



UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y

ARQUITECTURA

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

TRABAJO DE TITULACIÓN, MODALIDAD PROYECTO TÉCNICO

TÍTULO:

**“IMPLEMENTACIÓN DE DINAMÓMETRO CUATRO CUADRANTES
PARA DETERMINAR PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO EN
MÁQUINAS ELÉCTRICAS”**

AUTORES:

ALCIVAR HEREDIA ISAAC NATANAEL

VELESACA ZAMBRANO EDISSON JAVIER

ASESOR ACADÉMICO:

ING. FERNANDO VLADIMIR JARAMILLO GARCÍA, PhD

MANTA -MANABÍ- ECUADOR

JULIO – 2024

Certificación del tutor

En calidad de docente tutor de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, certifico:

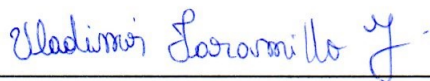
Haber dirigido y revisado el trabajo de titulación bajo la modalidad de proyecto técnico, bajo la autoría de los estudiantes Alcivar Heredia Isaac Natanael y Velesaca Zambrano Edison Javier legalmente matriculados en la carrera de Ingeniería Eléctrica, cuyo tema de proyecto es “Implementación de Dinamómetro Cuatro Cuadrantes para Determinar Parámetros de Funcionamiento en Máquinas Eléctricas”.

El presente proyecto ha sido desarrollado de acuerdo con los lineamientos internos de la modalidad en mención y en apego al cumplimiento de los requisitos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico, por tal motivo CERTIFICO, que el mencionado proyecto reúne los méritos académicos, científicos y formales, suficientes para ser sometido a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, 24 de Julio de 2024.

Lo certifico,



Ing. Fernando Vladimir Jaramillo García, Ph.D

Docente Tutor

Declaración de autoría

La responsabilidad de este proyecto de titulación: “Implementación de Dinamómetro Cuatro Cuadrantes para Determinar Parámetros de Funcionamiento en Máquinas Eléctricas” corresponde exclusivamente a Alcivar Heredia Isaac Natanael con C.I.: 1314773977 y Velesaca Zambrano Edison Javier con C.I.: 1315337343. Eximo a la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, y a sus representantes legales, de posibles reclamos o acciones legales. Además, certifico que las ideas, opiniones, resultados y conclusiones vertidas en este proyecto de tesis son exclusividad del autor.

Adicionalmente, cedo los derechos de este trabajo a la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, para que forme parte de su patrimonio de propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y trabajos de titulación, ya que ha sido realizado con apoyo académico e institucional de la universidad.

Manta, 24 de Julio de 2024

Isaac Natanael Alcivar Heredia

Autor

Edison Javier Velesaca Zambrano

Autor

Ing. Fernando Vladimir Jaramillo García, Ph.D

Docente Tutor

Dedicatoria

Dedico este proyecto:

A Dios por ser mi fortaleza y guía espiritual que en los momentos cuando todo parecía perdido él fue quien me proveyó de la determinación necesaria para hallar una solución a cualquier dificultad que se me presentó. Porque siempre ha sido fiel, y por hacer realidad lo que en el pasado resultaba tan lejano. Con su ayuda he logrado superar con éxito todo lo que se ha presentado en mi camino.

A mis queridos padres Daniel Alcivar, Nancy Heredia y hermana Rebeca Alcivar, quienes han estado a mi lado en los momentos más difíciles de mi vida, brindándome su amor incondicional y su apoyo constante. Ustedes han sido y siempre serán mi mayor motivación, los pilares que sostienen mis sueños, por cada noche en vela, por cada consejo y por cada abrazo que me dieron cuando más lo necesitaba, este logro es tanto de ustedes como mío, y no podría haberlo alcanzado sin su ayuda.

A mi familia y amigos quienes sin esperar nada a cambio compartieron su conocimiento y me brindaron su apoyo haciendo que lo complicado de lograr esta meta se haya notado menos y no podría finalizar sin dejar de mencionar a mi gran amiga y compañera Nathaly Montesdeoca con quien compartí innumerables horas de estudio, risas y desafíos. Estoy seguro de que su esfuerzo y dedicación la llevarán a alcanzar todas sus metas muy pronto

Alcivar Heredia Isaac Natanael

Dedicatoria

Esta dedicatoria va dirigida hacia las personas más importantes en mi vida y a quienes han estado presentes a lo largo de mi desarrollo académico.

A mi madre, Ruth Zambrano, quien siempre ha estado para mí, con su apoyo incondicional para perseverar y motivarme a superar cada obstáculo que se presentó en mi camino académico. Sus palabras de aliento y sus deseos sinceros de éxito fueron mi fuerza cuando más lo necesitaba.

A mi novia, Valentina Leones, mi mayor fuente de motivación, ha sido mi apoyo constante a lo largo de este camino universitario. Sus palabras de aliento fueron el impulso que necesitaba para seguir adelante. Por estar siempre a mi lado, por comprender las largas horas de estudio y por celebrar cada pequeño y grande logro conmigo.

A mi padre, Carlos Velesaca, y a mi tía, María Zambrano, quienes han sido las personas que me ayudaron a hacer posible mi educación universitaria. Su apoyo económico y emocional fueron de mucha ayuda para que hoy pueda celebrar la culminación de este proyecto académico.

Velesaca Zambrano Edison Javier

Agradecimiento

Primero, queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a Dios, quien nos ha dado la fortaleza y la sabiduría necesarias para superar cada obstáculo y alcanzar esta meta tan importante en nuestras vidas. Su guía y apoyo han sido esenciales para que podamos llegar hasta aquí, y por ello, le estamos profundamente agradecidos

Asimismo, extendemos nuestro agradecimiento al Ing. Fernando Vladimir Jaramillo García, Ph.D nuestro tutor de tesis. Su invaluable apoyo y dirección a lo largo de nuestra carrera universitaria han sido importantes para nuestro desarrollo profesional. Su compromiso y dedicación nos ayudó a que podamos alcanzar los objetivos que nos teníamos propuestos.

Agradecemos a nuestros familiares porque estuvieron apoyándonos constantemente en nuestro desarrollo académico, dándonos palabras de aliento para seguir adelante en esta carrera.

Por último, queremos agradecer a nuestras amistades cercanas quienes siempre estuvieron ahí para apoyarnos en el transcurso de nuestra preparación académica y que también han sido un recordatorio constante de que, aunque el camino puede ser arduo, siempre hay momentos para disfrutar y personas con quienes compartir nuestras victorias y aprendizajes.

Alcivar Heredia Isaac Natanael y Velesaca Zambrano Edison Javier

Resumen

Los dinamómetros cuatro cuadrantes son dispositivos versátiles que permiten medir tanto el par como la velocidad de rotación de una máquina, lo que facilita un análisis exhaustivo de su desempeño. El objetivo radica en la implementación de un dinamómetro cuatro cuadrantes con el fin de determinar parámetros de funcionamiento en máquinas eléctricas. Para lograr este objetivo, se hizo uso de la metodología de investigación cuantitativa. Se llevaron a cabo pruebas en el laboratorio de Potencia de la Facultad de Ingeniería y se realizaron análisis de datos del dinamómetro mediante el software LVDAC-EMS con el propósito de obtener información precisa sobre el rendimiento de estas máquinas. Los resultados y la discusión de esta investigación revelan hallazgos de importancia, ya que mediante los modos del dinamómetro se pudo variar la velocidad manteniendo el par constante y viceversa, además se destacó la eficacia del dinamómetro cuatro cuadrantes para proporcionar mediciones precisas y detalladas de los parámetros de funcionamientos de las máquinas eléctricas estudiadas. La implementación del dinamómetro cuatro cuadrantes y la realización de pruebas con análisis de datos precisos han contribuido de manera sustancial a la obtención de información crítica sobre el rendimiento de las máquinas eléctricas, fortaleciendo así el conocimiento en el campo eléctrico. Estos resultados respaldan la importancia de esta investigación y su relevancia para futuros desarrollos en el ámbito de las máquinas eléctricas.

Palabras clave

Rendimiento, análisis, dinamómetro, velocidad.

Abstract

Four-quadrant dynamometer are versatile devices that allow measuring both torque and rotational speed of a machine, facilitating a comprehensive analysis of its performance. The goal is to implement a four-quadrant dynamometer to determine operating parameters in electric machines. To achieve this objective, a quantitative research methodology was employed. Extensive tests were conducted in the Engineering Faculty laboratory, and dynamometer data analyses were performed using LVDAC-EMS software to obtain precise information about the performance of these machines. The results and discussion of this research reveal significant findings. Through the dynamometer modes, speed could be varied while keeping torque constant and vice versa. Moreover, the effectiveness of the four-quadrant dynamometer in providing accurate and detailed measurements of the operating parameters of the studied electric machines was highlighted. The implementation of the four-quadrant dynamometer and precise data analysis tests have contributed to obtaining critical information about the performance of electric machines, thereby strengthening knowledge in the electrical field. These results support the importance of this research and its relevance for future development in the field of electric machines and energy systems.

Keywords

Performance, analysis, dynamometer, speed.

Índice de contenido

Resumen.....	VII
Abstract.....	VIII
Introducción	1
Capítulo I: El Problema	6
1.1. Antecedentes	6
1.2. Justificación	7
1.3. Propuesta.....	8
1.4. Problema de Investigación.....	8
1.5. Árbol de Problemas.....	9
1.6. Árbol de Objetivos	10
1.7. Objeto de la Investigación	11
1.8. Campo de Acción.....	11
1.9. Hipótesis	11
1.10. Objetivos	11
1.10.1. Objetivo General.....	11
1.10.2. Objetivos Específicos.....	11
1.11. Variables	12
1.11.1. Tareas de Investigación.....	12
Capítulo II: Marco Teórico	13
2.1. Máquinas Eléctricas	13
2.2. Máquinas síncronas.....	13

2.2.1.	Principio de operación y fundamentos.....	13
2.2.2.	Curva característica par-velocidad de los motores síncronos	14
2.2.3.	Efecto de los cambios de carga en los motores síncronos	16
2.3.	Máquinas asíncronas	17
2.3.1.	Principio de funcionamiento y los fundamentos.....	17
2.3.2.	Velocidad y deslizamiento de la máquina	19
2.3.3.	Potencia y par en un motor asíncrono	20
2.3.4.	Par o momento de torsión contra curva de velocidad	21
2.4.	Dinamómetro de 4 cuadrantes/Fuente de alimentación serie Labvolt	22
2.4.1.	Descripción general	22
2.4.2.	Módulo de funciones en el modo Dinamómetro.....	24
2.4.2.1.	Freno de par constante de dos cuadrantes.....	24
2.4.2.2.	Motor de Impulsión/ Freno SH.....	25
2.4.2.3.	Motor de Impulsión/ Freno de velocidad constante.....	26
2.4.2.4.	Motor de Impulsión/ Freno de par constante	27
2.4.2.5.	Barrido de Velocidad	28
Capítulo III.	Diseño del Proyecto	29
3.1.	Metodología	29
3.2.	Descripción del Módulo Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes Serie 8960-20	29
3.2.1.	Características técnicas	30
3.2.2.	Características físicas.....	31

3.3.	Selección de Instrumentos y Equipos	31
3.3.1.	Módulo Dinamómetro/Fuente de alimentación de 4 cuadrantes.	31
3.3.4.	Motor/Generador DC	33
3.3.5.	Módulo Fuente de Alimentación	34
3.3.6.	Módulo de cargas resistivas	35
3.3.7.	Equipos de medición adicionales.....	36
3.4.	Procedimiento de las Prácticas.....	37
3.4.1.	Práctica 1: “Motor de impulsión/ par constante de dos cuadrantes, variando el voltaje”	37
3.4.1.1.	Análisis de la practica 1	42
3.4.1.2.	Conclusión de la práctica 1	42
3.4.2.	Practica 2: “Motor de impulsión/ freno SH, variando el par en motor de inducción jaula de ardilla”	43
3.4.2.1.	Análisis de la práctica 2	46
3.4.2.2.	Conclusión de la práctica 2	46
3.4.3.	Practica 3: “Barrido de velocidad, variación de par y velocidad automática en motor de inducción”.....	47
3.4.3.1.	Análisis de la práctica 3	50
3.4.3.2.	Conclusión de la práctica 3	50
3.4.4.	Practica 4: “Sincronización de Alternador acoplado al dinamómetro como motor de impulsión.”	51
3.4.4.1.	Análisis de la práctica 4	55

3.4.4.2.	Conclusión de la práctica 4	56
3.4.5.	Practica 5: “Velocidad constante, alternador síncrono con cargas resistivas.”	57
	Cálculo de la eficiencia del módulo alternador:	60
3.4.5.1.	Análisis de la práctica 5	62
3.4.5.2.	Conclusión de la práctica 5	62
3.4.6.	Práctica 6: “Velocidad variable, alternador síncrono con cargas resistivas” ...	62
3.4.6.1.	Análisis de la práctica 6	67
3.4.7.	Práctica 7: “Barrido de velocidad, en motor de corriente continua 8211-22” .	67
3.4.7.1.	Análisis de la práctica 7	70
3.4.7.2.	Conclusión de la práctica 7	70
	Capitulo IV: Discusión de los Resultados	71
4.1.	Conclusiones Generales	71
4.2.	Recomendaciones Generales	72
5.	Recursos.....	73
5.1.	Recursos Humanos.....	73
5.2.	Recursos Institucionales.....	73
5.3.	Recursos Materiales y Económicos	74
	Cronograma.....	75
	Referencias.....	77
	Anexos	83

Índice de Figuras

Figura 1	Circuito equivalente por fase de un motor síncrono.....	1414
Figura 2	Curva característica par-velocidad de un motor síncrono.	1515
Figura 3	Circuito equivalente por fase de un motor de inducción.....	1818
Figura 4	Curva de par-velocidad de un motor de inducción.....	2222
Figura 5	Dinamómetro de 4 cuadrantes – FESTO.....	2323
Figura 6	Funcionamiento del dinamómetro.....	2424
Figura 7	Freno de Par constante de dos cuadrantes	2525
Figura 8	Motor de Impulsión/ Freno SH	2626
Figura 9	Motor de Impulsión/ Freno de velocidad constante	2727
Figura 10	Motor de Impulsión/ Freno de par constante.....	2828
Figura 11	Barrido de Velocidad.....	2828
Figura 12	Modulo Dinamómetro de 4 cuadrantes	3131
Figura 13	Motor/Alternador síncrono.....	3232
Figura 14	Motor jaula de ardilla de cuatro polos.....	3333
Figura 15	Motor/Generador DC	3434
Figura 16	Módulo Fuente de Alimentación.....	3535
Figura 17	Módulo de cargas resistivas	3636
Figura 18	Instrumentos de medición	3737
Figura 19	Conexión de motor de inducción a la fuente de alimentación	38
Figura 20	Conexión de los módulos Fuente-Motor-Dinamómetro práctica 1.....	3939
Figura 21	Curva característica de par- velocidad práctica 1	41
Figura 22	Curva característica de Voltaje-Velocidad de práctica 1	41
Figura 23	Curvas de par, voltaje y velocidad práctica 1.....	42
Figura 24	Curva característica Par-Velocidad práctica 2	46

Figura 25 Curva característica Par-Velocidad práctica 3	50
Figura 26 Conexiones para realizar la práctica 4 de sincronización.....	52
Figura 27 Curva característica de par velocidad del alternador síncrono práctica 4	55
Figura 28 Curva de regulación Voltaje-Frecuencia práctica 4	56
Figura 29 Conexiones para la práctica con cargas resistivas práctica 5	58
Figura 30 Curva de Rendimiento vs Carga – Práctica 5	581
Figura 31 Curva de Rendimiento vs Carga – Práctica 6.....	586

Índice de Tablas

Tabla 1 Características técnicas del dinamómetro de cuatro cuadrantes	300
Tabla 2 Datos recopilados mediante la variación de voltaje práctica 1	40
Tabla 3 Datos recopilados del software equipo de medición práctica 2.....	45
Tabla 4 Datos recopilados del Software práctica 3	49
Tabla 5 Datos recopilados del software práctica 4	53
Tabla 6 Datos recopilados de equipos de medición práctica 4	54
Tabla 7 Datos recopilados del software de alternador con cargas de práctica 5.....	600
Tabla 8 Datos recopilados de equipos de medición de práctica 5	60
Tabla 9 Datos recopilados del software práctica 6	6565
Tabla 10 Datos recopilados de equipos de medición práctica 6	6565
Tabla 11 Datos recopilados del software práctica 7	6969
Tabla 12 Detalle de los recursos empleados	7373
Tabla 13 Detalle de los recursos institucionales ocupados	7373
Tabla 14 Detalle de los recursos materiales y económicos.....	7474
Tabla 15 Cronograma de Actividades de la Fase 1.....	7575
Tabla 16 Cronograma de Actividades de la Fase 2.....	7676

Introducción

Una máquina eléctrica rotatoria es un aparato capaz de transformar la energía mecánica en energía eléctrica o viceversa, siendo denominado generador cuando realiza la conversión de energía mecánica a eléctrica y motor cuando efectúa la conversión de energía eléctrica a mecánica. Estos dispositivos tienen la capacidad de llevar a cabo ambas transformaciones, una máquina eléctrica rotativa puede funcionar tanto como generador como motor. En general todos los motores y generadores prácticos logran esta conversión mediante la influencia de campos magnéticos (Chapman, 2012).

En 1831, Faraday desarrolló el primer generador electromecánico fundamentado en el principio de la inducción electromagnética. Este dispositivo estaba constituido por un disco de cobre que giraba alrededor de su eje, siendo accionado por una manivela (Gómez, 2020). En 1837 Ampere encargó a un artesano de instrumentos científicos la construcción de un generador. En dicho dispositivo, un imán permanente era movido por una manivela, produciendo una corriente alterna en una bobina estacionaria. Sin embargo, esta corriente alterna (CA) se transformaba en corriente directa (CD) a través de un colector partido, donde estaban dos contactos metálicos deslizantes (San, 2022).

Durante un período de más de 30 años, se fabricaron numerosos generadores experimentales a partir de los ensayos de Faraday y Ampere, con el objetivo de ofrecer una alternativa más eficiente a las baterías en las diversas aplicaciones eléctricas en desarrollo (Nuevo, 2020). Finalmente, en 1887 Nikola Tesla y en 1889 Von Dobrowolsky introdujeron motores de inducción de CA que empleaban un rotor compuesto por varillas de cobre en cortocircuito, la estructura de estos motores no difiere mucho de los motores de CA que se utilizan en la actualidad (Quispe & Gomez, 2020).

En la actualidad, las máquinas rotativas desempeñan un papel esencial, destacándose en todos los ámbitos de producción. Para satisfacer la creciente demanda de maquinaria más eficiente, resulta necesario llevar a cabo mediciones precisas de variables clave como la potencia, par y velocidad angular (Martín, 2021). Estas mediciones en tiempo real no solo garantizan la calidad de los productos, sino que también ofrecen alertas tempranas sobre posibles inconvenientes. La importancia crítica de medir el par y la potencia se refleja claramente en la evaluación de nuevos diseños y en el desarrollo de componentes innovadores para las máquinas (Queijo, 2018).

La optimización del rendimiento y la evaluación precisa de las máquinas eléctricas, desde motores hasta generadores, son aspectos fundamentales en la ingeniería eléctrica y en una amplia variedad industrial (Yafei et al., 2017). La implementación de dinamómetros cuatro cuadrantes se han consolidado como un recurso indispensable para determinar parámetros de funcionamiento. Estos dispositivos permiten mediciones precisas de par, velocidad y potencia en las cuatro áreas operativas fundamentales; arranque, frenado regenerativo, generación y carga (Vanieiev et al., 2019).

El dinamómetro de cuatro cuadrantes es un equipo que permite medir y controlar la velocidad y el par de los motores y generadores lo que ha sido muy importante en los laboratorios de las universidades ya que permiten evaluar el comportamiento dinámico de estas máquinas eléctricas bajo una variedad de condiciones de funcionamiento (Alipanahi et al., 2022). Además este equipo puede operar en cuatro modos distintos, proporcionando mediciones precisas como la velocidad, el par, la potencia y energía, dando a conocer la respuesta dinámica de la máquina ante ciertas variaciones (Carrillo et al., 2019).

En el sector automotriz, el dinamómetro de cuatro cuadrantes tendría un aporte significativo en la evaluación del rendimiento de los motores eléctricos y baterías en los vehículos eléctricos

e híbridos (Obando, 2020). Este equipo al tener una gran precisión en la medición de par, velocidad y potencia tiene una validación imprescindible dando una medición real y siendo un factor clave para la eficiencia energética y autonomía de estos vehículos, impulsando la transición hacia una movilidad más sostenible (Sanz, 2022).

En la generación de energía, los dinamómetros son herramientas importantes para evaluar la eficiencia y la capacidad de respuesta de generadores eléctricos, especialmente en aplicaciones de energía renovable como la energía eólica (Escaño & García, 2021). Estos dispositivos permiten ajustar y mejorar la operación de los generadores eléctricos en función de las fluctuaciones en la velocidad del viento y la demanda eléctrica, contribuyendo de manera significativa a una generación de energía más eficiente y sostenible (Frías & González, 2022).

Para llevar a cabo la medición del par, se emplean diversas características físicas que transforman, por ejemplo, rotaciones, variaciones de tensiones mecánicas o propiedades magnéticas, en una señal eléctrica proporcional. En términos generales, la alteración de esta característica se manifiesta en una sección específica del eje sobre el cual se aplica el par y se mide (Rodney et al., 2018). Se pueden identificar dos categorías de transductores de par; los estáticos, que miden el par sin rotación o con movimientos angulares limitados, y los rotativos, que giran como parte del sistema y son apropiados cuando se necesitan mediciones de par dinámicas (Hoyos & Ortiz, 2018).

Los enfoques convencionales para medir el par, tales como el uso de frenos magnéticos o hidráulicos, así como balanzas dinamométricas, suministran mediciones estáticas del par. Incluso los transductores que llevan a cabo mediciones dinámicas a menudo incorporan una pantalla que muestra la lectura del valor de par (Veyrat et al., 2021). Así mismo la medición de la velocidad de la máquina eléctrica, se refiere a la velocidad angular de rotación del eje de

la máquina eléctrica y es esencial para comprender y controlar el rendimiento (Palmer et al., 2020).

Los autores (Bakshi & Bakshi, 2020) y (Ben, 2021) mencionan que la medición del par y la velocidad en máquinas eléctricas es esencial para el control, la eficiencia, la seguridad y el mantenimiento adecuado de estas máquinas en una variedad de aplicaciones industriales y tecnológicas. Por lo tanto, este trabajo surge por la **“Falta de un equipo adecuado para medir parámetros críticos como el par, la velocidad, la potencia y energía en las máquinas eléctricas”** para realizar pruebas en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería debido a que es de suma importancia poder evaluar los motores eléctricos.

La falta de instrumentación en el laboratorio no permite tener un amplio conocimiento técnico en temas de suma importancia. Por ello, el desarrollo de este estudio tiene como finalidad implementar el dinamómetro de cuatro cuadrantes determinando parámetros de funcionamiento en máquinas eléctricas a través de la realización de pruebas y análisis de datos para obtener información precisa sobre su rendimiento en el laboratorio de la Carrera de Electricidad. La implementación de este dispositivo contribuirá de manera positiva al desarrollo profesional del área de estudio porque se complementa la parte teórica y práctica sobre el análisis de las máquinas eléctricas.

En el presente documento se detalla el objetivo general que es: “Implementar el dinamómetro cuatro cuadrantes determinando parámetros de funcionamiento en máquinas eléctricas a través de la realización de pruebas y análisis de datos para obtener información precisa sobre su rendimiento”.

Para poder cumplir con el objetivo general se establecieron los siguientes objetivos específicos: “Estudiar los métodos que proporciona un dinamómetro para medir parámetros relacionados con la máquina eléctrica de prueba como el par y velocidad”. El segundo objetivo es “Realizar

prácticas utilizando el dinamómetro en un entorno de laboratorio, registrando datos de par, velocidad y potencia en diversas configuraciones” y por último “Evaluar el rendimiento de las máquinas eléctricas mediante el dinamómetro de cuatro cuadrantes en la función de motor de impulsión”.

En el presente trabajo el capítulo 1 identifica el problema, es aquí donde se detallan los antecedentes de las máquinas eléctricas, la justificación, la propuesta, el problema de investigación, el árbol de problemas y objetivos, el objeto de la investigación, el campo de acción, la hipótesis y el objetivo general y específicos , el capítulo 2 aborda el marco teórico, donde se detalla los tipos de máquinas eléctricas, sus modelos matemáticos y toda la información referente al dispositivo a implementar, como los métodos y pruebas que se pueden realizar. En el capítulo 3 se estructura la metodología y diseño del proyecto, donde se describen los materiales o métodos a utilizar para el análisis y prueba del estudio del dinamómetro, además de las prácticas que se realizan en el módulo. En el capítulo 4 se detallan las conclusiones alcanzadas en este trabajo.

Capítulo I: El Problema

1.1. Antecedentes

Las máquinas eléctricas han sido parte importante en el desarrollo tecnológico e industrial desde finales del siglo XIX (Díaz, 2021). Su aplicación es muy variada, desde la generación de energía hasta la aplicación en la industria tales como la automatización y control de procesos industriales. En el Ecuador las máquinas eléctricas, especialmente las máquinas síncronas, desempeñan un papel importante en la generación de energía, puesto que operan a una velocidad constante que esta sincronizada con la frecuencia de la red eléctrica permitiendo la estabilidad y calidad del suministro eléctrico (Chang et al., 2020).

En cambio, las máquinas asíncronas/ motores de inducción son utilizadas en la industria puesto que son robustos y eficientes para realizar este tipo de trabajos (Martínez, 2020). Por ende, la necesidad de un entendimiento profundo de las máquinas eléctricas debe de considerarse. Pero a pesar de que estas máquinas eléctricas son muy utilizadas hay un desconocimiento en las universidades y centros de investigación al ser analizados teóricamente pero no visto desde un punto práctico.

El cantón Manta se encuentra muy ligada con la parte industrial por lo que el uso de estas máquinas eléctricas es evidente, por esta razón existe la necesidad de tener un conocimiento más profundo en este tipo de temas. La falta de acceso a equipos de medición ha creado una brecha entre la teoría aprendida en las aulas y la forma de analizar este tipo de máquinas. Esto no solo limita el conocimiento y la experiencia de los estudiantes, sino que también impacta negativamente en el ámbito profesional al no poder contar con ingenieros debidamente capacitados para mantener equipos eléctricos críticos para el desarrollo industrial.

El interés por analizar los parámetros de funcionamiento de las máquinas eléctricas surge de estas limitaciones puesto que en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería no se cuenta con un equipo que permita analizar este tipo de variables, siendo un tema de gran relevancia para la experiencia práctica en el área de estudio.

El enunciado del problema de este proyecto es “**Falta de un equipo adecuado para medir parámetros críticos como el par, la velocidad, la potencia y energía en las máquinas eléctricas**”, además de un software especializado para ver digitalmente las curvas y datos que proporciona el mismo, ha creado la necesidad urgente de complementar la teoría con los avances tecnológicos. El equipo propuesto no solo permitirá a los estudiantes adquirir habilidades prácticas esenciales para su futura carrera, sino que también elevará el nivel de la educación en ingeniería eléctrica en nuestra universidad y, por ende, con su aporte al país.

1.2. Justificación

El presente trabajo tiene como objetivo implementar el dinamómetro cuatro cuadrantes determinando parámetros de funcionamiento en máquinas eléctricas a través de la realización de pruebas y análisis de datos para obtener información precisa sobre su rendimiento. Esto desempeña un papel fundamental respecto al problema planteado en cuanto a la falta de un equipo que permita medir los parámetros en las máquinas eléctricas.

Esta investigación contribuirá significativamente al nivel de educación en la carrera de Ingeniería Eléctrica, puesto que los estudiantes serán beneficiarios directos adquiriendo habilidades prácticas esenciales y una comprensión más detallada en el análisis y evaluación de las máquinas eléctricas en condiciones reales; por lo tanto, les dará un enfoque práctico que complementa la teoría aprendida en el salón de clases.

1.3.Propuesta

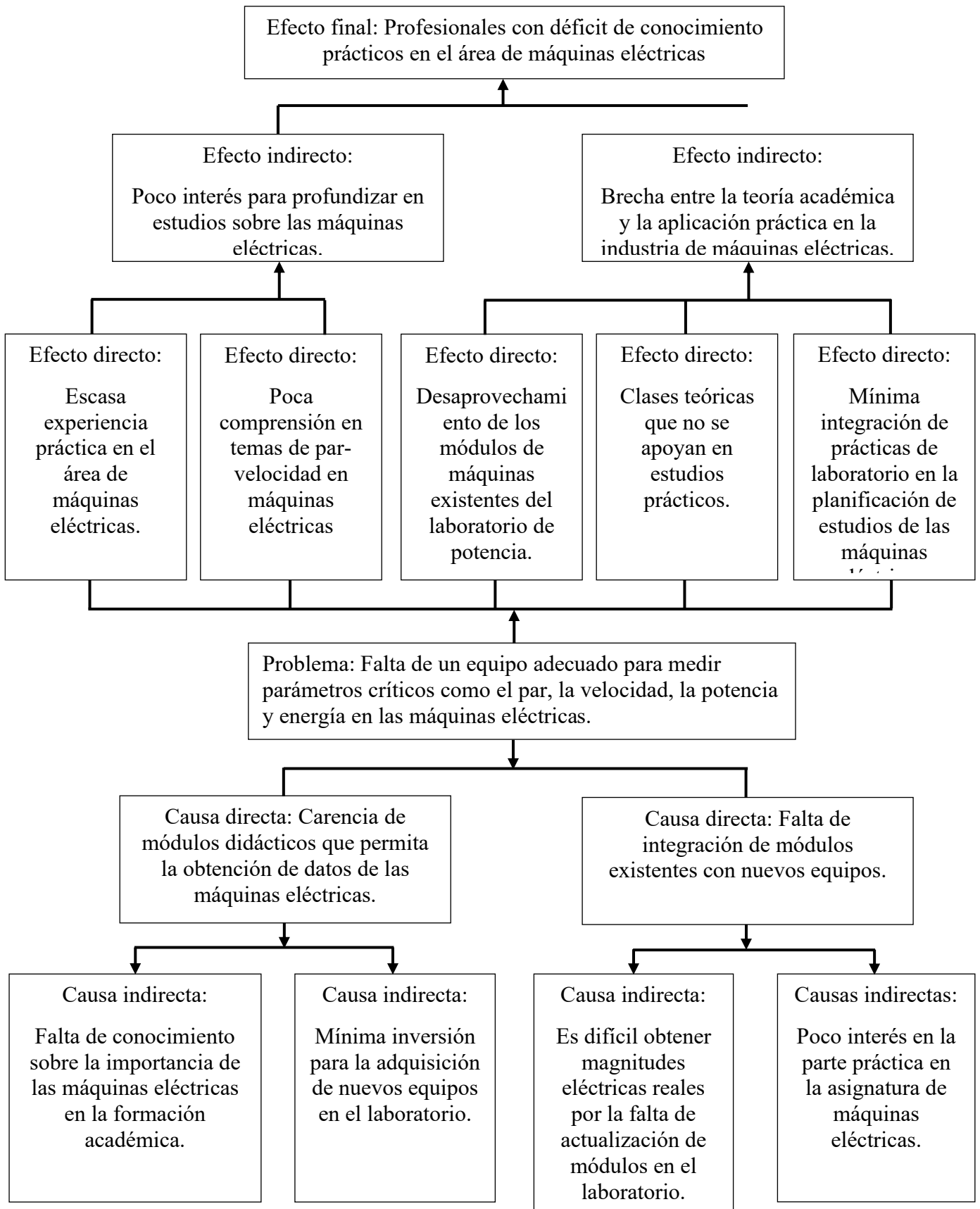
De acuerdo con el proyecto técnico y analizando la problemática de este estudio, se propone realizar prácticas evaluando los parámetros de funcionamiento de las máquinas eléctricas, describiendo los procedimientos a seguir y recopilando los resultados obtenidos para su posterior análisis.

Finalizando este proyecto, se plantea la implementación del dinamómetro de cuatro cuadrantes en la Facultad de Ingeniería Eléctrica, siendo este un elemento clave que servirá como material didáctico para la asignatura de máquinas eléctricas.

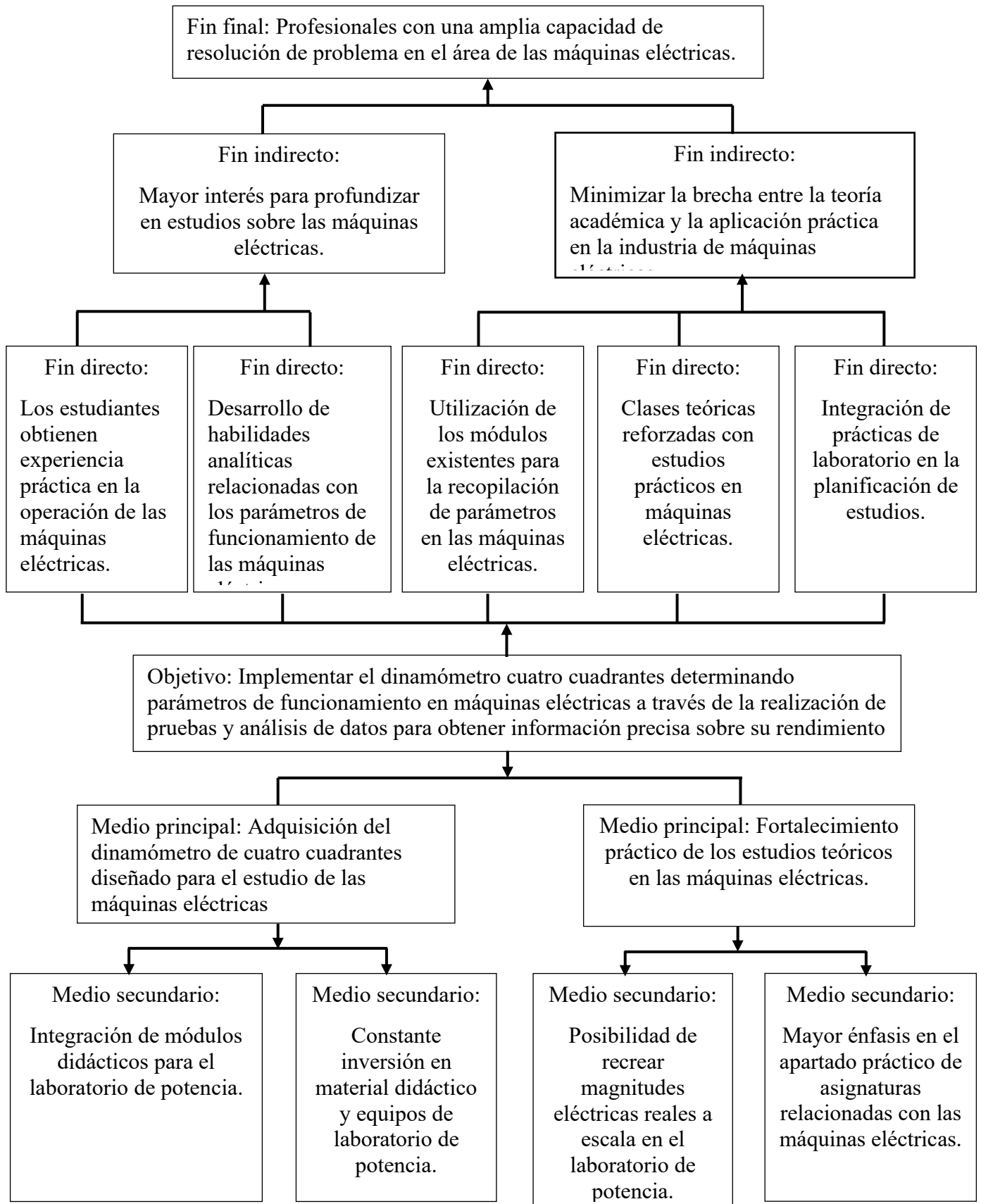
1.4.Problema de Investigación

La carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM) cuenta con un laboratorio de potencia el cual posee varios módulos con diferentes funciones que permiten a los estudiantes formarse académicamente, a pesar de ello, aun no se cuenta con un equipo que permita determinar el funcionamiento de las máquinas eléctricas, debido a esto lo que se aprende en clases de manera teórica no se lo puede validar con la parte práctica; por lo cual el presente proyecto se lo realizó con la finalidad de determinar parámetros de funcionamiento en máquinas eléctricas a través de la realización de pruebas y análisis de datos para obtener información precisa sobre su rendimiento.

1.5.Árbol de Problemas



1.6. Árbol de Objetivos



1.7.Objeto de la Investigación

Realización de prácticas con el Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes - Labvolt Serie 8960-20 junto con los módulos de motores, con el fin de comprender información precisa sobre su rendimiento

1.8.Campo de Acción

Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.

1.9.Hipótesis

Al implementar el dinamómetro cuatro cuadrantes desarrollando pruebas en máquinas eléctricas, los resultados obtenidos de par y velocidad estarán directamente relacionados con el rendimiento de las máquinas. Al comparar estos resultados con los valores teóricos, se identificarán las ventajas y limitaciones en la medición del par y la potencia.

1.10. Objetivos

1.10.1. Objetivo General

Implementar el dinamómetro cuatro cuadrantes determinando parámetros de funcionamiento en máquinas eléctricas a través de la realización de pruebas y análisis de datos para obtener información precisa sobre su rendimiento

1.10.2. Objetivos Específicos

1. Estudiar las funciones que proporciona un dinamómetro para medir parámetros relacionados con la máquina eléctrica de prueba como el par y velocidad.
2. Realizar prácticas utilizando el dinamómetro en un entorno de laboratorio, registrando datos de par, velocidad y potencia en diversas configuraciones

3. Evaluar el rendimiento de las máquinas eléctricas mediante el dinamómetro de cuatro cuadrantes en la función de motor de impulsión.

1.11. Variables

- Independiente: Implementación de dinamómetro de cuatro cuadrantes.
- Dependiente: Determinar parámetros de funcionamiento en máquinas eléctricas.

1.11.1. Tareas de Investigación

- Tarea 1: Investigación de los temas relacionados a las máquinas eléctricas.
- Tarea 2: Planificación y diseño de prácticas en el dinamómetro de cuatro cuadrantes.
- Tarea 3: Desarrollo de casos de estudio para la evaluación de las máquinas eléctricas.
- Tarea 4: Procesar y analizar los datos e identificar la relación con las curvas de par-velocidad de las máquinas eléctricas.
- Tarea 5: Desarrollar conclusiones de como varían los parámetros de las máquinas eléctricas variando el nivel de tensión.
- Tarea 6: Análisis de los datos recopilados.
- Tarea 7: Elaboración del manual de prácticas.
- Tarea 8: Argumentar acerca del módulo de dinamómetro de cuatro cuadrantes.
- Tarea 9: Revisión y edición de la tesis.
- Tarea 10: Culminación del proyecto de titulación.
- Tarea 11: Presentación y defensa de la tesis.

Capítulo II: Marco Teórico

2.1. Máquinas Eléctricas

Una máquina eléctrica es un dispositivo capaz de convertir energía mecánica en energía eléctrica o viceversa. Cuando se utiliza para transformar energía mecánica en energía eléctrica, se le llama generador, mientras que cuando convierte energía eléctrica en energía mecánica, se le denomina motor. (Chapman, 2012). Estas máquinas resultan de la ingeniosa aplicación de los principios del electromagnetismo, especialmente la ley de inducción de Faraday. Se caracterizan por tener circuitos eléctricos y magnéticos interconectados. (Fraile, 2008).

Se verán las máquinas eléctricas entorno a la Corriente Alterna (CA) en las que hay dos tipos fundamentales que son las máquinas síncronas y las asíncronas o también conocidas de inducción (Hassan et al., 2019). De acuerdo con el autor (Bakshi & Bakshi, 2020) la diferencia clave entre los dos tipos de máquinas radica en el suministro de corriente al rotor.

2.2. Máquinas síncronas

Un generador síncrono es una máquina que transforma energía mecánica en energía eléctrica, mientras que un motor síncrono es una máquina que convierte energía eléctrica en energía mecánica (Lipo, 2017). Una máquina síncrona tiene la capacidad de proporcionar potencia activa (real) a un sistema eléctrico o absorberla de él, así como suministrar potencia reactiva o consumirla del sistema. (Crespo, 2018).

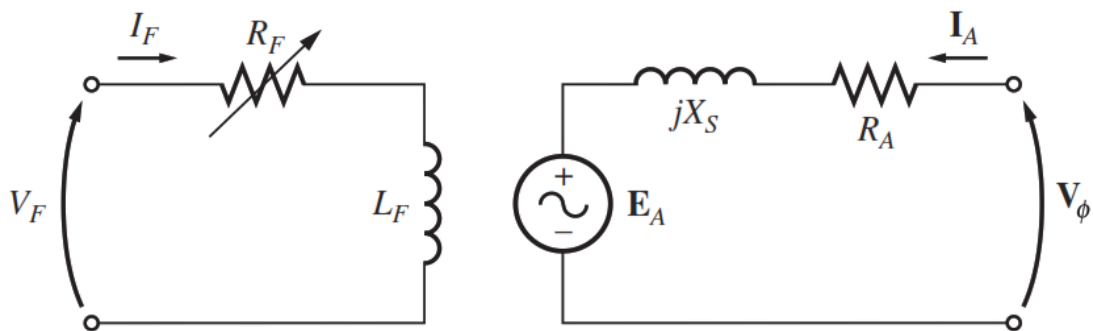
2.2.1. Principio de operación y fundamentos

Una máquina síncrona puede suministrar potencia activa (real) a un sistema eléctrico o absorberla de él, además de suministrar o consumir potencia reactiva en el sistema (Fraile, 2008). Durante este proceso, la corriente de campo I_F del motor establece un campo magnético estacionario B_R . Simultáneamente, se aplican voltajes trifásicos al estator, generando un flujo de corriente trifásico en los devanados

El funcionamiento fundamental de los motores síncronos se basa en que el rotor sigue el campo magnético giratorio del estator en un ciclo continuo, sin llegar a alcanzarlo completamente (Motoche, 2019).

Figura 1

Circuito equivalente por fase de un motor síncrono



Fuente: (Fraile, 2008)

La ecuación que se presenta a continuación corresponde a motor síncrono, pero para los generadores síncronos la única diferencia será la inversión del signo en la corriente.

$$V_{\phi} = E_A + jX_S I_A + R_A I_A \quad (1)$$

$$E_A = V_{\phi} - jX_S I_A - R_A I_A \quad (2)$$

2.2.2. Curva característica par-velocidad de los motores síncronos

Los motores síncronos están diseñados para mantener una velocidad constante sin importar la carga (Chapman, 2012). La velocidad está directamente relacionada con la frecuencia de la corriente alterna suministrada al motor. Esta relación se describe mediante la siguiente ecuación:

$$n_m = \frac{120f}{P} \quad (3)$$

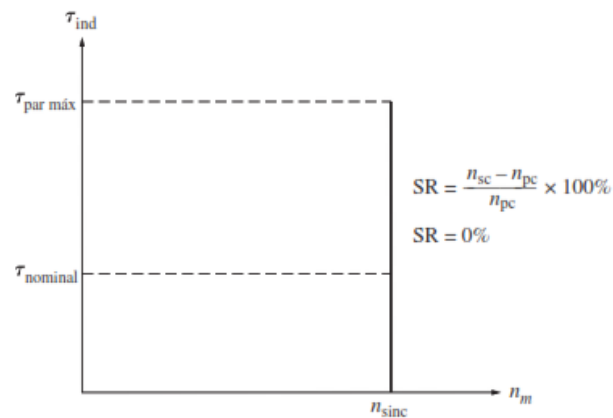
Donde:

n_m es la velocidad mecánica de rotación, f es la frecuencia eléctrica del estator y P es el número de polos del motor.

Esta ecuación muestra que la velocidad del motor síncrono es inversamente proporcional al número de polos y directamente proporcional a la frecuencia.

Figura 2

Curva característica par-velocidad de un motor síncrono.



Nota: Debido a que la velocidad del motor es constante, su regulación de velocidad es cero tal como se aprecia en la imagen.

El par máximo en un motor síncrono ocurre cuando el ángulo del par δ es de 90 grados (Lipo, 2017). En condiciones normales de carga, los pares en el motor son considerablemente menores que el par máximo. Sin embargo, cuando la carga supera el par máximo, el rotor no puede mantenerse sincronizado con el campo magnético del estator y comienza a retrasarse en relación con él. Este deslizamiento de polos provoca un fenómeno conocido como “deslizamiento”. El rotor se desliza y el campo magnético del estator lo supera varias veces, alterando la dirección del par inducido en el rotor (Chapman, 2012).

$$\tau_{ind} = \frac{3V_{\phi}E_A \text{sen}\delta}{\omega_m X_S} \quad (4)$$

Estos cambios de dirección del par resultante pueden causar oscilaciones y vibraciones perjudiciales para la operación del motor.

$$\tau_{max} = \frac{3V_{\phi}E_A}{\omega_m X_S} \quad (5)$$

2.2.3. Efecto de los cambios de carga en los motores síncronos

Cuando se conecta una carga al eje de un motor síncrono, el motor generará el par necesario para mantener tanto el motor como la carga a la misma velocidad que la fuente de alimentación, es decir, a la velocidad síncrona (Bakshi & Bakshi, 2020).

De acuerdo con el autor (Chapman, 2012) Si la carga en un motor síncrono cambia, por ejemplo, si aumenta la carga en el eje del motor, el rotor comenzará a disminuir su velocidad. A medida que esto ocurre, el ángulo del par δ aumenta y, como resultado, el par inducido en el motor también se incrementa. Este aumento en el par inducido finalmente acelera nuevamente el rotor, haciendo que el motor vuelva a girar a la velocidad síncrona, pero con un ángulo de par δ más grande (Motoche, 2019).

Los autores (Chapman, 2012) y (Fraile, 2008) mencionan que, durante este proceso, el diagrama fasorial del motor experimenta cambios. Antes de que las cargas aumenten (es decir, en condiciones normales de carga), el diagrama fasorial del motor muestra el voltaje interno generado E_A , que depende de la corriente de campo en la máquina y de su velocidad. Aunque este voltaje interno es constante incluso cuando la carga varía, a medida que la carga cambia, el voltaje interno E_A se desplaza hacia abajo en el diagrama fasorial.

Esto significa que se incrementa la cantidad $jX_S I_A$ para alcanzar el voltaje de campo V_F . Como resultado, también se incrementa la corriente en el inducido del motor I_A . Además, el ángulo del factor de potencia θ cambia, volviéndose menos adelantado y más retrasado a medida que aumenta la carga.

2.3. Máquinas asíncronas

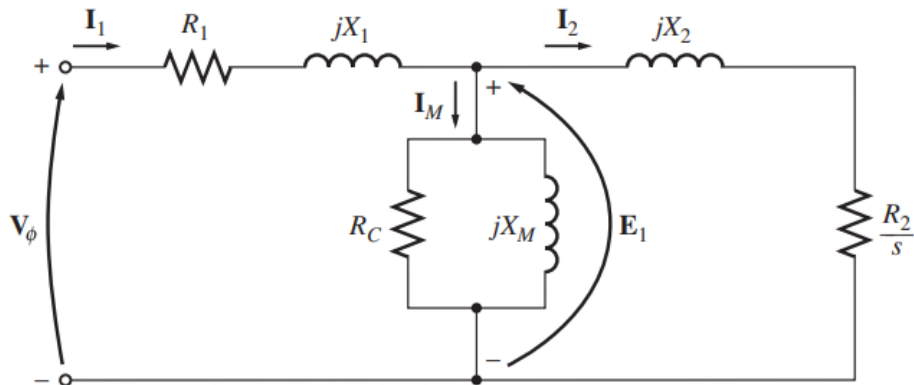
Las máquinas asíncronas incluyen tanto motores como generadores. Los motores de inducción, también conocidos como motores asíncronos, son los más comunes en la industria debido a su simplicidad, resistencia, bajo costo y facilidad de mantenimiento. Estos motores operan a una velocidad prácticamente constante, variando desde cero hasta plena carga. Su velocidad está determinada por la frecuencia, lo que los hace menos adaptables al control de velocidad. Sin embargo, en la actualidad, se utilizan cada vez más controladores electrónicos de frecuencia variable para regular la velocidad de los motores de inducción comerciales (Chacha, 2020).

2.3.1. Principio de funcionamiento y los fundamentos

El funcionamiento básico de una máquina asíncrona se basa en la interacción electromagnética entre el campo magnético giratorio generado por un sistema de corrientes trifásicas en el devanado del estator y las corrientes inducidas en el otro devanado. Este campo magnético giratorio, también conocido como campo magnético sincrónico, gira a una velocidad específica llamada velocidad de sincronismo. La denominación “asíncrona” proviene de la diferencia entre la velocidad de rotación del rotor y la velocidad de sincronismo, que está relacionada con la frecuencia de la red eléctrica. (Rodríguez, 2018).

Figura 3

Circuito equivalente por fase de un motor de inducción



Fuente: (Chapman, 2012)

De acuerdo con el autor mencionado en la figura 3, el circuito equivalente de los motores de inducción se representa con las siguientes ecuaciones:

$$E_1 = E'_R = a_{ef} E_{RO} \quad (6)$$

La corriente y la impedancia del rotor se la determina a continuación:

$$I_2 = \frac{I_R}{a_{ef}} \quad (7)$$

$$Z_2 = a^2_{ef} \left(\frac{R_R}{s} + jX_{RO} \right) \quad (8)$$

Por lo tanto, es definida como:

$$R_2 = a^2_{ef} * R_R \quad (9)$$

$$X_2 = a^2_{ef} * R_{RO} \quad (10)$$

Además de este circuito equivalente de la máquina se pueden determinar las pérdidas en el cobre del estator, en el núcleo y las pérdidas de cobre del rotor, siendo señaladas a continuación:

$$P_{PCE} = 3I_1^2 * R_1 \quad (11)$$

$$P_{Nucl} = 3E_1^2 * G_C \quad (12)$$

$$P_{EH} = P_{entr} - P_{PCE} - P_{Nucl} \quad (13)$$

2.3.2. *Velocidad y deslizamiento de la máquina*

Estas máquinas se utilizan ampliamente como motores. Al considerar su funcionamiento, observamos que la disposición de las espiras en el devanado del estator, junto con la alimentación trifásica, da lugar a la creación de un campo magnético giratorio. Esto implica que, si aisláramos el estator de la máquina y colocáramos una bola en su superficie interna, al encender la máquina, la bola comenzaría a rotar siguiendo el campo magnético giratorio. El autor (Andrade & Perez, 2021) menciona que la velocidad de rotación de este campo se denomina velocidad de sincronismo y depende de la frecuencia de alimentación y del número de pares de polos de la máquina, como se expresa a continuación:

$$n_s = \frac{120f}{P} \quad (14)$$

Donde n_s es la velocidad de sincronía, f es la frecuencia del sistema y P es el número de polos del motor.

El voltaje generado en la barra del rotor de un motor de inducción está relacionado con la velocidad del rotor en relación con los campos magnéticos (Gutiérrez, 2022). Dado que el rendimiento de un motor de inducción depende de las características de voltaje y corriente del

rotor, es más apropiado hablar de la velocidad relativa. Se utilizan dos términos con frecuencia para describir el movimiento relativo entre el rotor y los campos magnéticos. El autor (Chapman, 2012) menciona que uno de ellos es la velocidad de deslizamiento, definida como la diferencia entre la velocidad síncrona y la velocidad del rotor:

$$n_{des} = n_s - n_m \quad (15)$$

Donde: n_{des} es velocidad de deslizamiento de la máquina, n_s es la velocidad de síncrona y n_m es la velocidad de la máquina.

Cuando la máquina funciona como motor, que es su modo de operación más común, la velocidad del rotor es menor que la velocidad de sincronismo, lo que resulta en la generación de un par motor. Para que esta máquina opere como generador, es necesario impulsarla con una máquina motriz externa de manera que su velocidad supere la velocidad de sincronismo. En este escenario, se manifiesta un par de frenado en el eje. Otro término usado para describir el movimiento relativo es el deslizamiento, que se define como la velocidad relativa expresada como una fracción de uno o en términos porcentuales (Queijo, 2018). La relación de deslizamiento se expresa como:

$$s = \frac{n_s - n_m}{n_s} * 100\% \quad o \quad S = \frac{\omega_s - \omega_m}{\omega_s} * 100\% \quad (16)$$

Es importante mencionar que, si el rotor gira a la velocidad síncrona, el deslizamiento será $S=0$, en tanto que, si el rotor permanece estacionario o en reposo, $S=1$. Todas las velocidades usuales del motor se encuentran dentro de estos dos extremos (Turcios, 2020).

2.3.3. Potencia y par en un motor asíncrono

En un motor asíncrono, la relación entre la potencia y el par es fundamental para entender su rendimiento. La potencia en un motor asíncrono se refiere a la tasa de energía que

el motor puede suministrar o convertir en trabajo útil. El autor (Chapman, 2012) menciona que la ecuación para la potencia en un motor de inducción es:

$$P_{EH} = \tau_{ind} * \omega_{sinc} \quad (17)$$

Donde P_{EH} es la potencia en el entrehierro, τ_{ind} es el par inducido y ω_{sinc} es la velocidad angular síncrona.

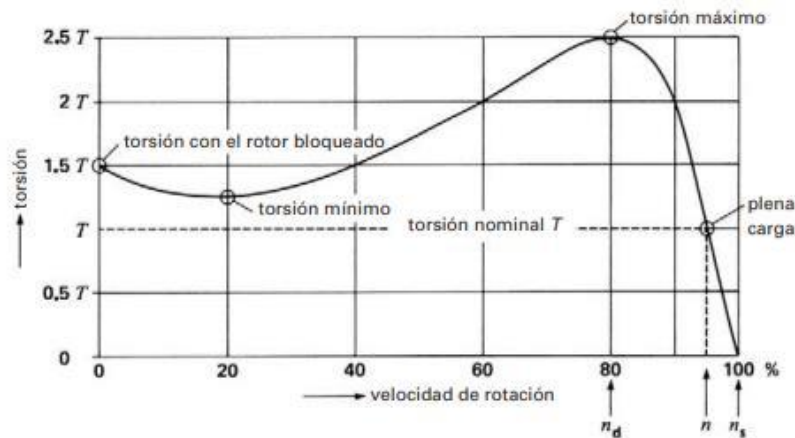
En un motor asíncrono, el par representa la fuerza que busca inducir el giro alrededor de su eje. En este contexto, el par inducido en la máquina se describe como aquel generado por la conversión de potencia interna de eléctrica a mecánica. Sin embargo, este par difiere del par realmente disponible en los terminales del motor debido a la presencia de pares de fricción y resistencia con el aire en la máquina (Yelamarthi & Sandepudi, 2020).

2.3.4. Par o momento de torsión contra curva de velocidad

El par o momento de torsión generado por un motor está vinculado a su velocidad, pero esta relación no puede expresarse de manera simple mediante una ecuación. Por lo tanto, es más adecuado representar la relación en forma de una curva. La Figura 4 ilustra la curva de momento de torsión en función de la velocidad de un motor de inducción trifásico convencional, cuyo momento de torsión nominal a plena carga es T. El momento de torsión de arranque es 1.5T y el momento de torsión máximo es de 2.5 T (Wildi, 2007).

Figura 4

Curva de par-velocidad de un motor de inducción



Fuente: (Elgbaily & Anayi, 2022)

El momento de torsi3n de aceleraci3n corresponde al m3nimo momento de torsi3n generado por el motor durante su fase de aceleraci3n, desde el reposo hasta alcanzar el momento de torsi3n m3ximo (Elgbaily & Anayi, 2022). Cuando el motor opera a plena carga, funciona a una velocidad n . Si la carga mec3nica experimenta un ligero incremento, la velocidad disminuir3 hasta que el momento de torsi3n del motor iguale al momento de torsi3n de la carga. Cuando ambos momentos de torsi3n se equilibran, el motor girar3 a una velocidad constante, aunque ligeramente m3s baja. No obstante, si el momento de torsi3n de la carga supera el momento de torsi3n m3ximo, el motor se detendr3 de inmediato (Alshbib & Alsofyani, 2022).

2.4. Dinam3metro de 4 cuadrantes/Fuente de alimentaci3n serie Labvolt

2.4.1. Descripci3n general

El dinam3metro de cuatro cuadrantes / fuente de alimentaci3n es un aparato con funciones que aportan una creaci3n de un dise1o para la formaci3n de sistemas que aporten en el 3mbito tecnol3gico a la energ3a el3ctrica (FESTO, 2023), en la Figura 5 se observa el modelo

del equipo. Dentro de dichas funciones se tienen en cuenta dos principales las cuales son: modo dinamómetro el cual consiste en que sea operativo como un dinamómetro de cuatro cuadrantes, y su configuración sea tanto como motor primario o tipo freno, mientras que la segunda función está determinada como fuente de alimentación la cual opera como una fuente de alimentación de cuatro cuadrantes y esto permite proveer una tensión de cortocircuito y corriente de cortocircuito (Rojas & Mojica, 2022).

Figura 5

Dinamometro de 4 cuandrantas – FESTO



Fuente: (FESTO, 2024)

La carga mecánica que el Dinamómetro produce cuando se acopla a un motor consiste en la fricción de la correa dentada, la fricción del dinamómetro que se da internamente por la fricción en los rodamientos, las escobillas y del aire, además del par magnético que el dinamómetro produce para oponerse a la rotación del motor (FESTO, 2024).

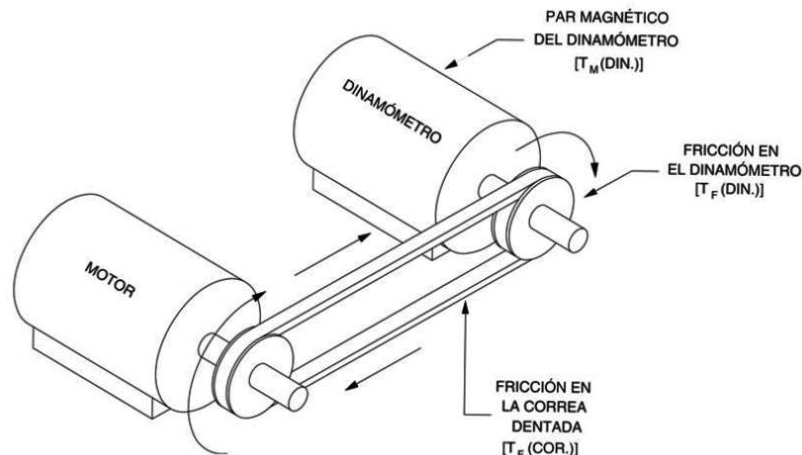
$$\tau_{carga} = \tau_F(cor) + \tau_F(din) + \tau_m(din) \tag{17}$$

Donde: $\tau_F(cor)$ indica que es el par que se opone a la rotación y este se da gracias a la fricción de la correa, el $\tau_F(din)$ también se opone a la rotación, pero este se da por la fricción del dinamómetro y por último $\tau_m(din)$ que es el par magnético que produce el dinamómetro para oponerse a la rotación.

A continuación, se muestra en la Figura 6 las fuerzas que se oponen a la rotación del motor y con esto cobra sentido con la ecuación detallada.

Figura 6

Funcionamiento del dinamómetro



Nota: En esta imagen se observa las fuerzas que se oponen a la rotación de un motor (FESTO, 2024).

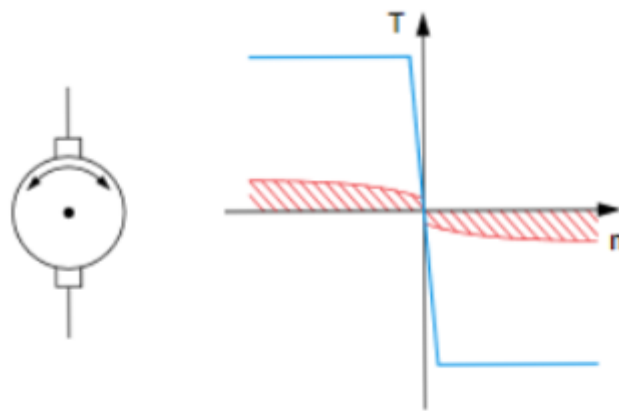
2.4.2. Módulo de funciones en el modo Dinamómetro.

2.4.2.1. Freno de par constante de dos cuadrantes

Esta función habilita la operación de la máquina de corriente continua con imanes permanentes como generador, generando una resistencia constante a la rotación de la máquina vinculada al Dinamómetro de cuatro cuadrantes/Fuente de alimentación, es decir, la máquina en prueba (Oliveira et al., 2020). Se utiliza un sistema de control de bucle cerrado para mantener constante el par de resistencia cuando se modifica la velocidad de rotación. El usuario introduce un comando de par, determinando así el valor del par que se opone a la rotación de la máquina sometida a prueba. Esta función proporciona mediciones de velocidad, par, potencia mecánica y energía en el eje de la máquina bajo prueba (Villamarin & Sigcha, 2019). En la Figura 7 se puede observar cómo actúa esta función en el dinamómetro.

Figura 7

Freno de Par constante de dos cuadrantes



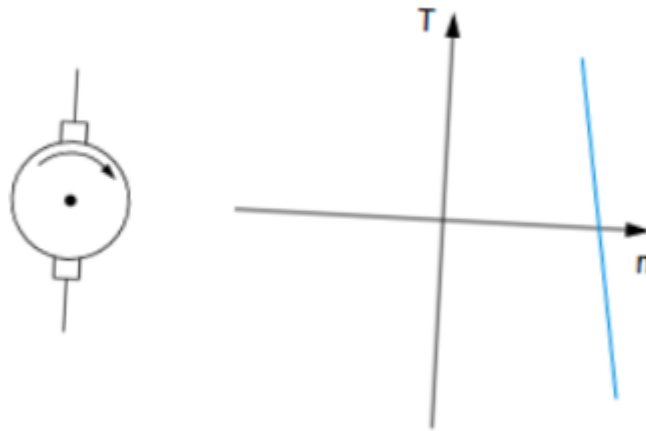
Fuente: (FESTO, 2023)

2.4.2.2. Motor de Impulsión/ Freno SH

Esta característica emplea la máquina de corriente continua con imanes permanentes para inducir el giro en sentido horario de la máquina vinculada al dinamómetro de cuatro cuadrantes, es decir, la máquina sometida a prueba. La velocidad de rotación en vacío de la máquina bajo prueba se determina mediante un comando de velocidad introducido. Esta función tal como se menciona en la Figura 8, proporciona mediciones en el eje de la máquina bajo prueba, incluyendo velocidad, par, potencia mecánica y energía (DeCoste & Scalzi, 2023).

Figura 8

Motor de Impulsión/ Freno SH



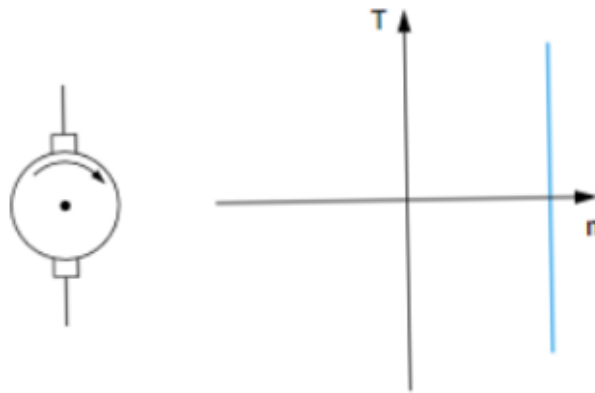
Fuente: (FESTO, 2023)

2.4.2.3. Motor de Impulsión/ Freno de velocidad constante

Como primer punto se debe tener en cuenta que esta función consiste en utilizar un sistema para que la velocidad de rotación constante se mantenga, incluso ante condiciones de carga variable. La velocidad de rotación de la máquina bajo prueba está determinada mediante la introducción de un comando de velocidad definido por el usuario. Con esto se puede obtener mediciones en el eje de la máquina bajo prueba, y también se puede tener la velocidad, par, potencia mecánica y energía (Moscardini & Pereira, 2022). En la Figura 9 se observa la relación par – velocidad constante.

Figura 9

Motor de Impulsión/ Freno de velocidad constante



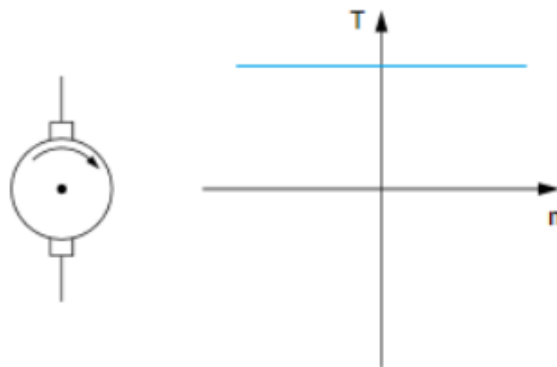
Fuente: (FESTO, 2023)

2.4.2.4. Motor de Impulsión/ Freno de par constante

Esta función utiliza un sistema de control de circuito cerrado para mantener un par constante al cambiar de velocidad, independientemente de si la máquina bajo prueba actúa como motor o freno (es decir, como generador). Esta función tal como se observa en la Figura 10 proporciona mediciones del eje de la máquina bajo prueba, incluida la velocidad, el par constante, la fuerza mecánica y la energía. También posee la capacidad de poder mostrar la temperatura de la máquina únicamente cuando se le ha conectado un sensor de temperatura de la máquina (si está equipado) a la entrada del termistor del dinamómetro/fuente de alimentación de cuatro cuadrantes (FESTO, 2023).

Figura 10

Motor de Impulsión/ Freno de par constante



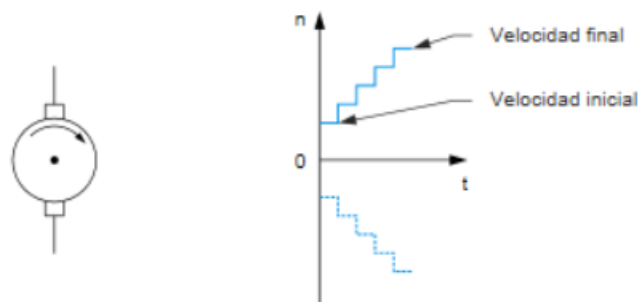
Fuente: (FESTO, 2023)

2.4.2.5. *Barrido de Velocidad*

Para realizar dicha función se debe someter a la máquina de prueba a varias velocidades dentro de un rango determinado. Este barrido de velocidad se efectúa dentro de un determinado número de pasos con respecto a un intervalo de tiempo específico, así como se puede identificar en la Figura 11. La facilidad que le da al usuario de tener algún tipo de control sobre la definición del barrido de velocidad al especificar 4 parámetros esenciales: velocidad inicial, velocidad final, números de pasos y duración del paso (Elgbaily & Anayi, 2022).

Figura 11

Barrido de Velocidad



Fuente: (FESTO, 2023)

Capítulo III. Diseño del Proyecto

3.1. Metodología

La metodología empleada para la implementación y respectiva evaluación del dinamómetro de cuatro cuadrantes se basó en la metodología cuantitativa, este enfoque permitió llevar a cabo pruebas en el laboratorio de Potencia de la carrera de Electricidad con el fin de determinar los parámetros de funcionamiento en máquinas eléctricas.

La metodología cuantitativa posibilita la medición de variables o fenómenos utilizando valores numéricos y lleva a cabo un procesamiento estadístico descriptivo e inferencial. Esta forma de investigación se fundamenta en la observación directa para la obtención de datos, siendo estos recolectados en ocasiones mediante instrumentos como cuestionarios o fichas de observación, y en otras, a través de fichas de análisis documental (Arias et al., 2022).

3.2. Descripción del Módulo Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes Serie 8960-20

El dinamómetro/fuente de alimentación de cuatro cuadrantes es un equipo con puerto de comunicación USB el cual sirve para una amplia gama de estudios relacionados con energía eléctrica. Tiene dos modos de funcionamiento, dinamómetro y fuente de alimentación. En cada modo existen variedades de funciones relacionadas para medición de máquinas eléctricas o emuladores de energías renovables (FESTO, 2024).

Cuando se utiliza el módulo como dinamómetro este puede actuar como un freno el cual se puede configurar, es decir, actúa como una carga mecánica o un motor primario el cual también es configurable. En el modo de fuente de alimentación, actúa como una fuente de alimentación de cuatro cuadrantes que puede simular fuentes de energías renovables como eólica, solar, etc.

3.2.1. Características técnicas

Tabla 1

Características técnicas del dinamómetro de cuatro cuadrantes

Parámetros	Valor
Modo Dinamómetro	
Par Magnético	0 a 3 N*m (0 a 27 lbf-in)
Sentido de Rotación	0 a 2500 r/min
Potencia nominal	350 W
Modo de Alimentación	
Tensión CC	0 a +- 150 V
Tensión CA (RMS)	0 a 105 V (sin carga)
Corriente continua	0 a +- 5 A
Corriente alterna (RMS)	0 a 3,5 A
Potencia máxima de salida	500 W
Frecuencia CA	10 a 120 Hz
Funciones de control	
Conjuntos activados	Funciones estándar (control manual) Funciones estándar (control por PC) Emulador de turbina Cargador de baterías de plomo-acido Emulador de panel solar
Entradas de control	
Entrada de comandos	0 a +- 10 V
Entrada de termistor	10 K Ω , Tipo 1
Salidas de control	
Codificador de eje	Codificador en cuadratura (A-B)
Sensibilidad de salida de par	0,3 N*m/V (2,655 lbf-in/V)
Sensibilidad de salida de velocidad	500 r/min/V
Puerto de comunicación	USB 2.0
Requisitos de potencia	120 V -6 A - 60 Hz
Características físicas	

Dimensiones (Al x An x Pr)	308x286x490 mm (12,1x11,3x19,3 pulg)
Peso neto	19,5 kg (43,0 lb)

3.2.2. Características físicas

- ✓ Dimensiones (Alto x Ancho x Largo): 308 x 287 x 490 mm
- ✓ Peso neto: 19,5 kg (43,0 libras)
- ✓ Marca/Serie: Festo-Serie 8960-20

Figura 12

Modulo Dinamómetro de 4 cuadrantes



Nota. Módulo Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes. Tomado de <https://labvolt.festo.com/>, por Festo,2024.

3.3. Selección de Instrumentos y Equipos

3.3.1. Módulo Dinamómetro/Fuente de alimentación de 4 cuadrantes.

Este es el módulo principal, se desarrolló en la sección 3.2, en donde se podrá encontrar información sobre a las características técnicas y físicas del módulo.

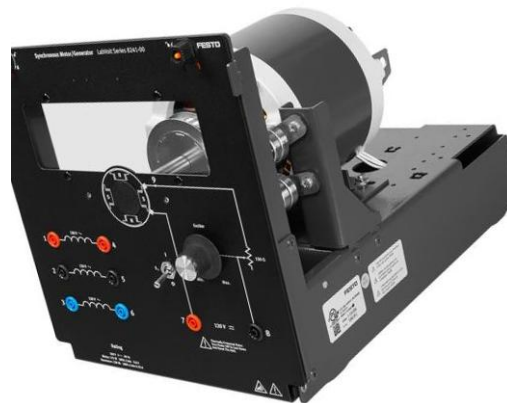
3.3.2. Motor/alternador síncrono

El motor/generador síncrono es una máquina con una potencia de 0,2 kW, este módulo se puede operar como motor o generador trifásico. Cada fase de los bobinados del estator está individualmente terminada y etiquetada en el panel frontal para permitir configuraciones de conexión en estrella o triángulo. Además, tiene los terminales para poder alimentar a su excitatriz mediante voltaje de DC en caso de que se utilice como generador (Festo, 2023).

Este motor/alternador es de gran importancia debido a que nos permite utilizarse como generador cuando se lo excita con una corriente continua y así poder realizar prueba de sincronismo y también calcular rendimiento y curvas de par-velocidad. El motor/alternador se encuentra en el laboratorio de potencia de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí para fines académicos.

Figura 13

Motor/Alternador síncrono



Nota. Motor/Alternador síncrono. Tomado de <https://labvolt.festo.com/>, por Festo,2024.

3.3.3. Motor Jaula de Ardilla de Cuatro Polos

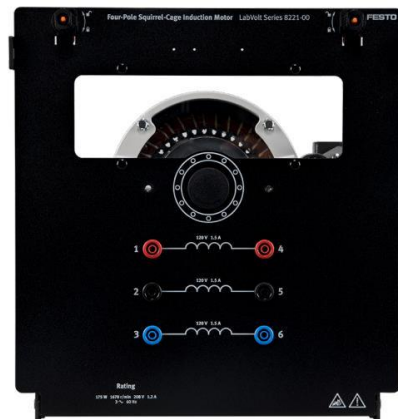
El motor de jaula de ardilla es un tipo de máquina de inducción trifásica fabricada por FESTO, como parte de la Serie Labvolt. Este equipo puede operar tanto como motor asincrónico o como generador. En su parte frontal, se encuentran terminales que permiten el

acceso a cada uno de los tres bobinados del estator, los cuales pueden ser configurados en conexión delta o estrella. Para obtener más detalles técnicos, se pueden consultar especificaciones adicionales en la página oficial del fabricante (Festo, 2023).

Este motor es de suma importancia para el estudio de curvas par-velocidad en máquinas asíncronas. El motor se encuentra en el laboratorio de potencia de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí para fines académicos.

Figura 14

Motor jaula de ardilla de cuatro polos



Nota. Motor jaula de ardilla de cuatro polos. Tomado de <https://labvolt.festo.com/>, por Festo,2024.

3.3.4. Motor/Generador DC

El motor/generador de corriente continua es una máquina, puede operar como motor o generador de corriente continua (Chapman, 2012). Los devanados del inducido, campo en derivación y campo en serie están conectados de forma separada en la placa frontal, permitiendo configuraciones largas y cortas en derivación, así como conexiones acumuladas y diferencialmente compuestas para motores y generadores. Esta máquina incluye escobillas

diseñadas para permitir estudiar los efectos de la reacción del inducido y la conmutación mientras la máquina está en funcionamiento bajo carga (Festo, 2023).

Este motor DC es importante para el estudio de las máquinas de corriente continua. El motor se encuentra en el laboratorio de potencia de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí para fines académicos.

Figura 15

Motor/Generador DC



Nota. Motor/Generador DC. Tomado de <https://labvolt.festo.com/>, por Festo,2024.

3.3.5. Módulo Fuente de Alimentación

El dispositivo de fuente de alimentación variable de la marca FESTO, perteneciente a la Serie Labvolt, está diseñado para proporcionar voltaje trifásico AC que puede ser variable o fijo. Ofrece voltajes que van desde 0 hasta 120/208VAC, con una corriente nominal de 15 amperios. Además, este equipo suministra voltaje en corriente continua y cuenta con otras especificaciones técnicas detalladas disponibles en la página oficial de FESTO (FESTO, 2023).

Este módulo es fundamental debido a que alimenta a otros módulos como motores de inducción, alternadores para poder realizar las respectivas mediciones y estudio de parámetros eléctricos de dichos equipos, los cuales son alimentados con voltaje trifásico y con

alimentación de corriente continua. El módulo se encuentra en el laboratorio de potencia de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí para fines académicos.

Figura 16

Módulo Fuente de Alimentación



Nota. Módulo fuente de alimentación variable. Tomado de <https://labvolt.festo.com/>, por FESTO,2024.

3.3.6. Módulo de cargas resistivas

Este módulo contiene nueve resistencias organizadas en tres bancos idénticos, cada banco está conformado por tres resistencias conectadas en paralelo que pueden ser activadas o desactivadas mediante selectores. Esto permite variar la resistencia equivalente de manera incremental. En el panel frontal del módulo hay seis conectores banana de seguridad que proporcionan acceso a cada uno de los bancos de resistencias. Los tres bancos pueden ser conectados de manera individual para operar en circuitos trifásicos. Además, los tres bancos pueden ser conectados entre sí para operar en circuitos monofásicos.

Figura 17

Módulo de cargas resistivas



Nota. Módulo de cargas resistivas. Tomado de <https://labvolt.festo.com/>, por FESTO,2024.

3.3.7. Equipos de medición adicionales

Durante las practicas se utilizaron los siguientes equipos de medición:

- ✓ Multímetro Uni-T UT58B
- ✓ Pinza amperimétrica FLUKE 381
- ✓ Pinza amperimétrica HABOTEST HT208D

Figura 18

Instrumentos de medición



3.4. Procedimiento de las Prácticas

La implementación de cada práctica debe ser llevada a cabo con las respectivas normas de seguridad, además no hay que realizar modificaciones en la conexión de los módulos mientras estén energizados. Se deberá corroborar la conexión de los equipos para evitar alguna falla eléctrica como cortocircuitos entre fases.

3.4.1. Práctica 1: “Motor de impulsión/ par constante de dos cuadrantes, variando el voltaje”

El objetivo de esta práctica es recopilar datos de parámetros principales del motor de inducción jaula de ardilla. Para ellos se realizó la variación de voltaje en los terminales de alimentación para poder variar velocidades, par, potencia mecánica, etc. Así poder observar curvas de par-velocidad de una maquina asíncrona.

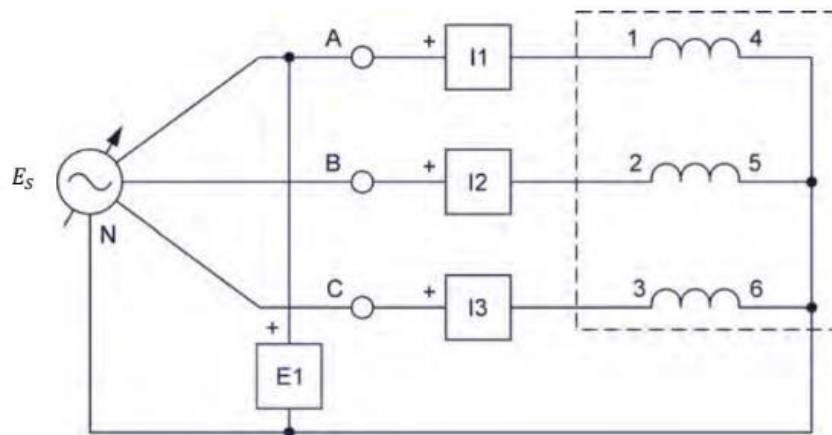
A continuación, el desarrollo de la práctica 1:

- 1) Se instala la fuente de alimentación y el módulo del motor de inducción al puesto de trabajo.

- 2) Se utiliza una correa dentada para acoplar mecánicamente el módulo de dinamómetro de cuatro cuadrantes y el modulo del motor de inducción jaula de ardilla.
- 3) Hay que asegurarse que los interruptores del modulo de fuente de alimentación estén abajo, es decir, desconectado. Luego toca energizar el módulo a la red eléctrica.
- 4) Luego hay que establecer conexión de comunicación entre el dinamómetro de cuatro cuadrantes y la computadora, esto se lo hace mediante un cable USB.
- 5) Se procede a encender el módulo de dinamómetro de 4 cuadrantes subiendo el selector que permite el paso de energía. Luego podemos utilizar el dinamómetro en cualquier función que nos permita.
- 6) Se inicia el software LVDAC-EMS. y hay que verificar que en el LVDAC-EMS, se detecte el Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes.
- 7) Se selecciona el voltaje y frecuencia de red a la que trabaja el dinamómetro de cuatro cuadrantes, se da clic en aceptar y se continua con el LVDAC-EMS.
- 8) Se conecta el motor de inducción jaula de ardilla en estrella y se alimenta los terminales de salida al voltaje trifásico del módulo de fuente de alimentación

Figura 19

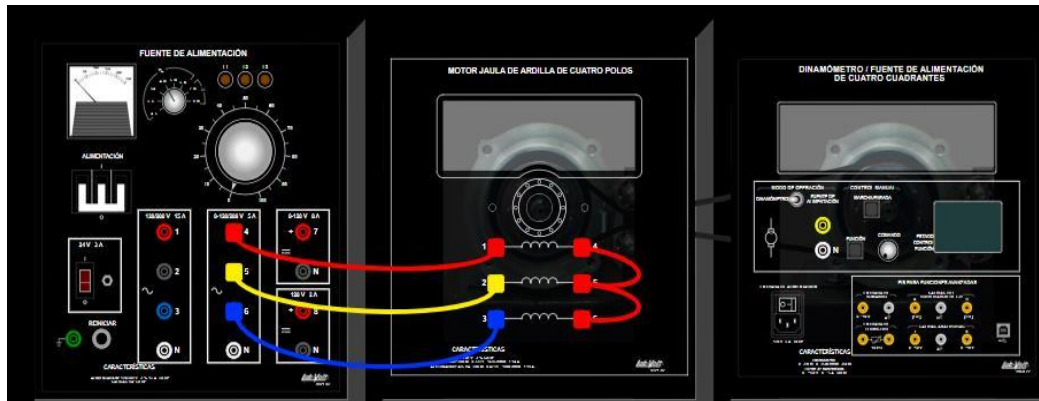
Conexión de motor de inducción a la fuente de alimentación



Nota. Diagrama trifásico de la conexión de los equipos. Tomado de <https://labvolt.festo.com/>, por Festo,2024.

Figura 20

Conexión de los módulos Fuente-Motor-Dinamómetro práctica 1



9) En el software LVDAC-EMS, se abre la ventana Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes y se realiza la siguiente configuración:

- ✓ Se fija el parámetro función de motor de impulsión/Freno de par constante, de dos cuadrantes.
- ✓ Se fija el parámetro de relación de la polea en 24:24.
- ✓ Abrir la ventana tabla de datos en el software LVDAC-EMS
- ✓ Se permite a que se registre los valores de Par y velocidad

10) Se enciende la fuente de potencia trifásica en el módulo de fuente de alimentación para arrancar el motor de inducción trifásico.

11) Se inicia con el botón Marcha/Parada desde el software LVDAC-EMS,

12) Aumente el Voltaje hasta llegar a las RPM nominales del motor de inducción jaula de ardilla. Ese voltaje es igual a 100V equivalente a 1670 RPM para el motor de inducción.

13) En el Módulo de fuente de alimentación ubicarse en la perilla de variación de voltaje e ir moviendo lentamente para hacer el registro de los datos.

14) Verificar con un multímetro los pasos de voltaje que se aplican para poder disminuir las RPM del motor.

15) Recopilamos y graficamos los datos obtenidos a partir de las mediciones. Podemos visualizar la variación de todos los parámetros cuando se varió el voltaje de alimentación.

Tabla 2

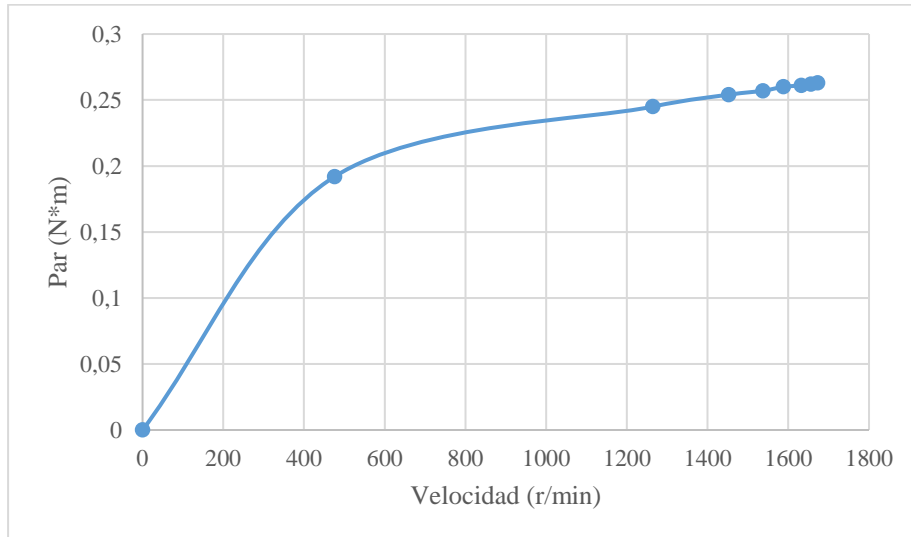
Datos recopilados mediante la variación de voltaje práctica 1

Velocidad (RPM)	Par (N*m)	Potencia (W)	Energía (W*h)	Voltaje (V)
1673	0.263	46.02	8.333	100
1656	0.262	45.43	8.574	95
1632	0.261	44.61	8.868	90
1588	0.26	43.19	9.05	85
1537	0.257	41.45	9.2	80
1452	0.254	38.59	9.337	75
1264	0.245	32.4	9.459	70
476	0.192	9.561	9.596	65

En la siguiente grafica se muestra la disminución de la velocidad y el par constante cuando se disminuía el voltaje. Esto se representa mediante la curva característica de par velocidad, donde se evidencia que la variación del par fue mínima a una gran variación de velocidad

Figura 21

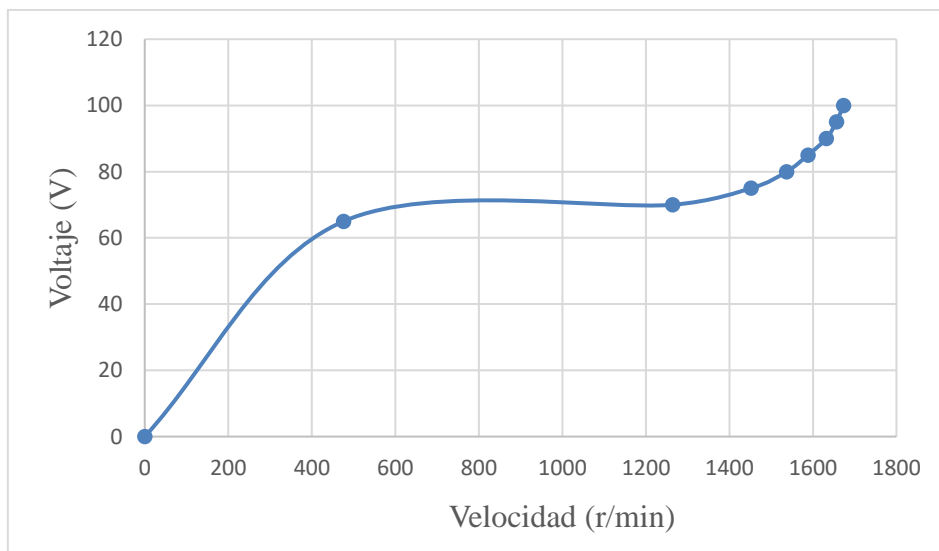
Curva característica de par- velocidad práctica 1



En la siguiente Figura 22 se puede visualizar como varió la velocidad respecto a la variación de voltaje.

Figura 22

Curva característica de Voltaje-Velocidad de práctica 1



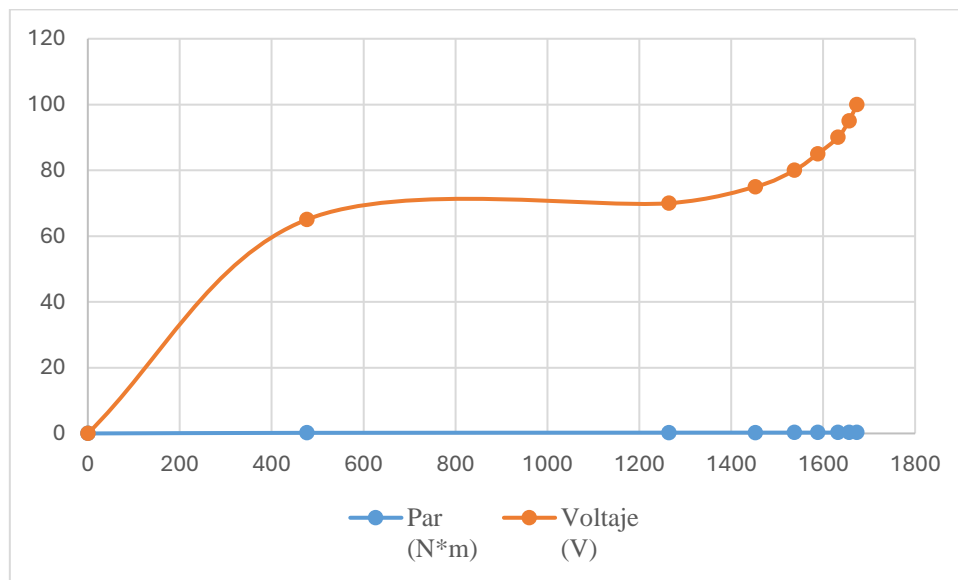
16) Se procede a apagar la fuente de alimentación para así desconectar las conexiones existentes entre el motor y la fuente.

3.4.1.1. Análisis de la practica 1

Como se pudo evidenciar en la Figura 21 hubo una variación de velocidad del motor desde su velocidad nominal hasta cero. Sin embargo, el par no varió significativamente esto debido a la función utilizada en el software que es “motor de impulsión/ par constante de dos cuadrantes” por lo tanto el par se iba a mantener. Por otro lado, se evidenció en la Figura 22 como a medida que disminuía el voltaje de alimentación la velocidad del motor también caía.

Figura 23

Curvas de par, voltaje y velocidad práctica 1



3.4.1.2. Conclusión de la práctica 1

Se pudo verificar mediante un multímetro que cuando variábamos el voltaje las RPM del motor de inducción también variaban, con la prueba realizada y con el paso de menos 5 voltios, las RPM disminuían hasta llegar a los 65V donde se alcanzaba la mínima velocidad en ralentí del motor y por ende procedía a pararse.

3.4.2. Practica 2: “Motor de impulsión/ freno SH, variando el par en motor de inducción jaula de ardilla”

La finalidad de esta práctica es poder visualizar y analizar la variación de velocidad a medida que se aumenta o se disminuye un par ejercido totalmente configurable desde el software, en un motor de inducción jaula de ardilla. Además, se busca prender la relación que existe entre los distintos parámetros vinculados con la operación de los motores de inducción trifásicos, tales como velocidad, par, potencia mecánica, etc.

A continuación, el desarrollo de la práctica 2:

- 1) Se instala la fuente de alimentación y el módulo del motor de inducción al puesto de trabajo.
- 2) Se utiliza una correa dentada para acoplar mecánicamente el módulo de dinamómetro de cuatro cuadrantes y el módulo del motor de inducción jaula de ardilla.
- 3) Hay que asegurarse que los interruptores del módulo de fuente de alimentación estén abajo, es decir, desconectado. Luego toca energizar el módulo a la red eléctrica.
- 4) Luego hay que establecer conexión de comunicación entre el dinamómetro de cuatro cuadrantes y la computadora, esto se lo hace mediante un cable USB.
- 5) Se procede a encender el módulo de dinamómetro de 4 cuadrantes subiendo el selector que permite el paso de energía. Luego podemos utilizar el dinamómetro en cualquier función que nos permita.
- 6) Se inicia el software LVDAC-EMS. y hay que verificar que en el LVDAC-EMS, se detecte el Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes.

- 7) Se selecciona el voltaje y frecuencia de red a la que trabaja el dinamómetro de cuatro cuadrantes, se da clic en aceptar y se continua con el LVDAC-EMS.
- 8) Se conecta el motor de inducción jaula de ardilla en estrella y se alimenta los terminales de salida al voltaje trifásico del módulo de fuente de alimentación. Mostrados en la Figura 8 y 9.
- 9) En el software LVDAC-EMS, se abre la ventana Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes y se realiza la siguiente configuración:
 - ✓ Se fija el parámetro función de motor de impulsión/Freno de par constante, de dos cuadrantes.
 - ✓ Se fija el parámetro de relación de la polea en 24:24.
 - ✓ Abrir la ventana tabla de datos en el software LVDAC-EMS
 - ✓ Se permite a que se registre los valores de Par y velocidad, potencia mecánica y energía.
- 10) Se enciende la fuente de potencia trifásica en el módulo de fuente de alimentación para arrancar el motor de inducción trifásico.
- 11) Se iniciar con el botón Marcha/Parada desde el software LVDAC-EMS,
- 12) Aumente el Voltaje hasta llegar a las RPM nominales del motor de inducción jaula de ardilla. Ese voltaje es igual a 100V equivalente a 1670 RPM para el motor de inducción.
- 13) Desde el software se procede a aumentar gradualmente el par ejercido hacia el motor de inducción.
- 14) Aumente el par hasta que las RPM del motor lleguen alrededor de las 800 RPM.
- 15) Recopilamos y graficamos los datos obtenidos a partir de las mediciones. Podemos visualizar la variación de todos los parámetros cuando se varió el voltaje de alimentación:

En la Tabla 3 se pueden visualizar parámetros relacionados al motor de inducción como velocidad, par, potencia mecánica, etc.

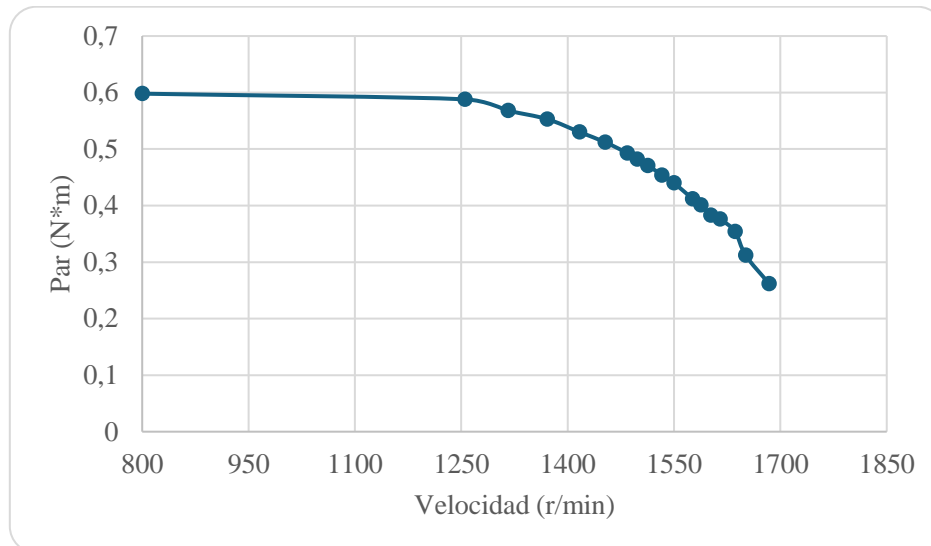
Tabla 3

Datos recopilados del software equipo de medición práctica 2

Velocidad	Par	Potencia	Energía	Voltaje
(r/min)	(n*m)	(W)	(W*h)	(V)
1684	0,262	46.29	6.091	100
1651	0,312	53.93	7.825	100
1636	0,354	60.73	12.63	100
1615	0,376	63.56	12.83	100
1602	0,383	64.24	13.06	100
1588	0,401	66.68	13.19	100
1576	0,412	68.03	13.43	100
1550	0,44	71.5	13.58	100
1533	0,454	72.82	13.75	100
1513	0,471	74.63	13.9	100
1498	0,482	75.66	14.14	100
1484	0,493	76.54	14.29	100
1453	0,512	77.89	14.43	100
1417	0,53	78.68	14.62	100
1371	0,553	79.37	14.82	100
1316	0,568	78.33	14.97	100
1255	0,588	77.25	15.12	100
800	0,598	50.13	15.55	100

Figura 24

Curva característica Par-Velocidad práctica 2



- 16) Una vez terminada la practica primero se debe regular nuevamente el par y luego se apaga la fuente de alimentación para proceder a desconectar los cables conectados al motor de inducción.

3.4.2.1. Análisis de la práctica 2

En esta práctica se manipuló el par manualmente mediante el software y se aumentó dicho par en pasos aproximados de 0,05 N*m y se evidencia mediante la Figura 24 como a medida que aumentamos el par se va a ejercer un freno en el motor de inducción, lo cual simula a una carga mecánica. Dicho freno hace que la velocidad (r/min) vaya disminuyendo constantemente, es decir, ambas son inversamente proporcionales debido a que si aumenta el par la velocidad va a disminuir.

3.4.2.2. Conclusión de la práctica 2

Se pudo realizar un análisis de datos recopilados respecto a la curva característica de par-velocidad, en la cual se demostró como como un par más grande, detiene más a los motores eléctricos.

3.4.3. Práctica 3: “Barrido de velocidad, variación de par y velocidad automática en motor de inducción”

En esta práctica se va a utilizar la función de barrido de velocidad la cual se encarga de variar la velocidad junto al par dependiendo de las asignaciones que se le configure para así poder visualizar el comportamiento del motor de inducción. Se pretende observar la relación que existe entre los distintos parámetros vinculados con la operación de los motores de inducción trifásicos, tales como velocidad, par, potencia mecánica, etc.

A continuación, el desarrollo de la práctica 3:

- 1) Se instala la fuente de alimentación y el módulo del motor de inducción al puesto de trabajo.
- 2) Se utiliza una correa dentada para acoplar mecánicamente el módulo de dinamómetro de cuatro cuadrantes y el módulo del motor de inducción jaula de ardilla.
- 3) Hay que asegurarse que los interruptores del módulo de fuente de alimentación estén abajo, es decir, desconectado. Luego toca energizar el módulo a la red eléctrica.
- 4) Luego hay que establecer conexión de comunicación entre el dinamómetro de cuatro cuadrantes y la computadora, esto se lo hace mediante un cable USB.
- 5) Se procede a encender el módulo de dinamómetro de 4 cuadrantes subiendo el selector que permite el paso de energía. Luego podemos utilizar el dinamómetro en cualquier función que nos permita.
- 6) Se inicia el software LVDAC-EMS. y hay que verificar que en el LVDAC-EMS, se detecte el Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes.
- 7) Se selecciona el voltaje y frecuencia de red a la que trabaja el dinamómetro de cuatro cuadrantes, se da clic en aceptar y se continua con el LVDAC-EMS.

- 8) Se conecta el motor de inducción jaula de ardilla en estrella y se alimenta los terminales de salida al voltaje trifásico del módulo de fuente de alimentación. Mostrados de en la Figura 8 y 9.
- 9) En el software LVDAC-EMS, se abre la ventana Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes y se realiza la siguiente configuración:
 - ✓ Se Fija el parámetro función de barrido de velocidad.
 - ✓ Se fija el parámetro de relación de la polea en 24:24.
 - ✓ Abrir la ventana tabla de datos en el software LVDAC-EMS
 - ✓ Se permite a que se registre los valores de Par y velocidad, potencia mecánica y energía.
 - ✓ Se enciende la fuente de potencia trifásica en el módulo de fuente de alimentación para arrancar el motor de inducción trifásico.
- 10) Se iniciar con el botón Marcha/Parada desde el software LVDAC-EMS,
- 11) Aumente el Voltaje hasta llegar a las RPM nominales del motor de inducción jaula de ardilla. Ese voltaje es igual a 100V equivalente a 1670 RPM para el motor de inducción.
- 12) Desde el Software una vez configurado los datos respectivos para la adquisición de datos ponemos en estado de marcha.
- 13) Recopilamos y graficamos los datos obtenidos a partir de las mediciones. Podemos visualizar la variación de todos los parámetros:

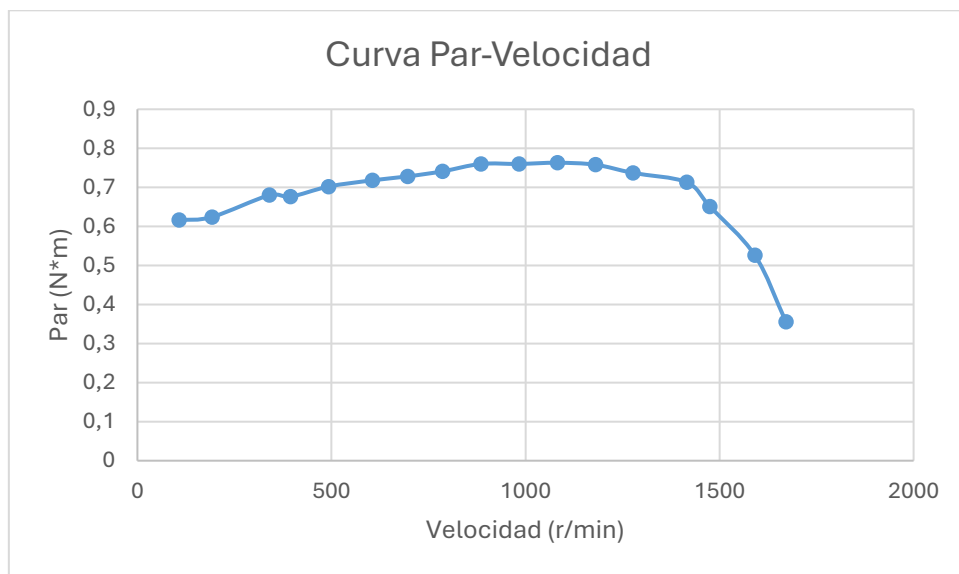
En la Tabla 4 se pueden visualizar parámetros relacionados al motor de inducción como velocidad, par, potencia mecánica, etc.

Tabla 4*Datos recopilados del Software práctica 3*

Velocidad (r/min)	Par (N*m)	Potencia (W)	Energía (W*h)
107	0,616	6,901	29,09
192	0,624	12,55	29,08
340	0,68	24,2	29,07
394	0,676	27,88	29,06
492	0,702	36,15	29,04
605	0,718	45,5	29,02
696	0,728	53,05	28,99
786	0,741	60,99	28,95
885	0,76	70,39	28,91
983	0,76	78,23	28,86
1082	0,763	86,44	28,81
1180	0,758	93,7	28,76
1277	0,737	98,58	28,71
1415	0,713	105,7	28,65
1475	0,632	97,59	28,61
1591	0,526	87,69	28,55
1671	0,356	62,38	28,52

Figura 25

Curva característica Par-Velocidad práctica 3



- 14) Una vez terminada la practica primero se debe regular nuevamente el par y luego se apaga la fuente de alimentación para proceder a desconectar los cables conectados al motor de inducción.

3.4.3.1. Análisis de la práctica 3

Se puede analizar en esta práctica como la toma de datos es secuencial debido a la función que se utiliza, en la Figura 25 se observa cómo iba disminuyendo la velocidad del motor de inducción, eso debido al freno ejercido por el dinamómetro de 4 cuadrantes. Aquí a diferencia de otras prácticas se puede observar como el software tiene la capacidad de tomar más datos inclusive por debajo de las 800 r/min. Para así tener una curva de par-velocidad con un mayor rango de datos.

3.4.3.2. Conclusión de la práctica 3

Se pudo concluir que la función de barrido de velocidad es específicamente para poder obtener datos y graficar curvas de par-velocidad de una manera precisa ya que los tiempos de

pasos e intervalos se hacen a un mismo tiempo especificado, por ende, se podrán observar mejores resultados al disminuir esos pasos e intervalos de tiempo.

3.4.4. Practica 4: “Sincronización de Alternador acoplado al dinamómetro como motor de impulsión.”

En esta práctica se va a utilizar la función de motor de impulsión de velocidad variable la cual nos va a permitir establecer diferentes velocidades para poder ir aumentando poco a poco el aumento de las RPM en el alternador y ver así parámetros como el par, potencia mecánica, etc. Además, se inyectará un voltaje DC a la excitatriz del alternador para poder generar energía eléctrica, este voltaje también se va a regular para que el voltaje de salida o en los terminales del generador sea de 208 V.

A continuación, el desarrollo de la práctica 4:

- 1) Se instala la fuente de alimentación y el módulo del alternador síncrono al puesto de trabajo.
- 2) Se utiliza una correa dentada para acoplar mecánicamente el módulo de dinamómetro de cuatro cuadrantes y el módulo del motor/alternador síncrono.
- 3) Hay que asegurarse que los interruptores del módulo de fuente de alimentación estén abajo, es decir, desconectado. Luego toca energizar el módulo a la red eléctrica.
- 4) Luego hay que establecer conexión de comunicación entre el dinamómetro de cuatro cuadrantes y la computadora, esto se lo hace mediante un cable USB.
- 5) Se procede a encender el módulo de dinamómetro de 4 cuadrantes subiendo el selector que permite el paso de energía. Luego podemos utilizar el dinamómetro en cualquier función que nos permita.
- 6) Se inicia el software LVDAC-EMS. y hay que verificar que en el LVDAC-EMS, se detecte el Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes.

- 7) Se selecciona el voltaje y frecuencia de red a la que trabaja el dinamómetro de cuatro cuadrantes, se da clic en aceptar y se continua con el LVDAC-EMS.
- 8) Conectar el equipo fuente de alimentación Motor /Alternador síncrono (mediante la conexión en estrella) y desde la fuente de alimentación hacia los terminales de DC para poder mandar voltaje regulable a la excitatriz del alternador como se muestra en la Figura 26.

Figura 26

Conexiones para realizar la práctica 4 de sincronización



- 9) En el software LVDAC-EMS, abra la ventana Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes, luego realice la siguiente configuración:
 - ✓ Se fija en la función en Motor de impulsión/Freno con velocidad variable
 - ✓ Se fija el parámetro Velocidad con un valor de velocidad inicial del motor/alternador síncrono de 800 RPM
 - ✓ El parámetro de relación de la polea se debe de fijar en 24:24
 - ✓ En el software LVDAC-EMS se debe de registrar los valores indicados en la ventana Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes
- 10) Se aumenta gradualmente la velocidad hasta llegar a la velocidad nominal del alternar que son 1800 RPM.

11) Se activa el circuito de excitación para comenzar a generar en el alternador y se regula ese voltaje de excitación DC hasta llegar a un voltaje de 208V en los terminales de salida del alternador.

12) Recopilamos y graficamos los datos obtenidos a partir de las mediciones. Podemos visualizar la variación de todos los parámetros:

Los datos que se visualizan en la Tabla 5 se recopilaron del Software LV-SIM/EMS cada vez que se agregaba una carga se realizaba un registro de velocidad, par, potencia (mecánica) y energía.

Tabla 5

Datos recopilados del software práctica 4

Velocidad	Par	Potencia	Energía
(r/min)	(N*m)	(W)	(W*h)
755	-0,084	-6.673	-0,114
856	-0,084	-7.539	-0,185
955	-0,08	-8.011	-0,276
1057	-0,077	-8.567	-0,341
1158	-0,071	-8.658	-0,392
1259	-0,071	-9.361	-0,461
1360	-0,064	-9.143	-0,519
1462	-0,062	-9.431	-0,579
1561	-0,059	-9.694	-0,649
1663	-0,055	-9.613	-0,742
1752	-0,055	-10,16	-0,881
1800	-0,054	-10,25	-0,985
1792	-0,107	-20,15	-1.222

1803	-0,11	-20,84	-1.745
------	-------	--------	--------

Los datos mostrados en la Tabla 6 se los obtuvo con una pinza Habotest HT208D

Tabla 6

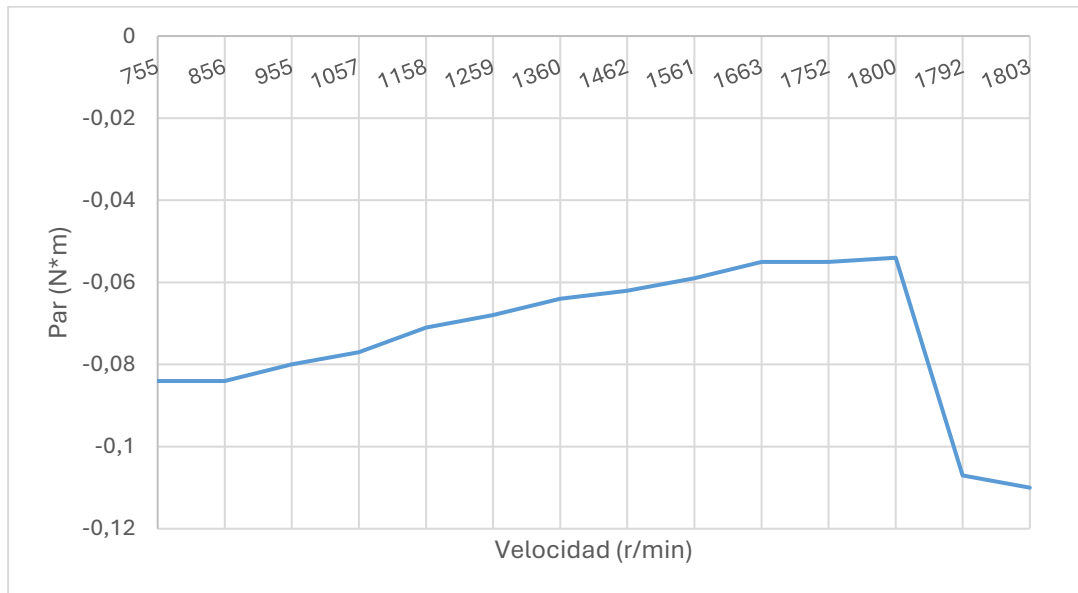
Datos recopilados de equipos de medición práctica 4

Voltaje	Frecuencia
(V)	(Hz)
198,2	59.7
208	59,7
208	60

En la Figura 27 se puede visualizar la curva de par-velocidad de dicha prueba, cabe recalcar que en los datos obtenidos resultado un par negativo, pero es el par ejercido por el alternador por ende solo se multiplicaría por -1.

Figura 27

Curva característica de par velocidad del alternador síncrono práctica 4



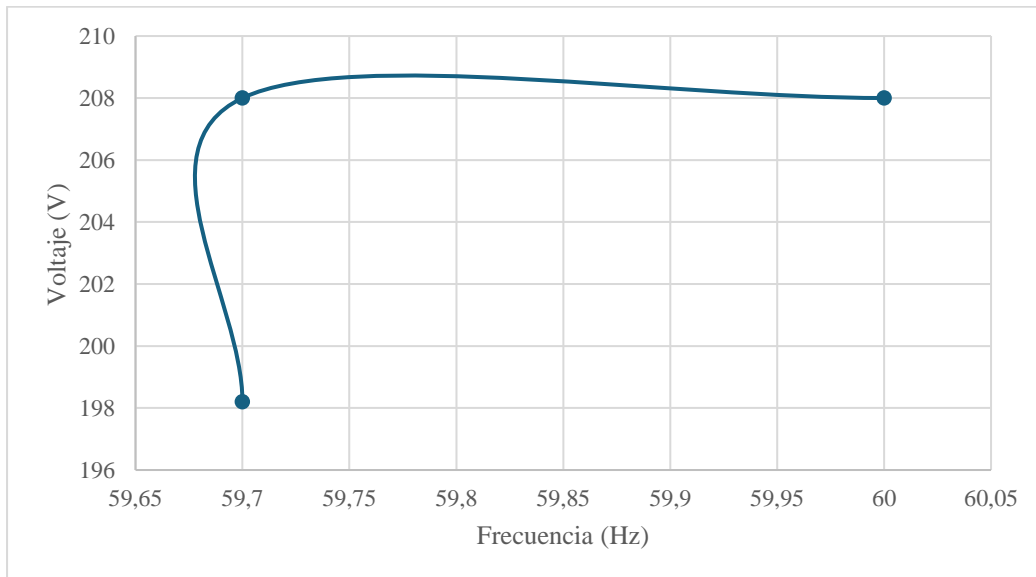
- 13) Cuando se haya registrado todo es importante primero apagar el dinamómetro desde el software, luego apagar la fuente de alimentación y por último retirar cableado de los módulos.

3.4.4.1. Análisis de la práctica 4

En esta práctica en base a los datos obtenidos en la Tabla 5 se puede apreciar como a medida que se aumenta la velocidad el par se mantiene alrededor de cero, esto es debido a que no existe una carga conectada al alternador, por ende, no se está ejerciendo un par. Además, cabe recalcar que se muestra un par negativo debido a que es el dinamómetro quien está midiendo un par que no es ejercido por él, por lo tanto, se debe multiplicar por -1. En la Tabla 6 se puede observar el voltaje y frecuencia, estos datos podemos observar en la Figura 28.

Figura 28

Curva de regulación Voltaje-Frecuencia práctica 4



Se puede apreciar la regulación que se hizo, primero se reguló el voltaje en la excitatriz del alternador para poder obtener 208 voltios. Luego se reguló la velocidad del alternador a su nominal para poder obtener 60 Hz y así estar en sincronía con el voltaje de la red o en este caso el módulo de fuente de alimentación.

3.4.4.2. Conclusión de la práctica 4

Se puede concluir mencionando que el control del alternador es esencial para poder tener parámetros eléctricos deseados como la frecuencia y voltaje los cuales son parámetros de operación sumamente importantes. Para ello se reguló el voltaje en la excitatriz y se reguló la velocidad del alternador. Cabe recalcar que este proceso actualmente es realizado por controladores, pero es importante conocer y entender este fundamento de las máquinas eléctricas síncronas.

3.4.5. Practica 5: “Velocidad constante, alternador síncrono con cargas resistivas.”

En esta práctica se va a utilizar la función de motor de impulsión velocidad constante, la cual nos va a permitir establecer una sola velocidad al alternador manteniendo una velocidad constante sin importar que aumente la carga, el dinamómetro se encargará de mantener al alternador siempre en su velocidad nominal. Además, se regulará el voltaje para mantenerlo dentro del rango permitido para así poder obtener parámetros como el par, potencia mecánica, etc. También se calculará el rendimiento del alternador en base a los datos recolectados.

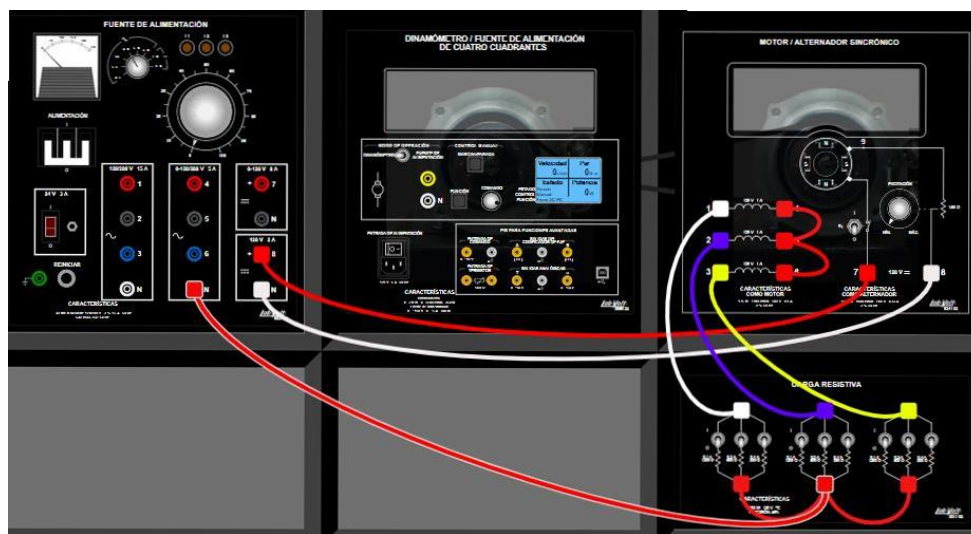
A continuación, el desarrollo de la práctica 5:

- 1) Se instala la fuente de alimentación y el módulo del alternador síncrono al puesto de trabajo.
- 2) Se utiliza una correa dentada para acoplar mecánicamente el módulo de dinamómetro de cuatro cuadrantes y el módulo del motor/alternador síncrono.
- 3) Hay que asegurarse que los interruptores del módulo de fuente de alimentación estén abajo, es decir, desconectado. Luego toca energizar el módulo a la red eléctrica.
- 4) Luego hay que establecer conexión de comunicación entre el dinamómetro de cuatro cuadrantes y la computadora, esto se lo hace mediante un cable USB.
- 5) Se procede a encender el módulo de dinamómetro de 4 cuadrantes subiendo el selector que permite el paso de energía. Luego podemos utilizar el dinamómetro en cualquier función que nos permita.
- 6) Se inicia el software LVDAC-EMS. y hay que verificar que en el LVDAC-EMS, se detecte el Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes.
- 7) Se selecciona el voltaje y frecuencia de red a la que trabaja el dinamómetro de cuatro cuadrantes, se da clic en aceptar y se continua con el LVDAC-EMS.

- 8) Conectar el equipo fuente de alimentación Motor /Alternador síncrono (mediante la conexión en estrella) y desde la fuente de alimentación hacia los terminales de DC para poder mandar voltaje regulable a la excitatriz del alternador. Además, conecte las cargas resistivas.

Figura 29

Conexiones para la práctica con cargas resistivas práctica 5



- 9) En el software LVDAC-EMS, abra la ventana Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes, luego realice la siguiente configuración:

- ✓ Se fija el parámetro función en Motor de impulsión/Freno con velocidad constante.
- ✓ Se fija el parámetro Velocidad con un valor de velocidad inicial del motor/alternador síncrono de 800 RPM
- ✓ El parámetro de relación de la polea se debe de fijar en 24:24
- ✓ En el software LVDAC-EMS se debe de registrar los valores indicados en la ventana Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes

- 10) Se aumenta gradualmente la velocidad hasta llegar a la velocidad nominal del alternar que son 1800 RPM.
- 11) Se activa el circuito de excitación para comenzar a generar en el alternador y se regula ese voltaje de excitación DC hasta llegar a un voltaje de 208V en los terminales de salida del alternador.
- 12) Se procede a meter cargas resistivas gradualmente. Para ello se hace una estrella en el módulo de cargas resistivas para poder conectarlas.
- 13) Se comienza a cargar el alternador, primero con cargas de 300 Ω , luego cargas de 600 Ω y por último cargas de 1200 Ω .
- 14) Recopilamos y graficamos los datos obtenidos a partir de las mediciones. Podemos visualizar la variación de todos los parámetros:

Los datos que se visualizan en la Tabla 7 se recopilaron del Software LV-SIM/EMS cada vez que se agregaba una carga se realizaba un registro de velocidad, par, potencia (mecánica) y energía.
- 15) Cuando se haya registrado todo es importante primero apagar el dinamómetro desde el software, luego apagar la fuente de alimentación y por último retirar cableado de los módulos.

Tabla 7*Datos recopilados del software de alternador con cargas de práctica 5*

OBSERVACIONES	Velocidad (r/min)	Par (N*m)	Potencia (W)	Energía (W*h)
Sin carga	1802	-0,066	-12,38	-1,548
300 Ω	1802	-0,748	-141,1	-3,053
300 Ω + 600 Ω	1802	-1,002	-189,1	-8,495
1200 Ω + 600 Ω +300 Ω	1802	-1,097	-207	-12,69

Los datos mostrados en la Tabla 8 se los obtuvo con una pinza Fluke 381 y una Habotest HT208D

Tabla 8*Datos recopilados de equipos de medición de práctica 5*

OBSERVACIONES	Voltaje (V)	Frecuencia (Hz)	Corriente (A)
Sin carga	208	60	0
300 Ω	208	60	0,3
300Ω + 600Ω	208	60	0,5
1200Ω + 600Ω +300Ω	208	60	0,6

Cálculo de la eficiencia del módulo alternador:

En base a los datos recopilados por el dinamómetro y los equipos de medición es posible calcular el rendimiento de dicho módulo.

Potencia de entrada proporcionada por el software:

$$P_{entrada} = 207 \text{ W}$$

Potencia de salida calculada:

$$P_{salida} = \sqrt{3} * I * V_{LL} * Fp$$

$$P_{salida} = \sqrt{3} * 0,6 * 208 * 0,8$$

$$P_{salida} = 172,9 \text{ W}$$

Eficiencia:

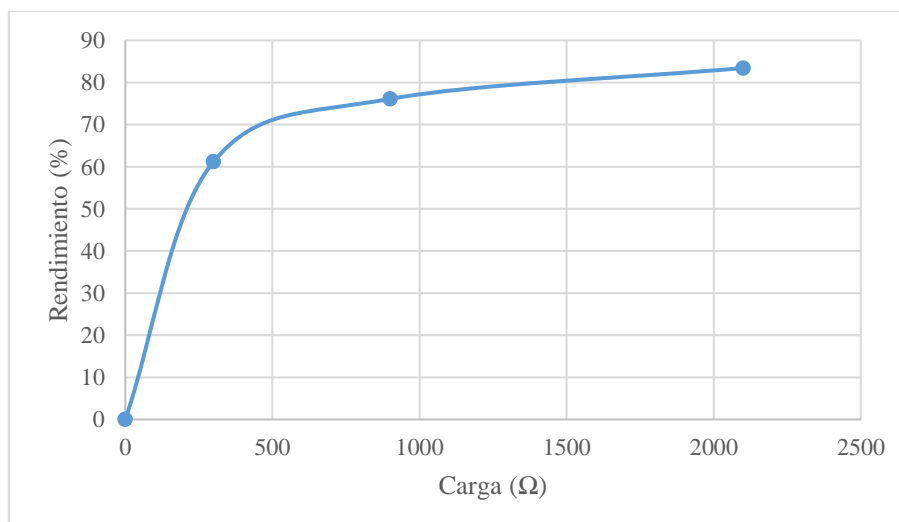
$$\eta = \frac{P_{salida}}{P_{entrada}} * 100\%$$

$$\eta = \frac{172,9}{207} * 100\%$$

$$\eta = 83,52\%$$

Figura 30

Curva de Rendimiento vs Carga



3.4.5.1. Análisis de la práctica 5

En esta práctica en base a los datos obtenidos en la Tabla 7 se puede apreciar como a medida que se aumenta la carga el par también se aumenta sin que se disminuya la velocidad que es comandada por el dinamómetro, cabe recalcar que ese par se lo multiplica por -1 para eliminar el signo negativo que es el que otorga en la medición el dinamómetro. También en la Tabla 8 se puede observar como el voltaje se mantiene, eso es debido a que se lo regula en la excitatriz para poder calcular un rendimiento con un rango de voltaje nominal para cualquiera de las tres cargas resistivas que se añadieron.

El rendimiento del alternador resultó ser de 83,52%, para esto se tomó la potencia de 207W en la Tabla 7, el cual es la potencia mecánica, es decir, potencia de entrada, mientras que la potencia de salida se la calculó mediante la medición de voltaje y corriente obtenidas por los aparatos de medición.

3.4.5.2. Conclusión de la práctica 5

Se puede concluir mencionando que el rendimiento de una maquina eléctrica es el parámetro que determina que tan eficiente puede ser al momento de convertir la potencia mecánica en potencia eléctrica, como se pudo observar el alternador del laboratorio tiene un rendimiento del 83,52%. Además, en esta práctica se realizó el control del alternador para mantener los parámetros principales de operación en un rango nominal durante la toma de datos.

3.4.6. Práctica 6: “Velocidad variable, alternador síncrono con cargas resistivas”

En esta práctica se va a utilizar la función de motor de impulsión velocidad variable, la cual nos va a permitir que la velocidad del alternador varíe en función de la carga que se conecte, es decir, se va a establecer un par el cual va a frenar al alternador y el dinamómetro no mantendrá esa velocidad en la nominal, sino que dejará que haya una caída en la r/min y,

por ende, en la frecuencia ya es que directamente proporcional. En este escenario no se regulará el voltaje y se busca ver el efecto sobre el alternador, para así poder analizar el par y confirmar si el rendimiento de la maquina disminuye cuando se la somete a pruebas fuera de su operación de parámetros en rango nominal.

A continuación, el desarrollo de la práctica 6:

- 1) Se instala la fuente de alimentación y el módulo del alternador síncrono al puesto de trabajo.
- 2) Se utiliza una correa dentada para acoplar mecánicamente el módulo de dinamómetro de cuatro cuadrantes y el módulo del motor/alternador síncrono.
- 3) Hay que asegurarse que los interruptores del módulo de fuente de alimentación estén abajo, es decir, desconectado. Luego toca energizar el módulo a la red eléctrica.
- 4) Luego hay que establecer conexión de comunicación entre el dinamómetro de cuatro cuadrantes y la computadora, esto se lo hace mediante un cable USB.
- 5) Se procede a encender el módulo de dinamómetro de 4 cuadrantes subiendo el selector que permite el paso de energía. Luego podemos utilizar el dinamómetro en cualquier función que nos permita.
- 6) Se inicia el software LVDAC-EMS. y hay que verificar que en el LVDAC-EMS, se detecte el Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes.
- 7) Se selecciona el voltaje y frecuencia de red a la que trabaja el dinamómetro de cuatro cuadrantes, se da clic en aceptar y se continua con el LVDAC-EMS.
- 8) Conectar el equipo fuente de alimentación Motor /Alternador síncrono (mediante la conexión en estrella) y desde la fuente de alimentación hacia los terminales de DC para poder mandar voltaje regulable a la excitatriz del alternador como se muestra en la Figura 29.

- 9) En el software LVDAC-EMS, abra la ventana Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes, luego realice la siguiente configuración:
 - ✓ Se fija el parámetro Función en Motor de impulsión/Freno con velocidad variable.
 - ✓ Fijar el parámetro Velocidad con un valor de velocidad inicial del motor/alternador síncrono de 800 RPM
 - ✓ El parámetro Relación de la polea se debe de fijar en 24:24
 - ✓ En el software LVDAC-EMS se debe de registrar los valores indicados en la ventana Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes
- 10) Se aumenta gradualmente la velocidad hasta llegar a la velocidad nominal del alternar que son 1800 RPM.
- 11) Se activa el circuito de excitación para comenzar a generar en el alternador y se regula ese voltaje de excitación DC hasta llegar a un voltaje de 208V en los terminales de salida del alternador.
- 12) Se procede a meter cargas resistivas gradualmente. Para ello se hace una estrella en el módulo de cargas resistivas para poder conectarlas.
- 13) Se comienza a cargar el alternador, primero con cargas de 300 Ω , luego cargas de 600 Ω y por último cargas de 1200 Ω .
- 14) Recopilamos y graficamos los datos obtenidos a partir de las mediciones. Podemos visualizar la variación de todos los parámetros.
- 15) Cuando se haya registrado todo es importante primero apagar el dinamómetro desde el software, luego apagar la fuente de alimentación y por último retirar cableado de los módulos.

Los datos que se visualizan en la Tabla 9 se recopilaron del Software LV-SIM/EMS cada vez que se agregaba una carga se realizaba un registro de velocidad, par, potencia (mecánica) y energía.

Tabla 9

Datos recopilados del software práctica 6

Carga	Velocidad (r/min)	Par (N*m)	Potencia (W)	Energía (W*h)
sin carga	1802	-0.051	-9.662	-0.429
300Ω	1731	-0.721	-130.8	-3.796
300Ω+600Ω	1706	-0.987	-176.3	-6.531
300Ω+600Ω+ 1200Ω	1698	-1.088	-193.4	-8.757

Los datos mostrados en la Tabla 10 se los obtuvo con una pinza Fluke 381 y una Hobotest HT208D.

Tabla 10

Datos recopilados de equipos de medición práctica 6

Corriente (A)	Voltaje (V)	Frecuencia (Hz)
0	206.8	60
0.3	186.0	57.6
0.5	175.4	56.8
0.6	170	56.5

Cálculo de la eficiencia del módulo alternador

En base a los datos recopilados por el dinamómetro y los equipos de medición es posible calcular el rendimiento de dicho módulo.

Potencia de entrada proporcionada por el software:

$$P_{entrada} = 193,4 W$$

Potencia de salida calculada:

$$P_{salida} = \sqrt{3} * I * V_{LL} * Fp$$

$$P_{salida} = \sqrt{3} * 0,6 * 170 * 0,8$$

$$P_{salida} = 141,3 W$$

Eficiencia:

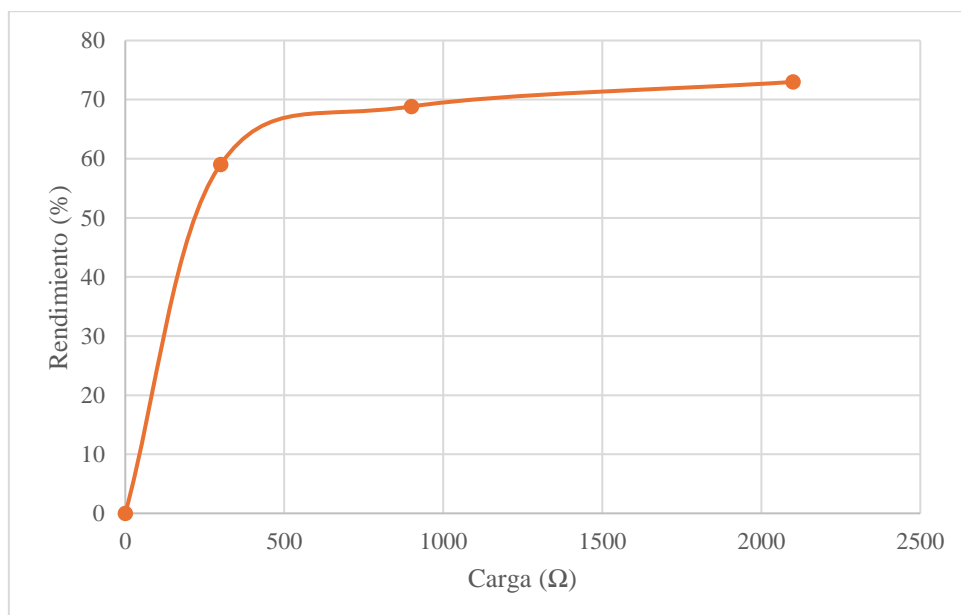
$$\eta = \frac{P_{salida}}{P_{entrada}} * 100\%$$

$$\eta = \frac{141,3}{193,4} * 100\%$$

$$\eta = 73,06\%$$

Figura 31

Curva de Rendimiento vs Carga – Practica 6



3.4.6.1. Análisis de la práctica 6

En esta práctica en base a los datos obtenidos en la Tabla 9 se puede apreciar como a medida que se aumenta la carga el par también se aumenta y en esta ocasión si varía la velocidad, cabe recalcar que ese par se lo multiplica por -1 para eliminar el signo negativo que es el que otorga en la medición el dinamómetro. También en la Tabla 10 se puede observar como el voltaje en este caso también varía, eso es debido a que no se lo regula en la excitatriz y, por ende, se va calculó un rendimiento con un rango de voltaje debajo del nominal y se puede apreciar como el rendimiento es menor eso debido a la caída de tensión producida por el aumento de carga.

3.4.6.2. Conclusión de la práctica 6

Se puede concluir mencionando que el rendimiento de una maquina eléctrica es el parámetro que determina que tan eficiente puede ser al momento de convertir la potencia mecánica en potencia eléctrica, como se pudo observar el alternador del laboratorio tiene un rendimiento del 83,52%. Además, en esta práctica se realizó el control del alternador para mantener los parámetros principales de operación en un rango nominal durante la toma de datos.

3.4.7. Práctica 7: “Barrido de velocidad, en motor de corriente continua 8211-22”

En esta práctica se va a utilizar la función de barrido de velocidad la cual se encarga de variar la velocidad junto al par dependiendo de las asignaciones que se le configure para así poder visualizar el comportamiento del motor de corriente continua. Se pretende observar la relación que existe entre los distintos parámetros vinculados con la operación de los motores de corriente continua, tales como velocidad, par, potencia mecánica, etc.

A continuación, el desarrollo de la práctica 7:

- 1) Se instala la fuente de alimentación y el módulo de motor DC al puesto de trabajo.

- 2) Se utiliza una correa dentada para acoplar mecánicamente el módulo de dinamómetro de cuatro cuadrantes y el módulo del motor de corriente continua.
- 3) Hay que asegurarse que los interruptores del módulo de fuente de alimentación estén abajo, es decir, desconectado. Luego toca energizar el módulo a la red eléctrica.
- 4) Luego hay que establecer conexión de comunicación entre el dinamómetro de cuatro cuadrantes y la computadora, esto se lo hace mediante un cable USB.
- 5) Se procede a encender el módulo de dinamómetro de 4 cuadrantes subiendo el selector que permite el paso de energía. Luego podemos utilizar el dinamómetro en cualquier función que nos permita.
- 6) Se inicia el software LVDAC-EMS. y hay que verificar que en el LVDAC-EMS, se detecte el Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes.
- 7) Se selecciona el voltaje y frecuencia de red a la que trabaja el dinamómetro de cuatro cuadrantes, se da clic en aceptar y se continua con el LVDAC-EMS.
- 8) Conectar el equipo fuente de alimentación al motor de corriente continua. Con su devanado shunt y conectarlo a la armadura del motor.
- 9) En el software LVDAC-EMS, abra la ventana Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes, luego realice la siguiente configuración:
 - ✓ Se fija el parámetro Función en barrido de velocidad
 - ✓ Se fija en 24:24 el parámetro de relación de la polea. Además, se designa velocidad inicial y final junto con los tiempos de recopilación e intervalos de este.
 - ✓ Se abre la ventana tabla de datos en el software LVDAC-EMS
 - ✓ Se permite que la tabla de datos registre los valores de Par y velocidad, potencia mecánica, etc.

- 10) En la Fuente de alimentación, encienda la fuente de potencia para arrancar el motor de corriente continua.
- 11) En el software LVDAC-EMS, entrar a la ventana del dinamómetro e iniciar con el botón Marcha/Parada
- 12) Desde el Software una vez configurado los datos respectivos para la adquisición de datos ponemos en estado de marcha.
- 13) Es preferible designar intervalos de pasos y tiempos pequeños para tener mayor adquisición de datos
- 14) Recopilamos y graficamos los datos obtenidos a partir de las mediciones. Podemos visualizar la variación de todos los parámetros:

Los datos que se visualizan en la Tabla 11 se recopilaron del Software LV-SIM/EMS:

Tabla 11

Datos recopilados del software práctica 7

Velocidad	Par	Potencia	Energía
(r/min)	(N*m)	(W)	(W*h)
1801	-0,684	-129.1	0.386
1711	-0,615	-110.2	0.325
1633	-0,551	-94.26	0.268
1552	-0,437	-71.01	0.219
1454	-0,315	-47.9	0.185
1368	-0,197	-28.28	0.163
1280	-0,081	-10.91	0.152

1193	-0,001	-0.15	0.149
1107	0,064	7.384	0.152
1086	0,223	25.33	0.158
932	0,125	12.18	0.168
846	0,13	11.51	0.179
766	0,126	10.09	0.187
688	0,111	8.004	0.193
588	0,103	6.355	0.198
500	0,109	5.728	0.201

- 15) Una vez terminada la practica primero se debe regular nuevamente el par y luego se apaga la fuente de alimentación para proceder a desconectar los cables conectados al motor de corriente continua.

3.4.7.1. Análisis de la práctica 7

Se puede analizar en esta práctica como la toma de datos es secuencial debido a la función que se utiliza, en la Figura 30 se observa cómo iba disminuyendo la velocidad del motor de corriente continua, eso debido al freno ejercido por el dinamómetro de 4 cuadrantes. Aquí a diferencia de otras prácticas se puede observar como el software tiene la capacidad de tomar datos automáticamente. Se puede apreciar como el par del motor de corriente continua es muy pequeño, es decir soporta poca carga mecánica.

3.4.7.2. Conclusión de la práctica 7

Se pudo concluir que la función de barrido de velocidad es específicamente para poder obtener datos y graficar curvas de par-velocidad de una manera precisa ya que los tiempos de pasos e intervalos se hacen a un mismo tiempo especificado, por ende, se podrán observar

mejores resultados al disminuir esos pasos e intervalos de tiempo. En este caso de los motores de corriente continua se puede observar como el par que se ejerce es muy pequeño y tiene poca variación, inclusive se hace negativo.

Capítulo IV: Discusión de los Resultados

4.1. Conclusiones Generales

- La implementación del dinamómetro de cuatro cuadrantes permite evaluar de manera precisa los parámetros de funcionamiento de las máquinas eléctricas. Mediante la realización de pruebas y el análisis de datos, se obtiene información detallada sobre el rendimiento de las máquinas, facilitando así la optimización y mejora continua de sus características operativas.
- El estudio de las funciones proporcionadas por el dinamómetro de 4 cuadrantes demostró su alta capacidad para medir parámetros como el par, velocidad y potencia mecánica en motores de inducción, alternadores síncronos y motores de corriente continua las cuales fueron máquinas eléctricas puesta a prueba durante el estudio realizado.
- La ejecución de prácticas de laboratorio utilizando el dinamómetro permitió registrar datos en diversas configuraciones, es decir, se pudo registrar datos con funciones específicas como “barrido de velocidad”, la cual nos permitió obtener datos y realizar curvas características de par-velocidad más precisas. Además, se realizaron pruebas bajo diferentes condiciones de carga y velocidad permitiendo observar el comportamiento en las máquinas eléctricas de prueba.
- La evaluación del rendimiento de las máquinas eléctricas utilizadas durante las pruebas con el dinamómetro en la función de motor de impulsión demostró tener un grado de precisión alto, ya que se pudo demostrar en la práctica #5 y #6 como el rendimiento del

alternador síncrono disminuía cuando se lo operaba con parámetros eléctricos donde se afectaba la operación del alternador manteniendo la misma carga.

4.2. Recomendaciones Generales

- Se recomienda verificar el voltaje de alimentación hacia el dinamómetro para evitar un error en pantalla debido a un bajo voltaje.
- Al momento de registrar los datos es necesario ubicar el cursor en la celda principal, para que al momento de que se registre el valor, este pueda ubicarse correctamente. Además, es necesario configurar la frecuencia de muestreo para que se pueda analizar correctamente los datos que son guardados.
- Cuando se utilice la función de barrido de velocidad, los intervalos deben de considerarse acorde con el rango de pasos para que la toma de datos sea mayor y la curva de velocidad tenga una mejor precisión.

5. Recursos

5.1. Recursos Humanos

Tabla 12

Detalle de los recursos empleados

Nombre	Función o cargo	Aporte al proyecto
Vladimir Jaramillo	Docente	Tutor del proyecto
García, PhD		
Alcívar Heredia Isaac	Estudiante	Autor
Velesaca Zambrano	Estudiante	Autor
Edisson		

Nota. Recursos humanos y su aporte empleado en el desarrollo de la tesis. Fuente: Autoría propia.

5.2. Recursos Institucionales

Tabla 13

Detalle de los recursos institucionales ocupados

Equipo/laboratorio/ software (otros)	Área	Facultad
Fuente de Voltaje variable	Laboratorio de Potencia	Ingeniería Eléctrica
Conectores	Laboratorio de Potencia	Ingeniería Eléctrica
Módulo de resistencia,	Laboratorio de Potencia	Ingeniería Eléctrica
Motor jaula de ardilla de cuatro polos	Laboratorio de Potencia	Ingeniería Eléctrica

Motor/Alternador sincrónico	Laboratorio de Potencia	Ingeniería Eléctrica
Motor Corriente Continua	Laboratorio de Potencia	Ingeniería Eléctrica

5.3. Recursos Materiales y Económicos

Tabla 14

Detalle de los recursos materiales y económicos

N.º	Descripción	Cantidad	Valor	Valor total \$
1	Módulo de Dinamómetro de 4 cuadrantes/Fuente de alimentación	1	\$ 10,076.92	\$ 10,048.14
2	Licencia para software LVDAC-EMS	1	\$300	\$300
3	Licencia para software de simulación Labvolt	1	\$600	\$600
4	Correa dentada de acoplamiento	1	\$ 40,82	\$ 40,82
5	Manual de prácticas	1	\$ 40	\$ 40
6	Conectores de entradas o salidas	15	\$ 1.5	\$ 22,5
Total				\$11,051.46

Cronograma

Tabla 15

Cronograma de Actividades de la Fase I

Meses Actividades	Año 2023																			
	Agosto				Septiembre				Octubre				Noviembre				Diciembre			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Entrega del anteproyecto y solicitud de tutor para trabajo de titulación	■																			
Aprobación del tema y designación de tutor.		■	■																	
Elaboración del tema de Anteproyecto.			■	■																
Planteamiento de Objetivos y revisión del tutor.				■																
Desarrollo de la propuesta.				■	■															
Elaboración de Antecedentes y revisión del tutor.					■	■														
Desarrollo de Justificación y revisión del tutor.						■	■													
Elaboración de Marco teórico y revisión de Fuentes bibliográficas.									■	■										
Planteamiento y desarrollo de Recursos.										■										
Revisión y corrección del Anteproyecto por parte del tutor										■	■									
Entrega del anteproyecto a la comisión académica												■								

Nota. Primera etapa de titulación: elaboración y entrega de anteproyecto. Fuente: Autoría propia.

Tabla 16

Cronograma de Actividades de la Fase 2

Nota: Segunda fase de titulación: elaboración y entrega de tesis. Fuente: Autoría Propia

Actividades	Año 2024																			
	Abril				Mayo				Junio				Julio				Agosto			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Desarrollo del Capítulo I: El problema	■	■																		
Adquisición del Dinamómetro de cuatro cuadrantes			■																	
Desarrollo del Capítulo II: Marco Teórico				■																
Desarrollo del Capítulo III: Diseño del Proyecto					■	■														
Seguimiento del Tutor en el formato de Tesis						■														
Desarrollo de Prácticas						■	■	■	■	■	■	■	■	■						
Desarrollo del Capítulo IV: Discusión de los Resultados						■	■	■	■	■	■	■	■	■						
Revisión y corrección del Proyecto														■						
Conclusiones y Anexos															■					
Entrega del proyecto al tutor y Correcciones																■				
Entrega del proyecto final con la documentación																		■		
Designación de fecha de sustentación																		■	■	

Referencias

- Alipanahi, A., Mahboubkhah, M., & Barari, A. (2022). Cross-sensitivity control in a novel four-component milling dynamometer for simultaneous measurement of tri-axial forces and torque. doi:<https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.110788>
- Alshbib, M. M., & Alsofyani, I. M. (2022). Performance Enhancement of Direct Torque and Rotor Flux Control (DTRFC) of a Three-Phase Induction Motor over the Entire Speed Range: Experimental Validation. doi:<https://doi.org/10.3390/machines11010022>
- Andrade, R., & Perez, J. A. (2021). Análisis del control V/f con SVM en un accionamiento de velocidad variable. doi:<http://dx.doi.org/10.23857/dc.v7i6.2314>
- Arias, J., Holgado, J., Tafur, T., & Vasquez, M. (2022). *Metodología de la investigación: El método ARIAS para desarrollar un proyecto de tesis* (Primera ed.). (W. Sucari, J. Quilca, & P. Aza, Edits.) Puno, Perú: Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú S.A.C. doi:<https://doi.org/10.35622/inudi.b.016>
- Bakshi, M., & Bakshi, U. (2020). *Electrical Machines - II* (First ed.). India: UNICORN Publishing Group.
- Ben, F. (2021). *Direct Torque Control Strategies of Electrical Machines*. London, United Kingdom: IntechOpen. doi:<http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.80103>
- Boylestad, R. (2006). *Introductory Circuit Analysis* (Vol. 11ª Edición). Upper Saddle River: Prentice Hall.
- Carrillo, Y., Blanco, F., Bermúdez, J., & Castilla, C. (2019). Modelado y simulación del comportamiento de velocidad de un dinamómetro hidráulico. *Revista Colombiana*

de *Tecnologías de Avanzada*, i(33), 85-92.
doi:10.24054/16927257.v33.n33.2019.3428

Chacha, J. L. (2020). *Análisis de la operación de motores trifásicos mediante el diseño e implementación de un módulo didáctico en el laboratorio de electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi - La Maná*. Obtenido de <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/7928/1/UTC-PIM-000374.pdf>

Chang, R., Amen, P., Medina, G., & Urquizo, J. (2020). Excitation system response analysis of the BABA Hydroelectric power plant generation units. *IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, 851-856.
doi:10.1109/ISIE45063.2020.9152388

Chapman, S. (2012). *Electric Machinery Fundamentals* (Quinta ed.). New York, United States: The McGraw-Hill Companies.

Crespo, S. (2018). *Estudio de aplicación de protecciones de pérdida de excitación con offset positivo en máquinas síncronas*. E.T.S.I. Industriales (UPM), Automática, Ingeniería Eléctrica y Electrónica e Informática Industrial. Madrid: Archivo Digital UPM. Obtenido de <https://oa.upm.es/50269/>

DeCoste, S., & Scalzi, A. (2023). Minimizing Steady-State Testing Time in an Engine Dynamometer Laboratory. doi:<https://doi.org/10.4271/2023-01-0209>

Diaz, P. (2021). El Origen de las Máquinas Eléctricas. *ResearchGate*, 1-9. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/356289927_El_origen_de_las_maquinas_electricas

- Elgbaily, M., & Anayi, F. (2022). A Combined Control Scheme of Direct Torque Control and Field-Oriented Control Algorithms for Three-Phase Induction Motor: Experimental Validation. doi:<https://doi.org/10.3390/math10203842>
- Escaño, J., & García, A. (2021). *Sistemas eléctricos y electrónicos*. España: Paraninfo, S.A.
- Festo. (2023). *Festo Didactic*. Obtenido de Four-Quadrant Dynamometer/Power Supply 579669 (8960-F0): https://labvolt.festo.com/solutions/6_electricity_and_new_energy/50-8960-F0_four_quadrant_dynamometer_power_supply
- FESTO. (2023). LVSIM-EMS Help. *FESTO*, 1-98. Obtenido de <https://lvsim.labvolt.com/help/helpEms.pdf>
- FESTO. (2023). *Variable Power Supply*. Recuperado el 1 de Octubre de 2023, de https://labvolt.festo.com/solutions/6_electricity_and_new_energy/59-8010-B0_ac_power_transmission_training_system
- FESTO. (2024). *Four-Quadrant Dynamometer/Power Supply*. Obtenido de Four-Quadrant Dynamometer/Power Supply: https://labvolt.festo.com/solutions/6_power_energy/98-8960-00_four_quadrant_dynamometer_power_supply
- Fraile, J. (2008). *Máquinas Eléctricas* (Sexta ed.). (J. L. García, Ed.) Madrid, España: McGraw-Hill/Interamericana de España.
- Frías, A., & González, A. (2022). *Control digital de polos para la variación de velocidad y torque en un motor de flujo axial con imanes permanentes*.

- Gómez, I. (2020). *Mantenimiento electromecánico de motores eléctricos*. Madrid, España: Ediciones Paraninfo, SA.
- Gutiérrez, J. L. (2022). *Sistemas de variación de velocidad con motores trifásicos de inducción*. Obtenido de <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/55706/fjimenezb.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hassan, A., Abood, S. I., & Sadiku, M. N. (2019). *Fundamentals of electric machines : a primer with MATLAB* (Primera ed.). Boca Raton: CRC Press. doi:<https://doi.org/10.1201/9780429290619>
- Hoyos, V., & Ortiz, G. (2018). *Desarrollo de módulos de control electrónico para máquinas rotativas eléctricas, utilizando el PLC Micrologix logo siemens, en el laboratorio de automatización y control de la escuela profesional de ingeniería electrónica de la universidad privada de Tacn*. Obtenido de <https://repositorio.upt.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12969/607/Hoyos-Yaile-Ortiz-Paredes.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Lipo, T. (2017). *Analysis of Synchronous Machines*. Reino Unido: CRC Press.
- Martín, J. (2021). *Máquinas Eléctricas*. Madrid, España: Editorial Editex, S.A.
- Martínez, M. (2020). *Torque Estimation in Permanent Magnet Synchronous Machines*. Electrical, Electronic, Computers and Systems Engineering Department. University of Oviedo: Universidad de Oviedo. Obtenido de <https://digibuo.uniovi.es/dspace/handle/10651/57236>
- Moscardini, D., & Pereira, B. (2022). Automation of eddy current dynamometer for engine testing and calibration. doi:<https://doi.org/10.4271/2022-36-0004>.

- Motoche, D. (2019). *Medición de parámetros de las máquinas sincrónicas de imanes permanentes y de inducción doblemente alimentada del emulador de generación eólica del departamento de energía eléctrica*. Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Quito: Repositorio EPN. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20227>
- Nuevo, A. (2020). *Montaje y mantenimiento eléctrico-electrónico* (Primera ed.). Madrid, España: Ediciones Paraninfo, SA.
- Obando, J. (2020). *Motores de corriente alterna: motores de fase partida*. Independently Published.
- Oliveira, A., Moreira, D., & Duarte, J. (2020). Design and experimental set-up of a hybrid dynamometer applied to a fourth axis of the vertical machining center. doi:<https://doi.org/10.1007/s00170-020-06005-2>
- Palmer, B., Blinch, J., Farrow, A., & Mitchell, E. (2020). *Real-time measurement of isometric peak torque and rate of torque development using a novel strength testing device: a validity and reliability study*. doi: 10.1088/1361-6579/abc40b
- Queijo, G. (2018). *Fundamentos de tecnología eléctrica*. Madrid, España: UNED.
- Quispe, E., & Gomez, J. (2020). *Desequilibrio de tensiones en motores de inducción: Modelado, impacto en el desempeño energético, determinación de la eficiencia* (Primera ed.). Cali, Colombia: Programa Editorial UNIVER.
- Rodney, R., Joe, D. L., Santosh, K. P., & Roger, H. (2018). *Evaluation of the Accuracy of Machine Reported CAN Data for Engine Torque and Speed*. doi:10.13031/trans.12754
- Rodríguez, M. (2018). *Máquinas Eléctricas II*. (U. d. (España), Ed.)

- Rojas, D. S., & Mojica, W. A. (2022). Diseño de guías prácticas y habilitación del banco didáctico de pruebas festo® de la serie lab-volt en la (UAN) sede Villavicencio.
- San, P. (2022). *Electrotecnia 7.a edición*. España: Paraninfo, S.A.
- Sanz, S. (2022). *Motores*. España: Editorial Editex.
- Turcios, C. (2020). *Implementación de eficiencia energética en motores eléctricos trifásicos por medio del uso de variador de velocidad*. (U. T. Centroamericana, Ed.)
- Vanieiev, S., Miroshnychenko, D., Rodymchenko, T., Protsenko, M., & Smolenko, D. (2019). Data Measuring System for Torque Measurement on Running Shafts Based on a Non-Contact Torsional Dynamometer. doi:10.21272/jes.2019.6(2).e2.
- Veyrat, D., Nachajon, S., & Tacca, H. (2021). *Solutions for Torque and Speed Measurement on Electric Machine Controllers Test Benches*. doi:https://doi.org/10.37537/rev.elektron.5.1.131.2021
- Wildi, T. (2007). *Máquinas eléctricas y sistemas de potencia*. (P. M. Guerrero, Ed.)
- Wildo, T. (2005). *Electrical Machines, Drives, and Power Systems*. Upper Saddle River: Prentice Hall.
- Yafei, Q., Yulong, Z., Yingxue, L., Zhao, Y., & Peng, W. (2017). A novel dynamometer for monitoring milling process. doi:https://link.springer.com/journal/170
- Yelamarthi, B. S., & Sandepudi, S. R. (2020). Predictive Torque Control of Three-Phase Induction Motor Drive With Inverter Switch Fault-Tolerance Capabilities. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 2774 - 2788. doi:10.1109/JESTPE.2020.3020328

GUÍA TALLER/LABORATORIO

**GUÍA DE PRÁCTICAS DE ASIGNATURA
INFORME**

NOMBRE DE LA PRÁCTICA	“Curva Par- Velocidad en motor de inducción Jaula de Ardilla variando el voltaje y utilizando la función Motor de impulsión/ par constante de dos cuadrantes”	No. PRÁCTICA: 1
------------------------------	---	------------------------

1. DATOS INFORMATIVOS

CARRERA:	Electricidad
CICLO/NIVEL:	Noveno
FECHA:	31/05/2024
NOMBRE DEL ESTUDIANTE:	Alcivar Heredia Isaac Natanael Velesaca Zambrano Edison Javier
DOCENTE RESPONSABLE	Ing. Vladimir Jaramillo García, PhD

2. FUNDAMENTACIÓN

Motor de inducción Jaula de Ardilla

En el estator, las ondas de corriente desencadenan un campo magnético rotatorio a una velocidad constante, y la densidad de flujo es constante con respecto al tiempo. Esta velocidad de rotación es llamada velocidad sincrónica del motor. Es proporcional a la frecuencia f de la fuente de CA trifásica y se relaciona inversamente con el número de polos magnéticos por fase del motor (Hughes, 2019). Para un motor que funciona a frecuencia f , la velocidad sincrónica n_s está dada por la ecuación:

$$n_s = \frac{120f}{N_{polos}} \quad (1)$$

Donde: n_s es la velocidad síncrona del motor, f es la frecuencia eléctrica y N_{polos} es el número de polos magnéticos por fase del motor.

Cuando el rotor jaula de ardilla se ubica dentro del campo magnético producido en el estator, el rotor es arrastrado en la misma dirección de rotación del campo magnético.

Relación entre la velocidad y el par en motor de inducción jaula de ardilla

El par que da lugar a un motor de inducción jaula de ardilla se da por la diferencia en la velocidad de rotación del campo magnético y aquella del rotor. El par de un motor de inducción es proporcional a la diferencia de la velocidad entre el campo magnético rotatorio es decir la velocidad de rotación del campo magnético correspondiente a la velocidad síncrona n_s del motor y el rotor (Wildo, 2005). Esto se lo llama deslizamiento y se calcula de la siguiente manera:

$$Deslizamiento = n_s - n_r \quad (2)$$

Donde:

n_s es conocida como la velocidad síncrona del motor y n_r es equivalente a la velocidad de rotación del rotor.

Función del dinamómetro Motor de impulsión/ par constante de dos cuadrantes

Funciona haciendo que la máquina de corriente continua de imanes permanentes funcione como un generador para producir una oposición constante a la rotación de la máquina acoplada al Dinamómetro de Cuatro Cuadrantes / Fuente de Alimentación. En otras palabras, el control de bucle cerrado se utiliza para mantener constante el par de oposición cuando la velocidad de rotación cambia. Un comando de par introducido por el usuario determina la magnitud del par de oposición a la rotación de la máquina bajo prueba. La función indica la velocidad, el par, la potencia mecánica y la energía medida en el eje de la máquina. De ser aplicable, la función

también puede indicar la temperatura de la máquina cuando el sensor de temperatura de la máquina se conecta a la Entrada termistor del Dinamómetro de Cuatro Cuadrantes / Fuente de Alimentación (FESTO, 2023).

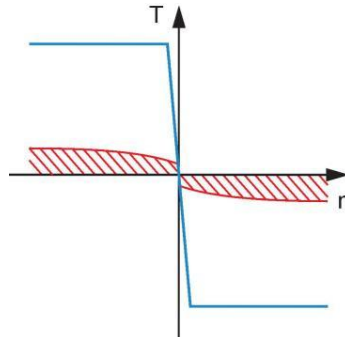


Figura 1. Motor de impulsión/ par constante de dos cuadrantes

3. OBJETIVOS

1. Conocer la operación y las principales características de los motores de inducción jaula de ardilla trifásicos.
2. Aprender la relación que existe entre los distintos parámetros vinculados con la operación de los motores de inducción trifásicos, tales como velocidad, par, potencia mecánica, etc.

4. MATERIALES E INSUMOS

- Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes - LabVolt Serie 8960-20.
- Software LV-SIM/EMS
- Fuente de Alimentación 8821-22.
- Motor de inducción jaula de ardilla
- Conectores
- Correa dentada

- Multímetro

5. PROCEDIMIENTO

N°	ACTIVIDADES	OBSERVACIONES
1	Instalar el módulo de fuente de alimentación y el motor de inducción Jaula de ardilla al puesto de trabajo.	
2	Utilizando una correa dentada, acople mecánicamente el Motor de inducción jaula de ardilla de cuatro polos al Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes.	
3	En la Fuente de alimentación, asegúrese de que los interruptores de potencia ca y cc estén en la posición O (apagado), luego conecte dicha fuente a una toma de potencia trifásica ca.	
4	Conecte el puerto USB del Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes a un puerto USB de la computadora.	
5	Encienda el módulo Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes, luego fije el interruptor Modo de operación en Dinamómetro. Esto	

	permite que el módulo opere como motor de impulsión, freno o ambos, de acuerdo con la función seleccionada.	
6	Encienda la computadora, luego inicie el software LVDAC-EMS.	
7	En la ventana Arranque de LVDAC-EMS, verifique que se detecte el Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes.	
8	Seleccione la tensión y frecuencia de red que corresponden a la red CA, luego hacer clic en Aceptar para cerrar la ventana Arranque de LVDAC-EMS.	
9	Conectar el equipo fuente de alimentación al motor jaula de ardilla de cuatro cuadrante (mediante la conexión en estrella)	
10	En el software LVDAC-EMS, abra la ventana Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes, luego realice la siguiente configuración:	
11	Fije el parámetro Función en Motor de impulsión/Freno de par constante, de dos cuadrantes	
12	Fije en 24:24 el parámetro Relación de la polea.	
13	En el software LVDAC-EMS, abra la ventana Tabla de datos.	

14	Permitir que la Tabla de datos registre los valores de Par y velocidad, Voltaje.	El parámetro de Voltaje se debe agregar manualmente tomando la medición con multímetro en los bornes de la fuente de alimentación
15	En la Fuente de alimentación, encienda la fuente de potencia trifásica ca para arrancar el motor de inducción trifásico.	
16	En el software LVDAC-EMS, entrar a la ventana del dinamómetro e iniciar con el botón Marcha/Parada	
17	Aumente el Voltaje hasta llegar a las RPM nominales del motor de inducción jaula de ardilla. Ese voltaje es igual a 100V equivalente a 1670 RPM para el motor de inducción.	
18	En el Módulo de fuente de alimentación ubicarse en la perilla de variación de voltaje e ir moviendo lentamente para hacer el registro de los datos.	Variar la velocidad en pasos de 5 Voltios que serán medidos con el multímetro tal como se indica en el paso 14 de las observaciones.
19	Verificar con un multímetro los pasos de voltaje que se aplican para poder disminuir las RPM del motor.	Disminuya el voltaje hasta los 65V puesto que con este nivel de voltaje se alcanza la velocidad mínima del motor.
20	En la ventana Tabla de datos, guarde los datos registrados, luego exporte a una hoja de cálculo.	

6. CUADRO DE RESULTADOS

En la Tabla 1 se pueden observar los datos recopilados mediante la práctica, desde las RPM nominales a 100V hasta 476 RPM a 65V teniendo un par constante.

Tabla 1

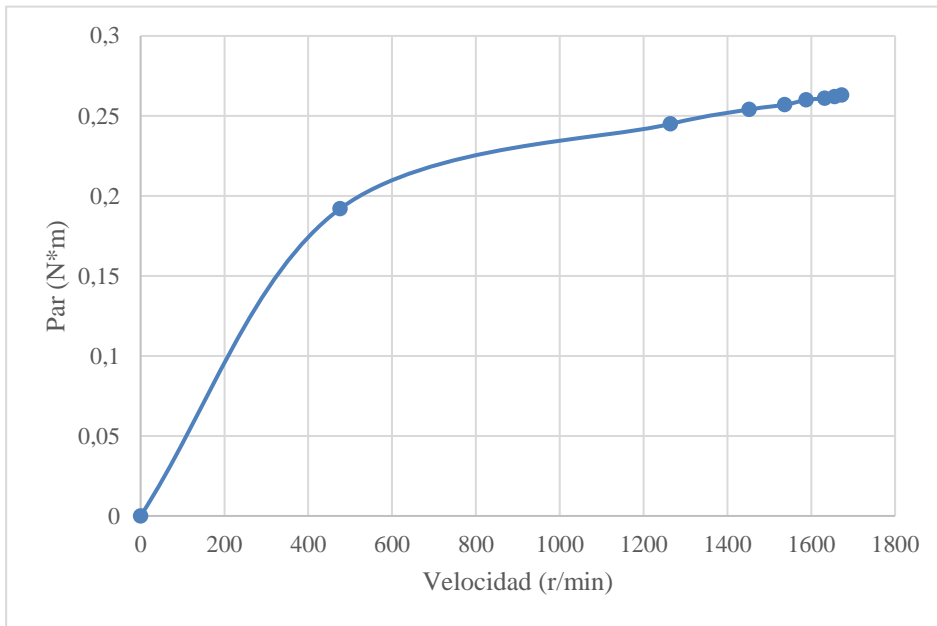
Datos recopilados del software equipo de medición

Velocidad (RPM)	Par (N*m)	Potencia (W)	Energía (W*h)	Voltaje (V)
1673	0.263	46.02	8.333	100
1656	0.262	45.43	8.574	95
1632	0.261	44.61	8.868	90
1588	0.26	43.19	9.05	85
1537	0.257	41.45	9.2	80
1452	0.254	38.59	9.337	75
1264	0.245	32.4	9.459	70
476	0.192	9.561	9.596	65

En la Figura 2 se muestra como la disminución de la velocidad y el par constante cuando se disminuía el voltaje.

Figura 2

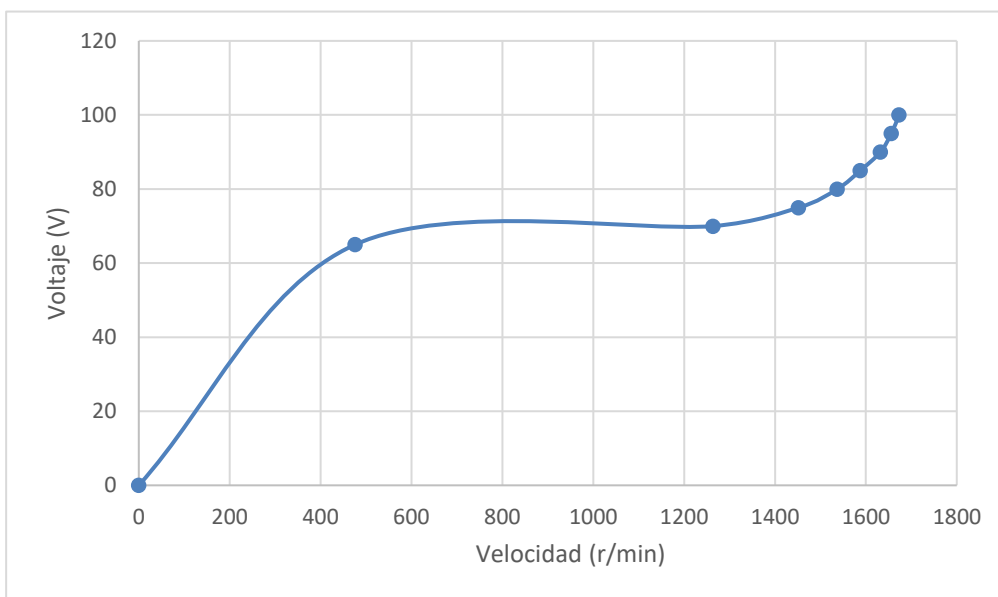
Curva característica de Par-Velocidad



En la Figura 3 se puede observar el comportamiento del motor en base a la variación de voltaje de alimentación.

Figura 3

Curva de Voltaje-Velocidad



7. CONCLUSIONES

Se pudo verificar mediante un multímetro que cuando variábamos el voltaje las RPM del motor de inducción también variaban, con la prueba realizada y con el paso de menos 5 voltios, las RPM disminuían hasta llegar a los 65V donde se alcanzaba la mínima velocidad en ralentí del motor y por ende procedía a pararse.

8. BIBLIOGRAFÍA

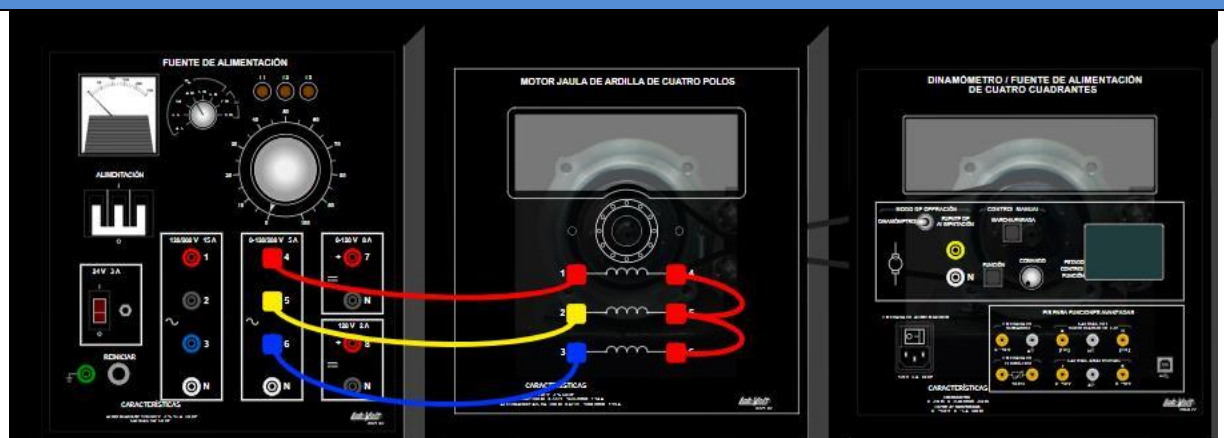
FESTO (2023). *Standard Functions (computer-based control) Set 8968-2*. Recuperado de:

https://lvsim.labvolt.com/Manuals/8010-9/86357_00.pdf

Hughes, A. (2019). *Electric motors and drives: Fundamentals, types and applications* (5th ed.). Elsevier.

Wildo, T. (2005). *Electrical Machines, Drives, and Power Systems*. Upper Saddle River: Prentice Hall.

9. ANEXOS



Anexo 1. Módulos utilizados



Anexo 2. Medición del voltaje

Fecha de Elaboración: 31/05/2024

Elaborado por: Alcivar Heredia Isaac Natanael y Velesaca Zambrano Edison Javier

REVISADO POR:

FECHA:

GUÍA DE PRÁCTICAS DE ASIGNATURA

INFORME

NOMBRE DE LA PRÁCTICA	“Curva par-velocidad utilizando el motor jaula de ardilla con la función motor de impulsión/ freno SH manteniendo el voltaje constante”	No. PRÁCTICA: 2
------------------------------	---	------------------------

1. DATOS INFORMATIVOS

CARRERA:	Electricidad
CICLO/NIVEL:	Noveno
FECHA:	07/06/2024
NOMBRE DEL ESTUDIANTE:	Alcivar Heredia Isaac Natanael Vesaca Zambrano Edison Javier
DOCENTE RESPONSABLE	Ing. Vladimir Jaramillo García, PhD

2. FUNDAMENTACIÓN

Motor de inducción Jaula de Ardilla

En el estator, las ondas de corriente desencadenan un campo magnético rotatorio a una velocidad constante, y la densidad de flujo es constante con respecto al tiempo. Esta velocidad de rotación es llamada velocidad sincrónica del motor. Es proporcional a la frecuencia f de la fuente de CA trifásica y se relaciona inversamente con el número de polos magnéticos por fase del motor (Hughes, 2019). Para un motor que funciona a frecuencia f , la velocidad sincrónica n_s está dada por la ecuación:

$$n_s = \frac{120f}{N_{polos}} \quad (1)$$

Donde: n_s es la velocidad síncrona del motor, f es la frecuencia eléctrica y N_{polos} es el número de polos magnéticos por fase del motor.

Cuando el rotor jaula de ardilla se ubica dentro del campo magnético producido en el estator, el rotor es arrastrado en la misma dirección de rotación del campo magnético.

Relación entre la velocidad y el par en motor de inducción jaula de ardilla

El par que da lugar a un motor de inducción jaula de ardilla se da por la diferencia en la velocidad de rotación del campo magnético y aquella del rotor. El par de un motor de inducción es proporcional a la diferencia de la velocidad entre el campo magnético rotatorio es decir la velocidad de rotación del campo magnético correspondiente a la velocidad síncrona n_s del motor y el rotor (Wildo, 2005). Esto se lo llama deslizamiento y se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Deslizamiento} = n_s - n_r \quad (2)$$

Donde:

n_s es conocida como la velocidad síncrona del motor y n_r es equivalente a la velocidad de rotación del rotor.

Par contra curva de velocidad

El par o momento de torsión generado por un motor está vinculado a su velocidad, pero esta relación no puede expresarse de manera simple mediante una ecuación. Por lo tanto, es más adecuado representar la relación en forma de una curva. La Figura 1 ilustra la curva de momento de torsión en función de la velocidad de un motor de inducción trifásico convencional, cuyo momento de torsión nominal a plena carga es T . El momento de torsión de arranque es $1.5T$ y el momento de torsión máximo es de $2.5 T$ (Wildi, 2007).

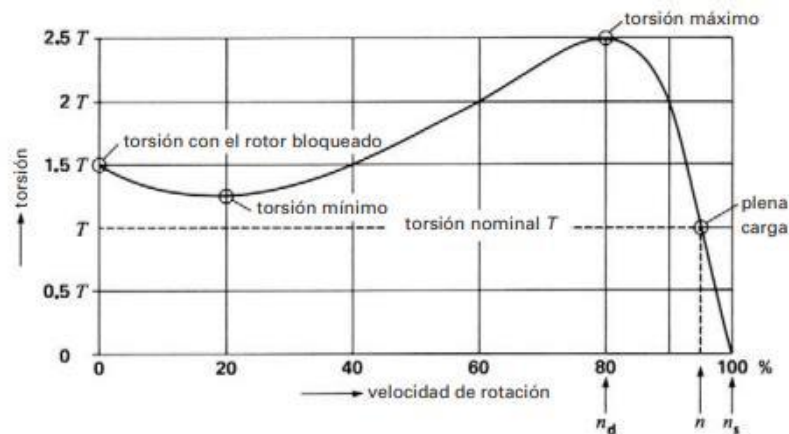


Figura 1. Curva de par-velocidad de un motor jaula de ardilla

Función del dinamómetro Motor de impulsión/ freno SH

Esta función utiliza la máquina de corriente continua de imán permanente para hacer que la máquina acoplada al Dinamómetro de cuatro cuadrantes/Fuente de alimentación (es decir, la máquina bajo prueba) gire en el sentido de las agujas del reloj a una velocidad determinada. Un comando de velocidad introducido por el usuario determina la velocidad de rotación no load de la máquina bajo prueba. La función indica la velocidad, el par, la potencia mecánica y la energía medida en el eje de la máquina bajo prueba (FESTO, 2023). La función también puede indicar la temperatura de la máquina cuando el sensor de temperatura de la máquina bajo prueba (si así está equipado) está conectado a la Entrada de Termistor del Dinamómetro de Cuatro Cuadrantes / Fuente de Alimentación. Esta función es muy adecuada para el estudio de la sincronización de generadores de CA.

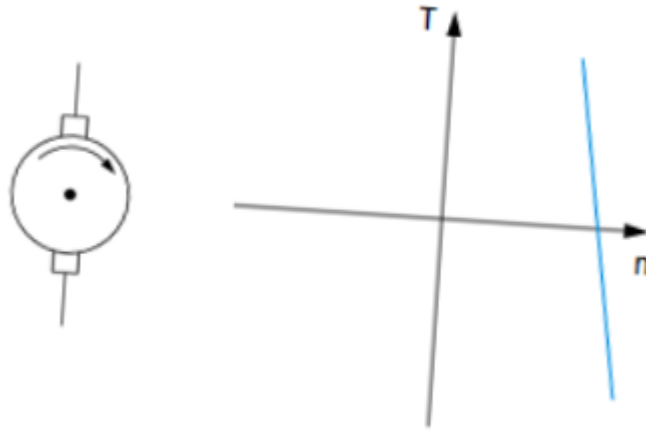


Figura 2. Motor de impulsión/ Freno SH

3. OBJETIVOS

1. Visualizar la variación de velocidad a medida que se aumenta o se disminuye el par ejercido en un motor de inducción jaula de ardilla.
2. Aprender la relación que existe entre los distintos parámetros vinculados con la operación de los motores de inducción trifásicos, tales como velocidad, par, potencia mecánica, etc.

3. MATERIALES E INSUMOS

- Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes - LabVolt Serie 8960-20.
- Software LV-SIM/EMS
- Fuente de Alimentación 8821-22.
- Motor de inducción jaula de ardilla
- Conectores

- Correa dentada
- Multímetro

4. PROCEDIMIENTO

N°	ACTIVIDADES	OBSERVACIONES
1	Instalar el modulo de fuente de alimentación y el motor de inducción Jaula de ardilla al puesto de trabajo.	
2	Utilizando una correa dentada, acople mecánicamente el Motor de inducción jaula de ardilla de cuatro polos al Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes.	
3	En la Fuente de alimentación, asegúrese de que los interruptores de potencia ca y cc estén en la posición O (apagado), luego conecte dicha fuente a una toma de potencia trifásica ca.	
4	Conecte el puerto USB del Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes a un puerto USB de la computadora.	
5	Encienda el módulo Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes, luego fije el interruptor Modo de operación en Dinamómetro. Esto	

	permite que el módulo opere como motor de impulsión, freno o ambos, de acuerdo con la función seleccionada.	
6	Encienda la computadora, luego inicie el software LVDAC-EMS.	
7	En la ventana Arranque de LVDAC-EMS, verifique que se detecte el Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes.	
8	Seleccione la tensión y frecuencia de red que corresponden a la red CA, luego hacer clic en Aceptar para cerrar la ventana Arranque de LVDAC-EMS.	
9	Conectar el equipo fuente de alimentación al motor jaula de ardilla de cuatro cuadrante (mediante la conexión en estrella)	
10	Realizar la respectiva conexión del motor de inducción jaula de ardilla que en este caso lo conectamos en estrella	
11	En el software LVDAC-EMS, abra la ventana Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes, luego realice la siguiente configuración:	

12	Fije el parámetro Función en Motor de impulsión/Freno de par constante, de dos cuadrantes	
13	Fije en 24:24 el parámetro Relación de la polea.	
14	En el software LVDAC-EMS, abra la ventana Tabla de datos.	
15	Permitir que la Tabla de datos registre los valores de Par y velocidad, etc.	
16	En la Fuente de alimentación, encienda la fuente de potencia trifásica ca para arrancar el motor de inducción trifásico.	
17	En el software LVDAC-EMS, entrar a la ventana del dinamómetro e iniciar con el botón Marcha/Parada	
18	Aumente el Voltaje hasta llegar a las RPM nominales del motor de inducción jaula de ardilla. Ese voltaje es igual a 100V equivalente a 1670 RPM para el motor de inducción.	
19	Desde el software se procede a aumentar gradualmente el par ejercido hacia el motor de inducción.	Se varía gradualmente el par en pasos de 0,5 N*m
20	Aumente el par hasta que las RPM del motor lleguen alrededor de las 800 RPM	
21	En la ventana Tabla de datos, guarde los datos registrados, luego exporte a una hoja de cálculo.	Es importante mencionar que cada vez que se varíe el par se

		debe ejecutar una medición en el software para que así quede registrada y se pueda proceder.
22	Una vez terminada la practica primero se debe regular nuevamente el par y luego se apaga la fuente de alimentación para proceder a desconectar los cables conectados al motor de inducción.	

5. CUADRO DE RESULTADOS

En la Tabla 1 se pueden observar los datos recopilados durante la práctica, se evidencia el comportamiento de la velocidad cuando se aumenta el par, esta disminuye.

Tabla 1. Datos recopilados del software equipo de medición

Velocidad	Par	Potencia	Energía	Voltaje
(r/min)	(n*m)	(W)	(W*h)	(V)
1684	0,262	46.29	6.091	100
1651	0,312	53.93	7.825	100
1636	0,354	60.73	12.63	100
1615	0,376	63.56	12.83	100
1602	0,383	64.24	13.06	100
1588	0,401	66.68	13.19	100
1576	0,412	68.03	13.43	100
1550	0,44	71.5	13.58	100
1533	0,454	72.82	13.75	100
1513	0,471	74.63	13.9	100
1498	0,482	75.66	14.14	100
1484	0,493	76.54	14.29	100
1453	0,512	77.89	14.43	100
1417	0,53	78.68	14.62	100
1371	0,553	79.37	14.82	100
1316	0,568	78.33	14.97	100
1255	0,588	77.25	15.12	100
800	0,598	50.13	15.55	100

En la siguiente grafica se muestra la variación de la velocidad al ejercer un par cada vez mayor.

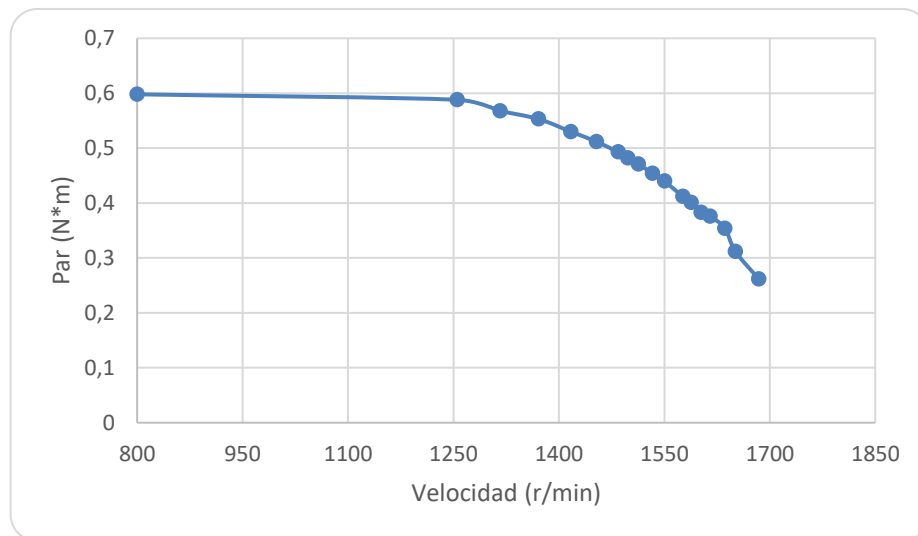


Figura 1. Curva característica de Par-Velocidad

6. CONCLUSIONES

Se pudo verificar mediante las mediciones hechas que a medida que aumentamos el par ejercido hacia el motor de inducción jaula de ardilla, la velocidad también tiende a disminuir. Esto se debe a que en esta función ambos parámetros son inversamente proporcionales ya que a medida que yo aumento el par, se ejerce un freno en el motor el cual causa que el rpm disminuya.

7. BIBLIOGRAFÍA

FESTO (2023). *Standard Functions (computer-based control) Set 8968-2*. Recuperado de:

https://lvsim.labvolt.com/Manuals/8010-9/86357_00.pdf

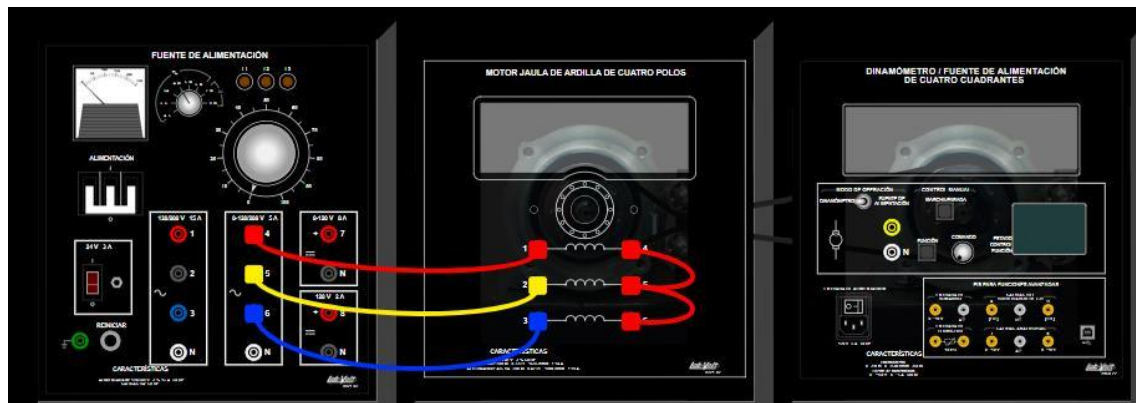
Hughes, A. (2019). *Electric motors and drives: Fundamentals, types and applications* (5th ed.).

Elsevier.

Wildi, T. (2007). *Máquinas eléctricas y sistemas de potencia*. (P. M. Guerrero, Ed.)

Wildo, T. (2005). *Electrical Machines, Drives, and Power Systems*. Upper Saddle River: Prentice Hall.

8. ANEXOS



Anexo 1. Módulos utilizados



Anexo 2. Medición del voltaje

Fecha de Elaboración: 07/06/2024

Elaborado por: Alcivar Heredia Isaac Natanael y Velesaca Zambrano Edison Javier

REVISADO POR:
FECHA:

GUÍA TALLER/LABORATORIO

GUÍA DE PRÁCTICAS DE ASIGNATURA

INFORME

NOMBRE DE LA PRÁCTICA	“Barrido de velocidad, variación de par y velocidad automática”	No. PRÁCTICA: 3
------------------------------	---	------------------------

1. DATOS INFORMATIVOS

CARRERA:	Electricidad
CICLO/NIVEL:	Noveno
FECHA:	14/06/2024
NOMBRE DEL ESTUDIANTE:	Alcivar Heredia Isaac Natanael Velesaca Zambrano Edison Javier
DOCENTE RESPONSABLE	Ing. Vladimir Jaramillo García, PhD

2. FUNDAMENTACIÓN

Relación entre la velocidad y el par en motor de inducción jaula de ardilla

El par que da lugar a un motor de inducción jaula de ardilla se da por la diferencia en la velocidad de rotación del campo magnético y aquella del rotor. El par de un motor de inducción es proporcional a la diferencia de la velocidad entre el campo magnético rotatorio es decir la velocidad de rotación del campo magnético correspondiente a la velocidad sincrónica n_s del motor y el rotor (Wildo, 2005). Esto se lo llama deslizamiento y se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Deslizamiento} = n_s - n_r \quad (1)$$

Donde:

n_s es conocida como la velocidad sincrónica del motor y n_r es equivalente a la velocidad de rotación del rotor.

Par contra curva de velocidad

El par o momento de torsión generado por un motor está vinculado a su velocidad, pero esta relación no puede expresarse de manera simple mediante una ecuación. Por lo tanto, es más adecuado representar la relación en forma de una curva. La Figura 1 ilustra la curva de momento de torsión en función de la velocidad de un motor de inducción trifásico convencional, cuyo momento de torsión nominal a plena carga es T . El momento de torsión de arranque es $1.5T$ y el momento de torsión máximo es de $2.5 T$ (Wildi, 2007).

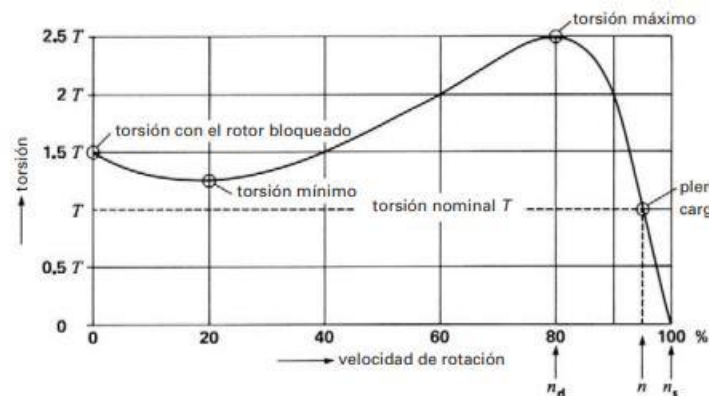


Figura 1. Curva de par-velocidad de un motor jaula de ardilla

Función Barrido de Velocidad

Esta función permite realizar un estudio detallado del comportamiento de una máquina bajo prueba. Mediante un motor de corriente continua con imanes permanentes, se hace girar la máquina acoplada al Dinamómetro de cuatro cuadrantes / Fuente de Alimentación a diferentes velocidades dentro de un rango definido. Se controla el barrido de velocidad a través de cuatro parámetros tales como la velocidad inicial, velocidad final, el número de pasos y duración de cada paso (FESTO, 2023). Esta herramienta permite analizar cómo varían las características de una máquina en función de su velocidad de rotación.

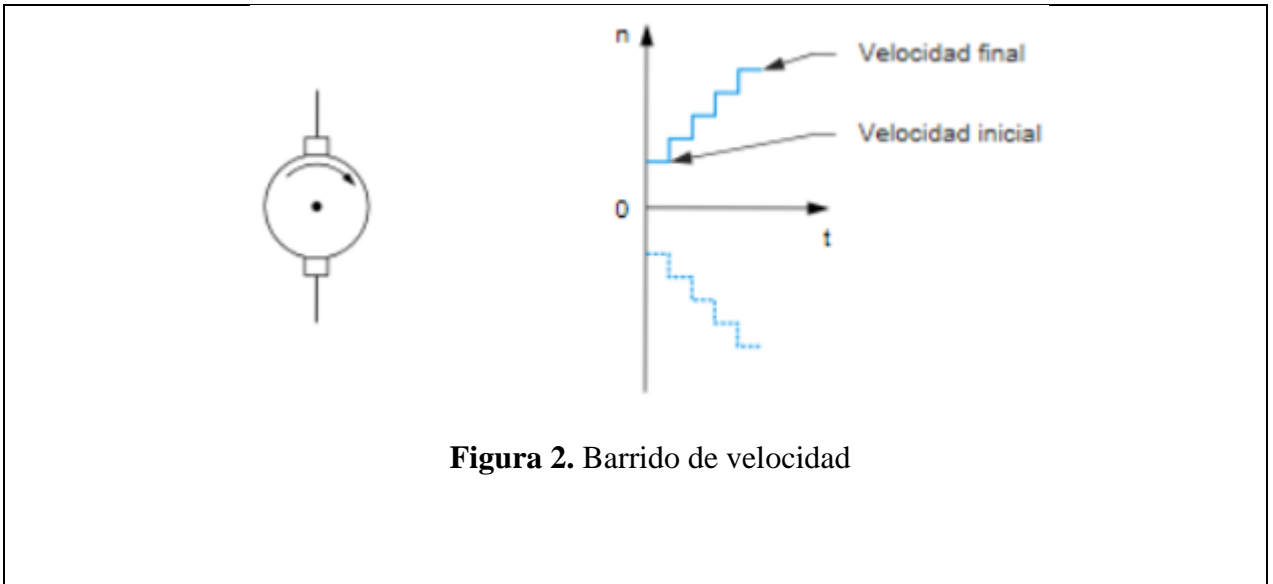


Figura 2. Barrido de velocidad

3. OBJETIVOS

1. Utilizar la función de barrido de velocidad la cual se encarga de variar la velocidad junto al par dependiendo de las asignaciones que se le configure para así poder visualizar el comportamiento del motor de inducción.
2. Observar la relación que existe entre los distintos parámetros vinculados con la operación de los motores de inducción trifásicos, tales como velocidad, par, potencia mecánica, etc.

4. MATERIALES E INSUMOS

- Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes - LabVolt Serie 8960-20.
- Software LV-SIM/EMS
- Fuente de Alimentación 8821-22.
- Motor de inducción jaula de ardilla
- Conectores

- Correa dentada
- Multímetro

5. PROCEDIMIENTO

N°	ACTIVIDADES	OBSERVACIONES
1	Instalar el modulo de fuente de alimentación y el motor de inducción Jaula de ardilla al puesto de trabajo.	
2	Utilizando una correa dentada, acople mecánicamente el Motor de inducción jaula de ardilla de cuatro polos al Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes.	
3	En la Fuente de alimentación, asegúrese de que los interruptores de potencia CA y CC estén en la posición O (apagado), luego conecte dicha fuente a una toma de potencia trifásica CA.	
4	Conecte el puerto USB del Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes a un puerto USB de la computadora.	
5	Encienda el módulo Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes, luego fije el interruptor Modo de operación en Dinamómetro. Esto	

	permite que el módulo opere como motor de impulsión, freno o ambos, de acuerdo con la función seleccionada.	
6	Encienda la computadora, luego inicie el software LVDAC-EMS.	
7	En la ventana Arranque de LVDAC-EMS, verifique que se detecte el Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes.	
8	Seleccione la tensión y frecuencia de red que corresponden a la red CA, luego hacer clic en Aceptar para cerrar la ventana Arranque de LVDAC-EMS.	
9	Conectar el equipo fuente de alimentación al motor jaula de ardilla de cuatro cuadrante (mediante la conexión en estrella)	
10	Realizar la respectiva conexión del motor de inducción jaula de ardilla que en este caso lo conectamos en estrella	
11	En el software LVDAC-EMS, abra la ventana Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes, luego realice la siguiente configuración:	
12	Fije el parámetro Función en barrido de velocidad	

13	Fije en 24:24 el parámetro Relación de la polea. Además, designe velocidad inicial y final junto con los tiempos de recopilación e intervalos de este.	
14	En el software LVDAC-EMS, abra la ventana Tabla de datos.	
15	Permitir que la Tabla de datos registre los valores de Par y velocidad, etc.	
16	En la Fuente de alimentación, encienda la fuente de potencia trifásica ca para arrancar el motor de inducción trifásico.	
17	En el software LVDAC-EMS, entrar a la ventana del dinamómetro e iniciar con el botón Marcha/Parada	
18	Aumente el Voltaje hasta llegar a las RPM nominales del motor de inducción jaula de ardilla. Ese voltaje es igual a 100V equivalente a 1670 RPM para el motor de inducción.	
19	Desde el Software una vez configurado los datos respectivos para la adquisición de datos ponemos en estado de marcha.	
20	Es preferible designar intervalos de pasos y tiempos pequeños para tener mayor adquisición de datos	
22	Una vez terminada la practica primero se debe regular nuevamente el par y luego se apaga la fuente	

	de alimentación para proceder a desconectar los cables conectados al motor de inducción.	
--	--	--

6. CUADRO DE RESULTADOS

En la Tabla 1 se pueden observar los datos recopilados durante la práctica, se evidencia el comportamiento de la velocidad cuando se aumenta el par, esta disminuye.

Tabla 1. Datos recopilados del software

Velocidad (r/min)	Par (N*m)	Potencia (W)	Energía (W*h)
34	0,71	2.529	29,09
107	0,616	6.901	29,09
192	0,624	12,55	29,08
340	0,68	24,2	29,07
394	0,676	27,88	29,06
492	0,702	36,15	29,04
605	0,718	45,5	29,02
696	0,728	53,05	28,99
786	0,741	60,99	28,95
885	0,76	70,39	28,91
983	0,76	78,23	28,86
1082	0,763	86,44	28,81
1180	0,758	93,7	28,76
1277	0,737	98,58	28,71
1415	0,713	105,7	28,65
1475	0,632	97,59	28,61
1591	0,526	87,69	28,55
1671	0,356	62,38	28,52

En la figura 1 se muestra como el comportamiento del motor en la función de barrido de velocidad, se observa como a medida que se aumentaba el par, la velocidad iba disminuyendo hasta un punto donde el motor quedara estático por el freno ejercido.

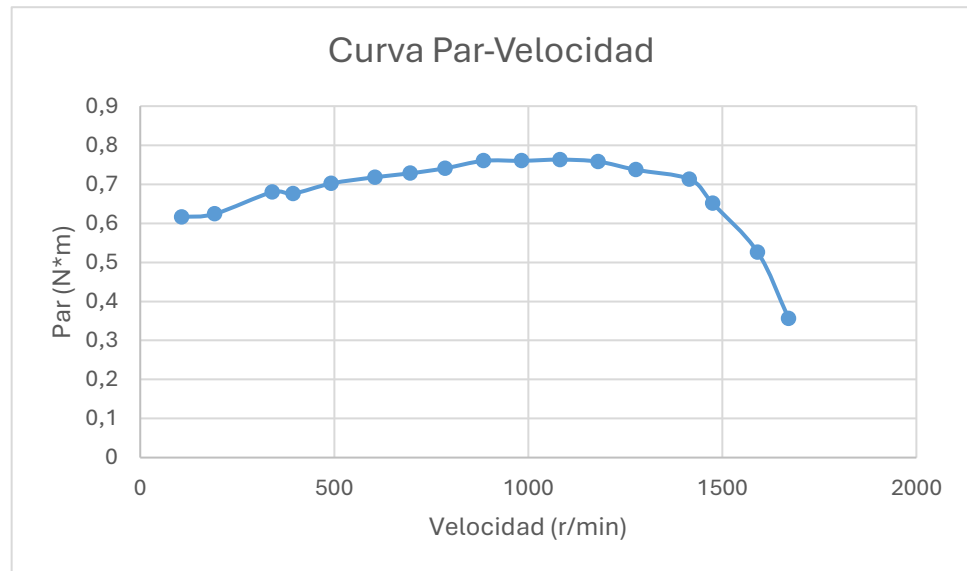


Figura 1. Curva característica de Par-Velocidad

7. CONCLUSIONES

Se pudo concluir que la función de barrido de velocidad es específicamente para poder obtener datos y graficar curvas de par-velocidad de una manera precisa ya que los tiempos de pasos e intervalos se hacen a un mismo tiempo especificado, por ende, se podrán observar mejores resultados al disminuir esos pasos e intervalos de tiempo.

8. BIBLIOGRAFÍA

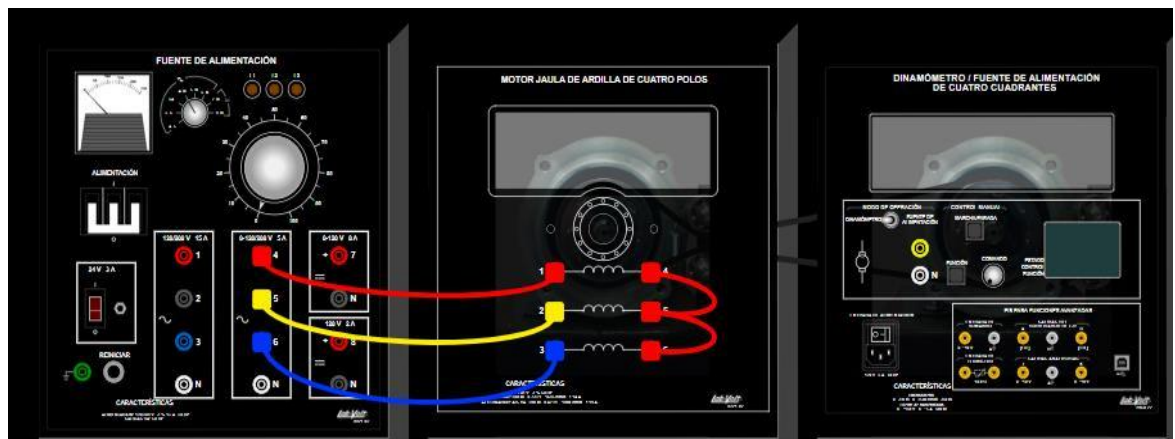
FESTO (2023). *Standard Functions (computer-based control) Set 8968-2*. Recuperado de:

https://lvsim.labvolt.com/Manuals/8010-9/86357_00.pdf

Wildi, T. (2007). *Máquinas eléctricas y sistemas de potencia*. (P. M. Guerrero, Ed.)

Wildo, T. (2005). *Electrical Machines, Drives, and Power Systems*. Upper Saddle River: Prentice Hall.

9. ANEXOS



Anexo 1. Módulos utilizados

Fecha de Elaboración: 14/06/2024

Elaborado por: Alcivar Heredia Isaac Natanael y Velesaca Zambrano Edison Javier

REVISADO POR:
FECHA:

GUÍA TALLER/LABORATORIO

GUÍA DE PRÁCTICAS DE ASIGNATURA

INFORME

NOMBRE DE LA PRÁCTICA	Sincronización de Alternador acoplado al dinamómetro como motor de impulsión.	No. PRÁCTICA: #4
------------------------------	---	-------------------------

1. DATOS INFORMATIVOS

CARRERA:	Electricidad
CICLO/NIVEL:	Egresado
FECHA:	21/06/2024
NOMBRE DEL ESTUDIANTE:	Isaac Alcivar Heredia Edisson Velesaca Zambrano
DOCENTE RESPONSABLE	Ing. Vladimir Jaramillo García, PhD

2. FUNDAMENTACIÓN

Motor/Alternador síncrono

Los motores síncronos están diseñados para mantener una velocidad constante sin importar la carga (Chapman, 2012). La velocidad está directamente relacionada con la frecuencia de la corriente alterna suministrada al motor. Esta relación se describe mediante la siguiente ecuación:

$$n_m = \frac{120f}{P} \quad (1)$$

Donde n_m es la velocidad mecánica de rotación, f es la frecuencia eléctrica del estator y P es el número de polos del motor.

Esta ecuación muestra que la velocidad del motor síncrono es inversamente proporcional al número de polos y directamente proporcional a la frecuencia.

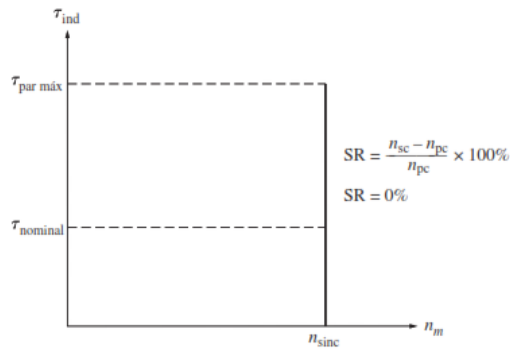


Figura 1. Curva característica par-velocidad de un motor síncrono

Debido a que la velocidad del motor es constante, su regulación de velocidad es cero tal como se aprecia en la Figura 1.

El par máximo en un motor síncrono ocurre cuando el ángulo del par δ es de 90 grados (Lipo, 2017). En condiciones normales de carga, los pares en el motor son considerablemente menores que el par máximo. Sin embargo, cuando la carga supera el par máximo, el rotor no puede mantenerse sincronizado con el campo magnético del estator y comienza a retrasarse en relación con él. Este deslizamiento de polos provoca un fenómeno conocido como “deslizamiento”. El rotor se desliza y el campo magnético del estator lo supera varias veces, alterando la dirección del par inducido en el rotor.

$$\tau_{ind} = \frac{3V_{\phi}E_A \sin\delta}{\omega_m X_S} \quad (2)$$

Estos cambios de dirección del par resultante pueden causar oscilaciones y vibraciones perjudiciales para la operación del motor.

$$\tau_{max} = \frac{3V_{\phi}E_A}{w_m X_S} \quad (3)$$

Función Motor de impulsión/Freno de velocidad constante SAH

Esta función utiliza la máquina de corriente continua de imán permanente para girar la máquina acoplada al Dinamómetro de cuatro cuadrantes/Fuente de alimentación a una velocidad constante en el sentido de las agujas del reloj. La velocidad de rotación se mantiene constante mientras las condiciones de trabajo de la máquina acoplada varían mediante control de lazo cerrado. Un comando de velocidad introducido por el usuario determina la velocidad de rotación de la máquina bajo prueba. La función indica en el eje de la máquina bajo prueba la velocidad, par, potencia mecánica y energía medidos. La función puede también indicar la temperatura de la máquina cuando el sensor de temperatura de la máquina bajo prueba está conectado a Entrada de Termistor del Dinamómetro de Cuatro Cuadrantes/Fuente de Alimentación (FESTO, 2023).

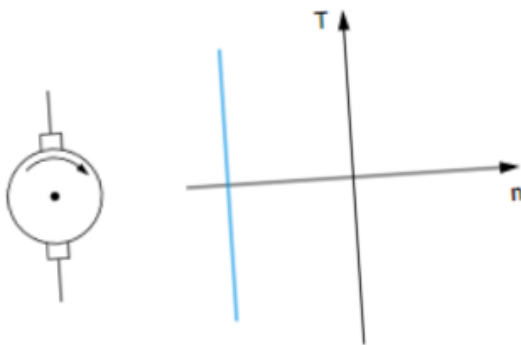


Figura 2. Función Motor de impulsión/Freno de velocidad constante SAH

3. OBJETIVOS

1. Utilizar la función Motor de impulsión/Freno de velocidad constante, en el Software LV-SIM/EMS acoplado el dinamómetro a un alternador/Generador síncrono para poder obtener un registro de datos y realizar curvas de par- velocidad, en función de la variación de velocidad.
2. Se pretende sincronizar el alternador a frecuencia y voltaje de la fuente principal o red. Esto se lo hará manualmente, regulando voltaje en la excitatriz y regulando la velocidad del alternador.

4. MATERIALES E INSUMOS

- ✓ Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes - LabVolt Serie 8960-20.
- ✓ Software LV-SIM/EMS
- ✓ Módulo Fuente de Alimentación 8821-22.
- ✓ Módulo Alternador/Generador síncrono 8241-22.
- ✓ Conectores.
- ✓ Multímetro.

5. PROCEDIMIENTO

N°	ACTIVIDADES	OBSERVACIONES

1	Instalar el módulo de fuente de alimentación y el Motor /Alternador síncrono	
2	Utilizando una correa dentada, acople mecánicamente el Motor /Alternador síncrono al Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes.	
3	En la Fuente de alimentación, asegúrese de que los interruptores de potencia CA y CC estén en la posición O (apagado), luego conecte dicha fuente a una toma de potencia trifásica ca.	
4	Conecte el puerto USB del Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes a un puerto USB de la computadora.	
5	Encienda el módulo Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes, luego fije el interruptor Modo de operación en Dinamómetro. Esto permite que el módulo opere como motor de impulsión, freno o ambos, de acuerdo con la función seleccionada.	
6	Encienda la computadora, luego inicie el software LVDAC-EMS. En la ventana Arranque de LVDAC-EMS, verifique que se detecte el	

	Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes.	
7	Seleccione la tensión y frecuencia de red que corresponden a la red CA, luego hacer clic en Aceptar para cerrar la ventana Arranque de LVDAC-EMS.	
8	Conectar el equipo fuente de alimentación Motor /Alternador síncrono (mediante la conexión en estrella) y desde la fuente de alimentación hacia los terminales de DC para poder mandar voltaje regulable a la excitatriz del alternador.	
9	En el software LVDAC-EMS, abra la ventana Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes, luego realice la siguiente configuración:	
10	Fijar el parámetro Función en Motor de impulsión/Freno con velocidad constante	
11	Fijar el parámetro Velocidad con un valor de velocidad inicial del motor/alternador síncrono de 800 RPM	
12	El parámetro Relación de la polea se debe de fijar en 24:24	
	En el software LVDAC-EMS se debe de registrar los valores indicados en la ventana	

13	Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes	
14	Se aumenta gradualmente la velocidad hasta llegar a la velocidad nominal del alternar que son 1800 RPM.	
15	Se activa el circuito de excitación para comenzar a generar en el alternador y se regula ese voltaje de excitación DC hasta llegar a un voltaje de 208V en los terminales de salida del alternador.	
16	Durante el proceso se realizan mediciones y toma de datos mediante el software y mediante instrumentos de medición externos como multímetros para poder observar la frecuencia y voltaje.	
17	Cuando se haya registrado todo es importante primero apagar el dinamómetro desde el software, luego apagar la fuente de alimentación y por último retirar cableado de los módulos.	

6. CUADRO DE RESULTADOS

Los datos que se visualizan en la tabla 1 se recopilaron del Software LV-SIM/EMS cada vez que se agregaba una carga se realizaba un registro de velocidad, par, potencia (mecánica) y energía.

Tabla 1. Datos recopilados del software

Velocidad	Par	Potencia	Energía
(r/min)	(N*m)	(W)	(W*h)
755	-0,084	-6.673	-0,114
856	-0,084	-7.539	-0,185
955	-0,08	-8.011	-0,276
1057	-0,077	-8.567	-0,341
1158	-0,071	-8.658	-0,392
1259	-0,071	-9.361	-0,461
1360	-0,064	-9.143	-0,519
1462	-0,062	-9.431	-0,579
1561	-0,059	-9.694	-0,649
1663	-0,055	-9.613	-0,742
1752	-0,055	-10,16	-0,881
1800	-0,054	-10,25	-0,985
1792	-0,107	-20,15	-1.222
1803	-0,11	-20,84	-1.745

Los datos mostrados en la Tabla 2 se los obtuvo con una pinza Hobotest HT208D

Tabla 2. Datos recopilados de equipos de medición

Voltaje	Frecuencia
(V)	(Hz)
198,2	59,7
208	59,7
208	60

En la Figura 3 se puede visualizar la curva de par-velocidad de dicha prueba. Al ser pocos datos la curva característica tiende a ser lineal. Esto se debe a la poca diversidad de cargas en los módulos de laboratorio.

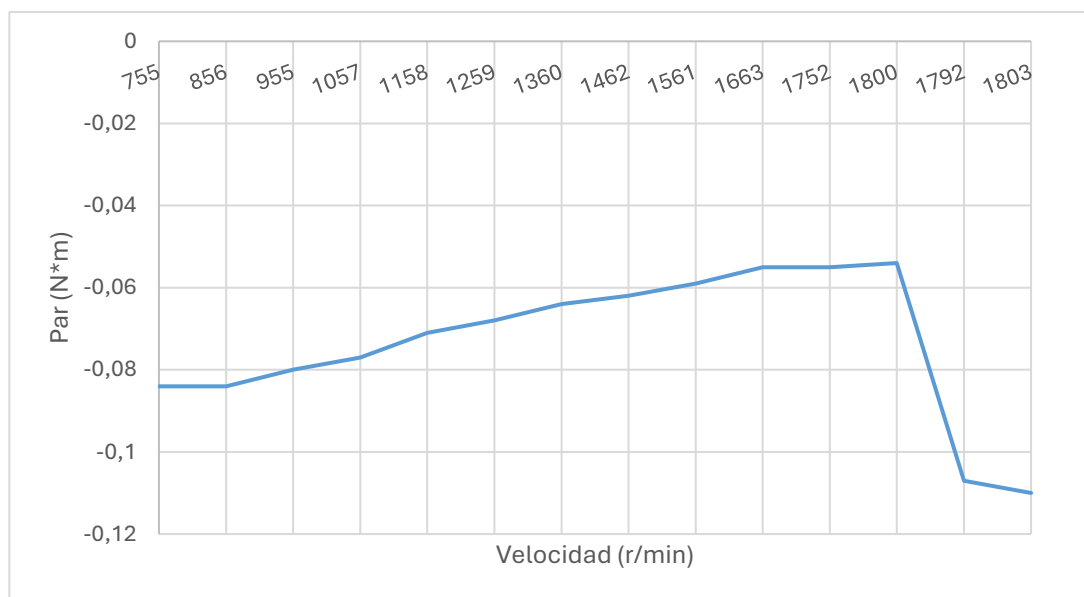


Figura 3. Curva característica de par-velocidad

7. CONCLUSIONES

- Se pudo observar como a medida que la velocidad del alternador era cercana a la nominal, su frecuencia se estabilizada en 60Hz y mediante el circuito de excitación se regulaba el voltaje de salida en los terminales del generador, mientras mayor sea el voltaje DC enviado a la excitatriz, mayor será el voltaje generado.

8. BIBLIOGRAFÍA

Chapman, S. (2012). *Electric Machinery Fundamentals* (Quinta ed.). New York, United States: The McGraw-Hill Companies.

FESTO (2023). *Standard Functions (computer-based control) Set 8968-2*. Recuperado de: https://vsim.labvolt.com/Manuals/8010-9/86357_00.pdf

Lipo, T. (2017). *Analysis of Synchronous Machines*. Reino Unido: CRC Press.

9. ANEXOS



Anexo 1. Conexiones entre los módulos utilizados implementado en el software de Labvolt



Anexo 2. Datos recopilados de equipo de medición

Fecha de Elaboración: 21/06/2024

Elaborado por: Alcívar Heredia Isaac Natanael, Velesaca Zambrano Edison Javier

REVISADO POR:

FECHA:

GUÍA TALLER/LABORATORIO

GUÍA DE PRÁCTICAS DE ASIGNATURA

INFORME

NOMBRE DE LA PRÁCTICA	Velocidad constante, alternador síncrono con cargas resistivas	No. PRÁCTICA: #5
------------------------------	--	-------------------------

1. DATOS INFORMATIVOS

CARRERA:	Electricidad
CICLO/NIVEL:	Egresado
FECHA:	28/06/2024
NOMBRE DEL ESTUDIANTE:	Isaac Alcivar Heredia Edisson Velesaca Zambrano
DOCENTE RESPONSABLE	Ing. Vladimir Jaramillo García, PhD

2. FUNDAMENTACIÓN

Alternador sincrónico trifásico

Actualmente, la mayor parte de la energía que se consume se produce a través de los generadores sincrónicos trifásicos. Estos también están ubicados en todas las centrales eléctricas, como las del tipo hidráulicas, diésel, carbón y eólicas, entre otros (Boylestad, 2006).

El rotor del alternador es un electroimán que produce un campo magnético. Colocado en el interior de una fuente potencial mecánica, como una turbina hidráulica, para hacerlo girar. El giro del rotor constantemente cambia el flujo magnético que enlaza con el arrollamiento del estator, induciéndose en él el voltaje alterno (Wildo, 2005).

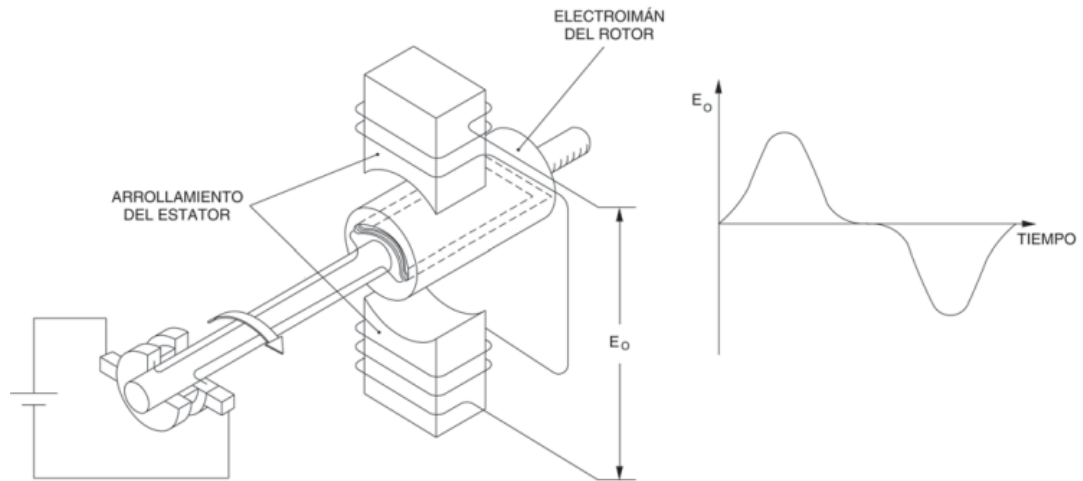


Figura 1. El flujo magnético que cambia continuamente enlaza el arrollamiento del estator y produce un voltaje alterno.

El estator de un generador sincrónico trifásico cuenta con tres arrollamientos colocados a 120° entre sí como resultado, tres ondas seno de voltaje. desplazadas 120° unas de otras, se inducen en dichos arrollamientos (Chapman, 2012). El estator de un generador sincrónico trifásico es muy parecido al de un motor de inducción jaula de ardilla trifásico, como se observa en la Figura 2.

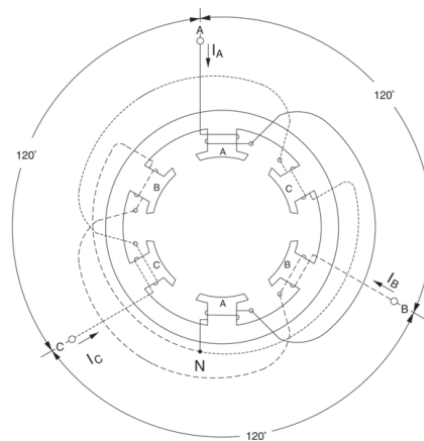


Figura 2. Arrollamiento de un estator trifásico.

Función Motor de Impulsión Freno SH (sentido horario)

Esta función hace que la máquina bajo prueba que se encuentra acoplada al dinamómetro de cuatro cuadrantes gire en sentido horario a una velocidad dada utilizando el motor PM-DC. Por

medio de un comando de velocidad que es introducido por el usuario se especifica la velocidad de rotación sin carga de la maquina bajo prueba (FESTO, 2023). Esta función es necesaria para estudiar la sincronización de generadores de CA.

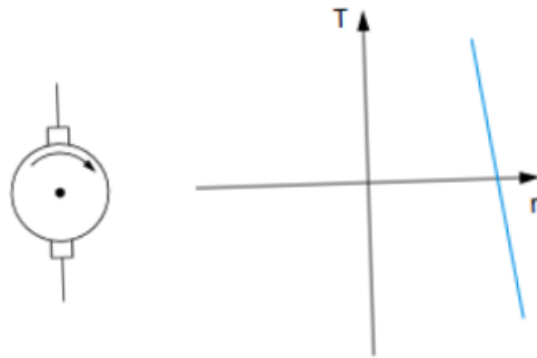


Figura 3. Función Motor de Impulsión Freno SH (sentido horario)

3. OBJETIVOS

1. Utilizar la función Motor de impulsión/Freno SH, en el Software LV-SIM/EMS acoplado el dinamómetro a un alternador/Generador síncrono para poder obtener un registro de datos y en función de la variación del par.
2. Calcular el rendimiento del alternador en base a la recopilación de datos.

4. MATERIALES E INSUMOS

- ✓ Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes - LabVolt Serie 8960-20.
- ✓ Software LV-SIM/EMS
- ✓ Módulo Fuente de Alimentación 8821-22.
- ✓ Módulo Alternador/Generador síncrono 8241-22.
- ✓ Conectores.
- ✓ Multímetros.

5. PROCEDIMIENTO

N°	ACTIVIDADES	OBSERVACIONES
1	Instalar el módulo de fuente de alimentación y el Motor /Alternador síncrono	
2	Utilizando una correa dentada, acople mecánicamente el Motor /Alternador síncrono al Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes.	
3	En la Fuente de alimentación, asegúrese de que los interruptores de potencia ca y cc estén en la posición O (apagado), luego conecte dicha fuente a una toma de potencia trifásica ca.	
4	Conecte el puerto USB del Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes a un puerto USB de la computadora.	

5	<p>Encienda el módulo Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes, luego fije el interruptor Modo de operación en Dinamómetro.</p> <p>Esto permite que el módulo opere como motor de impulsión, freno o ambos, de acuerdo con la función seleccionada.</p>	
6	<p>Encienda la computadora, luego inicie el software LVDAC-EMS. En la ventana Arranque de LVDAC-EMS, verifique que se detecte el Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes.</p>	
7	<p>Seleccione la tensión y frecuencia de red que corresponden a la red CA, luego hacer clic en Aceptar para cerrar la ventana Arranque de LVDAC-EMS.</p>	
8	<p>Conectar el equipo fuente de alimentación Motor /Alternador síncrono (mediante la conexión en estrella) y desde la fuente de alimentación hacia los terminales de DC para poder mandar voltaje regulable a la excitatriz del alternador.</p>	
9	<p>En el software LVDAC-EMS, abra la ventana Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes, luego realice la siguiente configuración:</p>	

10	Fijar el parámetro Función en Motor de impulsión/Freno con velocidad variable	
11	Fijar el parámetro Velocidad con un valor de velocidad inicial del motor/alternador síncrono de 800 RPM	
12	El parámetro Relación de la polea se debe de fijar en 24:24	
13	En el software LVDAC-EMS se debe de registrar los valores indicados en la ventana Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes	
14	Se aumenta gradualmente la velocidad hasta llegar a la velocidad nominal del alternar que son 1800 RPM.	
15	Se activa el circuito de excitación para comenzar a generar en el alternador y se regula ese voltaje de excitación DC hasta llegar a un voltaje de 208V en los terminales de salida del alternador.	
16	Se procede a meter cargas resistivas gradualmente. Para ello se hace una estrella en el modulo de cargas resistivas para poder conectarlas.	
17	Se comienza a cargar el alternador, primero con cargas de 300 Ω , luego cargas de 600 Ω y por último cargas de 1200 Ω .	

18	Durante el proceso se realizan mediciones y toma de datos mediante el software y mediante instrumentos de medición externos como piza amperimétrica y multímetros para poder observar la frecuencia y voltaje.	
19	Cuando se haya registrado todo es importante primero apagar el dinamómetro desde el software, luego apagar la fuente de alimentación y por último retirar cableado de los módulos.	

6. CUADRO DE RESULTADOS

Los datos que se visualizan en la tabla 1 se recopilaron del Software LV-SIM/EMS cada vez que se agregaba una carga se realizaba un registro de velocidad, par, potencia (mecánica) y energía.

Tabla 1. Datos recopilados del software

OBSERVACIONES	Velocidad (r/min)	Par (N*m)	Potencia (W)	Energía (W*h)
Sin carga	1802	-0,066	-12,38	-1,548
300 Ω	1802	-0,748	-141,1	-3,053
300 Ω + 600 Ω	1802	-1,002	-189,1	-8,495
1200 Ω + 600 Ω +300 Ω	1802	-1,097	-207	-12,69

Los datos mostrados en la Tabla 2 se los obtuvo con una pinza Fluke 381 y una Habotest HT208D

Tabla 2 Datos recopilados de equipos de medición

OBSERVACIONES	Voltaje (V)	Frecuencia (Hz)	Corriente (A)
Sin carga	208	60	0
300 Ω	208	60	0,3
300 Ω + 600 Ω	208	60	0,5
1200 Ω + 600 Ω +300 Ω	208	60	0,6

Cálculo de la eficiencia del módulo alternador

En base a los datos recopilados por el dinamómetro y los equipos de medición es posible calcular el rendimiento de dicho módulo.

Potencia de entrada proporcionada por el software:

$$P_{entrada} = 207 W$$

Potencia de salida calculada:

$$P_{salida} = \sqrt{3} * I * V_{LL} * Fp$$

$$P_{salida} = \sqrt{3} * 0,6 * 208 * 0,8$$

$$P_{salida} = 172,9 W$$

Eficiencia:

$$\eta = \frac{P_{salida}}{P_{entrada}} * 100\%$$

$$\eta = \frac{172,9}{207} * 100\%$$

$$\eta = 83,52\%$$

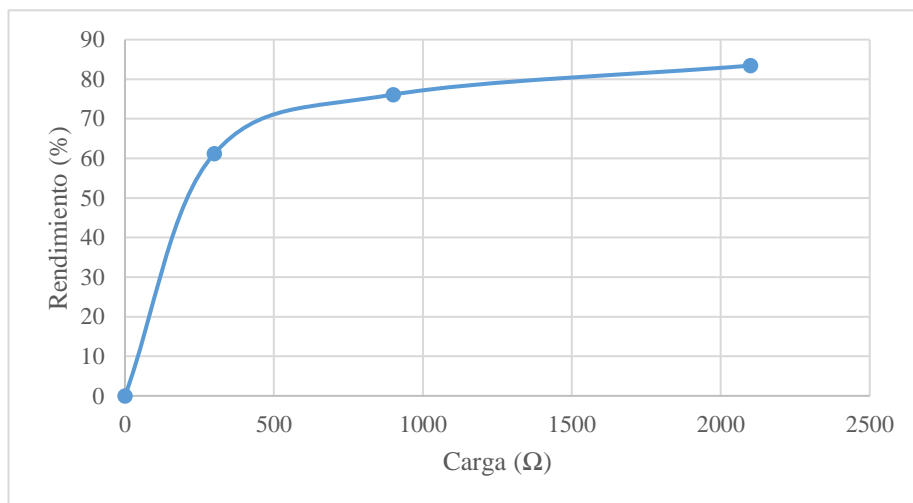


Figura 4. Curva de Rendimiento vs Carga

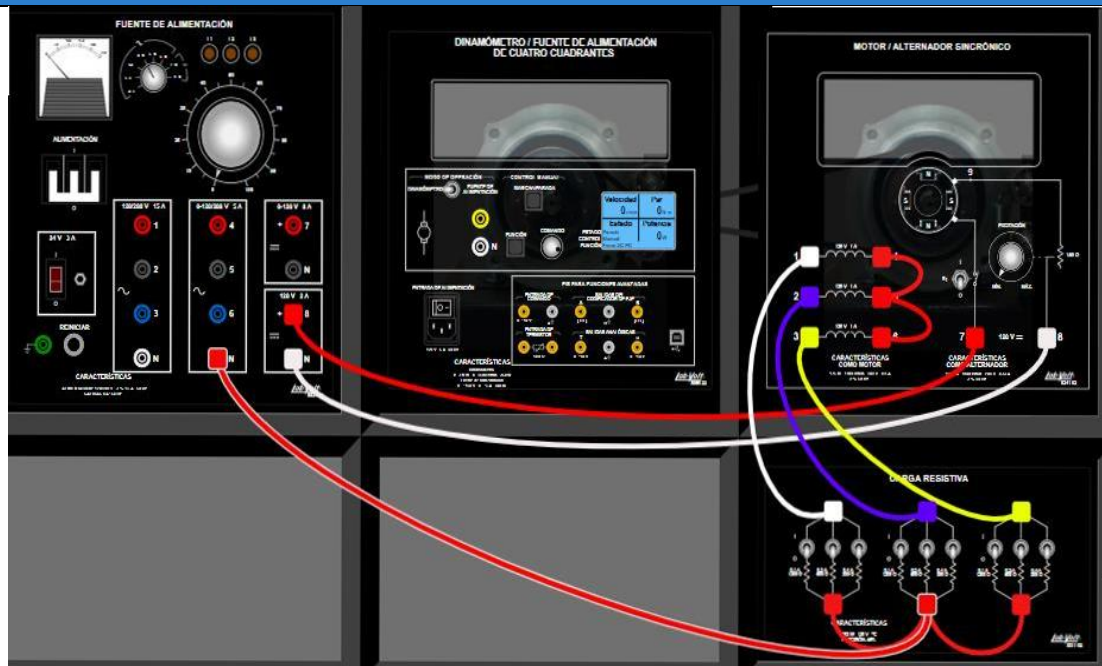
7. CONCLUSIONES

- Se pudo observar que con esta función a medida que se meten mas cargas al alternador su frecuencia se mantuvo debido a que el dinamómetro le establecía una velocidad constante al alternador, por ende, iba a mantener la frecuencia.
- Se pudo calcular la eficiencia del alternador, ya que se calculó la potencia de salida y se obtuvo la de entrada mediante el software.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Boylestad, R. (2006). *Introductory Circuit Analysis* (Vol. 11ª Edición). Upper Saddle River: Prentice Hall.
- Chapman, S. (2012). *Electric Machinery Fundamentals* (Quinta ed.). New York, United States: The McGraw-Hill Companies.
- FESTO (2023). *Standard Functions (computer-based control) Set 8968-2*. Recuperado de: https://lvsim.labvolt.com/Manuals/8010-9/86357_00.pdf
- Wildo, T. (2005). *Electrical Machines, Drives, and Power Systems*. Upper Saddle River: Prentice Hall.

9. ANEXOS



Anexo 1. Conexiones entre los módulos utilizados implementado en el software de Labvolt



Anexo 2. Datos recopilados de equipos de medición



Anexo 3. Módulos de implementación en Laboratorio

Fecha de Elaboración: 28/06/2024

Elaborado por: Alcívar Heredia Isaac Natanael, Velesaca Zambrano Edison Javier

REVISADO POR:

FECHA:

GUÍA TALLER/LABORATORIO

GUÍA DE PRÁCTICAS DE ASIGNATURA

INFORME

NOMBRE DE LA PRÁCTICA	Velocidad variable, alternador síncrono con cargas resistivas	No. PRÁCTICA: #6
------------------------------	---	-------------------------

1. DATOS INFORMATIVOS

CARRERA:	Electricidad
CICLO/NIVEL:	Egresado
FECHA:	05/07/2024
NOMBRE DEL ESTUDIANTE:	Isaac Alcivar Heredia Edisson Velesaca Zambrano
DOCENTE RESPONSABLE	Ing. Vladimir Jaramillo García, PhD

2. FUNDAMENTACIÓN

Alternador sincrónico trifásico

Actualmente, la mayor parte de la energía que se consume se produce a través de los generadores sincrónicos trifásicos. Estos también están ubicados en todas las centrales eléctricas, como las del tipo hidráulicas, diésel, carbón y eólicas, entre otros (Boylestad, 2006).

El rotor del alternador es un electroimán que produce un campo magnético. Colocado en el interior de una fuente potencial mecánica, como una turbina hidráulica, para hacerlo girar. El giro del rotor constantemente cambia el flujo magnético que enlaza con el arrollamiento del estator, induciéndose en él el voltaje alterno (Wildo, 2005).

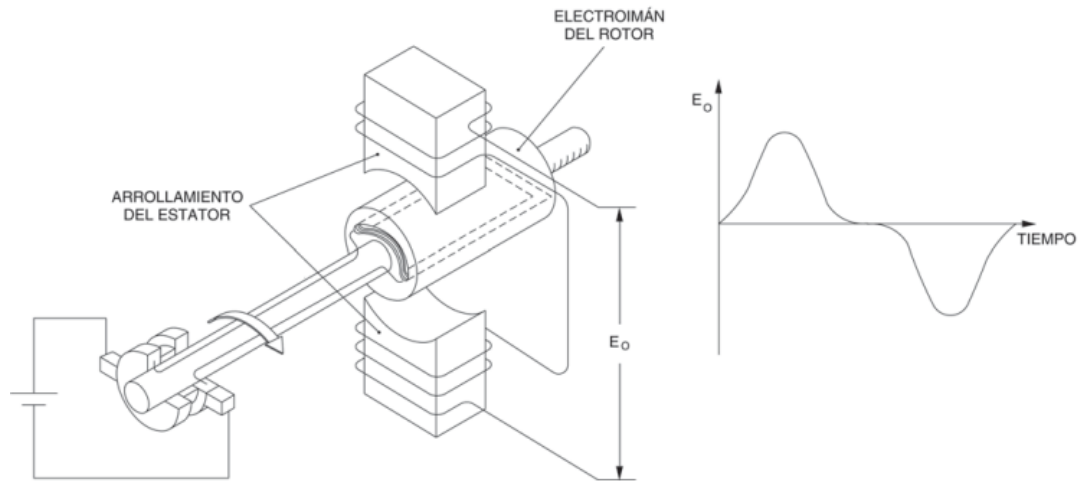


Figura 1. El flujo magnético que cambia continuamente enlaza el arrollamiento del estator y produce un voltaje alterno.

El estator de un generador sincrónico trifásico cuenta con tres arrollamientos colocados a 120° entre sí como resultado, tres ondas seno de voltaje. desplazadas 120° unas de otras, se inducen en dichos arrollamientos (Chapman, 2012). El estator de un generador sincrónico trifásico es muy parecido al de un motor de inducción jaula de ardilla trifásico, como se observa en la Figura 2.

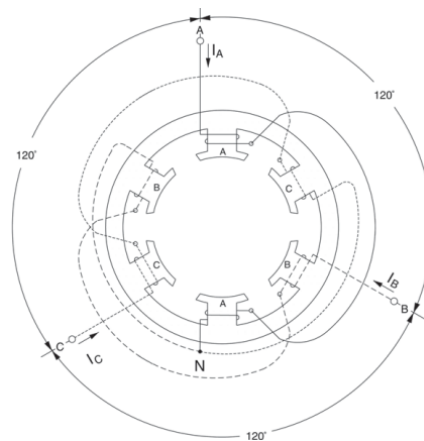


Figura 2. Arrollamiento de un estator trifásico.

Función Motor de Impulsión Freno SH (sentido horario)

Esta función hace que la máquina bajo prueba que se encuentra acoplada al dinamómetro de cuatro cuadrantes gire en sentido horario a una velocidad dada utilizando el motor PM-DC. Por

medio de un comando de velocidad que es introducido por el usuario se especifica la velocidad de rotación sin carga de la maquina bajo prueba (FESTO, 2023). Esta función es necesaria para estudiar la sincronización de generadores de CA.

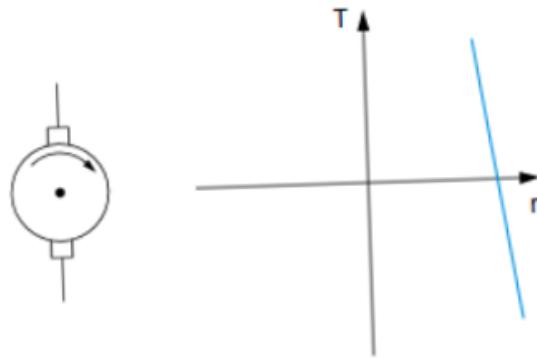


Figura 3. Función Motor de Impulsión Freno SH (sentido horario)

3. OBJETIVOS

1. Utilizar la función Motor de impulsión/Freno SH, en el Software LV-SIM/EMS acoplado el dinamómetro a un alternador/Generador síncrono para poder obtener un registro de datos y realizar curvas de par- velocidad, en función de la variación de velocidad.
2. Calcular el rendimiento del alternador en base a la recopilación de datos.

3. MATERIALES E INSUMOS

- ✓ Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes - LabVolt Serie 8960-20.
- ✓ Software LV-SIM/EMS
- ✓ Módulo Fuente de Alimentación 8821-22.
- ✓ Módulo Alternador/Generador síncrono.
- ✓ Conectores.
- ✓ Multímetros.

4. PROCEDIMIENTO

N°	ACTIVIDADES	OBSERVACIONES
1	Instalar el módulo de fuente de alimentación y el Motor /Alternador síncrono	
2	Utilizando una correa dentada, acople mecánicamente el Motor /Alternador síncrono al Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes.	
3	En la Fuente de alimentación, asegúrese de que los interruptores de potencia ca y cc estén en la posición O (apagado), luego conecte dicha fuente a una toma de potencia trifásica ca.	
4	Conecte el puerto USB del Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes a un puerto USB de la computadora.	

5	<p>Encienda el módulo Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes, luego fije el interruptor Modo de operación en Dinamómetro. Esto permite que el módulo opere como motor de impulsión, freno o ambos, de acuerdo con la función seleccionada.</p>	
6	<p>Encienda la computadora, luego inicie el software LVDAC-EMS. En la ventana Arranque de LVDAC-EMS, verifique que se detecte el Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes.</p>	
7	<p>Seleccione la tensión y frecuencia de red que corresponden a la red CA, luego hacer clic en Aceptar para cerrar la ventana Arranque de LVDAC-EMS.</p>	
8	<p>Conectar el equipo fuente de alimentación Motor /Alternador síncrono (mediante la conexión en estrella) y desde la fuente de alimentación hacia los terminales de DC para poder mandar voltaje regulable a la excitatriz del alternador.</p>	
9	<p>En el software LVDAC-EMS, abra la ventana Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes, luego realice la siguiente configuración:</p>	

10	Fijar el parámetro Función en Motor de impulsión/Freno con velocidad variable	
11	Fijar el parámetro Velocidad con un valor de velocidad inicial del motor/alternador síncrono de 800 RPM	
12	El parámetro Relación de la polea se debe de fijar en 24:24	
13	En el software LVDAC-EMS se debe de registrar los valores indicados en la ventana Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes	
14	Se aumenta gradualmente la velocidad hasta llegar a la velocidad nominal del alternar que son 1800 RPM.	
15	Se activa el circuito de excitación para comenzar a generar en el alternador y se regula ese voltaje de excitación DC hasta llegar a un voltaje de 208V en los terminales de salida del alternador.	
16	Se procede a meter cargas resistivas gradualmente. Para ello se hace una estrella en el módulo de cargas resistivas para poder conectarlas.	

17	Se comienza a cargar el alternador, primero con cargas de 300 Ω , luego cargas de 600 Ω y por último cargas de 1200 Ω .	
18	Durante el proceso se realizan mediciones y toma de datos mediante el software y mediante instrumentos de medición externos como piza amperimétrica y multímetros para poder observar la frecuencia y voltaje.	
19	Cuando se haya registrado todo es importante primero apagar el dinamómetro desde el software, luego apagar la fuente de alimentación y por último retirar cableado de los módulos.	

5. CUADRO DE RESULTADOS

Los datos que se visualizan en la tabla 1 se recopilaron del Software LV-SIM/EMS cada vez que se agregaba una carga se realizaba un registro de velocidad, par, potencia (mecánica) y energía.

Tabla 1 Datos recopilados del software

Carga	Velocidad (r/min)	Par (N*m)	Potencia (W)	Energía (W*h)
sin carga	1802	-0.051	-9.662	-0.429
300Ω	1731	-0.721	-130.8	-3.796
300Ω+ 600Ω	1706	-0.987	-176.3	-6.531
300Ω + 600Ω+ 1200Ω	1698	-1.088	-193.4	-8.757

Los datos mostrados en la Tabla 2 se los obtuvo con una pinza Fluke 381 y una Habotest HT208D

Tabla 2 Datos recopilados de equipos de medición

Corriente (A)	Voltaje (V)	Frecuencia (Hz)
0	206.8	60
0.3	186.0	57.6
0.5	175.4	56.8
0.6	170	56.5

En la siguiente Figura se puede visualizar la curva de par-velocidad de dicha prueba. Al ser pocos datos la curva característica tiende a ser lineal. Esto se debe a la poca diversidad de cargas en los módulos de laboratorio.

Curva característica de PAR-VELOCIDAD

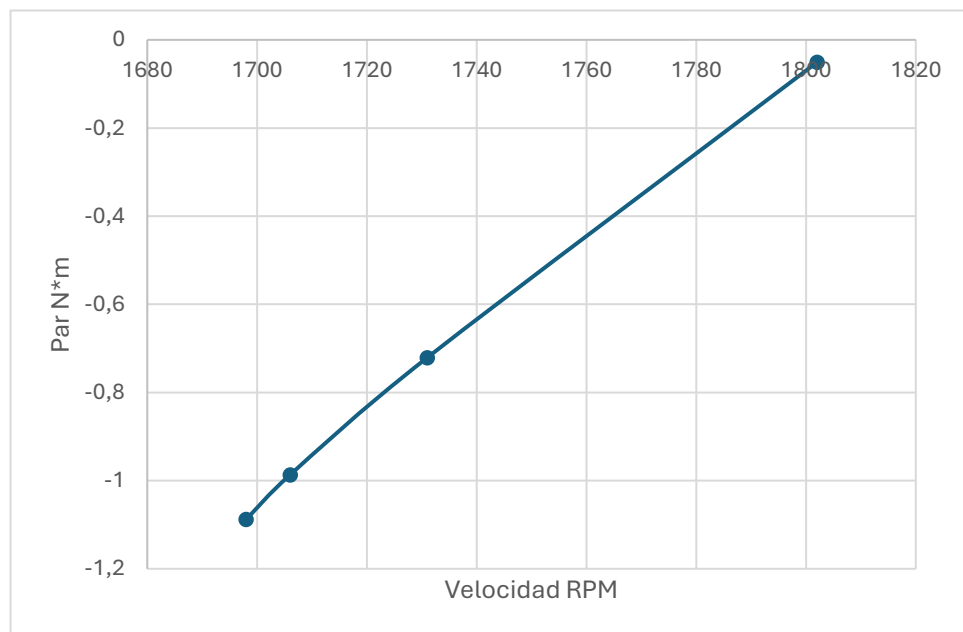


Figura 4. Curva par-velocidad

Cálculo de la eficiencia del módulo alternador

En base a los datos recopilados por el dinamómetro y los equipos de medición es posible calcular el rendimiento de dicho módulo.

Potencia de entrada proporcionada por el software:

$$P_{\text{entrada}} = 193,4 \text{ W}$$

Potencia de salida calculada:

$$P_{salida} = \sqrt{3} * I * V_{LL} * Fp$$

$$P_{salida} = \sqrt{3} * 0,6 * 170 * 0,8$$

$$P_{salida} = 141,3 W$$

Eficiencia:

$$\eta = \frac{P_{salida}}{P_{entrada}} * 100\%$$

$$\eta = \frac{141,3}{193,4} * 100\%$$

$$\eta = 73,06\%$$

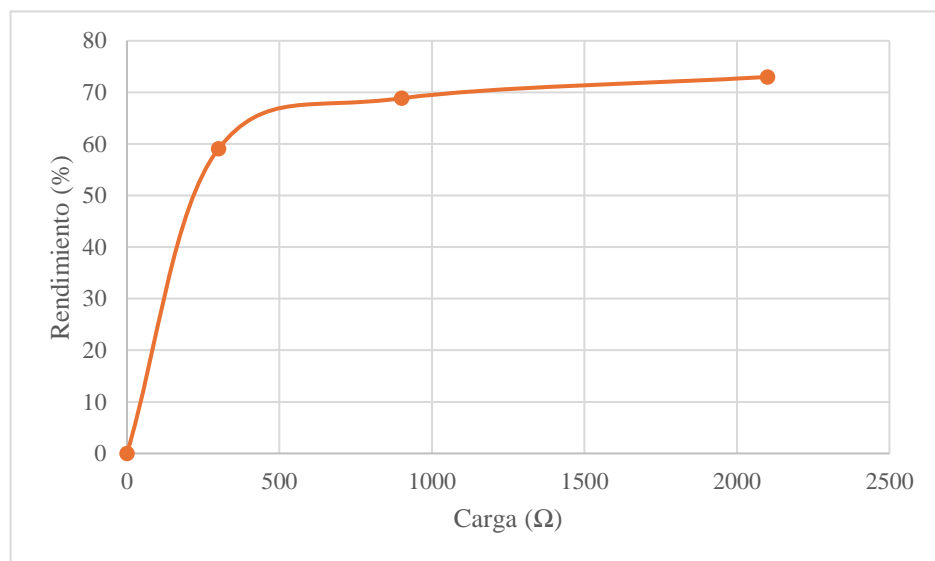


Figura 5. Curva de Rendimiento vs Carga

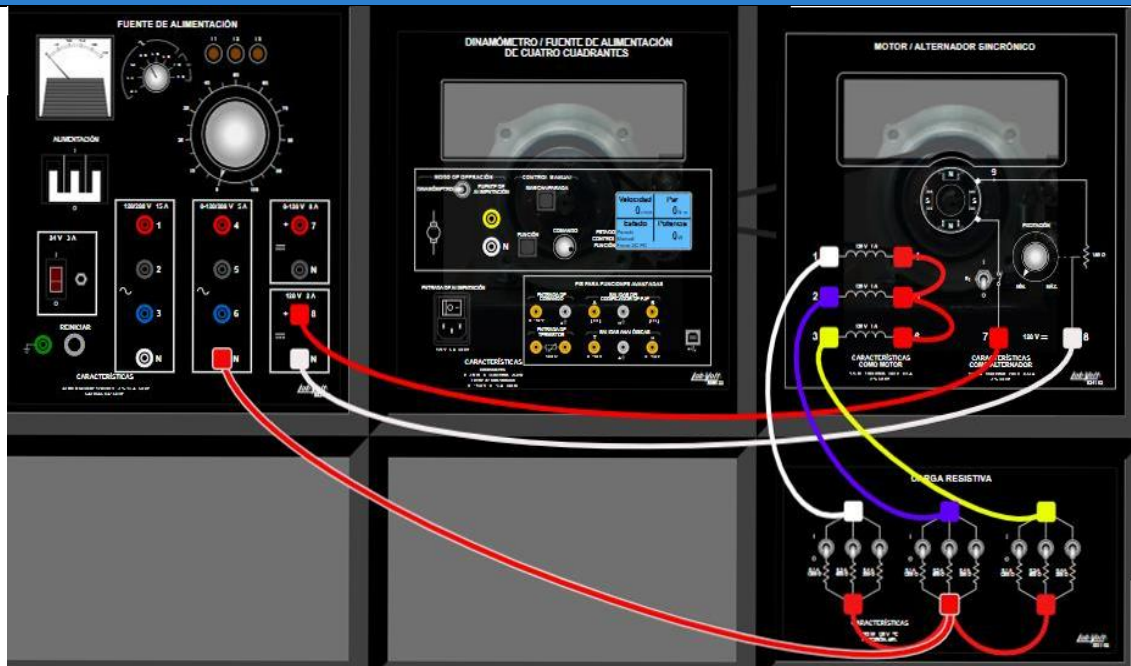
6. CONCLUSIONES

- Se pudo observar como a medida que se meten más cargas al alternador su frecuencia disminuye eso debido a que al cargar más al alternador se va a ejercer un par el cual disminuirá las RPM, por ende, también caerá la frecuencia ya que es directamente proporcional.
- La eficiencia calculada se realiza con la caída de tensión que se provocó cuando aumentaba la carga, por ende, la eficiencia podría ser mayor al regular el voltaje de excitación para que así el voltaje en los terminales se mantenga alrededor de los 206 V.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Boylestad, R. (2006). *Introductory Circuit Analysis* (Vol. 11ª Edición). Upper Saddle River: Prentice Hall.
- Chapman, S. (2012). *Electric Machinery Fundamentals* (Quinta ed.). New York, United States: The McGraw-Hill Companies.
- FESTO (2023). *Standard Functions (computer-based control) Set 8968-2*. Recuperado de: https://lvsim.labvolt.com/Manuals/8010-9/86357_00.pdf
- Wildo, T. (2005). *Electrical Machines, Drives, and Power Systems*. Upper Saddle River: Prentice Hall.

8. ANEXOS



Anexo 1. Conexiones entre los módulos utilizados implementado en el software de Labvolt



Anexo 2. Datos recopilados de equipos de medición



Anexo 3. Módulos de implementación en Laboratorio

Fecha de Elaboración: 05/07/2024

Elaborado por: Alcívar Heredia Isaac Natanael, Velesaca Zambrano Edison Javier

REVISADO POR:

FECHA:

GUÍA TALLER/LABORATORIO

GUÍA DE PRÁCTICAS DE ASIGNATURA

INFORME

NOMBRE DE LA PRÁCTICA	“Barrido de velocidad, en motor de corriente continua”	No. PRÁCTICA: 7
------------------------------	--	------------------------

1. DATOS INFORMATIVOS

CARRERA:	Electricidad
CICLO/NIVEL:	Noveno
FECHA:	12/07/2024
NOMBRE DEL ESTUDIANTE:	Alcivar Heredia Isaac Natanael Velesaca Zambrano Edison Javier
DOCENTE RESPONSABLE	Ing. Vladimir Jaramillo García, PhD

2. FUNDAMENTACIÓN

Motor de Corriente Continua

El principio básico de un motor de Corriente Continua (CC) consiste en la generación de un campo magnético giratorio en su rotor, que es la parte móvil interna del motor. Esto se obtiene mediante un dispositivo conocido como colector, presente en todas las máquinas de CC (Chapman, 2012). El colector, alimentado por una fuente externa de corriente continua, proporciona las corrientes alternas necesarias para crear el campo magnético giratorio (Boylestad, 2006). La Figura 1 muestra el rotor típico de un motor CC. con sus partes principales.

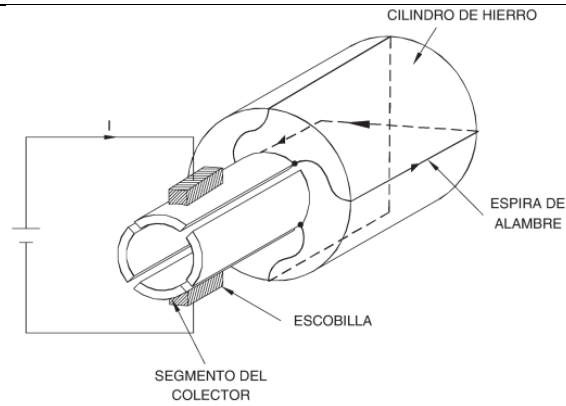


Figura 1. Partes principales del rotor de motor de Corriente Continua

Curva característica par – velocidad

La figura 2 muestra una curva de par-velocidad de un motor de corriente continua (DC), se puede observar la relación inversamente proporcional entre el par y la velocidad del eje de salida, es decir, hay una compensación entre el par generado por el motor y la velocidad de rotación del eje de salida. Las características del motor suelen representarse mediante dos puntos en este gráfico: el par de parada (M_s), que indica el punto donde el par es máximo pero el eje no se mueve, y el punto de velocidad sin carga (ω_n), que es la velocidad máxima del motor cuando no hay torque aplicado al eje de salida (Villanueva et al., 2021). Esto generalmente es válido para los motores DC siempre que la curva refleje la salida directa del motor. Si las especificaciones se presentan como dos puntos, es razonable suponer que la curva es lineal.

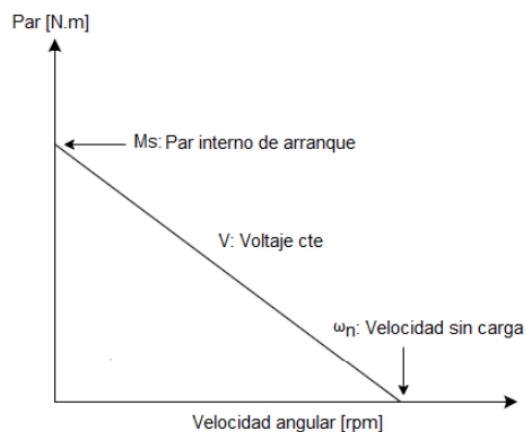


Figura 2. Curva característica de par-velocidad de un motor CC

Función Barrido de Velocidad

Esta función permite realizar un estudio detallado del comportamiento de una maquina bajo prueba. Mediante un motor de corriente continua con imanes permanentes, se hace girar la maquina acoplada al Dinamómetro de cuatro cuadrantes / Fuente de Alimentación a diferentes velocidades dentro de un rango definido. Se controla el barrido de velocidad a través de cuatro parámetros tales como la velocidad inicial, velocidad final, el número de pasos y duración de cada paso (FESTO, 2023). Esta herramienta permite analizar como varían las características de una maquina en función de su velocidad de rotación.

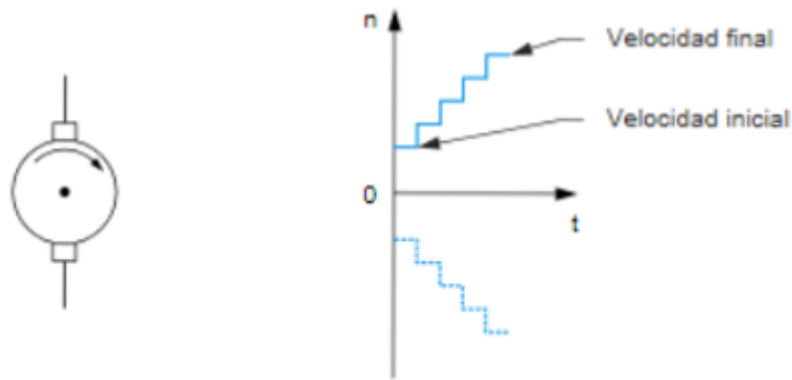


Figura 3. Barrido de velocidad

3. OBJETIVOS

1. Utilizar la función de barrido de velocidad la cual se encarga de variar la velocidad junto al par dependiendo de las asignaciones que se le configure para así poder visualizar el comportamiento del motor de corriente continua.
2. Observar la relación que existe entre los distintos parámetros vinculados con la operación de los motores de corriente continua, tales como velocidad, par, potencia mecánica, etc.

4. MATERIALES E INSUMOS

- Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes - LabVolt Serie 8960-20.
- Software LV-SIM/EMS
- Fuente de Alimentación 8821-22.
- Motor de corriente continua
- Conectores
- Correa dentada

5. PROCEDIMIENTO

N°	ACTIVIDADES	OBSERVACIONES
1	Instalar el módulo de fuente de alimentación y el motor de corriente continua al puesto de trabajo.	
2	Utilizando una correa dentada, acople mecánicamente el Motor de corriente continua al Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes.	
3	En la Fuente de alimentación, asegúrese de que los interruptores de potencia CA y CC estén en la posición O (apagado), luego conecte dicha fuente a una toma de potencia trifásica.	

4	<p>Conecte el puerto USB del Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes a un puerto USB de la computadora.</p>	
5	<p>Encienda el módulo Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes, luego fije el interruptor Modo de operación en Dinamómetro. Esto permite que el módulo opere como motor de impulsión, freno o ambos, de acuerdo con la función seleccionada.</p>	
6	<p>Encienda la computadora, luego inicie el software LVDAC-EMS.</p>	
7	<p>En la ventana Arranque de LVDAC-EMS, verifique que se detecte el Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes.</p>	
8	<p>Seleccione la tensión y frecuencia de red que corresponden a la red CA, luego hacer clic en Aceptar para cerrar la ventana Arranque de LVDAC-EMS.</p>	
9	<p>Conectar el equipo fuente de alimentación al motor de corriente continua. Con su devanado shunt y conectarlo a la armadura del motor.</p>	

10	En el software LVDAC-EMS, abra la ventana Dinamómetro/Fuente de alimentación de cuatro cuadrantes, luego realice la siguiente configuración:	
11	Fije el parámetro Función en barrido de velocidad	
12	Fije en 24:24 el parámetro Relación de la polea. Además, designe velocidad inicial y final junto con los tiempos de recopilación e intervalos de este.	
13	En el software LVDAC-EMS, abra la ventana Tabla de datos.	
14	Permitir que la Tabla de datos registre los valores de Par y velocidad, etc.	
15	En la Fuente de alimentación, encienda la fuente de potencia para arrancar el motor de corriente continua.	
16	En el software LVDAC-EMS, entrar a la ventana del dinamómetro e iniciar con el botón Marcha/Parada	
17	Desde el Software una vez configurado los datos respectivos para la adquisición de datos ponemos en estado de marcha.	

19	Es preferible designar intervalos de pasos y tiempos pequeños para tener mayor adquisición de datos	
20	Una vez terminada la practica primero se debe regular nuevamente el par y luego se apaga la fuente de alimentación para proceder a desconectar los cables conectados al motor de corriente continua.	

6. CUADRO DE RESULTADOS

En la Tabla 1 se pueden observar los datos recopilados durante la práctica, se evidencia el comportamiento de la velocidad cuando se aumenta el par, esta disminuye.

Tabla 1. Datos recopilados del software

Velocidad (r/min)	Par (N*m)	Potencia (W)	Energía (W*h)
1801	-0,684	-129.1	0.386
1711	-0,615	-110.2	0.325
1633	-0,551	-94.26	0.268
1552	-0,437	-71.01	0.219
1454	-0,315	-47.9	0.185
1368	-0,197	-28.28	0.163
1280	-0,081	-10.91	0.152
1193	-0,001	-0.15	0.149
1107	0,064	7.384	0.152
1086	0,223	25.33	0.158
932	0,125	12.18	0.168
846	0,13	11.51	0.179
766	0,126	10.09	0.187
688	0,111	8.004	0.193
588	0,103	6.355	0.198
500	0,109	5.728	0.201

El comportamiento del motor en la función de barrido de velocidad, se observa como a medida que se aumentaba el par, la velocidad iba disminuyendo hasta un punto donde el motor quedara estático por el freno ejercido.

7. CONCLUSIONES

Se pudo concluir que la función de barrido de velocidad es específicamente para poder obtener datos y graficar curvas de par-velocidad de una manera precisa ya que los tiempos de pasos e intervalos se hacen a un mismo tiempo especificado, por ende, se podrán observar mejores resultados al disminuir esos pasos e intervalos de tiempo. En este caso de los motores de corriente continua se puede observar como el par que se ejerce es muy pequeño y tiene poca variación, inclusive se hace negativo.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Boylestad, R. (2006). *Introductory Circuit Analysis* (Vol. 11^a Edición). Upper Saddle River: Prentice Hall.
- Chapman, S. (2012). *Electric Machinery Fundamentals* (Quinta ed.). New York, United States: The McGraw-Hill Companies.
- FESTO (2023). *Standard Functions (computer-based control) Set 8968-2*. Recuperado de: https://lvsim.labvolt.com/Manuals/8010-9/86357_00.pdf
- Villanueva, A., Ganiele, M., Montenegro, S., Nicoletti, P., Quinteros, L., Areas, P., ... & Ponzoni, L. (2021). Diseño y Construcción de Banco de Pruebas para ensayos de Aerogeneradores de Eje Vertical. *INNOVA UNTREF. Revista Argentina de Ciencia y Tecnología*

Wildo, T. (2005). *Electrical Machines, Drives, and Power Systems*. Upper Saddle River: Prentice Hall.

9. ANEXOS



Anexo 1. Módulos utilizados

Fecha de Elaboración: 12/07/2024

Elaborado por: Alcivar Heredia Isaac Natanael y Velesaca Zambrano Edison Javier

REVISADO POR:

FECHA: