



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

PROPUESTA TECNOLÓGICA

**“SIMULACIÓN DE LA EXPRESIÓN MATEMÁTICA DE UN MOTOR
ASINCRÓNICO
PARA LA VISUALIZACIÓN DE LAS MAGNITUDES ELÉCTRICAS Y FÍSICAS”**

Proyecto de Titulación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero
Electromecánico.

Autores:

Naranjo Zumba Henry Roberto

Valdez Miño Diego Alejandro

Tutor:

Ing. Moreano Martínez Edwin Homero MgC.

LATACUNGA – ECUADOR

2020-2021



DECLARACIÓN DE AUTORÍA

“Yo **Naranjo Zumba Henry Roberto, Valdez Miño Diego Alejandro** declaro ser autor de la presente propuesta tecnológica: **“SIMULACIÓN DE LA EXPRESIÓN MATEMÁTICA DE UN MOTOR ASINCRÓNICO PARA LA VISUALIZACIÓN DE LAS**

MAGNITUDES ELÉCTRICAS Y FÍSICAS” siendo MgC. Ing. Edwin Moreano tutor del presente trabajo: y examino expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Naranjo Zumba Henry Roberto

C.I. 1600603078

Valdez Miño Diego Alejandro

C.I. 0604216721



AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del trabajo de investigación sobre el título:

“SIMULACIÓN DE LA EXPRESIÓN MATEMÁTICA DE UN MOTOR ASINCRÓNICO PARA LA VISUALIZACIÓN DE LAS MAGNITUDES ELÉCTRICAS

Y FÍSICAS” de, Naranjo Zumba Henry Roberto, Valdez Miño Diego Alejandro de la carrera de Ingeniería en Electromecánica, considero que dicho informe investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación de tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, marzo 2021

_____ Tutor

MgC. Moreano Martínez Edwin Homero

CC: 050260750-0



APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la FACULTAD de Ciencias de la Ingeniería y Aplicada ; por cuanto, el o los postulantes: **Naranjo Zumba Henry Roberto, Valdez Miño Diego Alejandro** con el título de Proyecto de titulación:

“SIMULACIÓN DE LA EXPRESIÓN MATEMÁTICA DE UN MOTOR ASINCRÓNICO PARA LA VISUALIZACIÓN DE LAS MAGNITUDES ELÉCTRICAS Y FÍSICAS” han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, marzo 2021

Para constancia firman:

Lector 1 (presidente)

Nombre: Luis Rolando Cruz Panchi

CC: 050259517-6

Lector 2

Nombre: Porras Reyes Jefferson Alberto

CC: 070440044-9



Lector 3

Nombre: Verónica Paulina Freire Andrade

CC: 050205622-9



AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a Dios por permitirme gozar de salud y tener la dicha de disfrutar cada momento de mi vida, en especial en esta etapa tan anhelada de cumplir mi sueño.

A mis padres y hermanos, que siempre me apoyaron en los buenos y malos momentos a pesar de todo nunca me dejaron solo, es a quien debo este triunfo profesional, todo los valores y Trabajo que han realizado por darme una formación académica, por todo el amor incondicional que me brindaron, este triunfo es de ellos y para ellos es todo mi agradecimiento.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi, que fue mi segundo hogar quien me dio la oportunidad de aprender con excelentes profesionales.

A mi tutor MgC. Edwin Moreano por brindarme la orientación necesaria en el desarrollo de este proyecto

Henry Naranjo



AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por guiar mis pasos y brindarme de salud para conseguir mis metas, agradezco también profundamente a mis padres y a mis hermanos que fueron el pilar fundamental para llegar a este punto de mi vida también por todo el esfuerzo y apoyo durante mis estudios y por enseñarme con ejemplos el significado de perseverancia y humildad, a mi esposa y a mi hijo por estar siempre a mi lado y compartir cada logro y triunfo de mi vida, a la Universidad Técnica de Cotopaxi por abrirme las puertas y por la confianza que otorga a todos los estudiantes con deseos de aprender, a la carrera de Ingeniería Electromecánica la cual ha contribuido con la formación de excelente profesionales y permitiéndome recorrer el arduo camino para de formación que esta conlleva enseñándome al mismo tiempo que cada día hay algo nuevo por aprender, a mi tutor MgC. Edwin Moreano por brindarme la orientación necesaria en el desarrollo de este proyecto

Diego Valdez



DEDICATORIA

Doy gracias a Dios y a mi familia quienes me supieron ayudar en el transcurso de mi vida estudiantil. A la vez le doy las gracias a mi tutor que me supo orientar en el desarrollo del presente proyecto. Ya que fue una fuente de conocimiento de la cual pudimos aprender muchos valores y conocimientos adquiridos.

Henry Naranjo



DEDICATORIA

Doy gracias a Dios y a mi familia quienes son el mayor motivo en mi búsqueda de superación y formación profesional pues son quienes me han apoyado incondicionalmente y me han guiado por el camino de la perseverancia y dedicación, también a mi esposa e hijo que me han apoyado de todas las maneras posibles cuyas experiencias me han ayudado a madurar y formar mi carácter, haciendo posible el cumplimiento de mis metas.

Diego Valdez



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

TÍTULO: “SIMULACIÓN DE LA EXPRESIÓN MATEMÁTICA DE UN MOTOR ASINCRÓNICO PARA LA VISUALIZACIÓN DE LAS MAGNITUDES ELÉCTRICAS Y FÍSICAS”

Autores: Naranjo Zumba Henry Roberto

Valdez Miño Diego Alejandro

RESUMEN

La industria se encuentra en continuo crecimiento y actualización de equipos de instrumentación, especialmente en el control y mantenimiento de motores asincrónicos de tal manera que surge la necesidad de visualizar las magnitudes eléctricas tales como voltaje y corriente y magnitudes físicas como velocidad y torque, el presente documento describe la expresión matemática de un motor asíncrono mediante el uso del software Matlab® para la visualización de las magnitudes de corriente, voltaje, velocidad y torque, mismas que se obtienen mediante la resolución del circuito equivalente Thévenin en el régimen transitorio y la transformada de Laplace obtenemos las ecuaciones diferenciales. Las cuales permitieron el cálculo del comportamiento del motor en régimen transitorio, con o sin carga. Se demostró mediante la expresión matemática que los cálculos teóricos, experimentales y simulados, corresponden al comportamiento del motor de inducción asíncrono, el cual mostró las gráficas de la corriente de arranque del estator y del rotor. Así se pudo realizar la predicción del estado de las variables de corriente del equipo según su funcionamiento. La función más importante de esta expresión matemática, fue la demostración práctica del comportamiento de la corriente de arranque del rotor, el cual permitió el análisis comparativo de los valores calculados y experimentales.

Palabras clave: motor, asíncrono, transitorio, visualización, magnitudes.



TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES
ELECTROMECHANICAL ENGINEERING CAREER

**TITLE: "SIMULATION OF THE MATHEMATICAL EXPRESSION OF A
SINGLEPHASE ASYNCHRONIC MOTOR FOR THE VISUALIZATION OF
CURRENT,
VOLTAGE, SPEED AND TORQUE"**

Authors: Naranjo Zumba Henry Roberto

Valdez Miño Diego Alejandro

ABSTRACT

The industry is in continuous growth and updating of instrumentation equipment, especially in the control and maintenance of asynchronous motors in such a way that the need arises to visualize electrical quantities such as voltage and current and physical quantities such as speed and torque, the present document describes the mathematical expression of an asynchronous motor using Matlab® software to display the magnitudes of current, voltage, speed and torque, which are obtained by solving the Thévenin equivalent circuit in the transient regime and the transformation of Laplace we obtain the differential equations. Which allowed the calculation of the behavior of the engine in transitory regime, with or without load. It was demonstrated through the mathematical expression that the theoretical, experimental and simulated calculations correspond to the behavior of the asynchronous induction motor, which showed the graphs of the stator and rotor starting current. Thus, it was possible to make the prediction of the state of the equipment current variables according to its operation. The most important function of this mathematical expression was the practical demonstration of the behavior of the rotor starting current, which allowed the comparative analysis of the calculated and experimental values.

Keywords: motor, asynchronous, transient, visualization, magnitudes.



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

CENTRO DE IDIOMAS

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que: La traducción del resumen de la propuesta tecnológica al Idioma Inglés presentado por los señores egresados de la Carrera de **INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA** de la **FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS, NARANJO ZUMBA HENRY ROBERTO** y **VALDEZ MIÑO DIEGO ALEJANDRO**, cuyo título versa **“SIMULACIÓN DE LA EXPRESIÓN MATEMÁTICA DE UN MOTOR ASINCRÓNICO PARA LA VISUALIZACIÓN DE LAS MAGNITUDES ELÉCTRICAS Y FÍSICAS”**, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimaren conveniente.

Latacunga, marzo del 2021

Atentamente,

Mg. LIDIA REBECA YUGLA LEMA
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS
C.C. 0502652340

Firmado digitalmente por
1803027935 VICTOR HUGO ROMERO GARCIA
Fecha: 2021.03.11 12:16:02 -05'00'

ÍNDICE DE CONTENIDOS

2. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA	6
2.1. TÍTULO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA	6
2.2. TIPO DE PROPUESTA ALCANCE	6
2.3. ÁREA DEL CONOCIMIENTO	6
2.4. SINOPSIS DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA	7
2.5. OBJETO DE ESTUDIO Y CAMPO DE ACCIÓN	7
2.5.1. Objeto de estudio	7
2.5.2. Campo de acción	7
BENEFICIARIOS DEL PROYECTO	7
2.4.1. Beneficiarios directos:	7
2.4.2. Beneficiarios indirectos:	7
SITUACIÓN PROBLEMÁTICA Y PROBLEMA	8
2.6.1. Situación problemática	8
2.6.2. Problema.....	9
2.7 HIPÓTESIS O FORMULACIÓN DE PREGUNTAS DIRECTAS	9
2.8. OBJETIVOS	9
2.8.1. Objetivo general	9
2.8.2. Objetivo específico	9
2.10 Antecedentes	12
3. MARCO TEÓRICO	13

3.1. Motor eléctrico	13
3.2. Aspecto de construcción de la máquina asíncrona	14
3.3. Estator	14
3.5. Rotor	15
3.3.1. Núcleo del rotor	15
3.3.2. Carcasa	16
3.6. Métodos normalmente tradicionales de prueba de motores	16
3.7. Eficiencia y confiabilidad de Motores Eléctricos	17
3.8. Clasificación de Motores eléctricos	18
3.8.1. Motores de corriente alterna Asíncronos	18
3.8.2. Asíncronos	19
3.9. Motores asíncronos	20
3.9.1. Composición.....	20
3.9.2. Principio de funcionamiento	20
3.10. Magnitudes de salida.....	20
3.11. Curvas características de los motores eléctricos AC.	21
3.12. Régimen Transitorio	22
3.13. Software de Ingeniería MATLAB	22
4. METODOLOGÍA	22
4.1. ELABORACIÓN DE LA EXPRESIÓN MATEMÁTICA	24
4.2. Circuitos eléctricos equivalentes.....	25
4.3. Elaboración del modelado matemático	25
4.4. Ecuaciones en el dominio del tiempo	25
4.5. Elaboración del simulador.	27
4.6. Fuente senoidal.	27

4.7. Ganancia	28
4.8. Suma	28
4.9. Integrador	29
4.10.Osciloscopio	29
5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	30
6. PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTOS	43
6.1. Presupuesto	43
6.2. Análisis de impactos	45
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	46
7.1. CONCLUSIONES	46
7.2. RECOMENDACIONES	47
8. REFERENCIAS	48
ÍNDICE DE FIGURAS	

Figura 1: Partes básicas de motor asíncrono	¡Error! Marcador no definido. 4
Figura 2: Partes básicas de motor jaula de ardilla	14
Figura 3: Partes de motor de inducción – Estator	15
Figura 4: Partes de motor de inducción - Devanados de Estator. [4]	15
Figura 5: Partes de motor de inducción – Rotor. [7]	16
Figura 6: Partes de motor de inducción – Carcasa. [8]	16
Figura 7: Gráfica del motor en función de la corriente vs tiempo	19
Figura 8: Estructura y Diseño de un Motores que operan con corriente alterna (CA)	19
Figura 9: Representación Gráfica de la Curva característica con respecto a motores de AC [17]	21
Figura 10. Circuito Equivalente de una maquina asíncrona. (Manrique & Menjivar, 2018) ...	23
Figura 11: Circuito equivalente final de un motor asíncrono. (Manrique & Menjivar, 2018) .	23
Figura 12: Circuito equivalente de un motor de inducción en el dominio del tiempo.	24
Figura 13: Circuito equivalente de una máquina asíncrona.	25
Figura 14: Circuito equivalente sin Rex	25
Figura 15: Fuente senoidal	27
Figura 16: Configuración de fuente senoidal.	27
Figura 17: Ganancia.....	28

Figura 18: Configuración ganancia	28
Figura 19: operador	28
Figura 20: Configuración operador	28
Figura 21: Integrador	29
Figura 22: Configuración Integrador	29
Figura 23: Bloque Osciloscopio.	29
Figura 24: Bloque Osciloscopio.	30
Figura 25: Simulador	31
Figura 26: Simulador	31
Figura 27: Análisis Corriente de Arranque Directo sin carga Nm	32
Figura 28: Análisis Corriente de Arranque Directo 2hp a una carga 5 Nm	32
Figura 29: Análisis Corriente de Arranque Directo 3hp a una carga 5 Nm	33
Figura 30: Análisis Corriente de Arranque Directo 3hp a una carga 14 Nm	34
Figura 31: Análisis Corriente de Arranque Directo 7.5hp a una carga 15 Nm	34
Figura 32: Análisis Corriente de Arranque Y-D de 2hp	35
Figura 33: Análisis Corriente de Arranque Y-D de 3hp a una carga 3 Nm	36
Figura 34: Análisis Corriente de Arranque Y-D de 3hp a una carga 7 Nm	36
Figura 35: Análisis Corriente de Arranque Y-D de 7.5hp a una carga 7 Nm	37
Figura 36: Corriente de Línea Arranque Directo vs Arranque D-Y de 2hp sin Carga	38
Figura 37. Corriente de Línea Arranque Directo vs Arranque D-Y de 3hp sin carga	38
Figura 39: Gráfica Torque de Carga vs Velocidad del Rotor de 5hp con Carga de 4 Nm	40
Figura 40: Simulación en Multisim 14.2 motor de 3 hp asíncrono	41
Figura 41: Simulación en Multisim 14.2 motor de 3 hp asíncrono simulado	41
Figura 42: Diagrama de bloques de la corriente del rotor vs el estator y el torque	42
Figura 43: Onda sinusoidal de la corriente del rotor vs el estator	42
Figura 44: Onda sinusoidal de del torque	43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Diagrama de Ishikawa	9g
Tabla 2. Descripción de las actividades y tareas propuestas con los objetivos establecidos	9
Tabla 3. Componentes típicos de pérdidas para motores eléctricos	18
Tabla 4. Gastos directos.....	43
Tabla 5. Mano de obra	44
Tabla 6: Gasto en insumos	44

Tabla 7: Tabla de gastos varios	44
Tabla 8: Tabla de gastos indirectos	44

1.INFORMACIÓN BÁSICA PROPUESTO

POR:

Naranjo Zumba Henry Roberto Valdez

Miño Diego Alejandro

TEMA APROBADO:

“SIMULACIÓN DE LA EXPRESIÓN MATEMÁTICA DE UN MOTOR ASINCRÓNICO PARA LA VISUALIZACIÓN DE LAS MAGNITUDES ELÉCTRICAS Y FÍSICAS”

CARRERA:

Carrera de Ingeniería en Electromecánica

DIRECTOR DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA:

MgC. Ing. Edwin Homero Moreano Martínez

EQUIPO DE TRABAJO:

Naranjo Zumba Henry Roberto

Valdez Miño Diego Alejandro

MgC. Ing. Edwin Homero Moreano Martínez

LUGAR DE EJECUCIÓN:

Universidad Técnica de Cotopaxi

TIEMPO DE DURACIÓN DEL PROYECTO:

Inicio noviembre 2020 – finalización marzo 2021

FECHA DE ENTREGA:

Marzo 2021

LÍNEAS Y SUBLÍNEAS DE INVESTIGACIÓN A LAS QUE SE ASOCIA EL PROYECTO:

De acuerdo a lo establecido por el departamento de investigación de la Universidad Técnica de Cotopaxi, la propuesta tecnológica se enfoca en la línea 4: Procesos Industriales, y en la sub línea 2 de la carrera de Ingeniería Electromecánica referente a: Automatización, control y protecciones de sistemas electromecánicos.

TIPO DE PROPUESTA TECNOLÓGICA:

Se propone encontrar la expresión matemática de un motor de las magnitudes de corriente voltaje velocidad y torque, simular su comportamiento bajo diversas condiciones y mediante una interface hombre maquina poder visualizar el comportamiento de las curvas características.

2. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

2.1. TÍTULO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

“SIMULACIÓN DE LA EXPRESIÓN MATEMÁTICA DE UN MOTOR ASINCRÓNICO PARA LA VISUALIZACIÓN DE LAS MAGNITUDES ELÉCTRICAS Y FÍSICAS”

2.2. TIPO DE PROPUESTA ALCANCE

Multipropósitos: este sistema permitirá al estudiante visualizar de una forma clara el comportamiento de las magnitudes como: corriente, voltaje en la etapa de arranque de un motor asincrónicos. Una vez que el estudiante visualice el comportamiento de estas variables tanto en la etapa de arranque como en la de funcionamiento continuo permitirá seleccionar de mejor manera los motores y sus respectivas protecciones eléctricas para todo tipo de aplicación.

Interdisciplinar: este proyecto permitirá relacionar magnitudes como: voltaje, corriente, velocidad y torque para su respectivo análisis de funcionamiento en diferentes aplicaciones.

2.3. ÁREA DEL CONOCIMIENTO

Nomenclatura internacional de UNESCO para los campos de Ciencia y Tecnología. [1]

Campo Amplio.

330000 ciencias de la tecnología.

Campo específico.

3311. Tecnología de la Instrumentación.

Campo Detallado.

3311. 05 Equipos eléctricos de Control.

3311.08 Equipos de Laboratorio.

3311.17 equipo de Verificación.

2.4. SINOPSIS DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

Hoy en día se puede decir que los motores asíncronos abarcan hasta un ochenta por ciento del área industrial trabajando a distintas condiciones como frecuencia fija o variable y tensión de alimentación fija según Miguel Ángel Rodríguez Pozueta Universidad de Cantabria (España) Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética, de tal manera que toda máquina industrial requiere de un motor ya sea de funcionamiento síncrono o asíncrono, por ejemplo, en la industria podremos encontrar maquinas como molinos, extrusores, batidoras, trituradoras, etc y cada una de estas requiere de un motor con distintas características. Entonces, es de vital importancia que la Universidad Técnica de Cotopaxi disponga de un simulador de la expresión matemática de un motor asíncrono para visualizar las magnitudes como: corriente, voltaje, velocidad y torque, ya que permite al estudiante comprender el comportamiento de las mismas.

Actualmente los laboratorios de la Universidad Técnica de Cotopaxi no disponen de instrumentos que permitan la simulación de la expresión matemática de un motor asincrónico para la visualización de las magnitudes eléctricas y físicas permitiendo comparar los cálculos respectivos de las mismas.

2.5. OBJETO DE ESTUDIO Y CAMPO DE ACCIÓN

2.5.1. Objeto de estudio

Simulación de la expresión matemática de un motor asíncrono.

2.5.2. Campo de acción

Visualización grafica del voltaje, corriente, velocidad y torque.

BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

2.4.1. Beneficiarios directos:

Los postulantes Naranjo Zumba Henry Roberto, Valdez Miño Diego Alejandro.

2.4.2. Beneficiarios indirectos:

Estudiantes de la carrera de Ingeniería Electromecánica (máquinas eléctricas instrumentación).

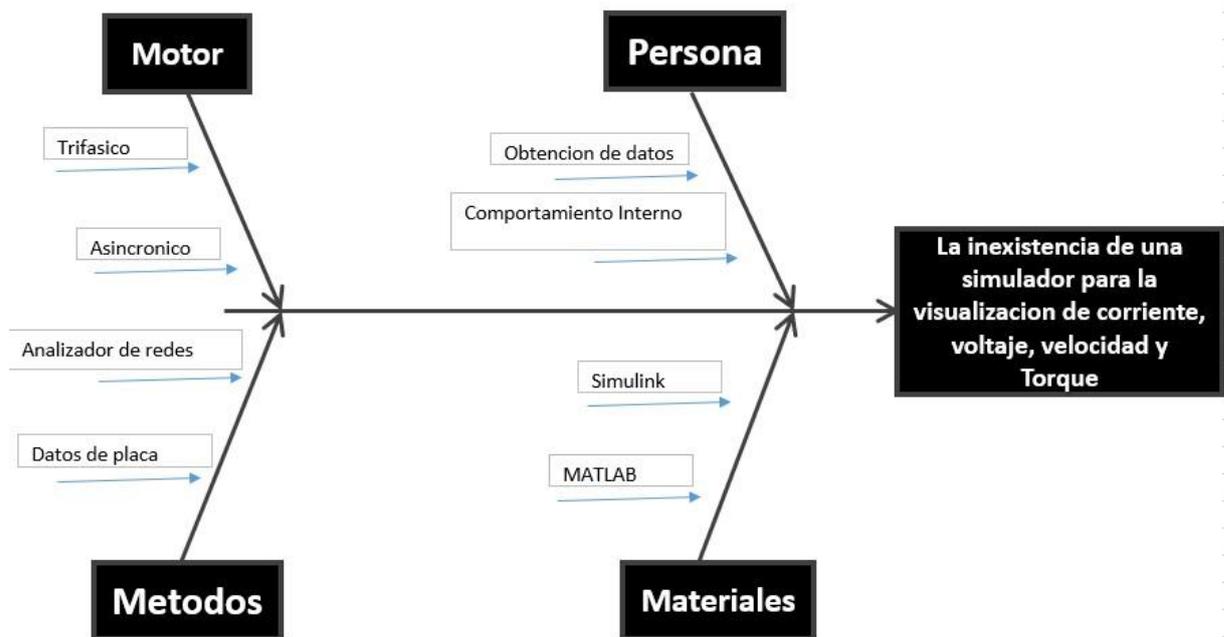
SITUACIÓN PROBLEMÁTICA Y PROBLEMA

2.6.1. Situación problemática

Debido al avance tecnológico es necesario que los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi cuenten con las herramientas y software de simulación que permitan entender el comportamiento de un motor asíncrono mediante la visualización de la corriente, voltaje, velocidad y torque, uno de los problemas en el laboratorio es la inexistencia de estos insumos para poder comparar entre lo calculado y lo simulado del diagrama eléctrico del motor.

Hay que tener en cuenta que una de las partes más importante de las prácticas de laboratorio es el análisis de datos y por lo general este análisis se lo debe realizar fuera del laboratorio, forzando al estudiante a complementar esta tarea en su hogar, pero con el inconveniente de no tener a su disposición los equipos de laboratorio en el caso que se requiera realizar más pruebas de funcionamiento. Entonces es muy importante que los estudiantes cuenten con un modelo matemático y un simulador de motores asíncronos para reforzar todo su aprendizaje.

Tabla 1. Modelo de Ishikawa



2.6.2. Problema

La inexistencia de un simulador para la visualización de corriente, voltaje, velocidad y torque de motores asincrónicos, a través de un modelo matemático mediante el software Matlab, en el laboratorio de la Carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, generando inconvenientes para el análisis de datos por parte de los estudiantes.

2.7 HIPÓTESIS O FORMULACIÓN DE PREGUNTAS DIRECTAS

Con la simulación de la expresión matemática de un motor asincrónico permitirá la visualización de la corriente, voltaje, velocidad y el torque mediante el software Matlab en el laboratorio de la Carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

2.8. OBJETIVOS

2.8.1. Objetivo general

Simular las expresiones matemáticas de un motor asincrónico para la visualización del voltaje, corriente, velocidad y torque mediante el software Matlab, para el laboratorio de la Carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

2.8.2. Objetivo específico

- Determinar la expresión matemática de una máquina eléctrica asincrónica a partir del circuito equivalente.
- Desarrollar una interface gráfica que permitan analizar el comportamiento de la corriente, voltaje, velocidad y torque de un motor.
- Visualizar las gráficas de corriente, voltaje, velocidad y torque obtenidos mediante Matlab para validar los resultados implementado la expresión matemática.

2.9. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES Y TAREAS PROPUESTAS CON LOS OBJETIVOS ESTABLECIDOS

Tabla 2. Descripción de las actividades y tareas propuestas con los objetivos establecidos

OBJETIVOS	ACTIVIDAD	RESULTADO DE LA ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD
------------------	------------------	----------------------------------	------------------------------------

<p>Encontrar la expresión matemática de una maquina eléctrica asincrónica a partir del circuito equivalente.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Recopilación la información necesaria para entender el funcionamiento de motores de inducción. Análisis de un circuito eléctrico equivalente para el motor de inducción. Aplicación de la teoría de mallas y obtención de las ecuaciones correspondiente del motor. 	<ul style="list-style-type: none"> Obtención de una expresión matemática que describe el comportamiento de un motor asíncrono Obtención de cada uno de los parámetros para la aplicación de las ecuaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> Analizar mediante las leyes de Kirchhoff el circuito equivalente.
<p>Desarrollar una interface gráfica que permitan analizar las magnitudes eléctricas y físicas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Conversión de las ecuaciones en el dominio del tiempo y frecuencia a diagrama de bloques para simular en Matlab. Simulación de las ecuaciones y representaciones gráficas. 	<ul style="list-style-type: none"> Programación de la expresión matemática para graficar las magnitudes físicas y eléctricas. Elaboración del circuito para la programación realizada en Matlab 	<ul style="list-style-type: none"> Implementar una simulación con carga para visualizar el comportamiento físico

	<ul style="list-style-type: none"> • Comparación de los resultados con un parámetro o real de un motor 	<ul style="list-style-type: none"> • Visualización de la simulación de la expresión matemática 	
Desarrollar aplicaciones de arranques para observar el comportamiento de las magnitudes físicas y eléctricas.	<ul style="list-style-type: none"> • Los tipos de arranque aplicables a los motores trifásicos • Selección de un caso de aplicación para un motor • Comparación de las respuestas de las magnitudes 	<ul style="list-style-type: none"> • Determinación de los parámetros para aplicar en el arranque directo y estrella triángulo 	<ul style="list-style-type: none"> • Comparación de las magnitudes eléctricas y físicas en arranques directos y estrella triángulo

2.10 Antecedentes

La tecnología en la actualidad es muy de vital importancia y por ende como estudiantes es necesario tener todos los recursos actualizados para un mejor desempeño en las diversas circunstancias del entorno de trabajo por ello se ha visto en la necesidad de desarrollar diversas herramientas que faciliten el desempeño de su labor de una manera eficiente, en su primera etapa, el ser humano empezaron a fabricar herramientas rústicas de diversos materiales, hasta la llegada del hierro, elemento con el cual se realizaron herramientas con mayor precisión, finalmente en las últimas décadas se incorpora el uso de máquinas y la tecnología direccionada la mayoría de ellas tiene como parte un motor, es necesario tener conocimiento de los diferentes software de simulación los cuales nos ayudan a entender diferentes entornos sin tener que realizar las prácticas, de esta manera se tiene mejor eficiencia al momento de realizar los

trabajos industriales, al manipular los diferentes materiales gracias a los sistemas de control autónomos que cada vez son más comunes en el mundo, tal es el caso de la tesis realizada por los estudiantes de la UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE GUAYAQUIL CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA con el tema “MODELADO MATEMÁTICO DE UNA MÁQUINA ASÍNCRONA EN ESTADO DINÁMICO Y SIMULACIÓN EN MATLAB” el modelado matemático de una máquina de inducción asíncrona trabajando como motor, mediante el uso del software matemático Matlab® y Simulink. [2] de igual manera Instituto de Ciencias Físicas, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Campus Gustavo Km 30.5 Vía Perimetral, Apartado 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador Con el tema MODELO MATEMÁTICO DE UN MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA SEPARADAMENTE EXCITADO: CONTROL DE VELOCIDAD POR CORRIENTE DE ARMADURA que son temas que nos ayudan a entender el funcionamiento gracias a la visualización al emplear el software, de esta manera podemos tener guía para emprender el proyecto en con el cual podremos observar la velocidad el torque la corriente y el voltaje del motor desde la pantalla de nuestro ordenador. [3]

3. MARCO TEÓRICO

Según WILDI Theodore, Máquinas Eléctricas y Sistemas de Potencia (2007) Pag.71 Manifiesta que “motor asíncrono, motor asincrónico o motor de inducción, así pues, cualquier generador CD puede operar como motor y viceversa [4]. Debido a su construcción similar, las propiedades fundamentales de generadores y motores son idénticas”. Según García José, Electrotecnia (2009) Pág. 171 Sostiene que una máquina eléctrica es el mecanismo destinado a producir, aprovechar o transformar la energía eléctrica” [5]. “Según el criterio de los investigadores se puede decir que una máquina eléctrica es un dispositivo que transforma energía eléctrica en energía mecánica o viceversa, debido a la similitud en su construcción y operación. [4]

3.1. Motor eléctrico

Los motores eléctricos son máquinas eléctricas rotatorias que transforman una energía eléctrica en energía mecánica de rotación en un eje, tienen múltiples ventajas, entre las que cabe citar su

economía, limpieza, comodidad y seguridad de funcionamiento, el motor eléctrico a reemplazado en gran parte a otras fuentes de energía, tanto en la industria como en el transporte, las minas, el comercio, o el hogar. [6]

Su funcionamiento se basa en las fuerzas de atracción y repulsión establecidas entre un imán y un hilo (bobina) por donde hacemos circular una corriente eléctrica de esa manera solo sería necesario una bobina (espiras con un principio y un final) un imán y una pila (para hacer pasar la corriente eléctrica por las espiras) para construir un motor eléctrico. Recuerda también se pueden llamar "motor electromagnético" [7].

Todo empezó gracias al científico Hans Christian Oersted que comprobó, al colocar una espira (cable enrollado) alrededor de una brújula, si hacía pasar una corriente por la espira, la aguja de la brújula, que está unida a un imán giratorio, se movía. Lo que hacía la espira con corriente eléctrica era mover el imán de la brújula que estaba dentro de la espira [7].

Para un desarrollo bastante concreto bajo normativas requerimos a la apreciación de la Norma Técnica ecuatoriana (TEC) la cual está dividida y diversificada en aspectos que caracterizan a los motores eléctricos como maquinas rotativas que transforman la energía eléctrica en mecánica [8].



Figura 1: Partes básicas de motor asíncrono

Fuente: [26]

3.2. Aspecto de construcción de la máquina asíncrona

El motor asíncrono, motor asincrónico o motor de inducción es un motor eléctrico de corriente alterna, en el cual su rotor gira a una velocidad diferente a la del campo magnético del estator. [9]

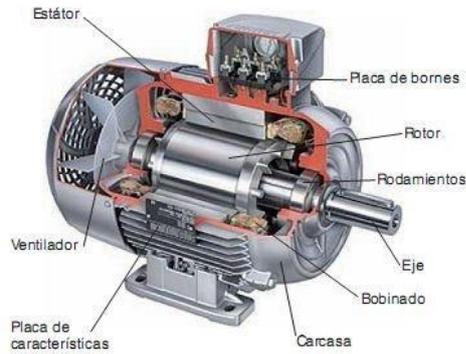


Figura 2: Partes básicas de motor jaula de ardilla

Fuente: [26]

3.3. Estator

El estator al igual que el rotor, es equivalente a un circuito electromagnético, el cual hace el papel de electroimán, este es el componente del motor que se mantiene estacionaria el estator posee un núcleo formado por cientos de chapas delgadas aisladas entre sí. [7]

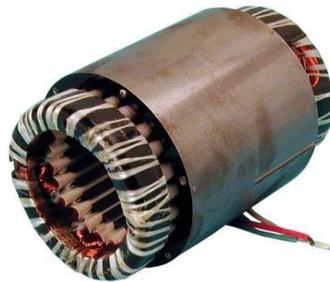


Figura 3: Partes de motor de inducción – Estator

Fuente: [27]

3.4. Devanado del Estator

El estator está formado por la unión de chapas de las que forman un cilindro hueco. En una de las ranuras de su núcleo se colocan bobinas de un tipo de alambre galvanizado aislado, así formando un electroimán, los devanados del estator se conectan con la fuente de alimentación directamente. [7]



Figura 4: Partes de motor de inducción - Devanados de Estator. [7]

Fuente: [10]

3.5. Rotor

3.5.1. Núcleo del rotor

El núcleo del rotor del motor de estudio, es del tipo jaula de ardilla, donde se forman por barras de baja resistencia, instaladas en el interior de las ranuras del rotor con sus polos opuestos cortocircuitadas mediante dos anillos. [7]

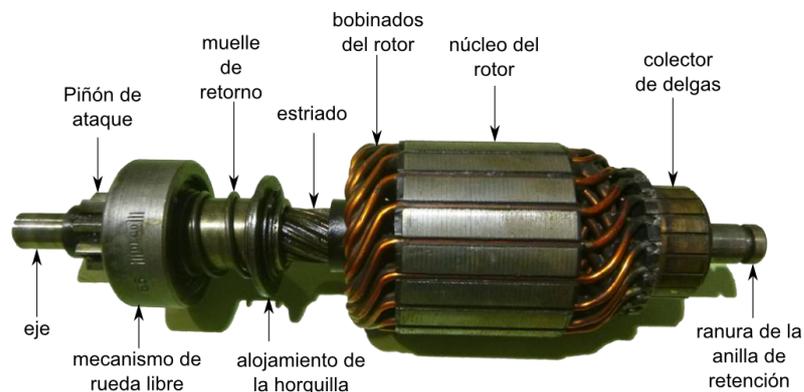


Figura 5: Partes de motor de inducción – Rotor. [11]

3.5.2. Carcasa

La carcasa consta de dos tapas en los alojamientos de los cojinetes. Dentro de esta se ubica el rotor manteniendo una pequeña separación llamada entrehierro, la cual separa el rotor del estator evitando que exista conexión física entre estator y rotor.



Figura 6: Partes de motor de inducción – Carcasa. [12]

3.6. Métodos normalmente tradicionales de prueba de motores

El método tradicional para medir el rendimiento y la eficiencia de los motores eléctricos está bien definido, pero la configuración del proceso puede resultar costosa y difícil de aplicar en los procesos de trabajo. De hecho, en muchos casos, las inspecciones de rendimiento del motor requieren incluso la paralización completa del sistema, lo cual puede ocasionar un costoso tiempo de inactividad. Para medir la eficiencia del motor eléctrico [13], se debe determinar tanto la potencia eléctrica de entrada como la potencia mecánica de salida en un amplio rango de condiciones dinámicas de funcionamiento. El método tradicional de medición de rendimiento del motor primero requiere que los técnicos instalen el motor en un banco de pruebas. El banco de pruebas consiste en el motor puesto a prueba montado en un generador o un dinamómetro. A continuación, el motor a prueba se conecta a la carga mediante un eje [14]. El eje tiene conectado un sensor de velocidad (tacómetro) y un conjunto de sensores de torsión que proporcionan datos que permiten que se calcule la potencia mecánica. Este sistema proporciona datos, como la velocidad, la torsión y la potencia mecánica. Algunos sistemas también incluyen la capacidad de medición de la potencia eléctrica, para permitir el cálculo de la eficiencia [15].

3.7. Eficiencia y confiabilidad de Motores Eléctricos

Los motores eléctricos son el componente clave en muchos procesos industriales y pueden representar hasta un 80% del total de la energía consumida en una planta industrial y hasta un 46 % de toda la electricidad generada en el mundo. Debido a que constituyen un componente fundamental para los procesos industriales, el costo del tiempo de inactividad asociado a los motores fallidos puede ser de decenas de miles de dólares por hora. Asegurar que los motores sean eficientes y funcionen de manera confiable es una de las tareas más importantes a la que los técnicos e ingenieros de mantenimiento se enfrentan cada día [15].

El uso eficiente de la electricidad es más que algo meramente “deseable”. En diversas circunstancias, la eficiencia energética puede significar la diferencia entre rentabilidad y pérdidas financieras. Y, ya que los motores consumen una porción tan significativa de la energía en la industria, se han convertido en el principal objetivo para la generación de ahorro y la mantención de la rentabilidad [15].

La norma IEC 60034-30 define las nuevas clases de eficiencia para 50 y 60 Hz y estipula, en todo el mundo, qué motores están contemplados y qué excepciones se aplican. La directiva EuP se basa esencialmente en puntos de esta norma. En la norma IEC60034-30 se han definido nuevas clases de eficiencia (o rendimiento) para los motores de inducción (IE=International efficiency) [16]

Tabla 3. Componentes típicos de pérdidas para motores eléctricos

Tipo de pérdida	Típico % de Perdidas Motores de 4 Polos	Factores afectando estas pérdidas
Perdidas de bobinados en el estator	35 a 40	Tamaño y material del conductor del estator
Perdidas en el Rotor	15 a 20	Tamaño y material del conductor de rotor
Perdidas de núcleo en el estator	15 a 20	Tipo y cantidad de material magnético
Paridas de cargas parasitas	10 a 15	Manufactura primaria y métodos de diseño
Ficción y wimdage	5 a 10	Selección / diseño de ventiladores y cojinetes

Fuente: [17]

3.8. Clasificación de Motores eléctricos

Aspectos constructivos de la máquina asíncrona

El motor de inducción tipo jaula de ardilla está compuesto por tres principales partes, las cuales son: el rotor, el estator y la carcasa. [17]

3.8.1. Motores de corriente alterna Asíncronos

De acuerdo a su estructura, tiene un diseño más simple que funcionan a velocidades fijas, siendo ideales para operaciones de bajas velocidades, asimismo, son utilizadas en la mayoría de los equipos industriales, por ello, en caso de que tu aplicación exija el máximo rendimiento, los motores alternos serán una buena elección [18].

Los motores con corriente continua se usan en aplicaciones en las que la velocidad del motor debe ser controlada externamente, mientras que el motor de corriente alterna se usan en aquellos dedicados a proporcionar una gran potencia durante periodos de tiempo largos.

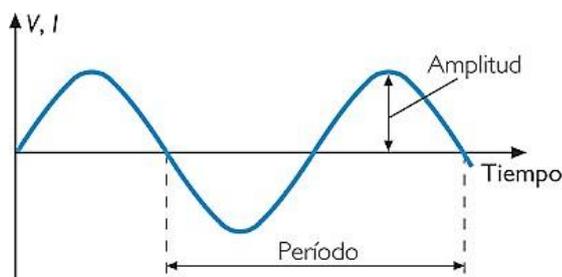


Figura 7: Gráfica del motor en función de la corriente vs tiempo

La corriente alterna más comúnmente utilizada, cambia sus valores instantáneos de acuerdo con la función trigonométrica del seno de ahí su denominación de corriente alterna sinusoidal. [19]

Tipos de motores de corriente alterna:

Depende de la forma como gire el rotor se puede ver los diferentes tipos de motores síncronos y asíncronos.

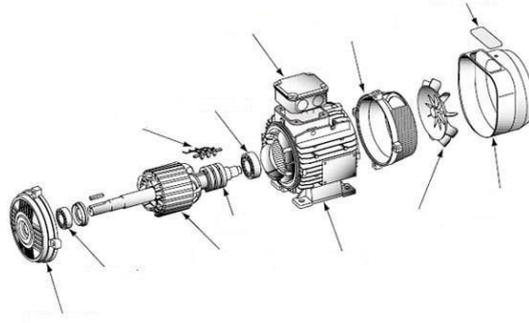


Figura 8: Estructura y Diseño de un Motores que operan con corriente alterna (CA)

Fuente: [20]

3.8.2. Asíncronos

Los asíncronos son motores de corriente alterna (AC) en los que la corriente eléctrica se provoca por inducción electromagnética del campo magnético de la bobina del estator con el fin de producir la torsión del rotor. Por tanto, no necesitan una conmutación mecánica como en el caso de los motores síncronos, se componen, básicamente, del rotor, que puede ser de jaula de ardilla o bobinado, y de un estator, donde se alojan las bobinas inductoras, que son trifásicas y están desfasadas entre sí 120 grados. [21]

3.9. Motores asíncronos

Un motor asíncrono, que es menos utilizado que su homólogo trifásico, puede desempeñar un papel nada despreciable en las aplicaciones de una baja potencia, a igualdad de potencia, es más voluminoso que el motor trifásico. Por otra parte, tanto su rendimiento el coseno ϕ son mucho más débiles que en el caso del motor trifásico se varían considerablemente en función de la potencia y del fabricante.

3.9.1. Composición

Un motor asíncrono, al igual que el trifásico, consta de dos partes que pueden ser el estator incluye un número par de polos, sus bobinados están conectados a la red de alimentación el rotor en la mayoría de los casos es de jaula.

3.9.2. Principio de funcionamiento

Considerar un estator que incluye dos devanados, L1 y N, conectado a la red de alimentación la corriente alterna, engendra un campo alterno simple en el rotor H que es la superposición de dos campos giratorios, H1 y H2, que de igual valor y de sentido opuesto. En el momento de la parada, puede ser dado que el estator está siendo alimentado y los campos presentan el mismo

deslizamiento con respecto al rotor , por tanto, producen dos pares iguales y opuestos el motor no puede arrancar un impulso mecánico en el que sobre el rotor causa la desigualdad de los deslizamientos, uno de los pares disminuye mientras que el otro aumenta el par resultante provoca el arranque del motor en el sentido en el que ha sido lanzado principio de funcionamiento de un motor asíncrono.

3.10. Magnitudes de salida

La magnitud eléctrica requiere añadir una nueva unidad fundamental a la física: la de carga eléctrica. Esta unidad, que no puede derivarse de las unidades de la mecánica, fue originalmente denominada Coulomb (término castellanizado a culombio, cuyo símbolo es C) en honor a Charles-Augustin de Coulomb, primero que midió directamente la fuerza entre cargas eléctricas. Debido a la gran dificultad de medir directamente las cargas eléctricas con precisión, se ha tomado como unidad básica la unidad de corriente eléctrica, que en el Sistema Internacional de Unidades es el amperio. La unidad de carga resulta entonces una unidad derivada, que se define como la cantidad de carga eléctrica que fluye durante 1 segundo a través de la sección de un conductor que transporta una intensidad constante de corriente eléctrica de 1 amperio, Corriente de Línea Velocidad, Torque, Eficiencia en función de las magnitudes.

3.11. Curvas características de los motores eléctricos AC.

Al igual que en muchas otras máquinas, el comportamiento del motor eléctrico puede ser especificado por medio de sus curvas características. Una correcta interpretación de estas curvas para un determinado motor puede brindar abundante información acerca de su comportamiento en distintas condiciones de funcionamiento. Las curvas más importantes para los motores de inducción son:

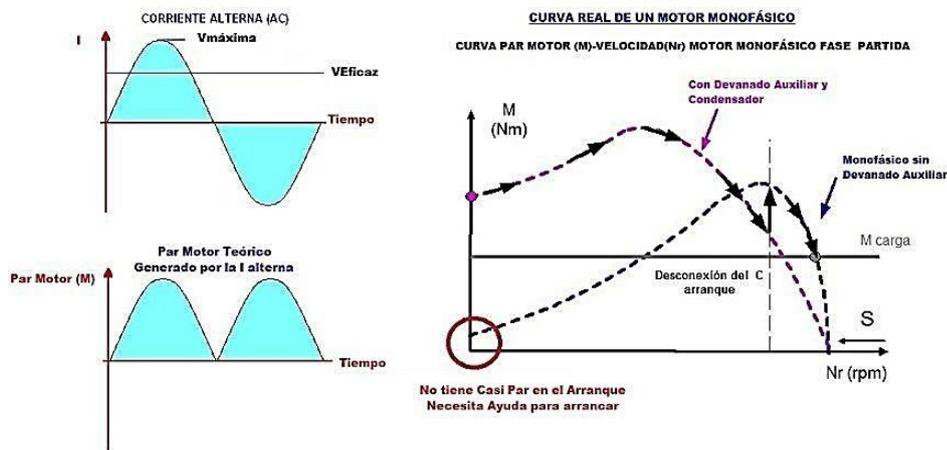


Figura 9: Representación Gráfica de la Curva característica con respecto a motores de AC [22]

Para determinar los diversos factores que nos proporciona un motor eléctrico al momento de arrancar tenemos en cuenta la norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN IEC-60034-12 la cual está destinada directamente a estandarizar las magnitudes de salida en una máquina rotativa que genera corriente eléctrica.

Esta norma establece los parámetros de desempeño de arranque para ocho diseños de motores trifásicos de inducción jaula de ardilla de una sola velocidad, de 50 Hz o 60 Hz, de acuerdo con la NTC 2805 (IEC 60034-1) que:

- Tengan una tensión nominal hasta de 1 000 V;
- Estén destinados para arranque directo o estrella-triángulo;
- Estén dimensionados para servicio Tipo S1;
- Estén contruidos con cualquier grado de protección y protección contra explosiones.

Esta norma también se aplica a los motores de doble tensión siempre y cuando el nivel de flujo de saturación sea el mismo para ambas tensiones. Los valores de par, potencia aparente y corriente dados en este documento son valores límite (es decir, mínimo o máximo sin tolerancia

3.12. Régimen Transitorio

Cuando se produce un cambio en las magnitudes de un circuito, tensión o corriente, decimos que el circuito está en régimen transitorio. Al cambiar las condiciones de un elemento de un circuito se pierde el régimen permanente, y tras sucederse los cambios de tensión/ corriente se vuelve de nuevo al equilibrio en otro régimen permanente. Al intervalo entre los dos regímenes permanentes se le denomina régimen transitorio.

3.13. Software de Ingeniería MATLAB

MATLAB ofrece análisis y rutinas matemáticas que trabajan en conjunto de formas nativas con funciones de adquisición de datos y capacidades de despliegue, de forma que pueden ser construida de manera fácil dentro de cualquier aplicación, MATLAB ofrece rutinas de análisis para ejecución de punto por punto; estas rutinas están diseñadas específicamente para cumplir las necesidades de análisis en línea en aplicaciones de tiempo real.

4. METODOLOGÍA

En este apartado se especifica la manera en la que se desarrollan cada uno de los pasos para llevar a cabo el proceso de simulación de la expresión matemática de un motor asíncrono para

la visualización de las magnitudes eléctricas se toman en cuenta factores fundamentales como los datos de placa del motor para poder ingresar el programa diseñado.

Para la simulación se determinará expresión matemática de un motor de inducción asíncrono. Se obtiene el circuito equivalente para una máquina de inducción asíncrona como se muestra en la Figura 10.

Mediante la Investigación bibliográfica, compilamos la información necesaria, de libros y artículos científicos para determinar cada uno de los parámetros necesarios para nuestro diseño conceptual, donde se utilizó el programa Matlab y Simulink para la simulación del circuito.

Con el método científico permitió realizar la programación para observar los valores de corriente voltaje torque y velocidad, debido a la inexistencia del software en la universidad Técnica de Cotopaxi, conjuntamente con el método inductivo controlamos las variables en el software para una mejor apreciación.

Con el cálculo permitió la obtención de los valores de corriente, voltaje, velocidad y torque adecuados simultáneamente, complementando con la simulación en la cual me permite validar el diseño conceptual de esta manera con un circuito Thévenin.

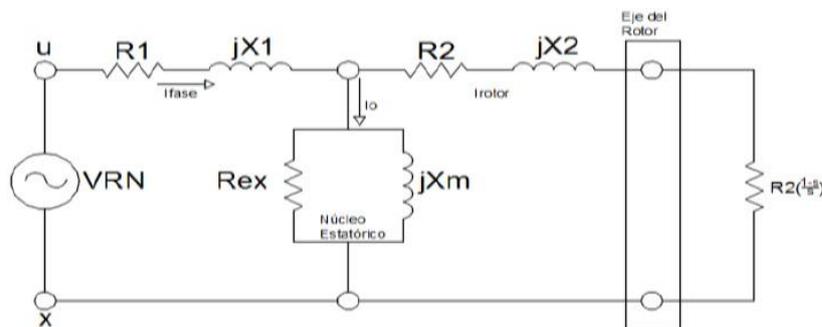


Figura 10. Circuito Equivalente de una maquina asíncrona. (Manrique & Menjivar, 2018)

Fuente: [6]

En este circuito equivalente se puede despreciar la resistencia R_{ex} porque la reactancia jX_m es mucho mayor y por estar conectadas en paralelo se puede despreciar sin afectar el circuito, también se pueden eliminar las resistencias R_2 de la siguiente manera:

$$R_2 + jX_2 + R_2(s) \quad (1)$$

$$R_2 \quad R_2 * s$$

$$R_2 + jX_2 + \frac{R_2}{s} - \frac{R_2}{s}$$

$$R_2 + jX_2 + \frac{R_2}{s} - R_2$$

$$\frac{R_2}{s} + jX_2$$

Dando como resultado el circuito equivalente total mostrado en la Figura (20).

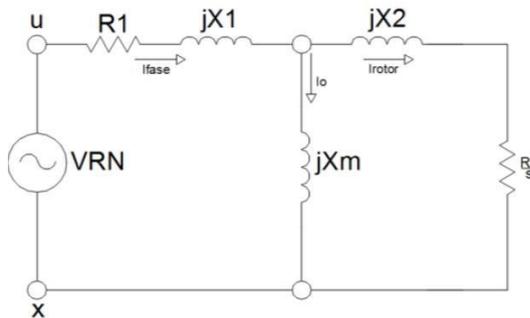


Figura 11: Circuito equivalente final de un motor asíncrono. (Manrique & Menjivar, 2018)

Fuente: [6]

Donde:

R_1 : Resistencia de estator.

jX_1 : Inductancia de Estator.

jX_m : Inductancia de Magnetización.

jX_2 : Inductancia de Rotor.

R_2 : Resistencia de Rotor.

S : Deslizamiento.

4.1. ELABORACIÓN DE LA EXPRESIÓN MATEMÁTICA

Para encontrar una expresión matemática que pueda describir el comportamiento de la corriente en un motor de inducción se debe tomar como base el circuito equivalente de la Figura (21).

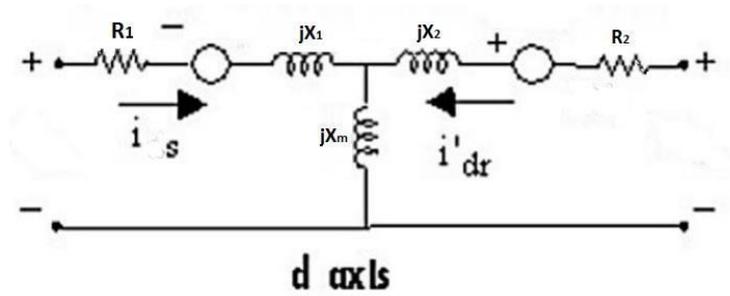


Figura 12: Circuito equivalente de un motor de inducción en el dominio del tiempo.

Aplicando la ley de voltajes de Kirchhoff a cada una de las mallas se obtienen las siguientes ecuaciones. [23]

$$V_1(t) = R_1 * i_1(t) + L_1 * \frac{d}{dt} i_1(t) + L_m * \frac{d}{dt} i_1(t) - L_m * \frac{d}{dt} i_2(t) \quad (2)$$

$$0 = \frac{R_2}{s} * i_2(t) + L_2 * \frac{d}{dt} i_2(t) + \frac{d}{dt} L_m * i_2(t) - L_m * \frac{d}{dt} i_1(t) \quad (3)$$

$$(4) \quad \frac{di_1(t)}{dt} = \frac{v_1(t) - R_1 i_1(t) + L_m \frac{di_2(t)}{dt}}{L_1 + L_m}$$

$$\frac{di_2(t)}{dt} = \frac{L_m \frac{di_1(t)}{dt} - \frac{R_2(t)}{s} i_2(t)}{L_2 + L_m} \quad (5)$$

4.2. Circuitos eléctricos equivalentes

En la Figura (13), se observan que, en el circuito equivalente real de una máquina de inducción asíncrona, el cual se analizará.

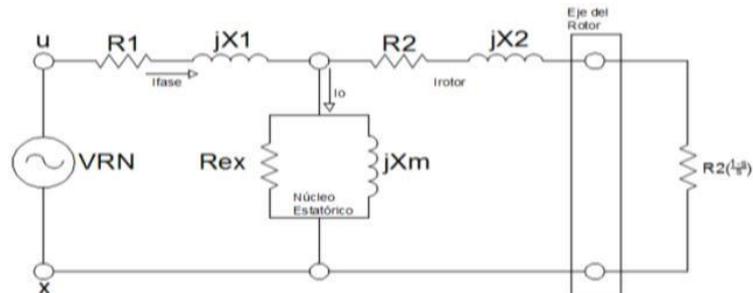


Figura 13: Circuito equivalente de una máquina asíncrona.

Fuente: [6]

La resistencia de excitación del núcleo estático se nota que es mucho mayor a la reactancia de magnetización donde al estar conectadas en paralelo, se puede despreciar R_{ex} , obteniendo el siguiente circuito equivalente.

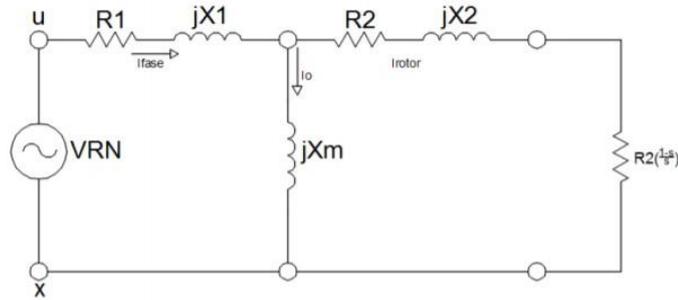


Figura 14: Circuito equivalente sin R_{ex} .

Fuente: [6]

4.3. Elaboración del modelado matemático

El modelamiento matemático donde se emplearán dos ecuaciones diferenciales, en el dominio del tiempo y en el dominio de la frecuencia se encuentran ambas.

4.4. Ecuaciones en el dominio del tiempo

La realización del modelado matemático en las corrientes del motor, se debe tomar como base el circuito eléctrico equivalente de la Figura (14) donde se aplica la ley de voltajes de Kirchhoff a cada una de las mallas.

$$V = R1 * i1(t) + L1 * \frac{di1(t)}{dt} + Lm * \frac{di1(t)}{dt} - Lm * \frac{di2(t)}{dt} \quad (2)$$

$$0 = R2 * i2(t) + L2 * \frac{di2(t)}{dt} + Lm * \frac{di2(t)}{dt} - Lm * \frac{di1(t)}{dt} \quad (3)$$

Para convertir el sistema de ecuaciones en diagrama de bloques, se procede a ordenar ambas ecuaciones de tal manera que las variables de corrientes sean los términos independientes.

$$\frac{di1(t)}{dt} = \frac{V1(t) - R1 * i1(t) + Lm * \frac{di2(t)}{dt}}{L1 + Lm} \quad (4)$$

$$\frac{di2(t)}{dt} = Lm * \frac{\frac{di1(t)}{dt} - R2 * i2(t)}{L2 + Lm} \quad (5)$$

$$dt \quad L1+Lm$$

Ecuaciones en el dominio de la frecuencia. A partir de las ecuaciones en el dominio del tiempo (4) y (5) que se obtuvo de la Figura (14), se aplicará la transformada de Laplace para no tener inconvenientes debido a las diferentes frecuencias entre el estator y el rotor, obteniendo las siguientes ecuaciones:

$$[V1(t)] = R1 * L[i1(t)] + L1 * L \left[\frac{di1(t)}{dt} \right] + Lm * L \left[\frac{di1(t)}{dt} \right] - Lm * L \left[\frac{di2(t)}{dt} \right] \quad (6)$$

$$0 = \frac{R2}{s} * L[i2(t)] + L2 * L \left[\frac{di2(t)}{dt} \right] + Lm * L \left[\frac{di2(t)}{dt} \right] - Lm * L \left[\frac{di1(t)}{dt} \right] \quad (7)$$

Se obtienen las siguientes ecuaciones en el dominio de la frecuencia:

$$V1(S) = I1(S) * (R1 + S * L1 + S * Lm) - I2(S) * S * Lm \quad (8)$$

$$0 = I2(S) * \left(\frac{R2}{s} + S * L2 + S \right) * Lm - I1(S) * S * Lm \quad (9)$$

La ecuación (8) se deja en términos de I2(S) y se la sustituye en la ecuación (9), para obtener la ecuación de la corriente I2:

$$I2(S) = \frac{V1(S)}{\frac{R2 * R1 + S * R2 * L1 + S * R2 * Lm}{Lm * S} + \frac{L2 * R1 + S * L2 * L1 + S * L2 * Lm + R1 + S * L1 + S * Lm - S * Lm}{LM}} \quad (10)$$

Para resolver el dominio del tiempo y que se pueda graficar se aplica una transformada de Laplace inversa, la cual se obtiene la siguiente ecuación:

$$i2(t) = \frac{V1(t)}{\frac{R2 * R1 + R2 * L1}{s * Lm} + \frac{R2}{s} + \frac{L2}{Lm} + R1_{2 * R1}} \quad (11)$$

4.5. Elaboración del simulador.

Para la elaboración del simulador del modelado matemático, se utiliza bloques de funciones de la biblioteca de Simulink para crear un diagrama de bloques que representarán a las ecuaciones diferenciales (4) y (5), que rigen el comportamiento eléctrico de la máquina de inducción asíncrona. Las variables consideradas en las dos ecuaciones diferenciales, ecuación (4) y ecuación (10), son: voltaje de entrada, frecuencia del sistema, corriente del estator, corriente del rotor y deslizamiento, el cual al momento del arranque tiene su valor máximo 1, el cual implica que el rotor no está girando. Con el simulador se podrá controlar y supervisar cada

variable considerada, para así poder comprender y analizar su efecto en el comportamiento del motor de inducción asíncrono.

4.6. Fuente senoidal.

La fuente senoidal, genera una señal senoidal, que hará de fuente de voltaje para poder alimentar al motor, el cual se puede configurar de la siguiente manera, donde V_p que es la variable de voltaje pico para el usuario, la cual mostrará la amplitud de la onda y w_1 una de las frecuencias del sistema en radianes.



Figura 15: Fuente senoidal

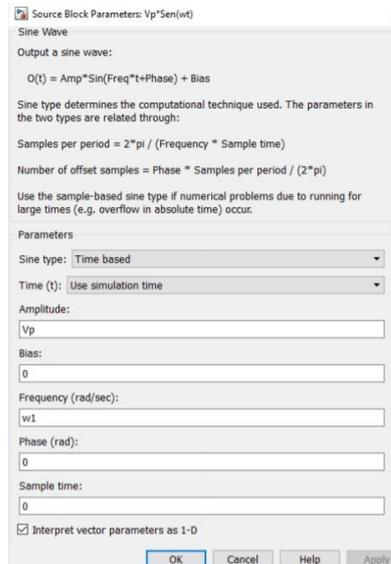


Figura 16: Configuración de fuente senoidal.

4.7. Ganancia

Este bloque simula una constante dada por el usuario [2]. El modelado se la usa para incluir factores como Resistencia o Reactancia que no varían en el tiempo. La configuración consiste únicamente cuando se indica el valor de las constantes ingresadas, en el caso mostrado de la Figura (17), será un cociente de 1 entre las Inductancias del estator más las Inductancias mutuas.



Figura 17: Ganancia.

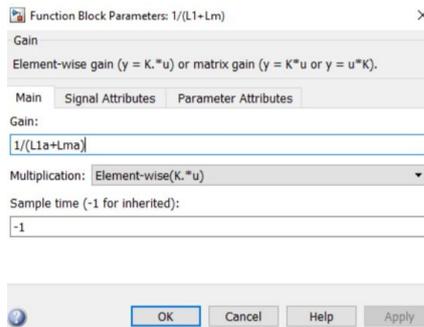


Figura 18: Configuración ganancia

4.8. Suma

Es utilizado para sumar varias funciones o constantes [24], se puede variar el orden y cantidad de funciones de suma, en la Figura (19) se muestra una resta y dos sumas.

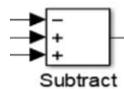


Figura 19: operador

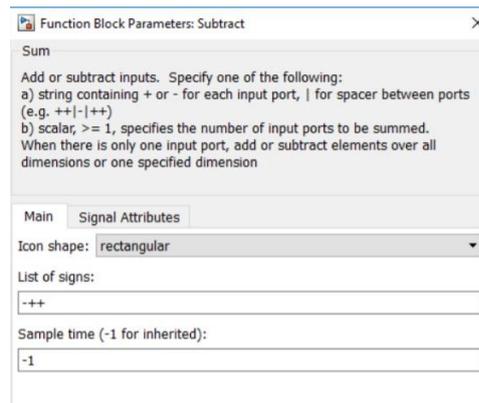


Figura 20: Configuración operador

4.9 Integrador

Utilizando ecuaciones diferenciales, donde requieren variables en estado de derivadas de varios órdenes, se debe integrar una función para hallar su forma natural. Este bloque se encargará de realizar las integrales de una función o señal ingresada por el usuario del programa. [24]

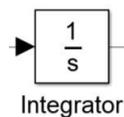


Figura 21: Integrador

En la Figura (22), se muestra el bloque que generará la señal de arranque necesaria para mostrar el comportamiento, de torque resistente que va siendo vencido por el motor. La señal tiene el siguiente valor, empezando en 1 que es el valor máximo de fricción, el indica que el rotor esta

estático, luego al vencer la inercia, el valor se estabiliza en el deslizamiento que se ingresa en la interfaz por el usuario [2].

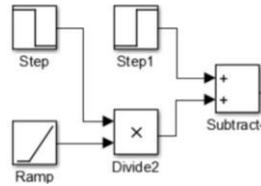


Figura 22: Configuración Integrador

4.10 Osciloscopio

El encargado para mostrar las gráficas en tiempo real de corrientes de estator y rotor, se puede configurar para ingresar dos entradas y graficarlas es de uso para la visualización de las gráficas y su comparación efectiva [24]

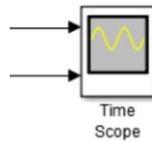


Figura 23: Bloque Osciloscopio.

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En la Figura (24), se representa el diagrama de bloques utilizado para la simulación del modelado matemático de las ecuaciones (4) y (5).

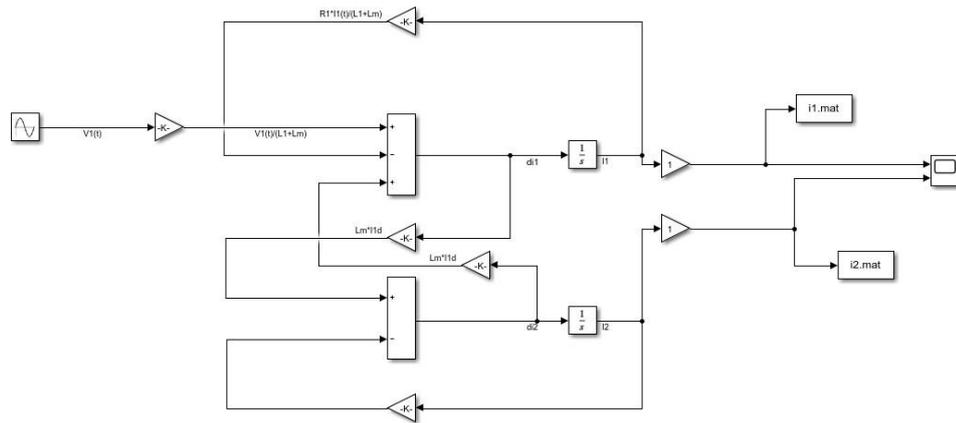


Figura 24: Bloque Osciloscopio.

La interfaz en Simulink donde se puede ingresar los valores necesarios para ejecutar la simulación, luego de realizar esto se obtiene los resultados y gráficas que muestra la corriente de fase y corriente del rotor, en las cual se observó las diferencias de frecuencias que existe entre el estator y rotor, para la visualización de las expresiones matemáticas del motor asincrónico debemos ingresar a la siguiente pantalla como se muestra en la figura (25), donde nos permite observar el arranque directo, el arranque estrella triángulo y la comparación entre los mismos, seleccionamos el tipo de arranque que deseamos visualizar en la que nos permite obtener las magnitudes de: corriente, voltaje, torque y velocidad, previa a la variación del valor de la carga establecido en Nm (Newton metros).



Figura 25: Simulador

Para la visualización de las magnitudes pulsamos en la pantalla principal arranque directo del programa y nos proyecta a la pantalla de análisis corriente de arranque directo como se muestra en la figura (25) seleccionamos el tipo de motor para obtener el comportamiento de la curva en función de los datos establecidos como se muestra en la figura (26).

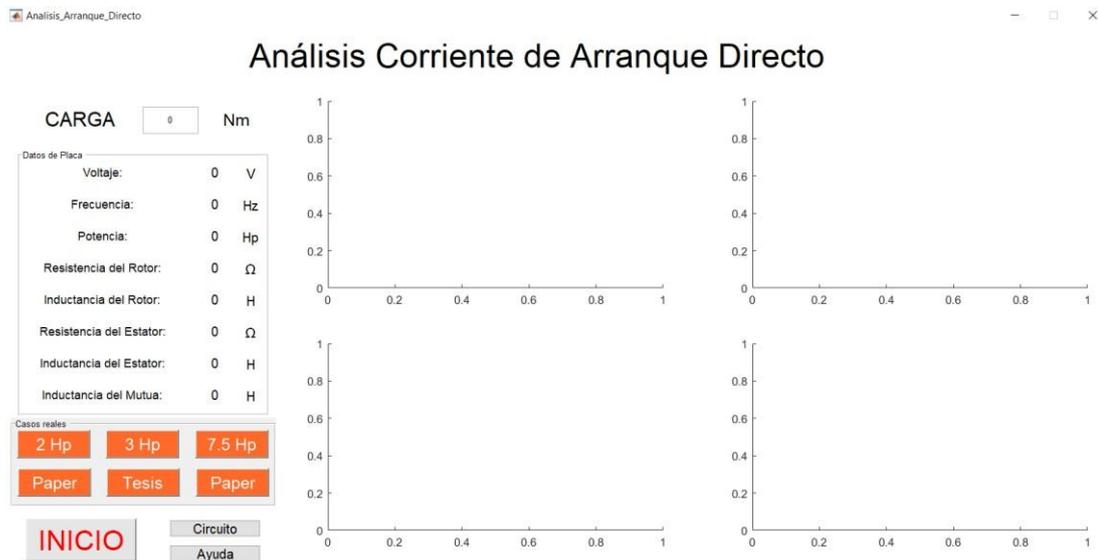


Figura 26: Simulador

Tenemos diferentes tipos de motores como 2hp, 3hp 7.5hp, al momento de seleccionar el botón se puede observar los datos de placa de cada uno de ellos se muestra en la figura (27).

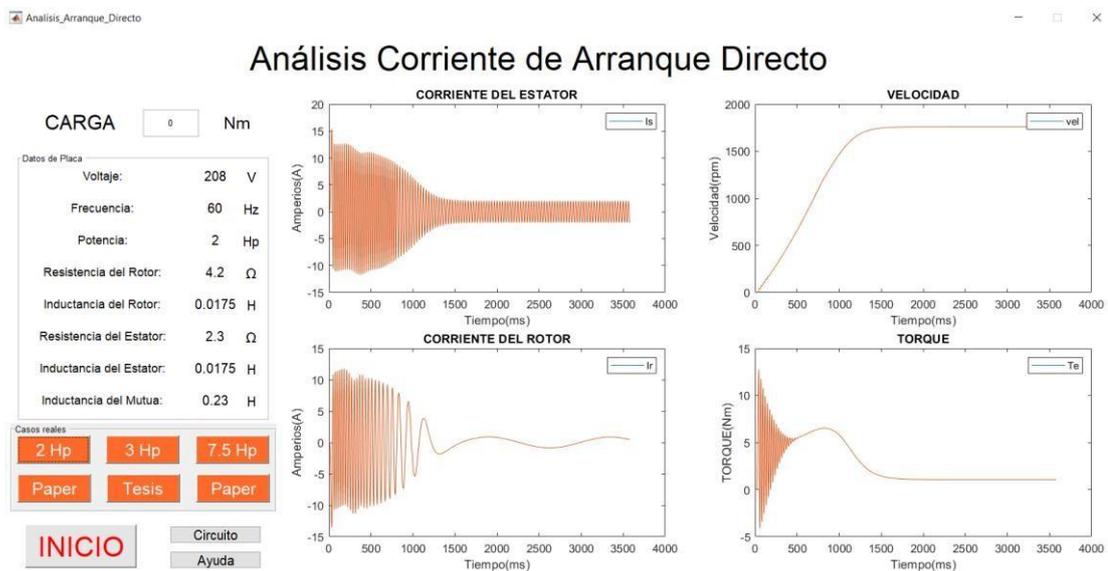


Figura 27: Análisis Corriente de Arranque Directo sin carga Nm

La Figura (27) muestra el análisis corriente de arranque directo sin carga Nm con un motor de 2hp con un voltaje de entrada de 208 voltios a una frecuencia de 60 Hz con resistencia de motor

de 4.2 ohmios una inductancia de estator de 0.0175 y una Inductancia del Motor a 0.23 en la cual vamos a visualizar la corriente del estator, velocidad, corriente del rotor y torque.

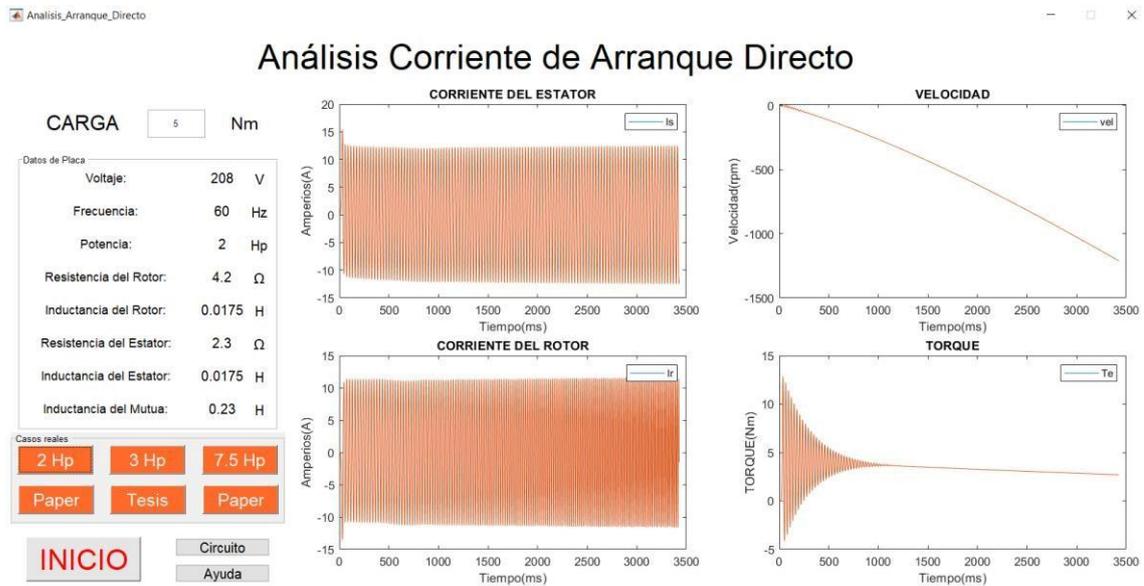


Figura 28: Análisis Corriente de Arranque Directo 2hp a una carga 5 Nm

El Análisis de corriente de arranque directo con una carga 5 Nm con un motor de 2hp con un voltaje de entrada de 208 voltios a una frecuencia de 60 Hz con resistencia de motor de 4.2 ohmios una inductancia de estator de 0.0175 y una Inductancia del Motor a 0.23 en la cual vamos a visualizar la corriente del estator, velocidad, corriente del rotor y torque se puede visualizar que el motor deja de funcionar por la carga descendiente de la velocidad como se muestra en la figura (28).

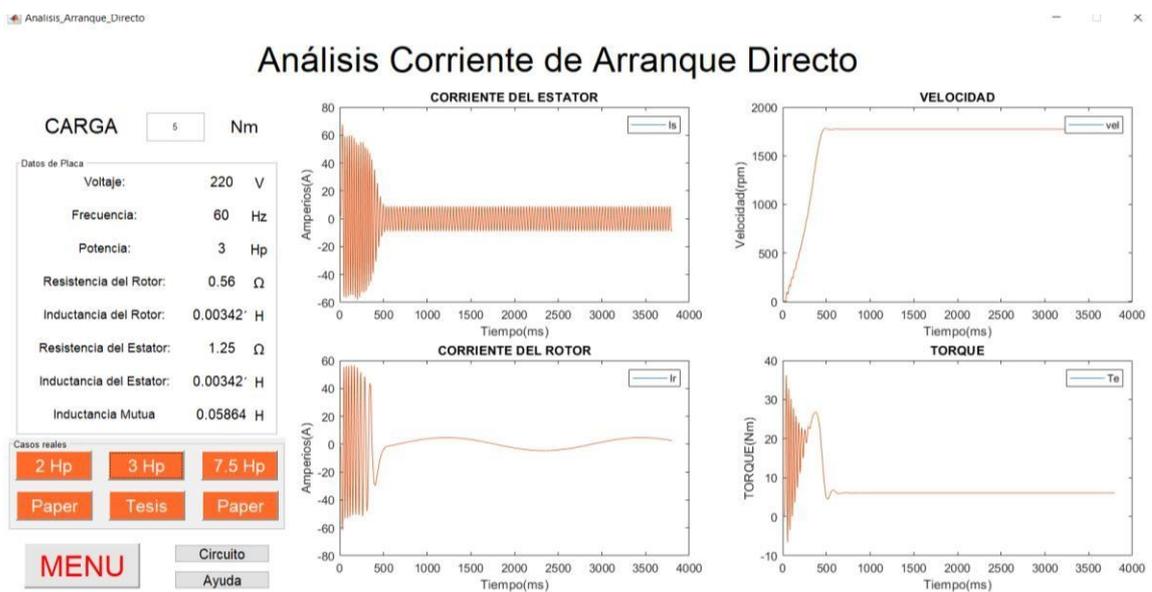


Figura 29: Análisis Corriente de Arranque Directo 3hp a una carga 5 Nm

Análisis Corriente de Arranque Directo sin carga Nm con un motor de 3hp con un voltaje de entrada de 220 voltios a una frecuencia de 60 Hz con resistencia de motor de 0.56 ohmios una inductancia de estator de 0.00342 henrios y una Inductancia del Motor a 0.05864 henrios en la cual vamos a visualizar la corriente del estator, velocidad, corriente del rotor y torque con una carga de 5 Nm se puede visualizar que se mantiene la velocidad como se muestra en la figura (29).

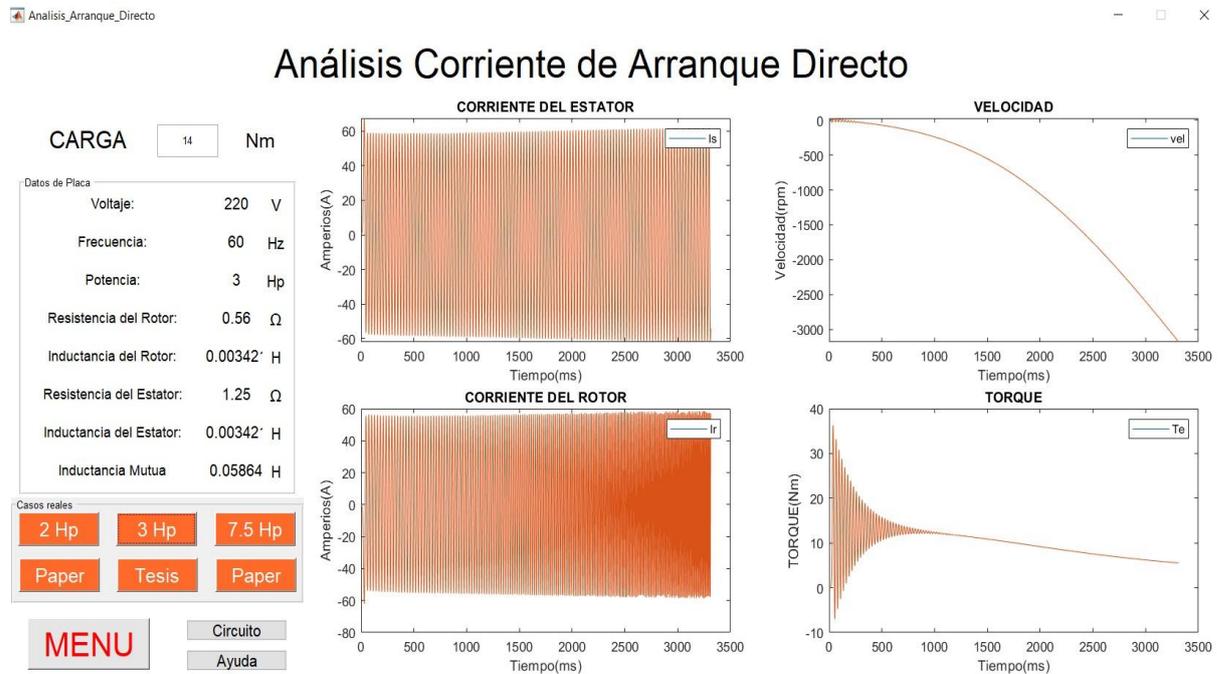


Figura 30: Análisis Corriente de Arranque Directo 3hp a una carga 14 Nm

Análisis Corriente de Arranque Directo sin carga Nm con un motor de 3hp con un voltaje de entrada de 220 voltios a una frecuencia de 60 Hz con resistencia de motor de 0.56 ohmios una inductancia de estator de 0.00342 henrios y una Inductancia del Motor a 0.05864 henrios en la cual vamos a visualizar la corriente del estator, velocidad, corriente del rotor y torque con una carga de 14 Nm se puede visualizar que se la velocidad baja y demuestra que el motor soporta como máximo una carga de 14 Nm como se muestra en la figura (30).

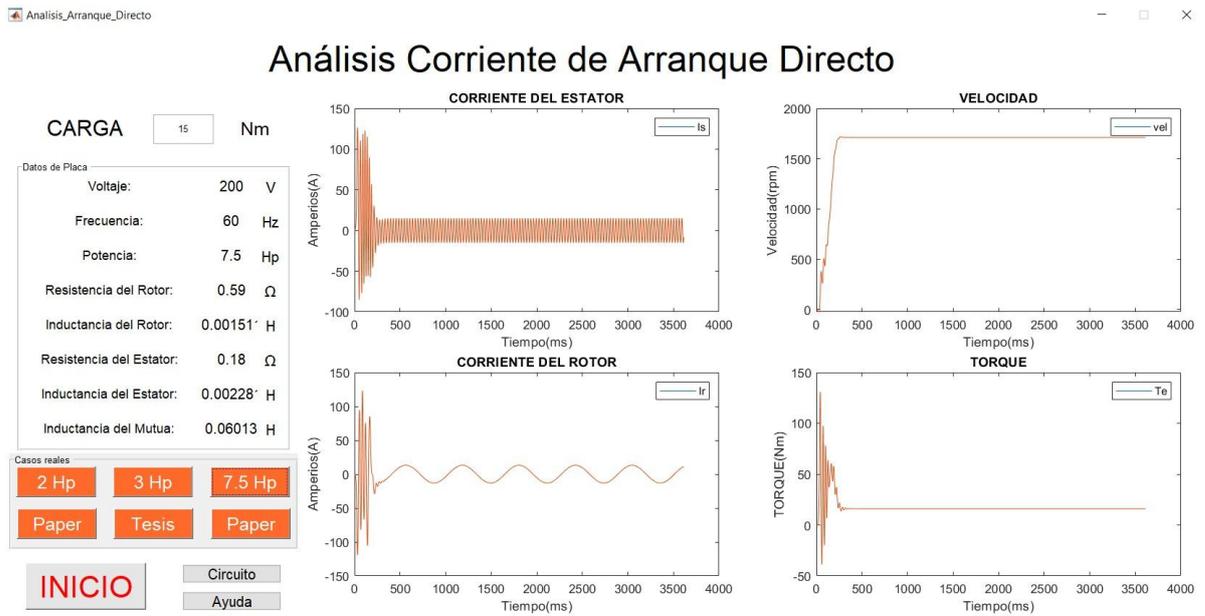


Figura 31: Análisis Corriente de Arranque Directo 7.5hp a una carga 15 Nm

Análisis Corriente de Arranque Directo sin carga Nm con un motor de 7.5 hp con un voltaje de entrada de 200 voltios a una frecuencia de 60 Hz con resistencia de motor de 0.59 ohmios una inductancia de estator de 0.18 henrios y una Inductancia del Motor a 0.00228 henrios en la cual vamos a visualizar la corriente del estator, velocidad, corriente del rotor y torque con una carga de 15 Nm se puede visualizar que se la velocidad se mantiene y trabaja en óptimas condiciones como se muestra en la figura (31).

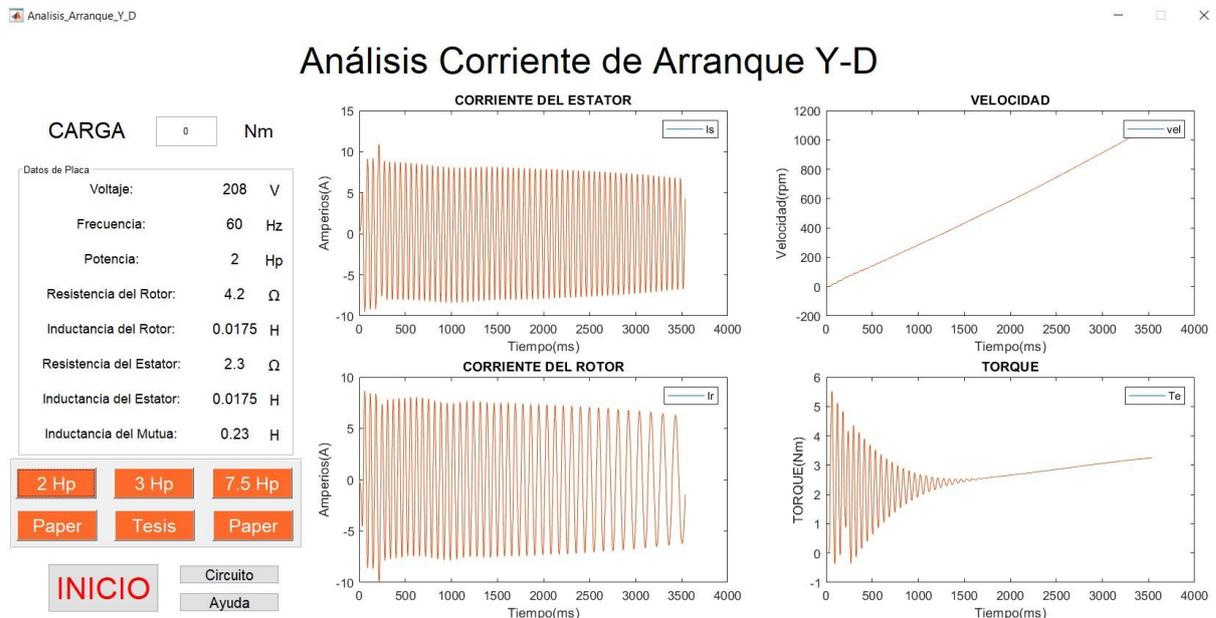


Figura 32: Análisis Corriente de Arranque Y-D de 2hp

Análisis Corriente de Arranque Y-D sin carga Nm con un motor de 2 hp con un voltaje de entrada de 208 voltios a una frecuencia de 60 Hz con resistencia de motor de 4.2 ohmios una

inductancia de estator de 2.3 henrios y una Inductancia del Motor a 0.23 henrios en la cual vamos a visualizar la corriente del estator, velocidad, corriente del rotor y torque con una carga de 0 se puede visualizar que se la velocidad se mantiene y trabaja en óptimas condiciones la curva se dispara a más de 1200 como se muestra en la figura (32).

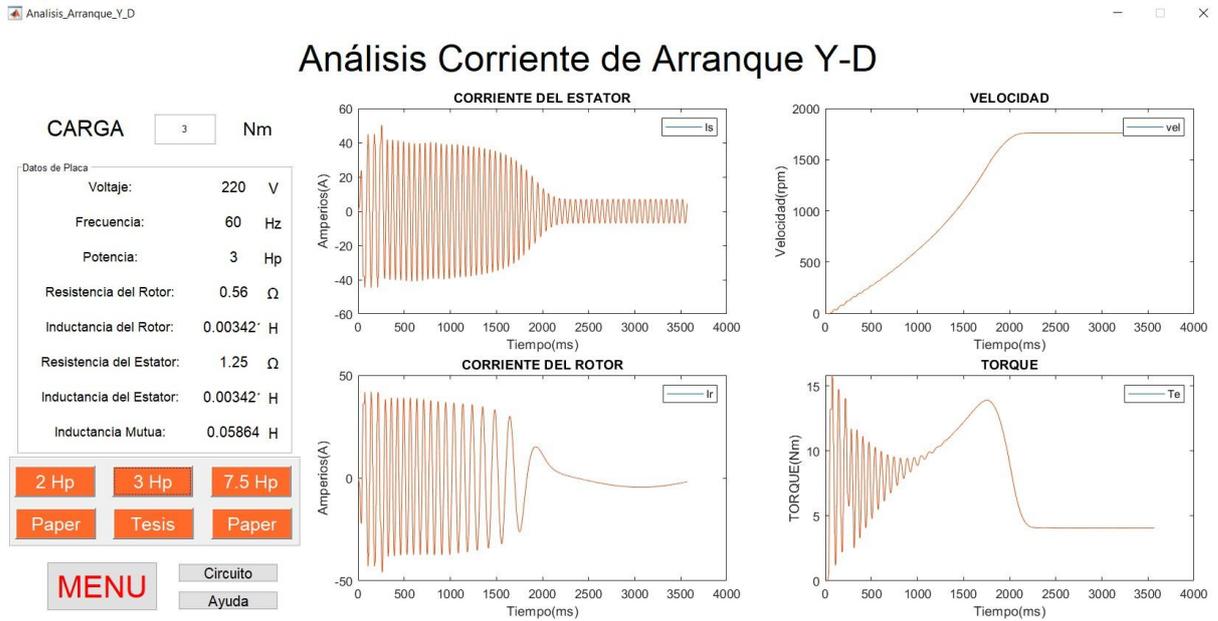


Figura 33: Análisis Corriente de Arranque Y-D de 3hp a una carga 3 Nm

Análisis Corriente de Arranque Y-D sin carga Nm con un motor de 2 hp con un voltaje de entrada de 208 voltios a una frecuencia de 60 Hz con resistencia de rotor de 4.2 ohmios una inductancia de estator de 2.3 henrios y una Inductancia del Motor a 0.23 henrios en la cual vamos a visualizar la corriente del estator, velocidad, corriente del rotor y torque con una carga de 0 se puede visualizar que se la velocidad se mantiene y trabaja en óptimas condiciones la curva se dispara a más de 1200 Rpm como se muestra en la figura (33).

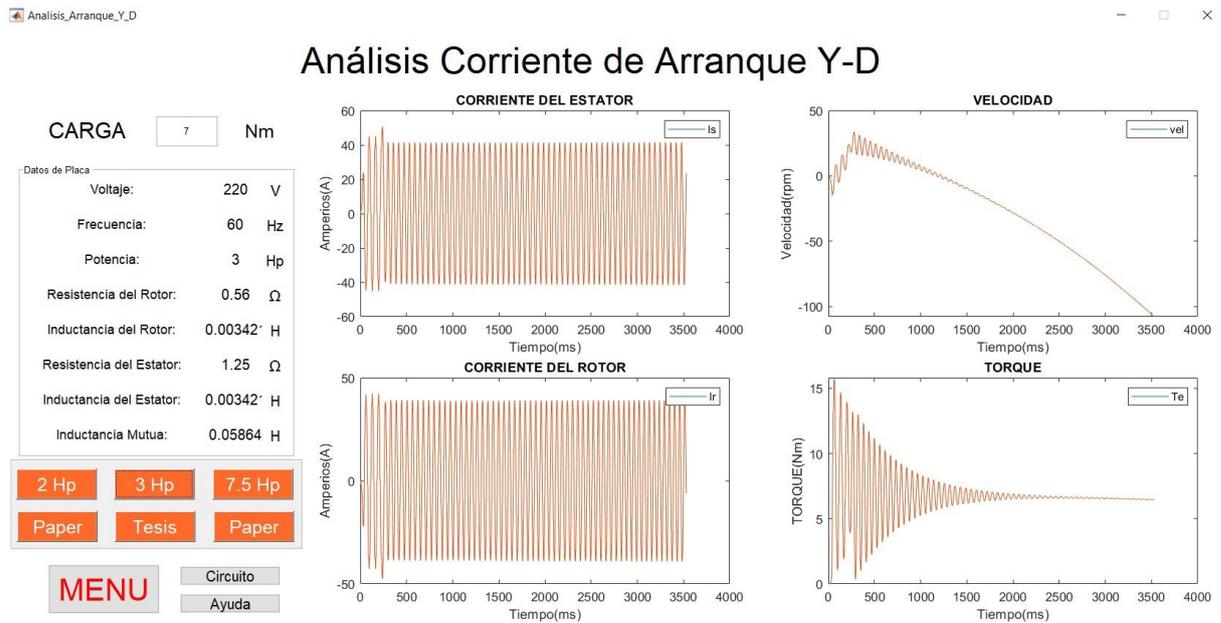


Figura 34: Análisis Corriente de Arranque Y-D de 3hp a una carga 7 Nm

Análisis Corriente de Arranque Y-D sin carga Nm con un motor de 6 hp con un voltaje de entrada de 220 voltios a una frecuencia de 60 Hz con resistencia de rotor de 0.56 ohmios una inductancia de estator de 2.3 henrios y una Inductancia del Motor a 0.23 henrios en la cual vamos a visualizar la corriente del estator, velocidad, corriente del rotor y torque con una carga de 0 se puede visualizar que se la velocidad se mantiene y trabaja en óptimas condiciones la curva se dispara a más de 1200 Rpm como se muestra en la figura (34).

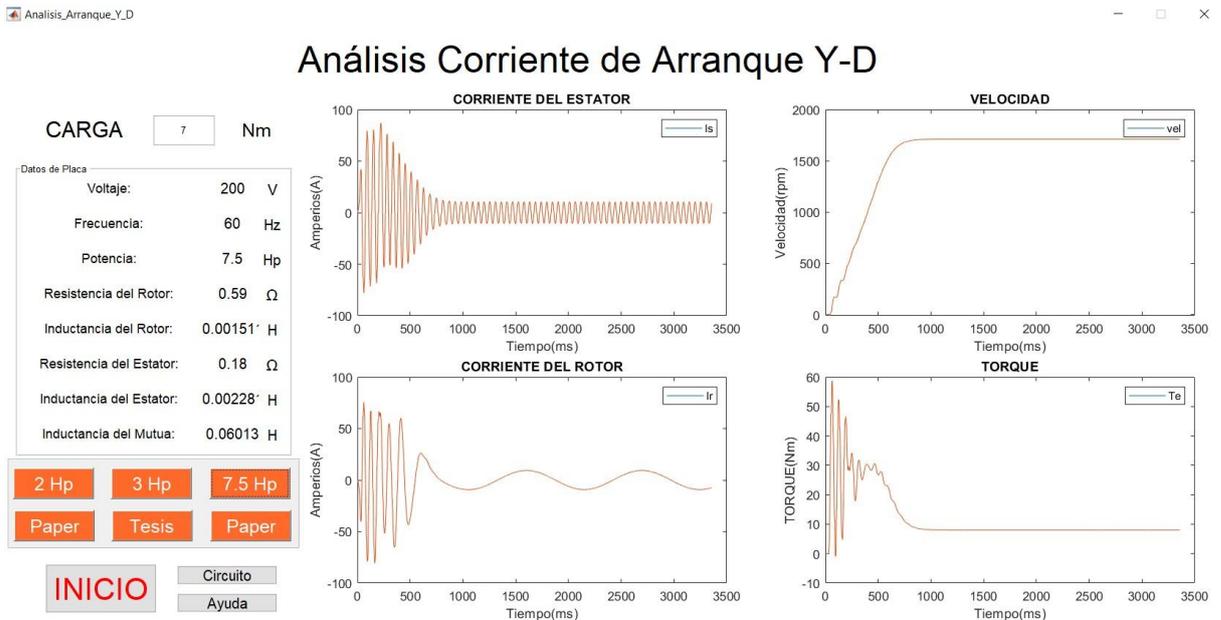


Figura 35: Análisis Corriente de Arranque Y-D de 7.5hp a una carga 7 Nm

Análisis Corriente de Arranque Y-D sin carga Nm con un motor de 7.5 hp con un voltaje de entrada de 200 voltios a una frecuencia de 60 Hz con resistencia de rotor de 0.59 ohmios una

inductancia de estator de 0.18 henrios y una Inductancia del Motor a 0.06013 henrios en la cual vamos a visualizar la corriente del estator, velocidad, corriente del rotor y torque con una carga de 7 se puede visualizar que se la velocidad se mantiene como se muestra en la figura (35).

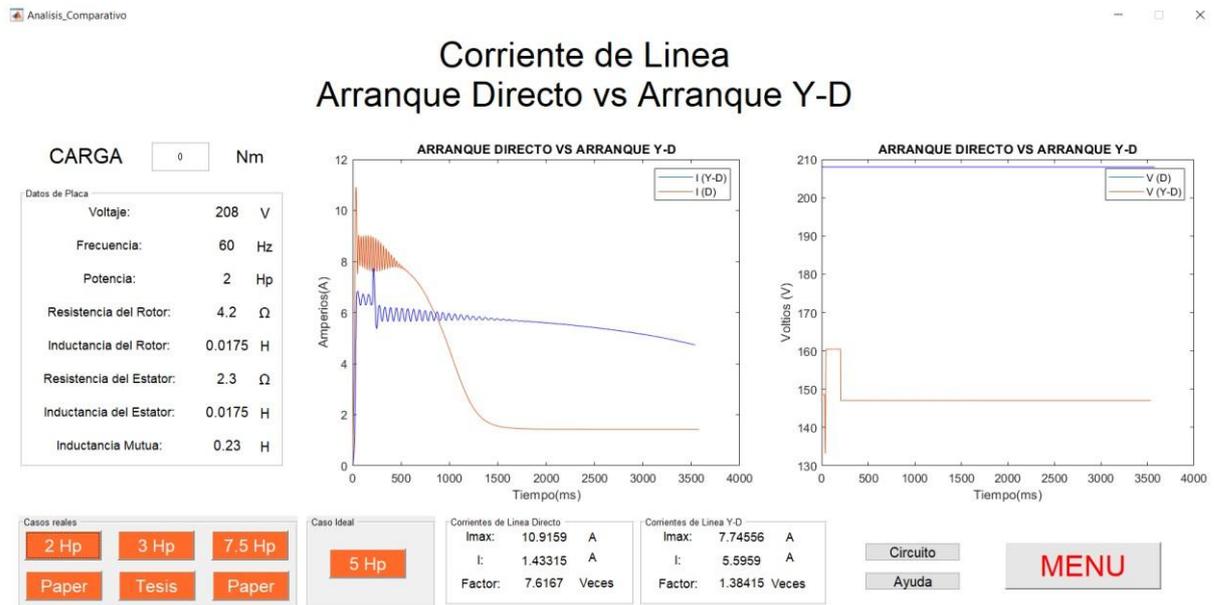


Figura 36: Corriente de Línea Arranque Directo vs Arranque D-Y de 2hp sin Carga

En esta pestaña del programa se visualiza la corriente de arranque directo vs arranque Y-D en el cual estamos visualizando la corriente máxima, la corriente de línea y cuantas veces es el factor, en corriente directa y en corriente Y-D en un motor de 2 Hp como se muestra en la figura (36).

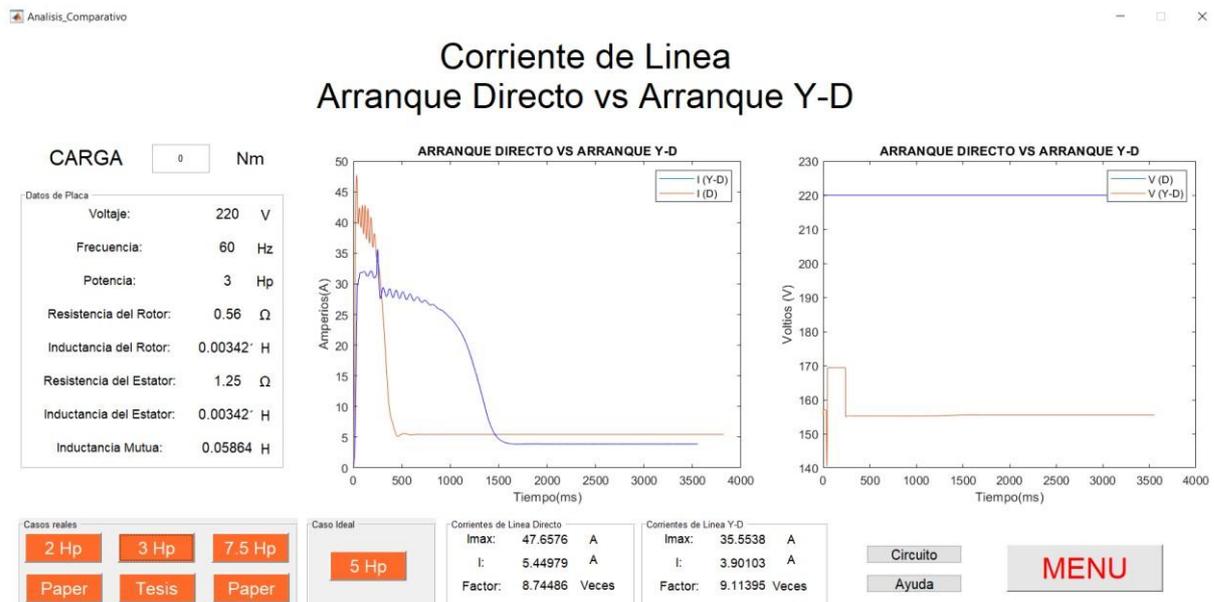


Figura 37. Corriente de Línea Arranque Directo vs Arranque D-Y de 3hp sin carga

Aquí se puede visualizar la corriente de arranque directo vs arranque Y-D en el cual estamos visualizando la corriente máxima, la corriente de línea y cuantas veces es el factor, en corriente directa y en corriente Y-D en un motor de 6 Hp como se muestra en la figura (37).

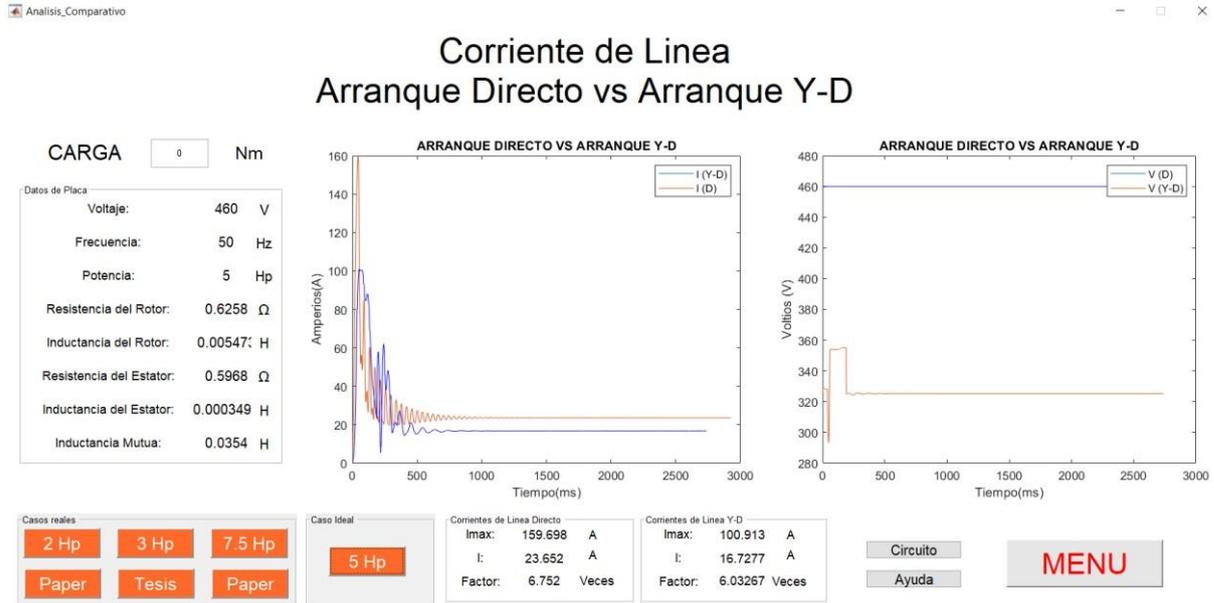


Figura 38: Corriente de Línea Arranque Directo vs Arranque D-Y de 5hp sin Carga

Aquí se puede visualizar la corriente de arranque directo vs arranque Y-D en el cual estamos visualizando la corriente máxima, la corriente de línea y cuantas veces es el factor, en corriente directa y en corriente Y-D en un motor de 5 Hp como se muestra en la figura (38).

5.1 ANÁLISIS COMPARATIVO

Se ingresaron los datos y parámetros del motor de inducción que requiere simulador. Se ejecutó el simulador para obtener los valores y graficas de corriente de estator y rotor, que se muestran en las Figuras 36. Se analizó la parte estable de la señal y se obtuvo el valor pico máximo de la corriente de fase, el cual fue de 1.43 A en la corriente de línea directo y con un valor de 5.5959 A en la corriente de línea D-Y. Se empleó la ecuación (12) para obtener la corriente de estator promedio. Valores Simulados: En la figura 35, se muestra la gráfica de la corriente del estator, y se observa que la corriente de arranque del motor de inducción es de 10.91 A en arranque directo y 7.7455A en arranque D-Y En el régimen permanente se analizó la corriente del estator y el valor fue de 5.4768 A.

$$I_{estator} = \frac{I_{fpico}}{\sqrt{2}} = \frac{7.7455}{\sqrt{2}} = 5.4768 \text{ A} \quad (12)$$

Se obtuvo la gráfica de la corriente rotórica, presentada en la Figura 36. Al analizar la parte estable de la señal se obtuvo el valor pico máximo de corriente, el cual fue de 5.4768. Se aplicó la ecuación (13) para obtener la corriente de rotor promedio.

Usando la ecuación (13) se calcula la corriente R_{ms} del rotor.

$$I_{rotor} = \frac{I_{pico}}{\sqrt{2}} = \frac{5.4768}{\sqrt{2}} = 3.87275 \text{ A} \quad (13)$$

Se ingresaron los datos y parámetros del motor de inducción que requiere simulador. Se ejecutó el simulador para obtener los valores y graficas de corriente de estator y rotor, que se muestran en la figura 36. Se analizó la parte estable de la señal y se obtuvo el valor pico máximo de la corriente de fase, el cual fue de 5.5959 A. Se empleó la ecuación (13) para obtener la corriente de estator promedio. Valores Simulados: En la figura 36, se muestra la gráfica de la corriente del estator, y se observa que la corriente de arranque del motor de inducción es de 7.7455 A. En el régimen permanente se analizó la corriente del estator y el valor fue de 5.4768 A.

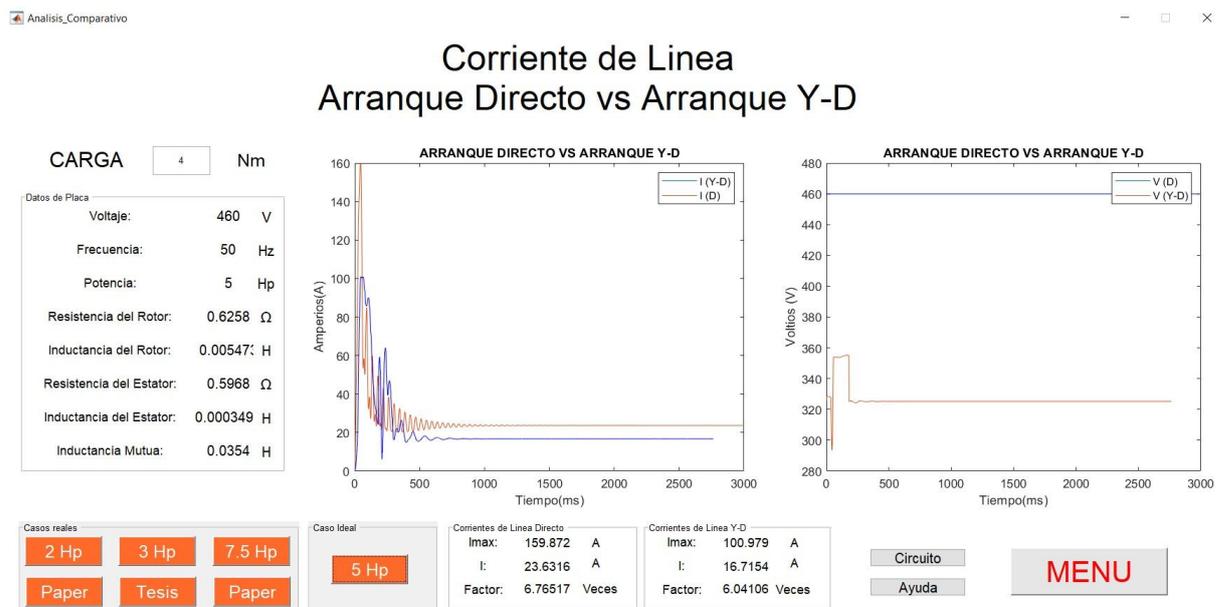


Figura 39: Gráfica Torque de Carga vs Velocidad del Rotor de 5hp con Carga de 4 Nm

ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE MULTISIM.

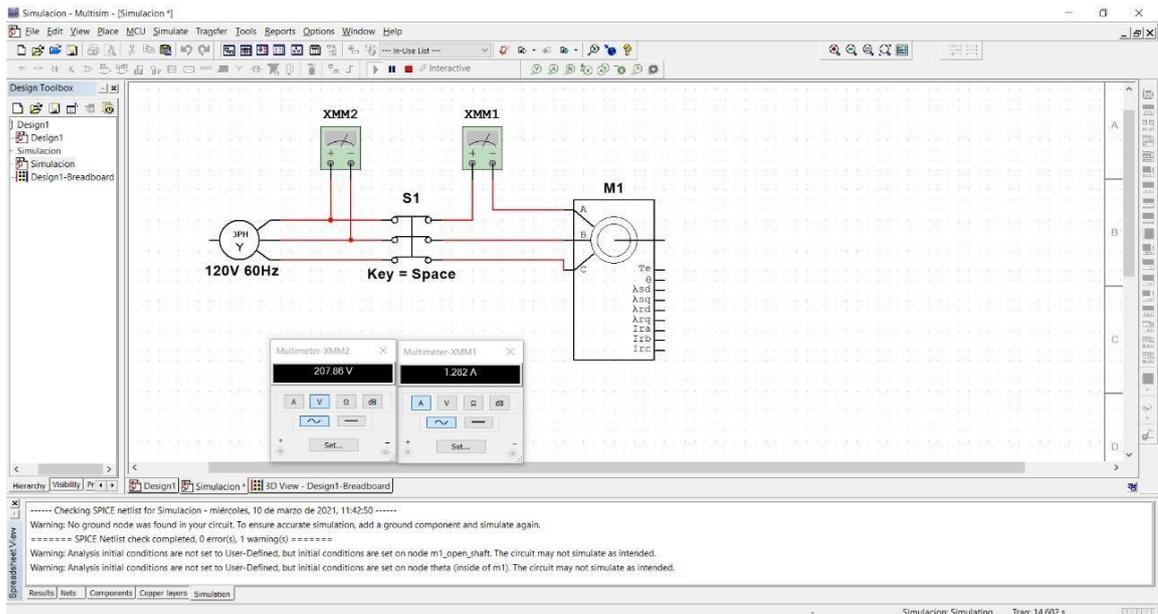


Figura 40: Simulación en Multisim 14.2 motor de 3 hp asíncrono

Gracias a Multisim 14.2 se puede realizar la simulación de un motor de 3 hp asíncrono, el programa tiene una licencia de prueba de 45 días, en la figura (39) muestra el diagrama con sus respectivos medidores para obtener la señal de voltaje y de corriente, en esta parte no se muestran los valores que corresponden, la figura (41), muestra los valores de voltaje y amperios que son 207.8 V y 106.38A que son los valores próximos a los de la figura 40, donde se puede observar que son muy parecidas las gráficas de la figura (41) y la figura (35).

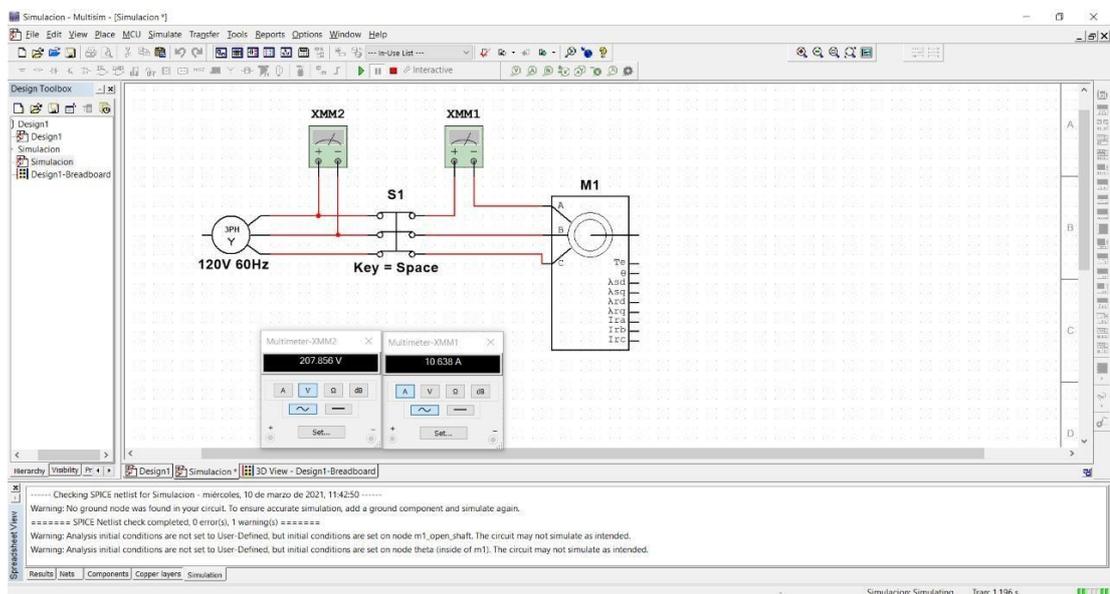


Figura 41: Simulación en Multisim 14.2 motor de 3 hp asíncrono simulado

La figura (42) nos indica el diagrama de bloques de la corriente del rotor vs el estator y el torque donde se muestra un motor de 3hp en conexión estrella, en los cuales tenemos dos osciloscopios que nos muestran el voltaje y el amperaje.

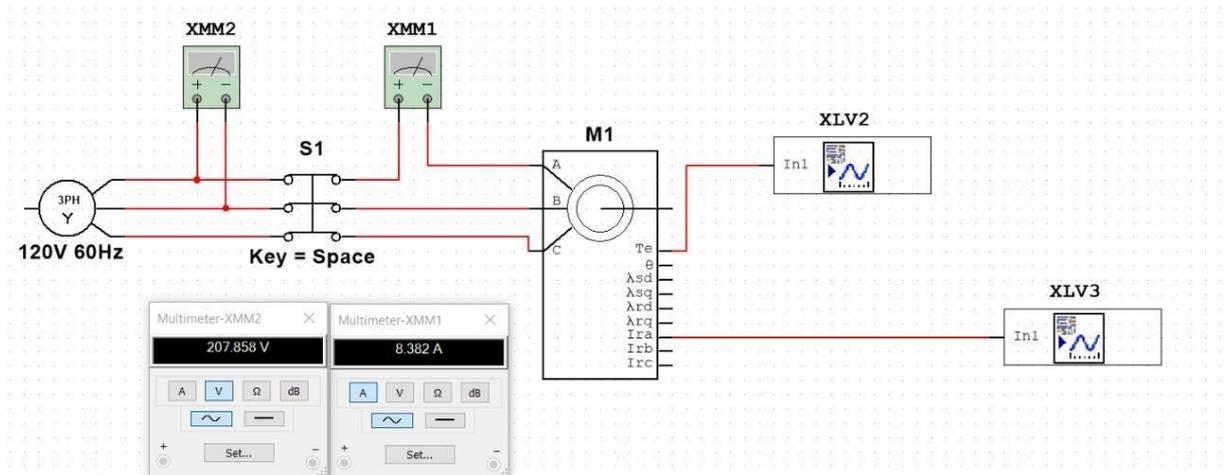


Figura 42: Diagrama de bloques de la corriente del rotor vs el estator y el torque

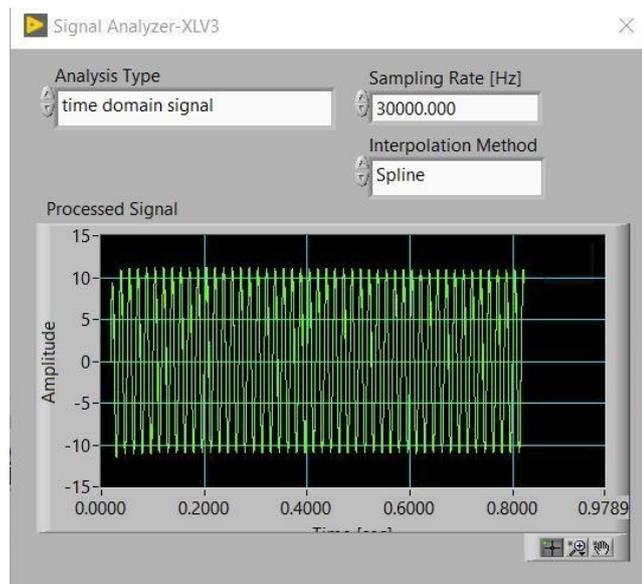


Figura 43: Onda sinusoidal de la corriente del rotor vs el estator

Se puede apreciar en la figura (43) se puede observar la onda sinusoidal de la corriente del rotor vs el estator de un motor de 3 hp dando como valores 10 A máximos y en la figura (44) se muestra el valor del torque el cual decae por la carga hasta que deja de funcionar.

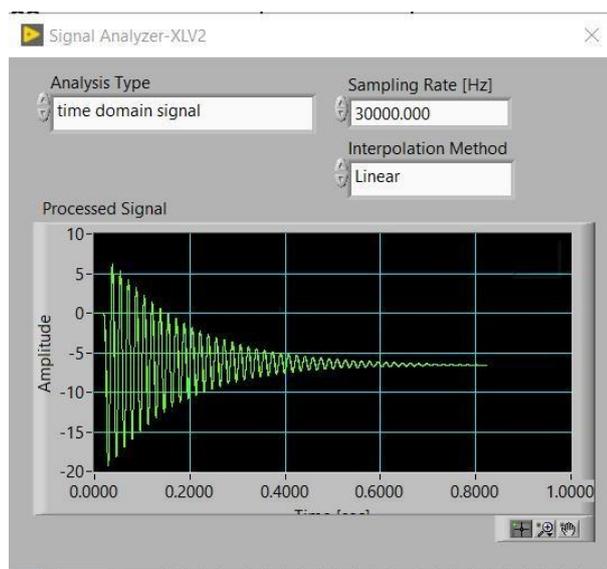


Figura 44: Onda sinusoidal de del torque

Se puede apreciar en la figura (43) se puede observar la onda sinusoidal de la corriente del rotor vs el estator de un motor de 3 hp dando como valores 10 A máximos y en la figura (44) se muestra el valor del torque el cual decae por la carga hasta que deja de funcionar.

6. PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTOS

6.1. Presupuesto

En esta sección se detalla los gastos directos e indirectos que requiere simulación de la expresión matemática de un motor asincrónico para la visualización de las magnitudes, entre los gastos directos se destacan los materiales y suministros que intervienen en el sistema, estos elementos constituyen un costo aplicable para el mercado actual, además de gastos indirectos como insumos y mano de obra.

Tabla 4. Gastos directos

MATERIALES			
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	V.UNITARIO	V.TOTAL
Computadora	1	600.00	600.00
TOTAL			600.00

Tabla 5. Mano de obra

MANO DE OBRA			
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	V.UNITARIO	V.TOTAL
Asesor	1	100.00	100.00
Técnico	1	120.00	120.00
Diseño	1	100.00	100.00
TOTAL			320.00

Tabla 6: Gasto en insumos

INSUMOS			
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	V. UNITARIO	V. TOTAL
Transporte	1	50	50,00
TOTAL			50,00

Tabla 7: Tabla de gastos varios

GASTOS VARIOS	
DESCRIPCIÓN	VALOR
Arriendos	0,00
Mano De Obra Indirecta	100,00
Servicios Básicos	40,00
Material De Oficina	10,00
Otros Costos	0,00
TOTAL	150,00

Tabla 8: Tabla de gastos indirectos

GASTOS INDIRECTOS	
DESCRIPCIÓN	V. TOTAL
Insumos	60,00
Otros	40,00
TOTAL	100,00

Se resume el costo de inversión total en la siguiente tabla

Tabla 9: Gastos totales

GASTOS TOTALES	
DESCRIPCIÓN	V. TOTAL
Directos	600,00
Indirectos	620,00
TOTAL	1220,00

6.2. Análisis de impactos

Impacto práctico: Este proyecto está enfocado para estudiantes de la carrera de Ingeniería Electromecánica donde su uso sirve para visualizar las magnitudes como corriente, velocidad, voltaje y torque.

Impacto simbólico: La necesidad de visualizar la carga máxima que soporta un motor, donde entra la simulación en Matlab y Simulink con la ayuda de esta herramienta se puede crear la simulación de diferentes variables, tales son corriente, velocidad, voltaje y torque.

Impacto tecnológico: Simulación de la expresión matemática de un motor asincrónico para la visualización de corriente, velocidad, voltaje y torque ayudando a la visualización de dichas magnitudes, misma que me permite desarrollar la herramienta para la comparación entre lo teórico y lo práctico, para los estudiantes de la carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

Se concluye que para determinar las expresiones matemáticas del motor asíncrono se aplicó el Teorema de Kirchhoff en el régimen transitorio con el cual nosotros partimos de esas ecuaciones para poder tener nuestras graficas de torque velocidad corriente y voltaje.

Al desarrollar la interface gráfica pudimos observar que en el arranque directo al ejecutar una carga apreciamos un incremento de la corriente del estator y del rotor mientras que un arranque estrella triángulo hemos apreciado que los motores que poseen mucha carga mecánica les cuesta comenzar y terminar de desarrollar su velocidad final.

Mediante el análisis de datos apreciamos que un arranque directo el voltaje se mantiene igual a los datos de placa mientras que el voltaje de un arranque estrella triángulo existe menos consumo ya que se basa en una reducción del 57% durante el arranque con lo que el par decrece en un 33% respecto del par nominal mientras que la corriente podemos apreciar que en un arranque directo vs un arranque estrella triángulo existe un incremento de 5 a 7 su corriente nominal y apreciando una reducción de la corriente en estrella triángulo de 2 a 4 veces la corriente nominal con esto estimamos que existe una disminución de 3 veces menos que un arranque directo.

7.2 RECOMENDACIONES

Es recomendable realizar diversos tipos de pruebas donde se utilizará este modelado para máquina asíncrona en un rotor devanado y verificar el nivel de confiabilidad del mismo, donde es necesario incorporar nuevos bloques de Simulink para el diagrama planteado de este trabajo de esta manera se obtiene el desfaseamiento de corriente y tensión, dándonos como resultado un

análisis del triángulo de potencias, torque inducido de arranque, factor de potencia y torque inducido máximo.

Se recomienda utilizar el software Simulink de Matlab® para dar solución a ecuaciones más complejas y reducir el tiempo para su análisis.

Se recomienda utilizar los datos de placa del motor para tener un acercamiento real para la visualización de la corriente, voltaje, velocidad y torque de motor asincrónico.

8. REFERENCIAS

- [1] unesco, «unesco,» [En línea]. Available: <https://skos.um.es/unesco6/?l=es> [Último acceso: 8 3 2021].
- [2] I. The MathWorks, «Documentation: MATLAB®,» [En línea]. Available: https://la.mathworks.com/help/matlab/examples.html?s_tid=acb_mlex

- [3] M. m. d. u. m. d. corriente, «Modelo matemático de un motor de corriente,» *Manuel Sebastian Alvarez Alvarado*.
- [4] T. WILDI, MÁQUINAS ELÉCTRICAS Y ELECTRICAS DE POTENCIA, Mexicana: Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana, 2007.
- [5] J. G. TRASANCOS, Electrotecnia 350 conceptos teóricos 800 problemas 12, Mexico: Ediciones Paraninfo S.A.
- [6] J. Chapman S, Máquinas Eléctricas, Nueva York, Estados: (. (5a. ed.), , 2012).
- [7] A. K. C. U. S. Fitzgerald, Electric Machinery, Boston: Sexta Edición, Mc.Graw Hill, International Edition , 2003.
- [8] INEN, NTE INEN-IEC 60034-1 MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS- PARTE 1: CARACTERÍSTICAS ASIGNADAS Y CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMIENTO (IEC 60034-1:2010, IDT, NTE INEN-IEC 60034-1 Décimo segunda edición 2014-06, 2010.
- [9] M. A. R. Pozueta, «unican,» 2008. [En línea]. Available: <https://personales.unican.es/rodrigma/PDFs/asincronas%20caminos.pdf>. [Último acceso: 8 3 2021]
- [10] H. I. Eléctricas, «Hergoros Industrias Eléctricas,» [En línea]. Available: <http://www.hergoros.com/necesario-rebobinado-motores/>. [Último acceso: 16 02 2021]
- [11] ComoFunciona, «ComoFunciona,» 2021. [En línea]. Available: <https://como-funciona.co/un-rotor/> [Último acceso: 16 02 2021].
- [12] m. i. china, «made in china,» 2021. [En línea]. Available: https://es.made-in-china.com/co_donrex/product_OEM-Aluminum-ElectricMotor-Housing_eireuyoooy.html [Último acceso: 16 02 2021].
- [13] R. I. a. día, «Revista Industria al día,» *Revista Industria al día*, nº Edición 149 , pp. 22-23, 2019 .
- [14] R. Miguel., Máquinas Asíncronas, Universidad de Cantabria, 2008.
- [15] F. Corporation, «La Nota Energetica,» Transequipos S.A., 30 Junio 2017. [En línea]. Available: <https://lanotaenergetica.com/tag/rendimiento-de-motores-electricos/> [Último acceso: 10 Junio 2020].
- [16] ingetrans, «ingetrans,» [En línea]. Available: <http://www.ingetrans.com/nuevas-clases-de-eficiencia-para-motoresel%C3%A9ctricos> [Último acceso: 8 3 2021].
- [17] «Motores y Generadores,» MYG, [En línea]. Available: <https://motoresygeneradores.com/eficiencia-en-motores-electricos-que-es/> [Último acceso: 14 Julio 2020].
- [18] MOTOREX, «Motorex,» Motorex, 7 Octubre 2019. [En línea]. Available: <http://www.motorex.com.pe/blog/cual-es-la-diferencia-entre-los-motoreselectricos-ca-y-cc/> [Último acceso: 10 Julio 2020].
- [19] Alejandro, «SITES,» Alejandro, [En línea]. Available: <https://sites.google.com/site/aleblogtecinc/home/2-electronica-1/corriente-alterna-motores-deca> [Último acceso: 10 Julio 2020].

- [20] I. L. Kosow, Máquinas eléctricas y transformadores, México : Miembro de la Camara Nacional de la Industria Editorial, Reg Núm. 1524, 1991.
- [21] canalMOTOR, «motor mapfre,» 3 junio 2020. [En línea].
Available: <https://www.motor.mapfre.es/coches/noticias-coches/motor-asincrono/> [Último acceso: 11 03 2021]
- [22] O. D. JEFIMENKO, Electrostatic Motors, Star City, West Virginia 26505 : Electret Scientific Company, 1973 .
- [23] J. & M. O. Manrique, «Modelado Matemático de una maquina asíncrona en estado dinámico y simulación en MATLAB,» 2018. [En línea]. Available:
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16231/1/UPS-GT002320.pdf>
- [24] I. The MathWorks, «DocumentationSimulink.,» 1994-2018. [En línea]. Available:
<https://la.mathworks.com/help/simulink/index.html>
- [25] UNESCO, «Clasificación Internacional Normalizada de la Educación,» SENE CYT, Quito, 1997.
- [26] E. N. ". B. Matienzo", «279 - Motores Eléctricos,» Sunchales - Santa Fe - Argentina., 2011. [En línea].
Available: <https://sites.google.com/site/279motoreselectricos/partes-fundamentales-de-unmotor-electrico> [Último acceso: 16 02 2021]

ANEXOS

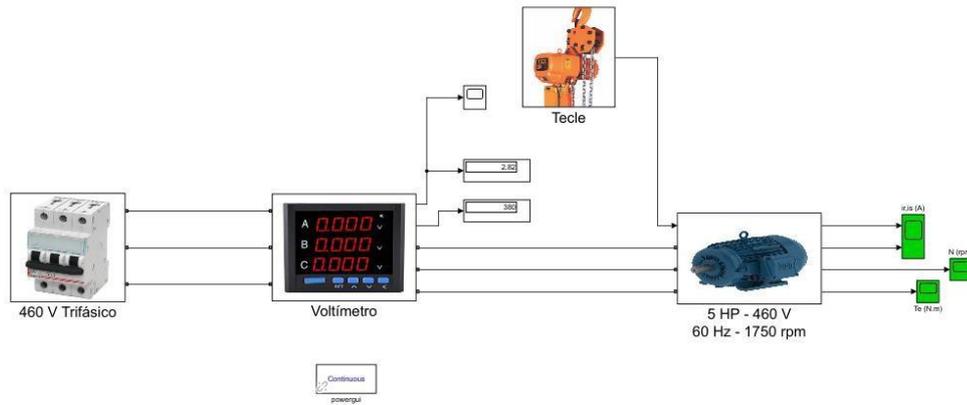


Figura 45: Diagrama de conexión

Motor_Trifasico_Induccion ▶ 5 HP - 460 V 60 Hz - 1750 rpm

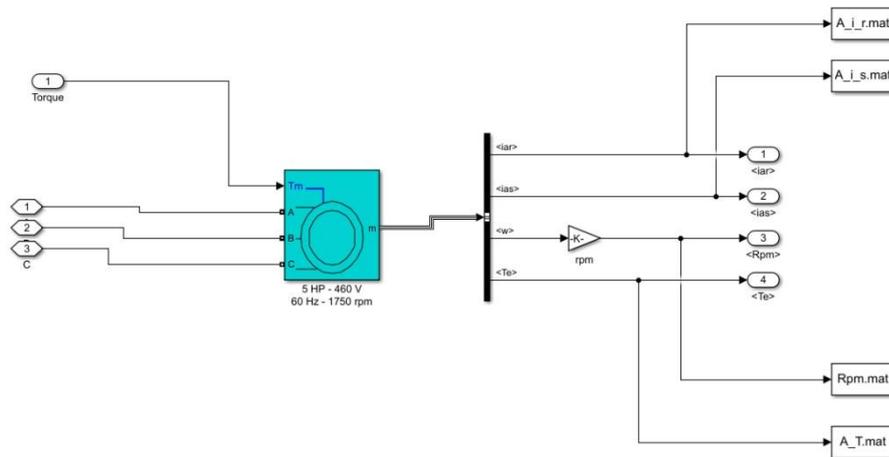


Figura 46: diagrama del motor

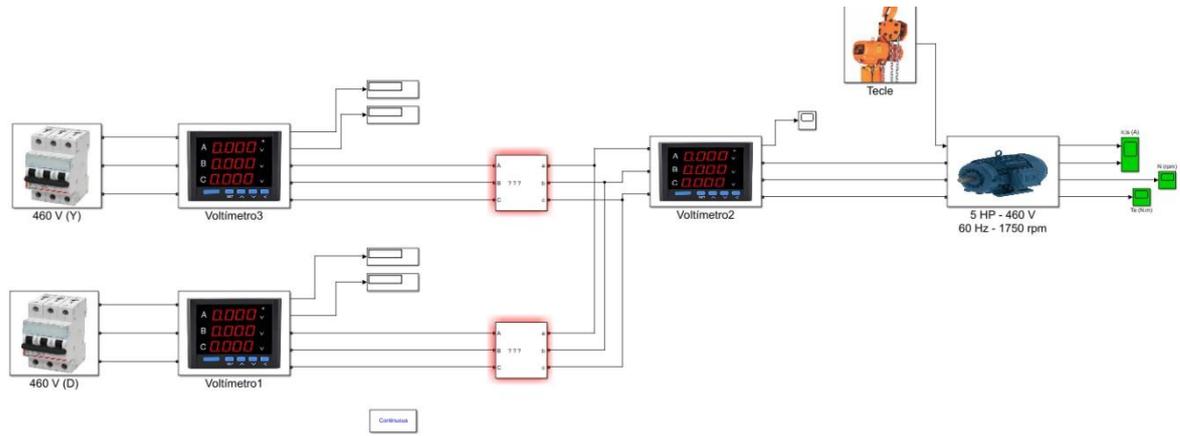


Figura 47: Esquema de conexión

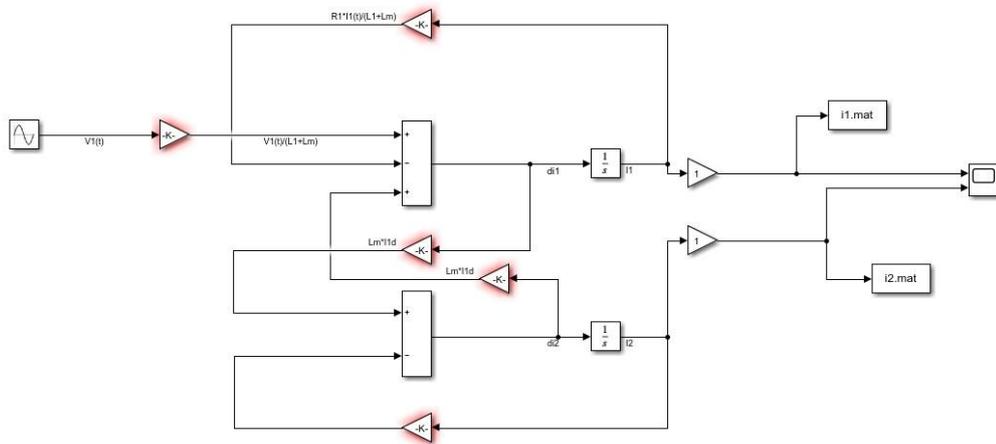


Figura 48: diagrama de bloques

PROGRAMACIÓN DE MENÚ

```

function varargout = MENU(varargin)
% MENU MATLAB code for MENU.fig
%   MENU, by itself, creates a new MENU or raises the existing %
singleton*.
%
%   H = MENU returns the handle to a new MENU or the handle to %
the existing singleton*.
%
%   MENU('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the local
%   function named CALLBACK in MENU.M with the given input arguments.
%
%   MENU('Property','Value',...) creates a new MENU or raises the
%   existing singleton*. Starting from the left, property value pairs are
%   applied to the GUI before MENU_OpeningFcn gets called. An
%   unrecognized property name or invalid value makes property application %
stop. All inputs are passed to MENU_OpeningFcn via varargin.
%
%   *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only one %
instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help MENU

% Last Modified by GUIDE v2.5 04-Mar-2021 19:12:10

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

```

```

gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1}); end

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

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

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

% Update handles structure guidata(hObject,
handles);

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

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

```

```

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

% --- Executes on button press in pushbutton1. function
pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
close(MENU);
Simulacion_matematica;

% hObject handle to pushbutton1 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% --- Executes on button press in pushbutton2. function
pushbutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)
close(MENU);
Analisis_Arranque_Directo;
% hObject handle to pushbutton2 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% --- Executes on button press in pushbutton3.
function pushbutton3_Callback(hObject, eventdata, handles) close(MENU);
Analisis_Arranque_Y_D;
% hObject handle to pushbutton3 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% --- Executes on button press in pushbutton4.
function pushbutton4_Callback(hObject, eventdata, handles) close(MENU);
Analisis_Comparativo;

```

```

% hObject handle to pushbutton4 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function axes1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
a=imread('Utc.jpeg'); image(a); axis off
% hObject handle to axes1 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: place code in OpeningFcn to populate axes1

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function axes2_CreateFcn(hObject, eventdata,
handles) a=imread('Electromecanica.jpeg'); image(a);
axis off
% hObject handle to axes2 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: place code in OpeningFcn to populate axes2

% --- Executes during object creation, after setting all properties. function
pushbutton2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to pushbutton2 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

```