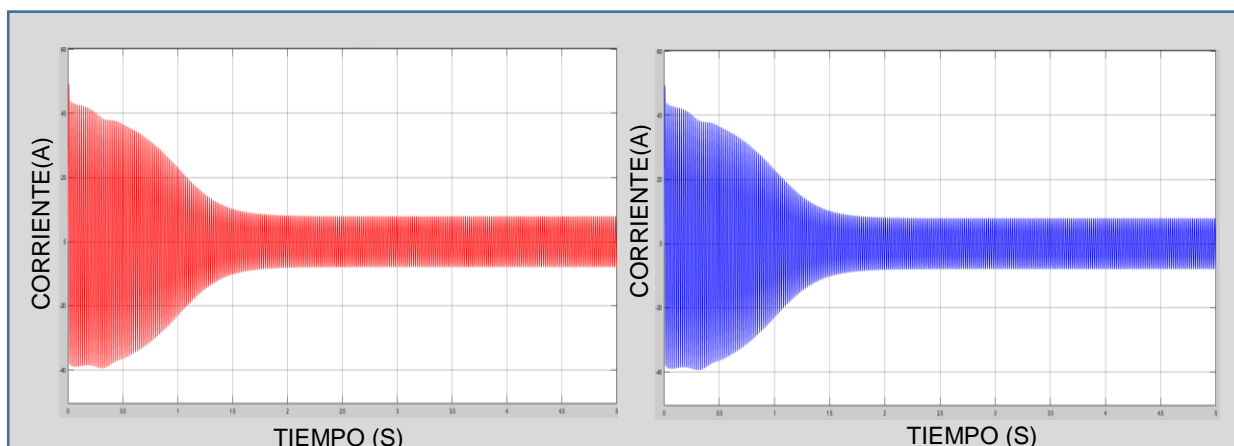


FIGURA N° 95: COMPARACIÓN DE LAS CURVAS DE CORRIENTE

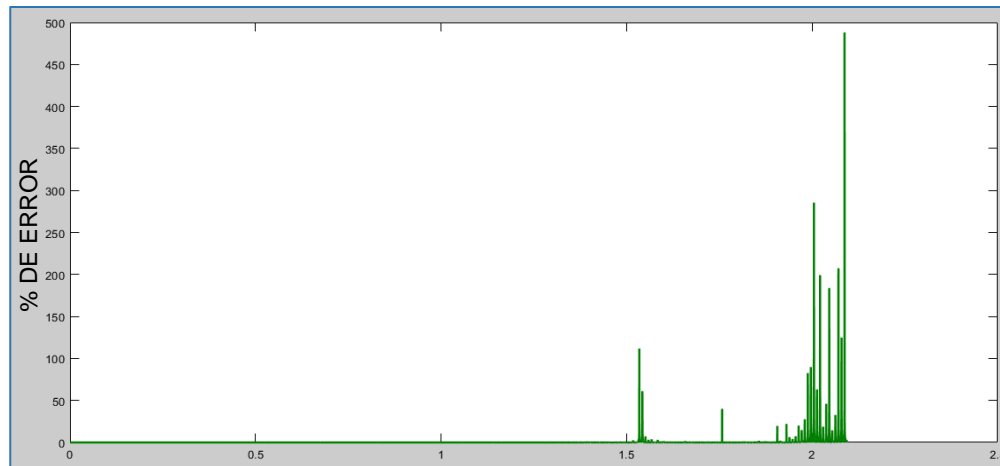


FIGURA N° 96: ERROR OBTENIDO EN LA COMPARACIÓN

En la figura N° 96 se pueden observar datos que en el rango de 0.5 segundos pasan el 100% de error, esto puede ser debido a que en ese instante de tiempo se produjo un cambio en los factores de funcionamiento propios de la máquina como son las vibraciones, borneras flojas, cables en mal estado, desperfectos en el motor; sin embargo, estos 29 puntos no afectan el análisis debido a que es una pequeña parte de la muestra y la variación comienza luego de los 9.000 datos obtenidos.

5.3.2.3.1. Comparación de las curvas de velocidad de los datos obtenidos mediante la simulación vs datos obtenidos en la práctica realizada

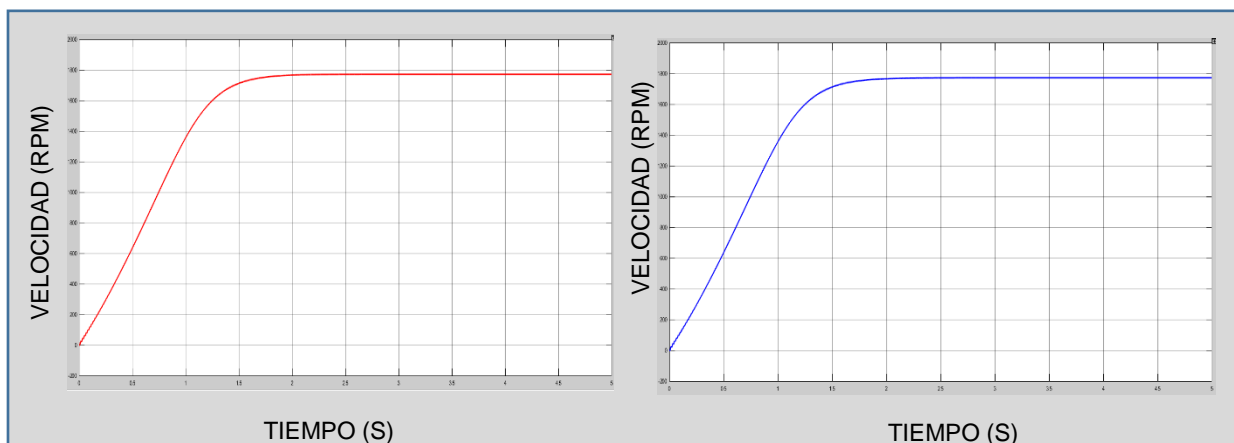


FIGURA N° 97: COMPARACIÓN DE LAS CURVAS DE VELOCIDAD

En la figura N° 97 se puede observar que el porcentaje de error es mínimo porque se encuentra entre 0 y 0.0014%, pero a partir del punto 9000 aproximadamente se

desestabiliza la curva en pequeños intervalos; sin embargo, con este resultado se comprueba que la simulación es confiable debido a su bajo porcentaje de error.

Los picos en la comparación del error al igual que en la Figura N° 96 se dan en el mismo intervalo de tiempo, por lo que se considera que pueden haberse ocasionado por los factores de funcionamiento propios de la máquina en ese instante de tiempo como son las vibraciones, borneras flojas, cables en mal estado, desperfectos en el motor.

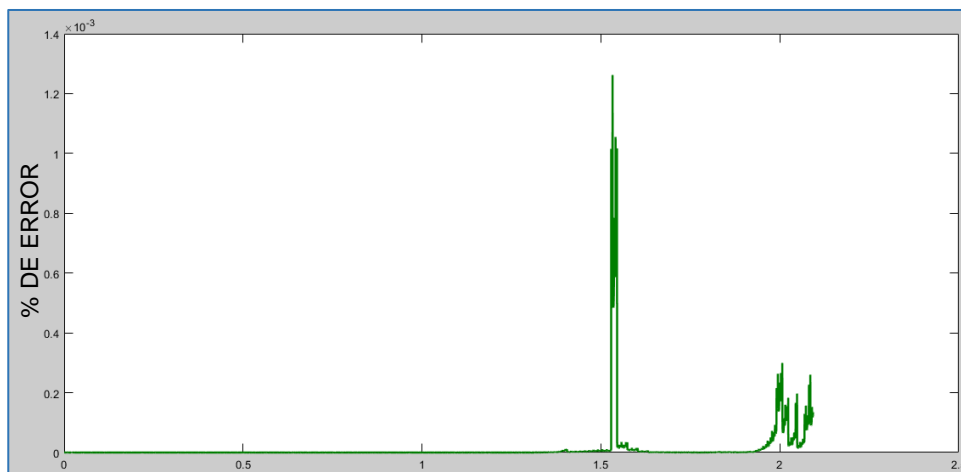


FIGURA N° 98: ERROR OBTENIDO EN LA COMPARACIÓN

5.3.2.3.2. Comparación de las curvas de torque de los datos obtenidos mediante la simulación vs datos obtenidos en la práctica realizada

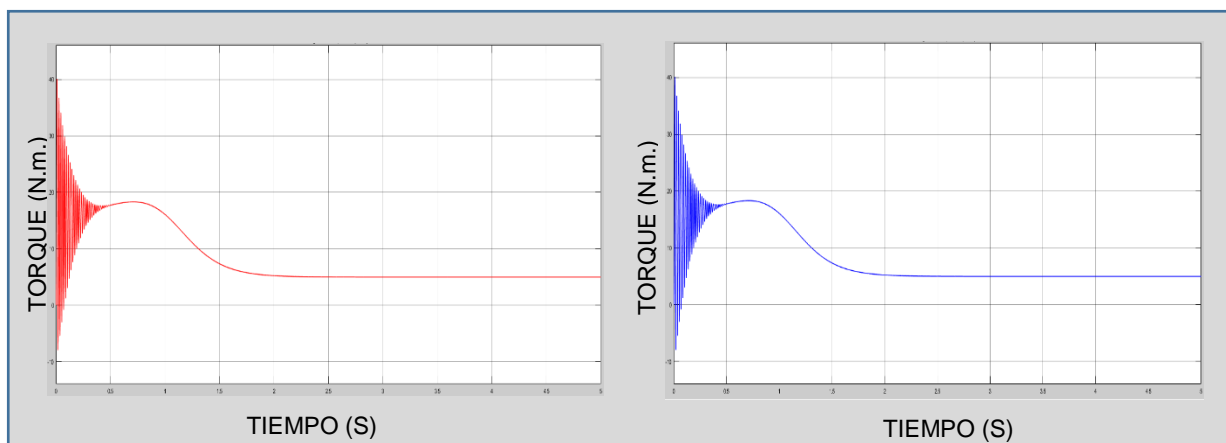


FIGURA N° 99: COMPARACIÓN DE LAS CURVAS DE TORQUE

En la figura N° 100 se puede visualizar que el porcentaje de error es bajo, encontrándose entre 0 y 0.0025% confirmando así la confiabilidad del sistema simulado.

Los picos en la comparación del error al igual que en la Figura N° 98 y 96 se dan en el mismo intervalo de tiempo, por lo que se considera que pueden haberse ocasionado por los factores de funcionamiento propios de la máquina en ese instante de tiempo como son las vibraciones, borneras flojas, cables en mal estado, desperfectos en el motor.

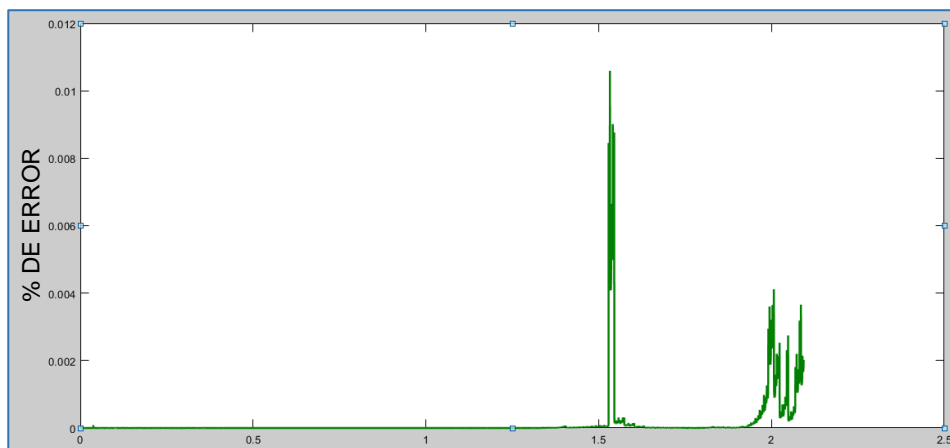


FIGURA N° 100: ERROR OBTENIDO EN LA COMPARACIÓN

5.3.3. Prueba de arranque por variación de la tensión

Realizando el análisis entre las dos curvas obtenidas previamente en la simulación y en las prácticas realizadas con el módulo de la máquina asíncrona se pudo verificar que el porcentaje de error entre ellas es bajo.

5.3.3.1. Comparación de las curvas de corriente de los datos obtenidos mediante la simulación vs datos obtenidos en la práctica realizada

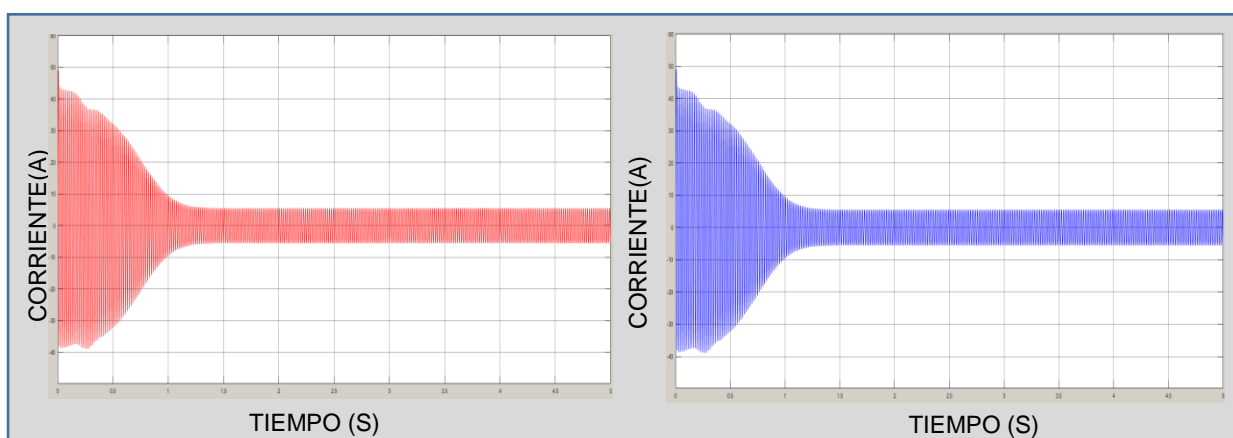


FIGURA N° 101: COMPARACIÓN DE LAS CURVAS DE CORRIENTE

En la Figura N° 101 se puede visualizar que la mayoría de los puntos de error se encuentran en un rango de 0 a 20%, pero 13 de los 7.000 puntos tomados se encuentran fuera del mismo por lo que se considera que dichos resultados simulados son confiables.

Los 13 puntos que se encuentran fuera del 20% de error se encuentran en parte de la muestra tomada durante el tiempo de arranque del motor por lo que dichos errores pueden ser causados por diversas causas como por ejemplo mal contacto con los bornes del motor en el momento del arranque, mal contacto de una fase del variador de voltaje o incluso rápidas oscilaciones en la tensión de alimentación.

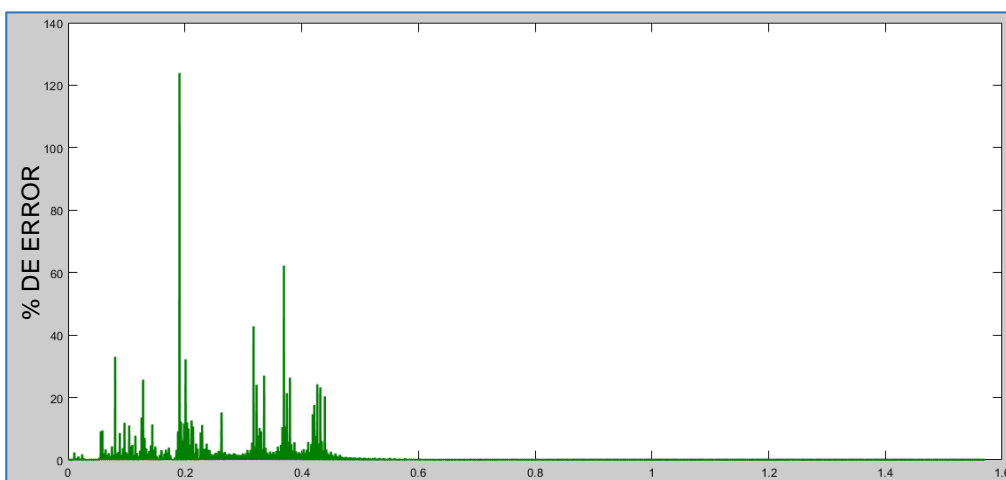


FIGURA N° 102: ERROR OBTENIDO EN LA COMPARACIÓN

5.3.3.2. Comparación de las curvas de velocidad de los datos obtenidos mediante la simulación vs datos obtenidos en la práctica realizada

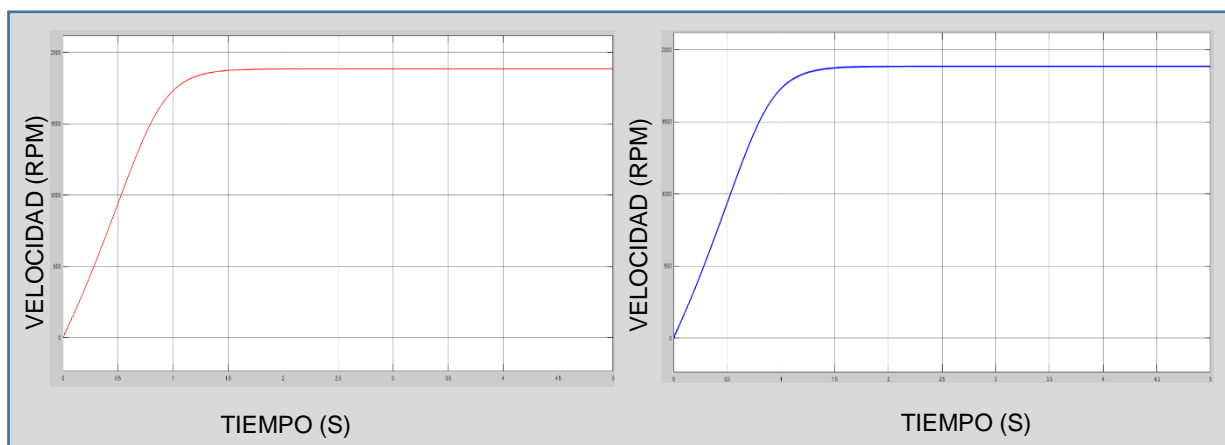


FIGURA N° 103: COMPARACIÓN DE LAS CURVAS DE VELOCIDAD

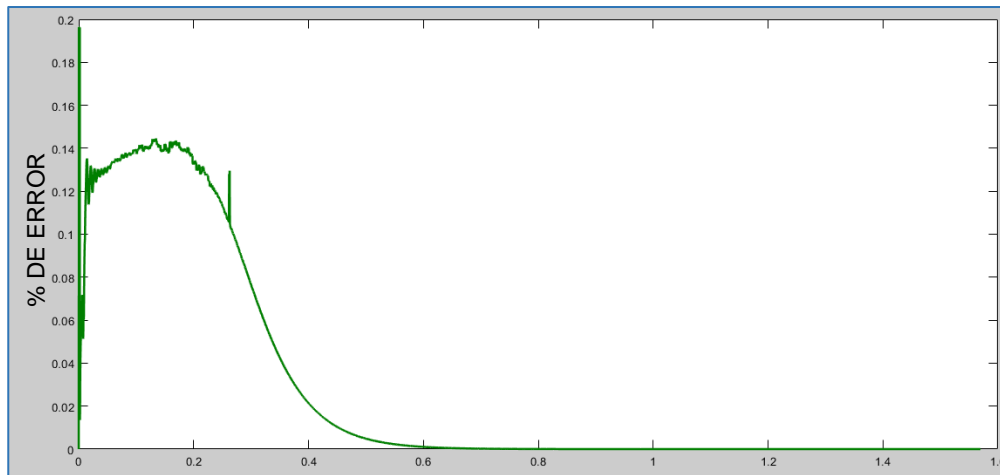


FIGURA N° 104: ERROR OBTENIDO EN LA COMPARACIÓN

En la Figura N° 104 se puede visualizar que el porcentaje de error es mínimo porque se encuentra entre 0 y 0.2%, pero luego de los primeros 2.000 puntos aproximadamente se estabiliza la curva, con este resultado se comprueba que la simulación es confiable.

Los puntos que se encuentran entre 0 y 2.000 son datos tomados durante el arranque de la máquina por lo que dichos porcentajes pueden ser mayor al resto por causa de desgaste en los cojinetes.

5.3.3.3. Comparación de las curvas de torque de los datos obtenidos mediante la simulación vs datos obtenidos en la práctica realizada

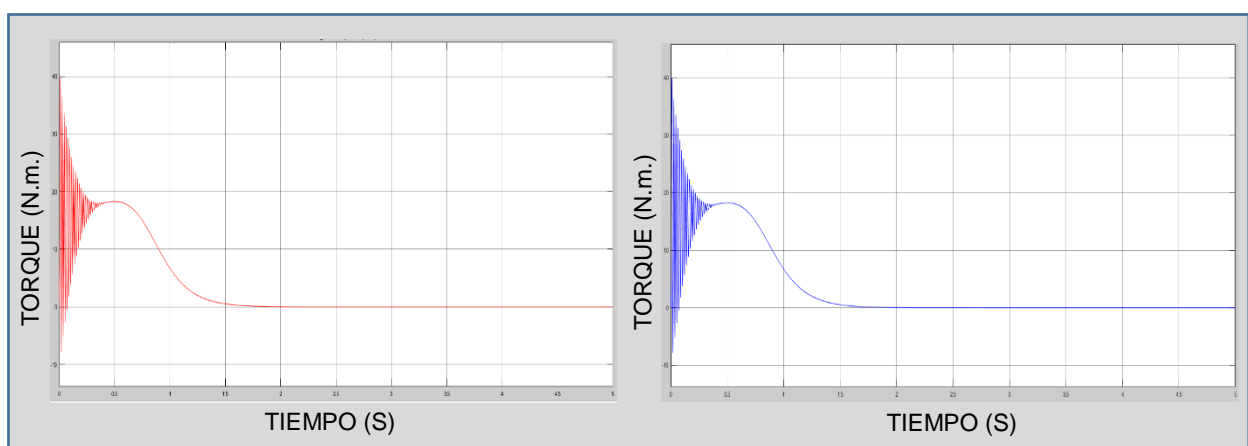


FIGURA N° 105: COMPARACIÓN DE LAS CURVAS DE TORQUE

En la Figura N° 106 se puede visualizar que el porcentaje de error es bajo debido a que el motor se encuentra sin carga, entonces el par resistente será nulo y el motor solo debe vencer su propio par generado por los roces internos y el momento de inercia del motor.

El porcentaje de error se encuentra entre 0 y 5% confirmando así la confiabilidad del sistema simulado.

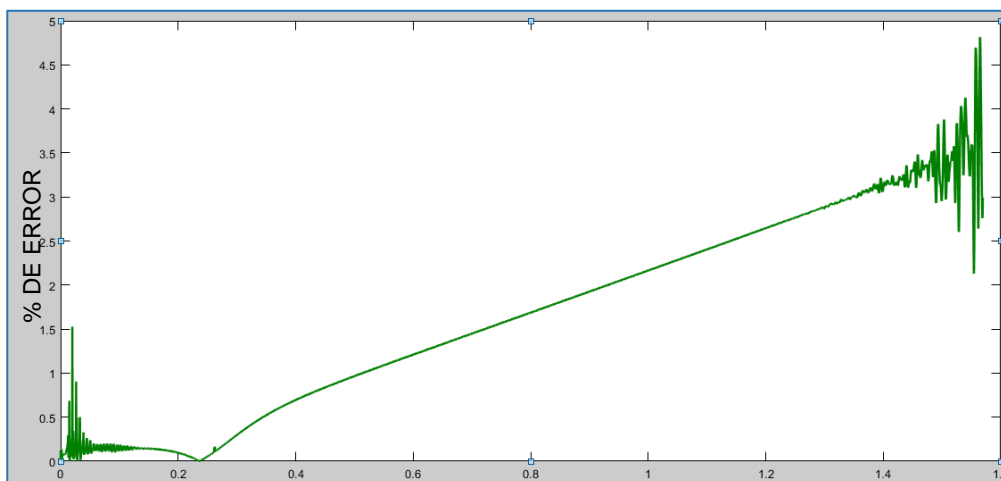


FIGURA N° 106: ERROR OBTENIDO EN LA COMPARACIÓN

5.3.4. Prueba de maniobra de frenado por inyección de corriente continua

Realizando el análisis entre las dos curvas obtenidas previamente en la simulación y en las prácticas realizadas con el módulo de la máquina asíncrona.

5.3.4.1. Comparación de las curvas de corriente mediante prácticas realizadas

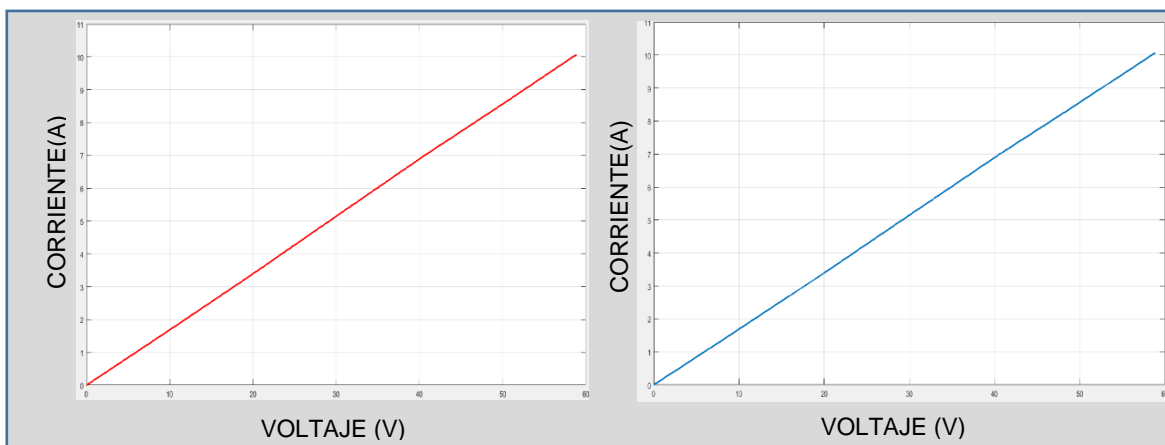


FIGURA N° 107: COMPARACIÓN DE LAS CURVAS DE CORRIENTE

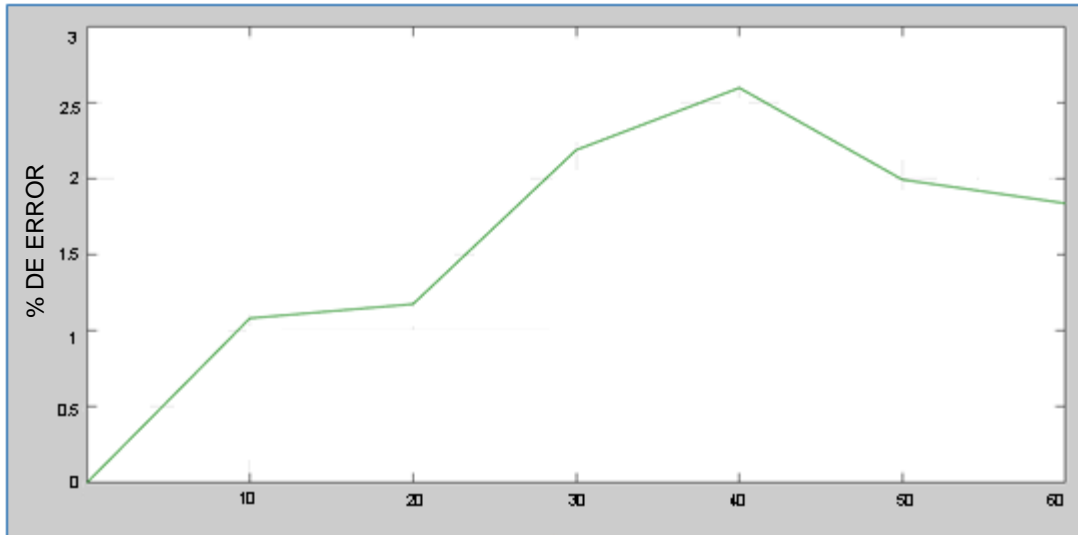


FIGURA N° 108: ERROR OBTENIDO EN LA COMPARACIÓN

En la figura N° 108 se puede visualizar que el porcentaje de error es bajo. El porcentaje de error se encuentra entre 0 y 3% confirmando así la confiabilidad del sistema simulado.

CAPITULO V

6. Conclusiones

- ✓ El presente proyecto cumplió con su objetivo general, que fue desarrollar el análisis y simulación del Módulo de Máquina Asíncrona, por medio de una representación gráfica de todos sus componentes, sus usos y procedimientos al momento de realizar las prácticas.
- ✓ Se realizó las pruebas necesarias para obtener los datos de placa del motor Hampden WRM-300 y obteniendo así los parámetros eléctricos del motor mencionado.
- ✓ Se desarrolló un programa que permitió realizar la simulación del motor Hampden WRM-300, por medio de los parámetros obtenidos en la pruebas realizadas
- ✓ Se realizó la programación en el software LabView® en la cual se pueden observar los principales parámetros eléctricos y curvas características tanto de corriente, velocidad y torque de la máquina asíncrona en cada una de las prácticas establecidas debido a los datos obtenidos previo a la elaboración de la interfaz gráfica del Módulo de Máquina Asíncrona.
- ✓ Se realizó el análisis de las máquinas asíncronas por medio de una comparación del porcentaje de error entre la adquisición de datos obtenidos, por medio de las pruebas experimentales realizadas en el laboratorio de Máquinas I & II y la simulación realizada en conjunto con la interfaz Simulink de Matlab® y LabView®, identificando de esta manera el funcionamiento de las mismas y sus curvas características desarrollando así aplicaciones teóricas-prácticas y de esta forma analizar el porcentaje de error de cada gráfica siendo este bajo en relación a la cantidad de datos obtenidos, teniendo como resultado la comprobación de la eficiencia de un modelo ideal y considerando que algunos de estos picos dentro del porcentaje de error fueron dados a los factores internos y externos que influyen en el rendimiento de un motor tales como: condiciones ambientales, fallas eléctricas, corto entre espiras, corto entre fases; además, las fallas propias que se generan de los componentes del motor en cojinetes, estator y rotor.

6.1.Recomendaciones

- ✓ Para comenzar con la obtención de los datos por medio de las pruebas físicas, se recomienda verificar el estado de las máquinas e implementos que se vayan a utilizar, teniendo en cuenta los factores que pueden afectar el rendimiento del motor.
- ✓ Realizar las pruebas necesarias que permitan verificar los datos de placa del motor, obteniendo los parámetros que se requieren al momento de realizar la simulación.
- ✓ Ajustar los cables y borneras del motor asíncrono con cinta para evitar que los cables se desconecten fácilmente ya que, debido a su constante uso, los cables se aflojan con el movimiento del motor al momento de arrancar.
- ✓ Verificar que las fuentes DC del módulo y la fuente de alimentación AC del mismo estén funcionando correctamente y se encuentren bien conectadas antes de iniciar las prácticas.
- ✓ Evitar movimientos bruscos del módulo, motor o elementos que se estén usando al momento de realizar las prácticas.
- ✓ Realizar una prueba en la interfaz de LabView® antes de iniciar de manera presencial alguna de las cuatro prácticas establecidas en este trabajo en el Banco de Pruebas de Máquina Asíncrona.
- ✓ Al momento de realizar las prácticas se recomienda que verifiquen los cables y borneras a utilizar ya que el estado de estos es uno de los factores externos que influyen en el buen funcionamiento de la máquina y el cual podría proporcionar datos erróneos.

6.2. Bibliografía

- [1]. Stephen Chapman. (2012). Máquinas Eléctricas.
- [2]. Theodoro Wilde. (2006). Máquinas Eléctricas Y Sistemas De Potencia, México, Prentice Hall.
- [3]. Stevenson, W. (1979). Análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia (2da ed.), México, México
- [4]. National Instruments. (2017). Recuperado de: <http://www.ni.com/es-cr/shop/labview/buy-labview.html>.
- [5]. José Daniel Muñoz Frías. (2002). “Control avanzado de Máquinas de Inducción” Tesis Doctoral, Universidad Pontificia Comillas de Madrid, Madrid, España.
- [6]. Theodoro Wilde. (2006). Máquinas Eléctricas Y Sistemas De Potencia, México,
- [7]. Gustavo Peralta Núñez. (2005) .Diagnostico de Fallas En Motores De Inducción, Tesis, Universidad Nacional Del Centro Del Perú, Perú.
- [8]. Negrete Navarrete, M. A. Fonseca Badillo, A. González Parada, A. Castañeda Miranda. (2012). Simulación de Fallas Emergentes en Máquinas Eléctricas, Universidad de Guanajuato, México.
- [9]. Javier Cortés. (2015). Análisis de la Clase De Rendimiento De Los Motores De Inducción Trifásico A Partir de los Datos Del Fabricantes, tesis, Universidad Rovira I Virgili, Tarragona.
- [10]. Weg S.A. (2012). Daños en los Bobinados, <http://www.weg.net>.
- [11]. Jesús Fraile Mora. (2015). Máquinas Eléctricas (7ma ed.), Madrid, España.
- [12]. Irving I. Kosow. (1993). Máquinas eléctricas y transformadores, México.
- [13]. David Cárdenas, Carlos Córdova. (2018). Análisis del régimen dinámico de un motor de inducción trifásico usando un software de simulación, Cuenca, Ecuador.
- [14]. Miguel Rodríguez Pozuete. (2008). Máquinas asíncrona universidad de Cantabria, España.
- [15]. Eybar Contreras Villamizar, Rolando Sánchez Rodríguez. (2010). Diseño y construcción de un banco de prácticas en motores eléctricos, como apoyo a la asignatura diseño de máquinas II Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- [16]. Gilberto Enríquez Harper. (2004). El libro practico de los generadores, transformadores y motores eléctricos, México D.F, México.

- [17]. José Ortiz Ruiz. (2011). Máquinas de inducción simétricas, Sevilla España.
- [18]. Danniry Pacheco Mesa. (2011). Simulación dinámica de máquinas de inducción, Santa Clara, Cuba.
- [19]. Mileaf, Harry. (1993). Electricidad, Ed. Limusa Noriega, México.
- [20]. Oscar Duque Pérez. (2010). Motor de inducción-Técnicas de mantenimiento predictivo, España.
- [21]. Leopoldo Simón, José Monzón. (2010). Modelado del régimen permanente dinámico y análisis de sensibilidad de una máquina trifásica de inducción, España.
- [22]. Hugo San José. (2018). Diseño y análisis paramétricos de un motor de inducción trifásico bajo tensión con software JMAG, Universidad de Cantabria, España.
- [23]. Aldo Rico Maestre. (2011). Miguel Tristancho Caballero, detección de fallas en un motor de inducción usando MSCA (Motor Current Signature Analysis), Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- [24]. Adolfo Jaramillo Matta, Édison Franco Mejía. (2011). Estimación de parámetros invariantes para un motor de inducción, Colombia.
- [25]. Jorge Díaz Rodríguez, Luis Pabón Fernández, Yan Anaya. (2013). Análisis del motor de inducción alimentación por convertidor multinivel de frecuencia variable, Cancún, México.
- [26]. James Valencia Quintero. (2008). Análisis ATP de la respuesta dinámica del motor de inducción a los sags del voltaje, Colombia.
- [27]. Andrés Escobar Mejía, Fabio Ocampo Muñoz, Mauricio Holguín. (2008). Estimación de parámetros del motor de inducción a partir de los datos del fabricante, Universidad de Pereira, Colombia.
- [28]. Weg S.A.- Unidad Motores. (2016). Motor de inducción alimentados por convertidores de frecuencia PWM, Jaragua do Sul, Brasil.
- [29]. Manuel Pineda Sánchez. (2012). Selección óptima de motores de inducción desde catálogo, Universidad de Politécnica de Valencia, España.
- [30]. Manuel Pineda Sánchez. (2012). Caracterización y cálculo del circuito equivalente de un motor de inducción desde la placa de características Universidad de Politécnica de Valencia, España.

- [31]. Carlos Vera, Jorge Díaz, Aldo Pardo. (2008). Características dinámicas en los procesos transitorios del motor de inducción de rotor jaula de ardilla, Universidad de Pamplona, norte de Santander, Colombia.