UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

FACULTAD DE INGENIERÍA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN ARRANQUE MOTOR CON Y SIN VARIADOR DE FRECUENCIA EN LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL - UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN – PERÚ

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

Autor: Bach. Emerson Jhose Pelaez Vigo

Autor: Egre. Dreicer Fernando Romero Peña

Asesor: Dr. Edwin Carlos Lenin Felix Poicon.

Línea de investigación: Eficiencia Energética.

JAÉN - PERÚ

2026

Emerson Jhose Pelaez Vigo Y Dreicer Fernando Ro...

ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN ARRANQUE MOTOR CON Y SIN VARIADOR DE FRECUENCIA EN LABORAT...

Quick Submit

Quick Submit

Universidad Nacional de Jaen

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::1:3532902113

Fecha de entrega
10 abr 2026, 8:51 a.m. GMT-5

Fecha de descarga
10 abr 2026, 9:15 a.m. GMT-5

Nombre del archivo
cer_Fernando_Romero_Pe_a_Informe_-_EMERSON_JHOSE_PELAEZ_VIGO.pdf

Tamaño del archivo
2.0 MB

73 páginas

11.078 palabras

61.534 caracteres

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
Dr. Alexander Huamán Mera
Responsable de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ingeniería

turnitin Página 1 de 77 - Portada Identificador de la entrega trn:oid:::1:3532902113

Escaneado con CamScanner

Scanned with CamScanner

7% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

3% Fuentes de Internet
0% Publicaciones
6% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
Dr. Alexander Huamán Mera
Responsable de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ingeniería

Escaneado con CamScanner

Scanned with CamScanner

FORMATO 03: ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día jueves 23 de abril del 2026, siendo las 18.00 horas, se reunieron los integrantes del Jurado:

Presidente : Mg. José Andrés Fernández Mera
Secretario : Dr. Juan Antonio Labrin Romero
Vocal : Mg. Marco Luis Pérez Silva

Para evaluar la Sustentación del Informe Final:

( ) Trabajo de Investigación
(X) Tesis
( ) Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado: **"ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN ARRANQUE MOTOR CON Y SIN VARIADOR DE FRECUENCIA EN LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL - UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN - PERÚ".**

Presentado por los tesistas estudiante (es): **Emerson Jhose Pelaez Vigo y Dreicer Fernando Romero Peña,** de la Escuela Profesional de INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

(X) Aprobar ( ) Desaprobar (X) Unanimidad ( ) Mayoría

Con la siguiente mención:

a)	Excelente	18, 19 20	( )
b)	Muy bueno	16, 17	(16)
c)	Bueno	14, 15	( )
d)	Regular	13	( )
e)	Desaprobado	12 ó menos	( )

Siendo las 18:00 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando con la suscripción de la presente.

Mg. José Andrés Fernández Mera
Presidente Jurado Evaluador

Dr. Juan Antonio Labrin Romero
Secretario Jurado Evaluador

Mg. Marco Luis Pérez Silva
Vocal Jurado Evaluador

Scanned with CamScanner

“Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia”

ANEXO N°06:

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO

DE LA TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (PREGRADO)

Yo, **Emerson Jhose Pelaez Vigo**, egresado de la carrera Profesional de **Ingeniería Mecánica y Eléctrica,** de la Facultad de **Ingeniería** de la Universidad Nacional de Jaén, identificado (a) con DNI **73963723.**

Declaro bajo juramento que:

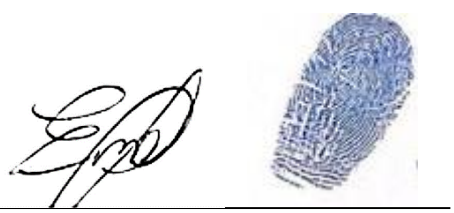
1. Soy Autor del trabajo titulado:

   “Análisis de eficiencia energética en arranque motor con y sin variador de frecuencia en laboratorio de automatización y control - Universidad Nacional De Jaén - Perú".
   Asesorado por **Dr. Edwin Carlos Lenin Felix Poicon.**
   El mismo que presento bajo la modalidad de **bachiller** para optar; el Título Profesional/Grado Académico de **Ingeniero Mecánico Electricista.**

2. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros, incluidos los derechos de propiedad intelectual. En el sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.
3. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.
4. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.
5. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad Nacional de Jaén.
6. Soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Nacional de Jaén y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Jaén, 2026.



Emerson Jhose Pelaez Vigo

73963723

“Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia”

ANEXO N°06:

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO

DE LA TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (PREGRADO)

Yo, **DREICER FERNANDO ROMERO PEÑA**, egresado de la carrera Profesional de **Ingeniería Mecánica y Eléctrica,** de la Facultad de **Ingeniería** de la Universidad Nacional de Jaén, identificado (a) con DNI **75140139.**

Declaro bajo juramento que:

1. Soy Autor del trabajo titulado:

   “Análisis de eficiencia energética en arranque motor con y sin variador de frecuencia en laboratorio de automatización y control - Universidad Nacional De Jaén - Perú".
   Asesorado por **Dr. Edwin Carlos Lenin Felix Poicon.**

2. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros, incluidos los derechos de propiedad intelectual. En el sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.
3. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.
4. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.
5. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad Nacional de Jaén.
6. Soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Nacional de Jaén y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Jaén, 2026.



DREICER FERNANDO ROMERO PEÑA

75140139

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS **3**

ÍNDICE DE FIGURAS **4**

RESUMEN **5**

ABSTRACT **6**

I. INTRODUCCIÓN **7**

II. MATERIALES Y MÉTODOS **13**

2.1.Método analítico 13

2.2.Técnica: Experimental 13

2.3.Procedimiento de recolección de datos 14

III. RESULTADOS **17**

3.1. ..Analizar la eficiencia energética en arranque de un motor de inducción con y sin variador de frecuencia. 17

3.2. ..... Calcular la eficiencia energética en el arranque del motor sin usar variador de frecuencia 18

3.2.1.Potencia de Salida (P_{salida}): 18

3.2.2.Potencia de Entrada ($P_{entrada}$): 18

3.2.3.Eficiencia energética (sin variador de frecuencia) 18

3.3. . Calcular la eficiencia energética en el arranque del motor con el uso del variador de frecuencia 29

3.3.1. Potencia de Salida (P_{salida}): 29

3.3.2.Potencia de Entrada ($P_{entrada}$): 29

3.3.3. Eficiencia energética (con variador de frecuencia) 30

3.4.Comparar los resultados del arranque del motor con y sin variador de frecuencia. 41

IV. DISCUSIÓN **45**

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES **49**

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS **51**

AGRADECIMIENTO **54**

DEDICATORIA **56**

ANEXOS **57**

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 *Materiales* 16

Tabla 2 *Análisis de eficiencia energética con y sin variador de frecuencia durante tres semanas* 17

Tabla 3 *Datos de cálculo obtenidos sin el uso de variador de frecuencia a 360 rpm* 19

Tabla 4 *Datos de cálculo obtenidos sin el uso de variador de frecuencia a 315 rpm* 20

Tabla 5 *Datos de cálculo obtenidos sin el uso de variador de frecuencia a 270 rpm* 22

Tabla 6 *Datos de cálculo obtenidos sin el uso de variador de frecuencia a 225 rpm* 23

Tabla 7 *Datos de cálculo obtenidos sin el uso de variador de frecuencia a 180 rpm* 24

Tabla 8 *Datos de cálculo obtenidos sin el uso de variador de frecuencia a 135 rpm* 26

Tabla 9 *Datos de cálculo obtenidos sin el uso de variador de frecuencia a 90 rpm* 27

Tabla 10 *Datos de cálculo obtenidos sin el uso de variador de frecuencia a 45 rpm* 28

Tabla 11 *Datos de cálculo obtenidos con el uso de variador de frecuencia a 360 rpm* 30

Tabla 12 *Datos de cálculo obtenidos con el uso de variador de frecuencia a 315 rpm* 32

Tabla 13 *Datos de cálculo obtenidos con el uso de variador de frecuencia a 270 rpm* 33

Tabla 14 *Datos de cálculo obtenidos con el uso de variador de frecuencia a 225 rpm* 35

Tabla 15 *Datos de cálculo obtenidos con el uso de variador de frecuencia a 180 rpm* 36

Tabla 16 *Datos de cálculo obtenidos con el uso de variador de frecuencia a 135 rpm* 38

Tabla 17 *Datos de cálculo obtenidos con el uso de variador de frecuencia a 90 rpm* 39

Tabla 18 *Datos de cálculo obtenidos con el uso de variador de frecuencia a 45 rpm* 41

Tabla 19 *Comparación de eficiencia energética sin variador de frecuencia y con variador de frecuencia.* 41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Procedimiento metodológico para la recolección de datos 15

Figura 2 *Comparación de eficiencia energética con y sin variador de frecuencia.* 43

Figura 3 *Procedimiento realizado para obtener los resultados.* 44

Figura 4 *Variador de frecuencia SINAMICS* 57

Figura 5 *Motor Eléctrico Siemens de 1 HP* 58

Figura 6 *Placa de características del motor eléctrico Siemens de 1 HP* 59

Figura 7 *Variador de frecuencia y motor Siemens de 1 HP* 60

Figura 8 *Laboratorio de Automatización y control para obtener la potencia de entrada y salida.* 61

Figura 9 *Laboratorio de Automatización y control para analizar la eficiencia energética.* 62

Figura 10 *Toma de datos con el uso del variador de frecuencia a 270 rpm.* 63

Figura 11 *Toma de datos con el uso del variador de frecuencia a 360 rpm.* 64

Figura 12 *Variación en los rpm, para obtener los diversos datos y variables.* 65

Figura 13 *Funcionamiento del motor de 1 HP y el variador de frecuencia.* 66

Figura 14 *Motor y variador de frecuencia instalados en conjunto.* 67

Figura 15 *Elementos del equipo Dinaut (automatización y control)* 68

Figura 16 *Esquema de curva Par-Velocidad de un motor eléctrico.* 69

Figura 17 *Ubicación del Laboratorio de Automatización y control.* 70

Figura 18 *Variador de frecuencia SINAMICS* 71

Figura 19 *Pinza amperimétrica* 72

Figura 20 *Motor Eléctrico Siemens de 1 HP* 73

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo analizar la eficiencia energética en arranque de un motor de inducción con y sin variador de frecuencia. Se desarrolló en el Laboratorio de Automatización y Control de la Universidad Nacional De Jaén – Perú, en la cual se logró analizar la eficiencia energética de un motor de 1 HP con el uso del variador de frecuencia logrando un 85 % de rendimiento en la eficiencia energética, respecto de un motor sin usar el variador de frecuencia el cual su rendimiento es 38 % menos en el arranque de dicho motor, por ello permite corresponder el uso del variador de frecuencia y analizar su eficiencia energética. Se concluye que es importante el uso del variador de frecuencia, mediante un arranque suave, permite reducir las cargas mecánicas en el sistema y evitar picos de corriente que podrían causar averías en el motor, adquiriendo un menor desgaste del equipo y una disminución en los costos de mantenimiento del motor al hacer uso del variador de frecuencia en comparación con no usar el variador de frecuencia en el uso del motor, siendo notable la mejora de la eficiencia energética lo que demuestra su mejora en el arranque del motor.

Palabras clave: Motor, Variador de frecuencia, Eficiencia energética, Arranque motor.

ABSTRACT

The objective of this research was to analyze the energy efficiency in starting of an induction motor with and without frequency converter. It was developed in the Automation and Control Laboratory of the National University of Jaén - Peru, in which it was possible to analyze the energy efficiency of a 1 HP motor with the use of the frequency converter, achieving 85% performance in energy efficiency, compared to a motor without using the frequency converter whose performance is 38% less at the start of said motor, therefore allowing the use of the frequency converter to correspond and analyze its energy efficiency. It is concluded that the use of the frequency converter is important, through a soft start, it allows reducing the mechanical loads in the system and avoiding current peaks that could cause breakdowns in the motor, acquiring less wear on the equipment and a decrease in motor maintenance costs when using the frequency converter compared to not using the frequency converter in the use of the motor, the improvement in energy efficiency being notable, which demonstrates its improvement in starting the motor.

Keywords: Motor, Frequency converter, Energy efficiency, Motor starting.

I. INTRODUCCIÓN

(Jiménez, 2022) En su investigación de pregrado titulada "Sistemas de variación de velocidad con motores trifásicos de inducción", asevera que las industrias mayoritariamente usan los motores de inducción y convertidores de frecuencia para procesos que implican variación de velocidad. La aplicación adecuada para estos sistemas con variadores de frecuencia es más complicada que el de los sistemas convencionales de arranque de motores, dado que existen otras consideraciones como perturbaciones en la red y en la carga, es necesario actualizar el comportamiento del motor con una señal a frecuencia nominal. Para asegurar la confiabilidad, la durabilidad, la seguridad y el retorno de inversión, es fundamental la instalación adecuada del sistema. Otorgan un beneficio adicional, como un pequeño flujo de arranque; El objetivo de los sistemas de variación de velocidad es maximizar los beneficios posibles y reducir los efectos negativos a un nivel aceptable. La importancia de los desafíos que conlleva su implementación, son destacados por la investigación anterior al centrarse en el arranque de motores de inducción, lo cual se alinea perfectamente con esta tendencia y contribuye a un área de investigación de gran relevancia, por consiguiente el autor destaca la complejidad de los sistemas de variación de velocidad en comparación con los sistemas de arranque tradicionales. Dado que los aspectos mencionados como problemas de red y carga, son factores que servirá para tomar en cuenta, así como la ventaja de la baja corriente de arranque en los sistemas que cuentan con variación de velocidad para mitigar los efectos negativos hasta niveles idóneos.

La investigación plantea un estudio según en el método empírico de causalidad de aplicación, la cual muestra que el inicio de arranque directo de los motores es

perjudicial, para la vida útil del motor, así como el ahorro de energía, en aras de determinar cómo arrancar idóneamente los motores que optimicen costos. Los motores deben ser seleccionados de acuerdo a su aplicación en el proceso productivo, la cual está determinada por el ahorro de energía, torque y también cuidando la conexión de carga, como ventiladores, bombas de agua, comprensores de pistón, tornillos y prensas. Las simulaciones desarrolladas son con arranque tipo directo, estrella triangulo y variador de velocidad, conduce a la mejor selección adecuada de motores eléctricos según su uso en la industria. (Huamán, 2020) Muestra la importancia de optimizar el arranque de motores eléctricos para aumentar la vida útil de los equipos. Si bien su estudio se centra en motores trifásicos, sus hallazgos son relevantes para nuestra investigación, ya que ambos trabajos comparten el objetivo común de identificar el arranque más adecuado para una determinada aplicación. Al analizar su comportamiento de un motor de inducción monofásico con y sin variador de frecuencia, nuestra tesis busca complementar los resultados obtenidos y proporcionar nuevas evidencias sobre las ventajas de los variadores de frecuencia en este tipo de motores. Por ello permitirá validar un arranque suave y analizar las similitudes y diferencias entre los motores monofásicos y trifásicos en términos de características de encendido y respuesta a los diferentes métodos de arranque.

Proporciona una valiosa información respecto a la integración de un equipo variador de velocidad con autómatas programables, es decir, PLCs para el funcionamiento idóneo siendo una alternativa más a los variadores de frecuencia omitiendo inicios bruscos en el inicio de su funcionamiento. (Sánchez, 2019) En su investigación engloba proyectos de desarrollo y enfoque sobre la integración de diferentes dispositivos de velocidad y controladores programables. Esto para completar

la renovación de un equipo de “Schneider Electric” para aprender a controlar motores de inducción mediante un convertidor de frecuencia, que combina el control de velocidad en bucle cerrado y el uso de un controlador ajustable. Por tanto, el objetivo de este proyecto es configurar y probar algunas estrategias de control que permitirá avanzar en nuestro conocimiento de estos dispositivos. La unidad motriz es una entrada que permite al controlador alcanzar diferentes valores de la señal de salida del motor (velocidad, par, aceleración) dentro del rango de operación. Estas entradas pueden manipularse localmente (desde elementos del gabinete) o externamente. La investigación antes mencionada destaca la importancia de este tipo de equipos en entornos educativos e industriales, al presentar una propuesta para la renovación de un equipo didáctico enfocado en el control de motores de inducción. Aunque, este estudio se centra en la configuración y el ensayo de estrategias de control, sus hallazgos respaldan la relevancia de los variadores de frecuencia como herramientas clave para optimizar el rendimiento de los motores eléctricos. En línea con esta tendencia, este estudio pretende ofrecer un análisis durante el arranque de un motor de inducción monofásico, comparando el desempeño con y sin el uso de un variador de frecuencia."

(Turcios, 2020) Asevera que, al utilizar variadores de frecuencia en los motores, se ha encontrado un ahorro que redundará en buenos resultados con un tipo de recuperación en los motores tanto con convertidor como de capacidad única con alta capacidad y variadores de velocidad, además se han identificado las áreas donde se pueden utilizar variadores de velocidad como pruebas importantes para las cintas transportadoras, mirando al futuro para aplicar en otros lugares. Como resultado, los motores y el convertidor de frecuencia obtuvieron los datos para el análisis técnico y económico para determinar la viabilidad del proyecto. La investigación se centra en un tema

consuetudinario de la industria, como es la eficiencia energética en los motores eléctricos, donde se añaden resultados cuantificables: Los resultados presentados son claros y cuantificables, con un análisis económico que demuestra la viabilidad de la implementación de variadores de velocidad. Por otro lado, el Potencial de generalización**:** Si bien el estudio se realizó en un caso específico (Tramade), los resultados pueden ser extrapolados a otras industrias y aplicaciones similares. La mencionada tesis conlleva a tomar en cuenta que con el uso de variadores de frecuencia en motores se puede ahorrar hasta un 40% de facturación de energía eléctrica indicando así una mayor eficiencia energética.

En la presente investigación se complementa el trabajo de Veliz al proporcionar una evidencia empírica sobre los beneficios de los variadores de frecuencia a nivel de motor individual. Al combinar los resultados de ambos estudios, es posible desarrollar estrategias de gestión energética más holísticas que abarquen aspectos como problemas de caídas de tensiones, (Veliz, 2020) En lo concerniente a la instalación de convertidores de frecuencia para aumentar la capacidad de la planta "Proserla-Jayanca" proporciona un marco de referencia importante para comprender el significado de optimizar el consumo energético en procesos industriales, particularmente en aquellos que involucran motores eléctricos. Su hallazgo sobre la variabilidad en el consumo de energía per cápita, a pesar de las fluctuaciones en la producción, aumenta la necesidad de implementar estrategias de gestión más efectivas en torno a la eficiencia energética. Al comparar el rendimiento energético de los motores con y sin variador de frecuencia, con miras a contribuir al conocimiento existente sobre cómo mejorar la etapa inicial de operación de un motor, un momento crítico en términos de consumo energético, ya que los resultados obtenidos pueden tener implicaciones más amplias para la optimización

energética. En conformidad con la implementación de un convertidor de frecuencia como una herramienta eficaz para reducir el consumo de energía y aumentar la eficiencia energética.

En este estudio se investigó la eficiencia de diferentes métodos de control para motores de 5 HP en el laboratorio de Maquinas Eléctricas de la Universidad del Ejercito (ESPE). Con los tipos de iniciadores disponibles, incluido el arranque automático Y-YY, la estrella extendida, la estrella doble y el inicio con variador de frecuencia. Además, diseñaron circuitos y controladores para cada uno de los métodos identificados y se verifico su desempeño mediante simulación en Matlab-Simulink. Posteriormente, se midieron los contactores y mediadores para compilar una sección de prueba que permitió comparar los métodos de arranque en condiciones reales. (Lascano & Llumiquinga, 2022). Al respecto actualiza los antiguos métodos de arranque con tecnologías más modernas, como los variadores de frecuencia, sino que también pueden reducir los costos operativos, es decir, como las nuevas tecnologías pueden mejorar los métodos tradicionales y proporcionar mejoras concretas. Los hallazgos de este estudio indican que el mayor ahorro energético se logra con el variador de frecuencia usando una conexión YY, respecto de las demás conexiones; complementando la respuesta de los métodos de control mediante su simulación en el software especializado Matlab-Simulink siendo ello una alternativa considerable para la realización del presente proyecto.

(Calcina, 2016) Se enfoca en la optimización del motor de inducción de jaula de ardilla mediante un variador de frecuencia teniendo como objetivo principal el análisis de la implementación de un convertidor de frecuencia. Para ello alude al

principio de funcionamiento del motor de inducción, sus componentes y modelos matemáticos relacionados, así como las características del convertidor de frecuencia, incluyendo su estructura eléctrica y las ventajas y desventajas de su uso. Las mediciones de ahorro de energía se realizaron utilizando un medidor trifásico y el consumo de energía se comparó entre el arranque y el funcionamiento utilizando un convertidor de frecuencia en frecuencias de 60 Hz, 50 Hz y 40 Hz. Dicha investigación resalta su importancia en la adopción del variador de frecuencias para buscar ventajas significativas en términos de ahorro. A medida que mejora, estos resultados muestran como la tecnología puede ayudar a resolver los desafíos económicos y ambientales. Es por ello que mostraron un ahorro promedio de 0.0143 KW/h al usar el variador de frecuencia.

El **OBJETIVO GENERAL** de la investigación:

Analizar la eficiencia energética en arranque de un motor de inducción con y sin variador de frecuencia.

Para lo cual se estableció los siguientes **Objetivos Específicos:**

- Calcular la eficiencia energética en el arranque del motor sin usar variador de frecuencia.
- Calcular la eficiencia energética en el arranque del motor con el uso del variador de frecuencia.
- Comparar los resultados del arranque del motor con y sin variador de frecuencia.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Método analítico

Se usó en el método analítico para poder obtener los resultados de la presente investigación y así calcular y analizar de manera comparativa como influye el uso del variador de frecuencia en dicho motor, es decir, determinar analíticamente la eficiencia energética. (Martínez, 2023) en su investigación de metodología para evaluar las estrategias de la eficiencia energética relacionadas al uso final de la energía eléctrica usa dicho método analítico durante su investigación.

2.2. Técnica: Experimental

Como parte de la investigación, para poder obtener la eficiencia energética usando un método analítico, la técnica más idónea es la de la experimentación, a través de la cual experimentalmente en el laboratorio se registró las variables que nos permitieron obtener la eficiencia energética. (Leyton, 2022) en su investigación propone una metodología experimental para mejorar la eficiencia energética a través de diversos ensayos y situaciones.

2.3. Procedimiento de recolección de datos

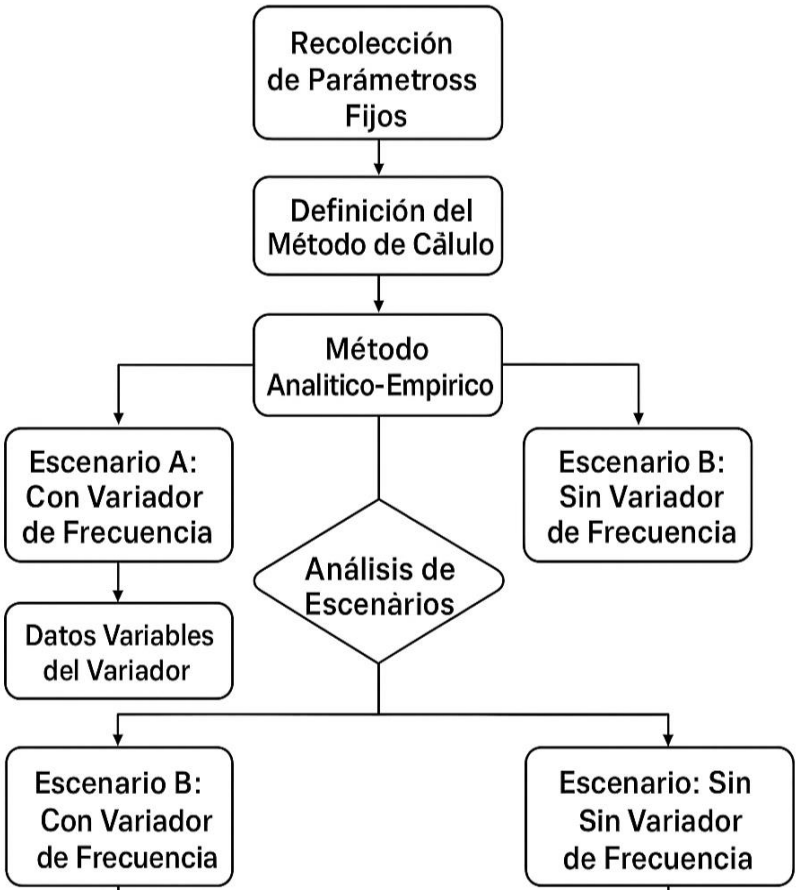
Para analizar la eficiencia energética en arranque de un motor de inducción con y sin variador de frecuencia, ya que el uso del variador de frecuencia permite aumentar la eficiencia de los motores de inducción, ante ello esto permitió determinar la eficiencia energética, rendimiento, las ventajas y desventajas de la influencia o no en el uso de dicho variador, esto a través del análisis estadístico de datos y la respectiva comparación. (Quispe & Tonato, 2021) en su investigación realiza la recolección de datos y el análisis de datos de manera exhaustiva y detallada de manera análoga (Quesada, 2015) en su investigación de eficiencia energética.

Se realizó la toma de las muestras en el motor de 1 HP y el variador de frecuencia, tomando en cuenta la velocidad, la tensión, entre otras variables; En la cual se realizó las respectivas pruebas y mediciones, registrando la toma de datos. La investigación se llevó en la ciudad de Jaén, provincia de Jaén, región Cajamarca, el área de estudio comprende específicamente las instalaciones del laboratorio de Automatización y Control de la Universidad Nacional de Jaén – Perú.

La figura 1 ilustra el proceso metodológico usado, en el proceso de la recolección de datos, en base al método analítico desarrollado de manera experimental.

Figura 1

Procedimiento metodológico para la recolección de datos



Fuente: *Elaboración propia*

La tabla 1 muestra los materiales usados durante el proceso de recolección de datos, para obtener la eficiencia energética en el motor.

Tabla 1

Materiales

Nombre	Representación	Características
Pinza Amperimétrica		Mide corriente alterna (CA) hasta 400 A. Mide tensión CA y CC hasta 600 V. Mide resistencia y continuidad. Tiene una clasificación de seguridad CAT IV 300 V/CAT III 600 V.
Variador de frecuencia SINAMICS		Tensión de alimentación: Trifásica 220-240 VAC -20% +10% – Trifásica 380-480 VAC -15% +10% Rango de Potencia: 1-75 HP / 0.55 – 55 KW – 1-700 HP / 0.75 – 560 KW Tipo de aplicación: Cuadrática y constantes Temperatura de operación: 0 °C a 40 °C Entradas / salidas de señal: 6 DI. 2DO, 2AI y 1 AO
Motor Eléctrico Siemens.		Potencia: 1 HP Voltaje: 220/380DD/Y V Frecuencia: 50 Hz Peso neto: 18.5 kg.

Fuente: *Elaboración propia*

III. RESULTADOS

3.1. Analizar la eficiencia energética en arranque de un motor de inducción con y sin variador de frecuencia.

Para analizar la eficiencia energética en arranque de un motor de inducción con y sin variador de frecuencia, se basó en el Método Analítico-Empírico y la recolección de datos, donde se usaron sus datos fijos de un motor de 1 HP y obtenemos los siguientes resultados durante tres semanas, obteniendo los siguientes resultados de eficiencia energética.

Tabla 2

Análisis de eficiencia energética con y sin variador de frecuencia durante tres semanas

N (rpm)	Sin variador de frecuencia			Con variador de frecuencia		
	η (%)			η (%)		
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 1	Semana 2	Semana 3
45	0.34%	0.36%	0.35%	23.49%	23.50%	23.51%
90	0.72%	0.73%	0.75%	38.10%	38.00%	38.30%
135	1.11%	1.09%	1.12%	50.10%	50.00%	50.15%
180	1.49%	1.47%	1.50%	57.50%	57.55%	57.60%
225	1.85%	1.83%	1.82%	69.10%	69.15%	69.20%
270	2.19%	2.20%	2.22%	77.20%	77.18%	77.22%
315	2.55%	2.56%	2.54%	84.30%	84.25%	84.32%
360	2.93%	2.92%	2.90%	87.44%	87.40%	87.38%

La eficiencia energética calculada durante la semana 1, semana 2, semana 3; Tomando en cuenta las velocidades de 45 rpm, 90 rpm, 135 rpm, 180 rpm, 225 rpm, 270 rpm, 315 rpm y 360 rpm respectivamente.

3.2. Calcular la eficiencia energética en el arranque del motor sin usar variador de frecuencia.

Para establecer el cálculo se basó en el Método Analítico-Empírico, donde se usaron sus datos fijos de un motor de 1 HP y obtenemos los siguientes cálculos, considerando diversas velocidades en rpm, a continuación, mostraremos por ejemplo para 360 rpm, el mismo procedimiento para las demás velocidades y de igual manera los mismos cálculos, teniendo en cuenta la potencia de salida y potencia de entrada en el motor sin variador de frecuencia.

3.2.1. Potencia de Salida (P_{salida}):

En la potencia de salida, empleamos la fórmula planteada por James Watt, reconocido como el autor en la definición de la potencia de salida de un motor y estandarizar la medición de la potencia.

$\mathbf{P_{salida}=}$ (Par x Velocidad angular)

$\mathbf{P_{salida}=}$ 0.000426 x 360 rpm = 0.153 kW

3.2.2. Potencia de Entrada ($P_{entrada}$):

En la potencia de entrada, empleamos los principios del electromagnetismo formulados por Faraday. La fórmula fundamental, basada en leyes físicas, la potencia eléctrica que un motor trifásico consume de la línea se expresa como:

$\mathbf{P_{entrada}}$ = ($\sqrt{3}$ x Factor de potencia x Voltaje x Intensidad).

$\mathbf{P_{entrada}}$ = 0.001455 x 220 v x 16.4 A = 5.24 kW

3.2.3. Eficiencia energética (sin variador de frecuencia)

En la eficiencia energética, el físico Dr. Arthur Rosenfeld es reconocido como el gran impulsor moderno y pionero en lo que respecta a la eficiencia energética. Planteando la siguiente fórmula:

$$\boldsymbol{n} = \frac{\text{Pmecánica}}{\text{Pconsumida}}\ x\ 100\ \%$$

$$\boldsymbol{n}\ \textbf{(sin variador de frecuencia)} = \frac{\text{Pmecánica}}{\text{Pconsumida}}\ x\ 100\%$$

$$\boldsymbol{n}\ \textbf{(sin variador de frecuencia)} = \frac{0.153\ \text{kW}}{5.24\ \text{kW}}\ x\ 100\%$$

$$\boldsymbol{n}\ \textbf{(sin variador de frecuencia)} = 2.92\ \%$$

La eficiencia energética sin el variador de frecuencia a 360 rpm es del 2.92 % lo cual indica que es mínimo el valor porcentual de eficiencia energética a dicha velocidad.

Tabla 3

Datos de cálculo obtenidos sin el uso de variador de frecuencia a 360 rpm

% Trabajo	N (rpm)	V (V)	I (A)	Psalida (kW)	Pentrada (kW)	Eficiencia (η)
20%	360	220	16.4	0.153	5.24	2.92%

Fuente: *Elaboración propia*

- Calculamos la eficiencia energética sin variador de frecuencia para 315 rpm

En la potencia de salida, empleamos la fórmula planteada por James Watt, reconocido como el autor en la definición de la potencia de salida de un motor y estandarizar la medición de la potencia.

$\mathbf{P_{salida}}$**=** (Par x Velocidad angular)

$\mathbf{P_{salida}}$**=** 0.000426 x 315 rpm = 0.134 kW

En la potencia de entrada, empleamos los principios del electromagnetismo formulados por Faraday. La fórmula fundamental, basada en leyes físicas, la potencia eléctrica que un motor trifásico consume de la línea se expresa como:

$\mathbf{P_{entrada}}$ = ($\sqrt{3}$ x Factor de potencia x Voltaje x Intensidad).

$\mathbf{P_{entrada}}$= 0.001455 x 220 v x 16.4 A = 5.24 kW

En la eficiencia energética, el físico Dr. Arthur Rosenfeld es reconocido como el gran impulsor moderno y pionero en lo que respecta a la eficiencia energética. Planteando la siguiente fórmula:

$$\boldsymbol{n} = \frac{\text{Pmecánica}}{\text{Pconsumida}}\ x\ 100\ \%$$

$$\boldsymbol{n}\ \textbf{(sin variador de frecuencia)} = \frac{\text{Pmecánica}}{\text{Pconsumida}}\ x\ 100\%$$

$$\boldsymbol{n}\ \textbf{(sin variador de frecuencia)} = \frac{0.134\ \text{kW}}{5.24\ \text{kW}}\ x\ 100\%$$

***n* (sin variador de frecuencia)** = 2.56 %

La eficiencia energética sin el variador de frecuencia a 315 rpm es del 2.56 % lo cual indica que es mínimo el valor porcentual de eficiencia energética a dicha velocidad.

Tabla 4

Datos de cálculo obtenidos sin el uso de variador de frecuencia a 315 rpm

% Trabajo	N (rpm)	V (V)	I (A)	Psalida (kW)	Pentrada (kW)	Eficiencia (η)
17.50%	315	220	16.4	0.134	5.24	2.56%

Fuente: *Elaboración propia*

- Calculamos la eficiencia energética sin variador de frecuencia para 270 rpm

En la potencia de salida, empleamos la fórmula planteada por James Watt, reconocido como el autor en la definición de la potencia de salida de un motor y estandarizar la medición de la potencia.

P_{salida}= (Par x Velocidad angular)

P_{salida}= 0.000426 x 270 rpm = 0.115 kW

En la potencia de entrada, empleamos los principios del electromagnetismo formulados por Faraday. La fórmula fundamental, basada en leyes físicas, la potencia eléctrica que un motor trifásico consume de la línea se expresa como:

$P_{entrada}$ = ($\sqrt{3}$ x Factor de potencia x Voltaje x Intensidad).

$P_{entrada}$= 0.001455 x 220 v x 16.4 A = 5.24 kW

En la eficiencia energética, el físico Dr. Arthur Rosenfeld es reconocido como el gran impulsor moderno y pionero en lo que respecta a la eficiencia energética. Planteando la siguiente fórmula:

$$\boldsymbol{n} = \frac{\text{Pmecánica}}{\text{Pconsumida}}\ x\ 100\ \%$$

$$\boldsymbol{n}\ \textbf{(sin variador de frecuencia)} = \frac{\text{Pmecánica}}{\text{Pconsumida}}\ x\ 100\%$$

$$\boldsymbol{n}\ \textbf{(sin variador de frecuencia)} = \frac{0.115\ \text{kW}}{5.24\ \text{kW}}\ x\ 100\%$$

***n* (sin variador de frecuencia)** = 2.20 %

La eficiencia energética sin el variador de frecuencia a 270 rpm es del 2.20 % lo cual indica que es mínimo el valor porcentual de eficiencia energética a dicha velocidad.

Tabla 5

Datos de cálculo obtenidos sin el uso de variador de frecuencia a 270 rpm

% Trabajo	N (rpm)	V (V)	I (A)	Psalida (kW)	Pentrada (kW)	Eficiencia (η)
15.00%	270	220	16.4	0.115	5.24	2.20%

Fuente: *Elaboración propia*

- Calculamos la eficiencia energética sin variador de frecuencia para 225 rpm

En la potencia de salida, empleamos la fórmula planteada por James Watt, reconocido como el autor en la definición de la potencia de salida de un motor y estandarizar la medición de la potencia.

$\mathbf{P_{salida}=}$ (Par x Velocidad angular)

$\mathbf{P_{salida}=}$ 0.000426 x 225 rpm = 0.096 kW

En la potencia de entrada, empleamos los principios del electromagnetismo formulados por Faraday. La fórmula fundamental, basada en leyes físicas, la potencia eléctrica que un motor trifásico consume de la línea se expresa como:

$\mathbf{P_{entrada}}$ = (√3 x Factor de potencia x Voltaje x Intensidad).

$\mathbf{P_{entrada}}$= 0.001455 x 220 v x 16.4 A = 5.24 kW

En la eficiencia energética, el físico Dr. Arthur Rosenfeld es reconocido como el gran impulsor moderno y pionero en lo que respecta a la eficiencia energética. Planteando la siguiente fórmula:

$$\boldsymbol{n} = \frac{\text{Pmecánica}}{\text{Pconsumida}}\ x\ 100\ \%$$

$$\textbf{\textit{n}} \textbf{ (sin variador de frecuencia)} = \frac{\text{Pmecánica}}{\text{Pconsumida}}\ x\ 100\%$$

$$\textbf{\textit{n}} \textbf{ (sin variador de frecuencia)} = \frac{0.096\ \text{kW}}{5.24\ \text{kW}}\ x\ 100\%$$

***n* (sin variador de frecuencia)** = 1.83 %

La eficiencia energética sin el variador de frecuencia a 225 rpm es del 1.83 % lo cual indica que es mínimo el valor porcentual de eficiencia energética a dicha velocidad.

Tabla 6

Datos de cálculo obtenidos sin el uso de variador de frecuencia a 225 rpm

% Trabajo	N (rpm)	V (V)	I (A)	Psalida (kW)	Pentrada (kW)	Eficiencia (η)
12.50%	225	220	16.4	0.096	5.24	1.83%

Fuente: *Elaboración propia*

- Calculamos la eficiencia energética sin variador de frecuencia para 180 rpm

  En la potencia de salida, empleamos la fórmula planteada por James Watt, reconocido como el autor en la definición de la potencia de salida de un motor y estandarizar la medición de la potencia.

  P_{salida}= (Par x Velocidad angular)

  P_{salida}= 0.000426 x 180 rpm = 0.077 Kw

En la potencia de entrada, empleamos los principios del electromagnetismo formulados por Faraday. La fórmula fundamental, basada en leyes físicas, la potencia eléctrica que un motor trifásico consume de la línea se expresa como:

$\mathbf{P_{entrada}}$ = ($\sqrt{3}$ x Factor de potencia x Voltaje x Intensidad).

$\mathbf{P_{entrada}}$= 0.001455 x 220 v x 16.4 A = 5.24 kW

En la eficiencia energética, el físico Dr. Arthur Rosenfeld es reconocido como el gran impulsor moderno y pionero en lo que respecta a la eficiencia energética. Planteando la siguiente fórmula:

$$\boldsymbol{n} = \frac{\text{Pmecánica}}{\text{Pconsumida}}\ x\ 100\ \%$$

$$\boldsymbol{n}\ \textbf{(sin variador de frecuencia)} = \frac{\text{Pmecánica}}{\text{Pconsumida}}\ x\ 100\%$$

$$\boldsymbol{n}\ \textbf{(sin variador de frecuencia)} = \frac{0.077\ \text{kW}}{5.24\ \text{kW}}\ x\ 100\%$$

***n* (sin variador de frecuencia)** = 1.47 %

La eficiencia energética sin el variador de frecuencia a 180 rpm es del 1.47 % lo cual indica que es mínimo el valor porcentual de eficiencia energética a dicha velocidad.

Tabla 7

Datos de cálculo obtenidos sin el uso de variador de frecuencia a 180 rpm

% Trabajo	N (rpm)	V (V)	I (A)	Psalida (kW)	Pentrada (kW)	Eficiencia (η)
10%	180	220	16.4	0.077	5.24	1.47%

Fuente: *Elaboración propia*

- Calculamos la eficiencia energética sin variador de frecuencia para 135 rpm

En la potencia de salida, empleamos la fórmula planteada por James Watt, reconocido como el autor en la definición de la potencia de salida de un motor y estandarizar la medición de la potencia.

P_{salida}= (Par x Velocidad angular)

P_{salida}= 0.000426 x 135 rpm = 0.057 kW

En la potencia de entrada, empleamos los principios del electromagnetismo formulados por Faraday. La fórmula fundamental, basada en leyes físicas, la potencia eléctrica que un motor trifásico consume de la línea se expresa como:

$P_{entrada}$ = ($\sqrt{3}$ x Factor de potencia x Voltaje x Intensidad).

$P_{entrada}$= 0.001455 x 220 v x 16.4 A = 5.24 kW

En la eficiencia energética, el físico Dr. Arthur Rosenfeld es reconocido como el gran impulsor moderno y pionero en lo que respecta a la eficiencia energética. Planteando la siguiente fórmula:

$$\boldsymbol{n} = \frac{\text{Pmecánica}}{\text{Pconsumida}}\ x\ 100\ \%$$

$$\boldsymbol{n}\ \textbf{(sin variador de frecuencia)} = \frac{\text{Pmecánica}}{\text{Pconsumida}}\ x\ 100\%$$

$$\boldsymbol{n}\ \textbf{(sin variador de frecuencia)} = \frac{0.057\ \text{kW}}{5.24\ \text{kW}}\ x\ 100\%$$

***n* (sin variador de frecuencia)** = 1.09 %

La eficiencia energética sin el variador de frecuencia a 135 rpm es del 1.09 % lo cual indica que es mínimo el valor porcentual de eficiencia energética a dicha velocidad.

Tabla 8

Datos de cálculo obtenidos sin el uso de variador de frecuencia a 135 rpm

% Trabajo	N (rpm)	V (V)	I (A)	Psalida (kW)	Pentrada (kW)	Eficiencia (η)
7.50%	135	220	16.4	0.057	5.24	1.09%

Fuente: *Elaboración propia*

- Calculamos la eficiencia energética sin variador de frecuencia para 90 rpm

En la potencia de salida, empleamos la fórmula planteada por James Watt, reconocido como el autor en la definición de la potencia de salida de un motor y estandarizar la medición de la potencia.

$\mathbf{P_{salida}=}$ (Par x Velocidad angular)

$\mathbf{P_{salida}=}$ 0.000426 x 90 rpm = 0.038 kW

En la potencia de entrada, empleamos los principios del electromagnetismo formulados por Faraday. La fórmula fundamental, basada en leyes físicas, la potencia eléctrica que un motor trifásico consume de la línea se expresa como:

$\mathbf{P_{entrada}}$ = ($\sqrt{3}$ x Factor de potencia x Voltaje x Intensidad)

$\mathbf{P_{entrada}}$= 0.001455 x 220 v x 16.4 A = 5.24 kW

En la eficiencia energética, el físico Dr. Arthur Rosenfeld es reconocido como el gran impulsor moderno y pionero en lo que respecta a la eficiencia energética. Planteando la siguiente fórmula:

$$\boldsymbol{n} = \frac{\text{Pmecánica}}{\text{Pconsumida}}\ x\ 100\ \%$$

$$\boldsymbol{n}\ \textbf{(sin variador de frecuencia)} = \frac{\text{Pmecánica}}{\text{Pconsumida}}\ x\ 100\%$$

$$\boldsymbol{n}\ \textbf{(sin variador de frecuencia)} = \frac{0.038\ \text{kW}}{5.24\ \text{kW}}\ x\ 100\%$$

$$\boldsymbol{n}\ \textbf{(sin variador de frecuencia)} = 0.73\ \%$$

La eficiencia energética sin el variador de frecuencia a 90 rpm es del 0.73 % lo cual indica que es mínimo el valor porcentual de eficiencia energética a dicha velocidad.

Tabla 9

Datos de cálculo obtenidos sin el uso de variador de frecuencia a 90 rpm

% Trabajo	N (rpm)	V (V)	I (A)	Psalida (kW)	Pentrada (kW)	Eficiencia (η)
5%	90	220	16.4	0.038	5.24	0.73%

Fuente: *Elaboración propia*

- Calculamos la eficiencia energética sin variador de frecuencia para 45 rpm

  En la potencia de salida, empleamos la fórmula planteada por James Watt, reconocido como el autor en la definición de la potencia de salida de un motor y estandarizar la medición de la potencia.

  P_{salida}= (Par x Velocidad angular)

$\mathbf{P_{salida}}$= 0.000426 x 45 rpm = 0.019 kW

En la potencia de entrada, empleamos los principios del electromagnetismo formulados por Faraday. La fórmula fundamental, basada en leyes físicas, la potencia eléctrica que un motor trifásico consume de la línea se expresa como:

$\mathbf{P_{entrada}}$ = ($\sqrt{3}$ x Factor de potencia x Voltaje x Intensidad)

$\mathbf{P_{entrada}}$= 0.001455 x 220 v x 16.4 A = 5.24 kW

En la eficiencia energética, el físico Dr. Arthur Rosenfeld es reconocido como el gran impulsor moderno y pionero en lo que respecta a la eficiencia energética. Planteando la siguiente fórmula:

$$\boldsymbol{n} = \frac{\text{Pmecánica}}{\text{Pconsumida}}\ x\ 100\ \%$$

$$\boldsymbol{n}\ \textbf{(sin variador de frecuencia)} = \frac{\text{Pmecánica}}{\text{Pconsumida}}\ x\ 100\%$$

$$\boldsymbol{n}\ \textbf{(sin variador de frecuencia)} = \frac{0.019\ \text{kW}}{5.24\ \text{kW}}\ x\ 100\%$$

***n* (sin variador de frecuencia)** = 0.36 %

La eficiencia energética sin el variador de frecuencia a 45 rpm es del 0.36 % lo cual indica que es mínimo el valor porcentual de eficiencia energética a dicha velocidad.

Tabla 10

Datos de cálculo obtenidos sin el uso de variador de frecuencia a 45 rpm

% Trabajo	N (rpm)	V (V)	I (A)	Psalida (kW)	Pentrada (kW)	Eficiencia (η)

2.5%	45	220	16.4	0.019	5.24	0.36%

Fuente: *Elaboración propia*

3.3.Calcular la eficiencia energética en el arranque del motor con el uso del variador de frecuencia.

En el caso del motor con variador de frecuencia, se usó el método Analítico-Empírico, donde se usó un motor de 1 HP y obtenemos los siguientes cálculos, considerando diversas velocidades en rpm, a continuación, mostraremos por ejemplo para 360 rpm, el mismo procedimiento para las demás velocidades y de igual manera los mismos cálculos, teniendo en cuenta la potencia de salida y potencia de entrada, pero acá dichos datos están usando el variador de frecuencia en el motor.

3.3.1. Potencia de Salida (P_{salida}):

En la potencia de salida, empleamos la fórmula planteada por James Watt, reconocido como el autor en la definición de la potencia de salida de un motor y estandarizar la medición de la potencia.

P_{salida}= (Par x Velocidad angular)

P_{salida}= 0.000426 x 360 rpm = 0.153 kW

3.3.2. Potencia de Entrada ($P_{entrada}$):

En la potencia de entrada, empleamos los principios del electromagnetismo formulados por Faraday. La fórmula fundamental, basada en leyes físicas, la potencia eléctrica que un motor trifásico consume de la línea se expresa como:

$\mathbf{P_{entrada}}$ = (√3 x Factor de potencia x Voltaje x Intensidad)

$\mathbf{P_{entrada}}$ = 0.001455 x 50 v x 2.4 A = 0.175 kW

3.3.3. Eficiencia energética (con variador de frecuencia)

En la eficiencia energética, el físico Dr. Arthur Rosenfeld es reconocido como el gran impulsor moderno y pionero en lo que respecta a la eficiencia energética. Planteando la siguiente fórmula:

$$\boldsymbol{n} = \frac{\text{Pmecánica}}{\text{Pconsumida}}\ x\ 100\ \%$$

$$\boldsymbol{n}\ \textbf{(con variador de frecuencia)} = \frac{\text{Pmecánica}}{\text{Pconsumida}}\ x\ 100\%$$

$$\boldsymbol{n}\ \textbf{(con variador de frecuencia)} = \frac{0.153\ \text{kW}}{0.175\ \text{kW}}\ x\ 100\%$$

***n* (con variador de frecuencia)** = 87.4 %

La eficiencia energética con el uso del variador de frecuencia a 360 rpm es 87.4 % lo cual indica que es elevado y considerable el valor porcentual de eficiencia energética a dicha velocidad.

Tabla 11

Datos de cálculo obtenidos con el uso de variador de frecuencia a 360 rpm

% Trabajo	N (rpm)	V (V)	I (A)	Psalida (kW)	Pentrada (kW)	Eficiencia (η)
20%	360	50	2.4	0.153	0.175	87.40%

Fuente: *Elaboración propia*

- Calculamos la eficiencia energética con variador de frecuencia para 315 rpm

En la potencia de salida, empleamos la fórmula planteada por James Watt, reconocido como el autor en la definición de la potencia de salida de un motor y estandarizar la medición de la potencia.

P_{salida}= (Par x Velocidad angular)

P_{salida}= 0.000426 x 315 rpm = 0.134 kW

En la potencia de entrada, empleamos los principios del electromagnetismo formulados por Faraday. La fórmula fundamental, basada en leyes físicas, la potencia eléctrica que un motor trifásico consume de la línea se expresa como:

$P_{entrada}$ = ($\sqrt{3}$ x Factor de potencia x Voltaje x Intensidad)

$P_{entrada}$= 0.001455 x 45 x 2.45 = 0.159 kW

En la eficiencia energética, el físico Dr. Arthur Rosenfeld es reconocido como el gran impulsor moderno y pionero en lo que respecta a la eficiencia energética. Planteando la siguiente fórmula:

$$\boldsymbol{n} = \frac{\text{Pmecánica}}{\text{Pconsumida}}\ x\ 100\ \%$$

$$\boldsymbol{n}\ \textbf{(con variador de frecuencia)} = \frac{\text{Pmecánica}}{\text{Pconsumida}}\ x\ 100\%$$

$$\boldsymbol{n}\ \textbf{(con variador de frecuencia)} = \frac{0.134\ \text{kW}}{0.159\ \text{kW}}\ x\ 100\%$$

***n* (con variador de frecuencia)** = 84.30 %

La eficiencia energética con el uso del variador de frecuencia a 315 rpm es 84.30 % lo cual indica que es elevado y considerable el valor porcentual de eficiencia energética a dicha velocidad.

Tabla 12

Datos de cálculo obtenidos con el uso de variador de frecuencia a 315 rpm

% Trabajo	N (rpm)	V (V)	I (A)	Psalida (kW)	Pentrada (kW)	Eficiencia (η)
17.5%	315	45	2.45	0.134	0.159	84.30%

Fuente: *Elaboración propia*

- Calculamos la eficiencia energética con variador de frecuencia para 270 rpm

  En la potencia de salida, empleamos la fórmula planteada por James Watt, reconocido como el autor en la definición de la potencia de salida de un motor y estandarizar la medición de la potencia.

  $\mathbf{P_{salida}=}$ (Par x Velocidad angular)

  $\mathbf{P_{salida}=}$ 0.000426 x 270 rpm = 0.115 kW

  En la potencia de entrada, empleamos los principios del electromagnetismo formulados por Faraday. La fórmula fundamental, basada en leyes físicas, la potencia eléctrica que un motor trifásico consume de la línea se expresa como:

  $\mathbf{P_{entrada}}$ = ($\sqrt{3}$ x Factor de potencia x Voltaje x Intensidad)

  $\mathbf{P_{entrada}}$= 0.001455 x 41 x 2.5 = 0.149 kW

En la eficiencia energética, el físico Dr. Arthur Rosenfeld es reconocido como el gran impulsor moderno y pionero en lo que respecta a la eficiencia energética. Planteando la siguiente fórmula:

$$\boldsymbol{n} = \frac{\text{Pmecánica}}{\text{Pconsumida}}\ x\ 100\ \%$$

$$\textbf{n (con variador de frecuencia)} = \frac{\text{Pmecánica}}{\text{Pconsumida}}\ x\ 100\%$$

$$\textbf{n (con variador de frecuencia)} = \frac{0.115\ \text{kW}}{0.149\ \text{kW}}\ x\ 100\%$$

$$\textbf{n (con variador de frecuencia)} = 77.20\ \%$$

La eficiencia energética con el uso del variador de frecuencia a 270 rpm es 77.20 % lo cual indica que es elevado y considerable el valor porcentual de eficiencia energética a dicha velocidad.

Tabla 13

Datos de cálculo obtenidos con el uso de variador de frecuencia a 270 rpm

% Trabajo	N (rpm)	V (V)	I (A)	Psalida (kW)	Pentrada (kW)	Eficiencia (η)
15%	270	41	2.5	0.115	0.149	77.20%

Fuente: *Elaboración propia*

- Calculamos la eficiencia energética con variador de frecuencia para 225 rpm

En la potencia de salida, empleamos la fórmula planteada por James Watt, reconocido como el autor en la definición de la potencia de salida de un motor y estandarizar la medición de la potencia.

P_{salida}= (Par x Velocidad angular)

P_{salida}= 0.000426 x 225 rpm = 0.096 kW

En la potencia de entrada, empleamos los principios del electromagnetismo formulados por Faraday. La fórmula fundamental, basada en leyes físicas, la potencia eléctrica que un motor trifásico consume de la línea se expresa como:

$P_{entrada}$ = ($\sqrt{3}$ x Factor de potencia x Voltaje x Intensidad)

$P_{entrada}$= 0.001455 x 37 x 2.6 = 0.139 kW

En la eficiencia energética, el físico Dr. Arthur Rosenfeld es reconocido como el gran impulsor moderno y pionero en lo que respecta a la eficiencia energética. Planteando la siguiente fórmula:

$$\boldsymbol{n} = \frac{\text{Pmecánica}}{\text{Pconsumida}}\ x\ 100\ \%$$

$$\boldsymbol{n}\ \textbf{(con variador de frecuencia)} = \frac{\text{Pmecánica}}{\text{Pconsumida}}\ x\ 100\%$$

$$\boldsymbol{n}\ \textbf{(con variador de frecuencia)}\ = \frac{0.096\text{kW}}{0.139}\ x\ 100\%$$

***n* (con variador de frecuencia)** = 69.10 %

La eficiencia energética con el uso del variador de frecuencia a 225 rpm es 69.10 % lo cual indica que es elevado y considerable el valor porcentual de eficiencia energética a dicha velocidad.

Tabla 14

Datos de cálculo obtenidos con el uso de variador de frecuencia a 225 rpm

% Trabajo	N (rpm)	V (V)	I (A)	Psalida (kW)	Pentrada (kW)	Eficiencia (η)
12.5%	225	37	2.6	0.096	0.139	69.10%

Fuente: *Elaboración propia*

- Calculamos la eficiencia energética con variador de frecuencia para 180 rpm

  En la potencia de salida, empleamos la fórmula planteada por James Watt, reconocido como el autor en la definición de la potencia de salida de un motor y estandarizar la medición de la potencia.

  $\mathbf{P_{salida}=}$ (Par x Velocidad angular)

  $\mathbf{P_{salida}=}$ 0.000426 x 180 rpm = 0.077kW

  En la potencia de entrada, empleamos los principios del electromagnetismo formulados por Faraday. La fórmula fundamental, basada en leyes físicas, la potencia eléctrica que un motor trifásico consume de la línea se expresa como:

  $\mathbf{P_{entrada}}$ = ($\sqrt{3}$ x Factor de potencia x Voltaje x Intensidad)

$\mathbf{P_{entrada}}$= 0.001455 x 33 x 2.8 = 0.134 kW

En la eficiencia energética, el físico Dr. Arthur Rosenfeld es reconocido como el gran impulsor moderno y pionero en lo que respecta a la eficiencia energética. Planteando la siguiente fórmula:

$$\boldsymbol{n} = \frac{\text{Pmecánica}}{\text{Pconsumida}}\ x\ 100\ \%$$

$$\boldsymbol{n}\ \textbf{(con variador de frecuencia)} = \frac{\text{Pmecánica}}{\text{Pconsumida}}\ x\ 100\%$$

$$\boldsymbol{n}\ \textbf{(con variador de frecuencia)} = \frac{0.077\ \text{kW}}{0.134\ \text{kW}}\ x\ 100\%$$

$\boldsymbol{n}$ **(con variador de frecuencia)** = 57.5 %

La eficiencia energética con el uso del variador de frecuencia a 180 rpm es 57.5 % lo cual indica que es elevado y considerable el valor porcentual de eficiencia energética a dicha velocidad.

Tabla 15

Datos de cálculo obtenidos con el uso de variador de frecuencia a 180 rpm

% Trabajo	N (rpm)	V (V)	I (A)	Psalida (kW)	Pentrada (kW)	Eficiencia (η)
10%	180	33	2.8	0.077	0.134	57.5%

Fuente: *Elaboración propia*

- Calculamos la eficiencia energética con variador de frecuencia para 135 rpm

En la potencia de salida, empleamos la fórmula planteada por James Watt, reconocido como el autor en la definición de la potencia de salida de un motor y estandarizar la medición de la potencia.

P_{salida}= (Par x Velocidad angular)

P_{salida}= 0.000426 x 135 rpm = 0.057 kW

En la potencia de entrada, empleamos los principios del electromagnetismo formulados por Faraday. La fórmula fundamental, basada en leyes físicas, la potencia eléctrica que un motor trifásico consume de la línea se expresa como:

$P_{entrada}$ = ($\sqrt{3}$ x Factor de potencia x Voltaje x Intensidad)

$P_{entrada}$= 0.001455 x 27 x 2.9 = 0.114 kW

En la eficiencia energética, el físico Dr. Arthur Rosenfeld es reconocido como el gran impulsor moderno y pionero en lo que respecta a la eficiencia energética. Planteando la siguiente fórmula:

$$\boldsymbol{n} = \frac{\text{Pmecánica}}{\text{Pconsumida}}\ x\ 100\ \%$$

$$\boldsymbol{n}\ \textbf{(con variador de frecuencia)} = \frac{\text{Pmecánica}}{\text{Pconsumida}}\ x\ 100\%$$

$$\boldsymbol{n}\ \textbf{(con variador de frecuencia)} = \frac{0.057\ \text{kW}}{0.114\ \text{kW}}\ x\ 100\%$$

***n* (con variador de frecuencia)** = 50 %

La eficiencia energética con el uso del variador de frecuencia a 135 rpm es 50 % lo cual indica que es considerable el valor porcentual de eficiencia energética a dicha velocidad.

Tabla 16

Datos de cálculo obtenidos con el uso de variador de frecuencia a 135 rpm

% Trabajo	N (rpm)	V (V)	I (A)	Psalida (kW)	Pentrada (kW)	Eficiencia (η)
7.5%	135	27	2.9	0.057	0.114	50%

Fuente: *Elaboración propia*

- Calculamos la eficiencia energética con variador de frecuencia para 90 rpm

  En la potencia de salida, empleamos la fórmula planteada por James Watt, reconocido como el autor en la definición de la potencia de salida de un motor y estandarizar la medición de la potencia.

  $\mathbf{P_{salida}=}$ (Par x Velocidad angular)

  $\mathbf{P_{salida}=}$ 0.000426 x 90 rpm = 0.038 kW

  En la potencia de entrada, empleamos los principios del electromagnetismo formulados por Faraday. La fórmula fundamental, basada en leyes físicas, la potencia eléctrica que un motor trifásico consume de la línea se expresa como:

  $\mathbf{P_{entrada}}$ = ($\sqrt{3}$ x Factor de potencia x Voltaje x Intensidad)

  $\mathbf{P_{entrada}}$= 0.001455 x 23 x 3 = 0.1 kW

En la eficiencia energética, el físico Dr. Arthur Rosenfeld es reconocido como el gran impulsor moderno y pionero en lo que respecta a la eficiencia energética. Planteando la siguiente fórmula:

$$\boldsymbol{n} = \frac{\text{Pmecánica}}{\text{Pconsumida}}\ x\ 100\ \%$$

$$\textbf{n (con variador de frecuencia)} = \frac{\text{Pmecánica}}{\text{Pconsumida}}\ x\ 100\%$$

$$\textbf{n (con variador de frecuencia)} = \frac{0.038\ \text{kW}}{0.1\ \text{kW}}\ x\ 100\%$$

$$\textbf{n (con variador de frecuencia)} = 38\ \%$$

La eficiencia energética con el uso del variador de frecuencia a 90 rpm es 38 % lo cual indica que es un valor un tanto considerable el valor porcentual de eficiencia energética a dicha velocidad.

Tabla 17

Datos de cálculo obtenidos con el uso de variador de frecuencia a 90 rpm

% Trabajo	N (rpm)	V (V)	I (A)	Psalida (kW)	Pentrada (kW)	Eficiencia (η)
5%	90	23	3	0.038	0.1	38%

Fuente: *Elaboración propia*

- Calculamos la eficiencia energética con variador de frecuencia para 45 rpm

En la potencia de salida, empleamos la fórmula planteada por James Watt, reconocido como el autor en la definición de la potencia de salida de un motor y estandarizar la medición de la potencia.

P_{salida}= (Par x Velocidad angular)

P_{salida}= 0.000426 x 45 rpm = 0.019 kW

En la potencia de entrada, empleamos los principios del electromagnetismo formulados por Faraday. La fórmula fundamental, basada en leyes físicas, la potencia eléctrica que un motor trifásico consume de la línea se expresa como:

$P_{entrada}$ = ($\sqrt{3}$ x Factor de potencia x Voltaje x Intensidad)

$P_{entrada}$= 0.001455 x 18 x 3.1 = 0.081 kW

En la eficiencia energética, el físico Dr. Arthur Rosenfeld es reconocido como el gran impulsor moderno y pionero en lo que respecta a la eficiencia energética. Planteando la siguiente fórmula:

$$\boldsymbol{n} = \frac{\text{Pmecánica}}{\text{Pconsumida}}\ x\ 100\ \%$$

$$\boldsymbol{n}\ \textbf{(con variador de frecuencia)} = \frac{\text{Pmecánica}}{\text{Pconsumida}}\ x\ 100\%$$

$$\boldsymbol{n}\ \textbf{(con variador de frecuencia)} = \frac{0.019\ \text{kW}}{0.081\ \text{kW}}\ x\ 100\%$$

***n* (con variador de frecuencia)** = 23.5 %

La eficiencia energética con el uso del variador de frecuencia a 45 rpm es 23.5 % lo cual indica que es un valor un tanto considerable el valor porcentual de eficiencia energética a dicha velocidad.

Tabla 18

Datos de cálculo obtenidos con el uso de variador de frecuencia a 45 rpm

% Trabajo	N (rpm)	V (V)	I (A)	Psalida (kW)	Pentrada (kW)	Eficiencia (η)
2.50%	45	18	3.1	0.019	0.081	23.5%

Fuente: *Elaboración propia*

3.4. Comparar los resultados del arranque del motor con y sin variador de frecuencia.

Luego de obtener los datos sin variador de frecuencia y con variador de frecuencia, procedemos a analizar dichos datos y compararlos en la siguiente tabla 19:

Tabla 19

Comparación de eficiencia energética sin variador de frecuencia y con variador de frecuencia.

	Sin variador de frecuencia	Con variador de frecuencia
N (rpm)	η (%)	η (%)
45	0.36%	23.50%
90	0.73%	38.00%
135	1.09%	50.00%
180	1.47%	57.50%
225	1.83%	69.10%
270	2.20%	77.20%
315	2.56%	84.30%
360	2.92%	87.40%

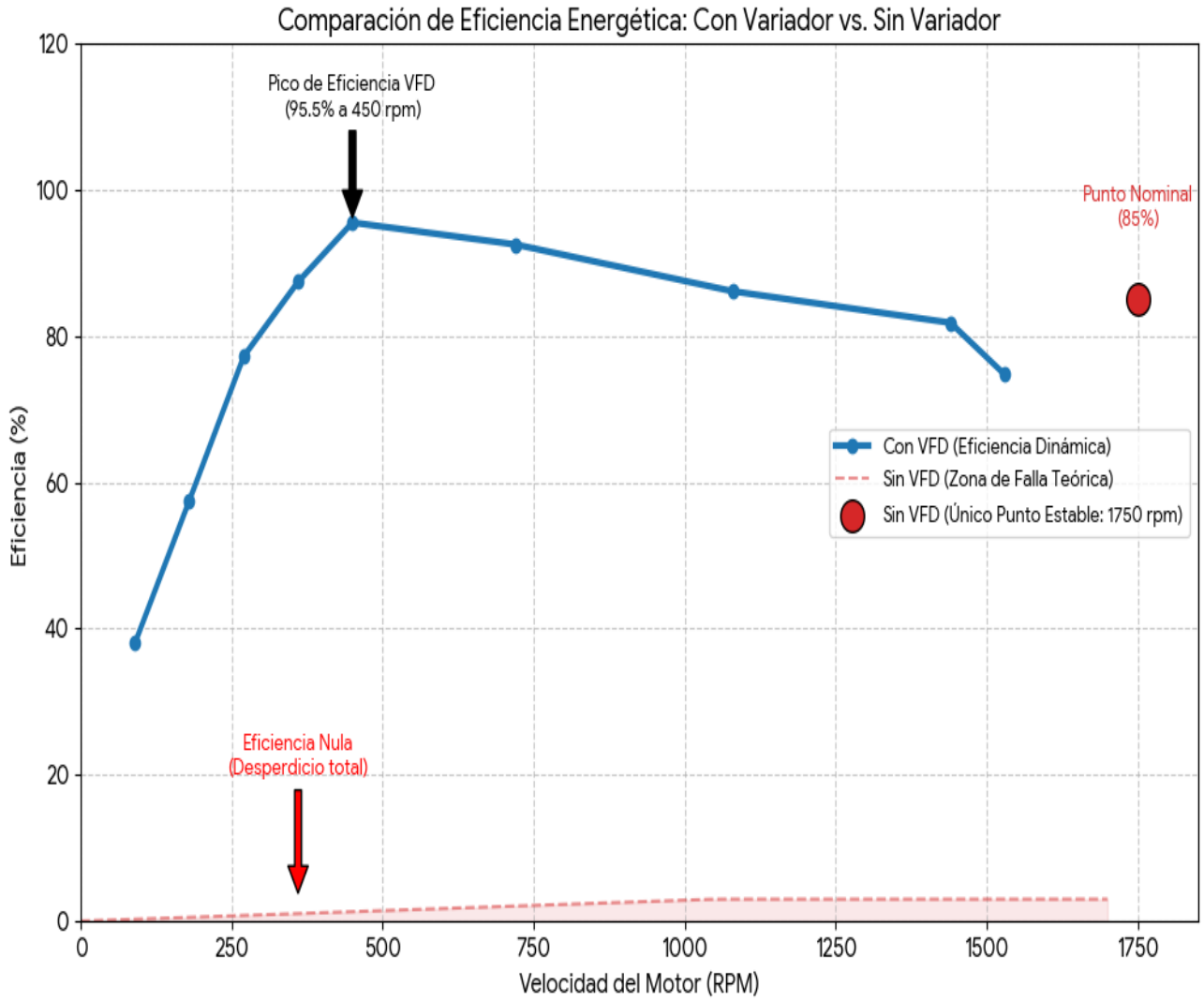
Fuente: *Elaboración propia*

La eficiencia energética calculada sin el uso del variador de frecuencia y con el uso del variador de frecuencia; tomando en cuenta las velocidades de 45 rpm, 90 rpm, 135 rpm, 180 rpm, 225 rpm, 270 rpm, 315 rpm y 360 rpm respectivamente para su comparación entre sí.

Realizamos la gráfica para visualizar de mejor manera la comparación de eficiencia energética como se muestra en la siguiente figura 2:

Figura 2

Comparación de eficiencia energética con y sin variador de frecuencia.



La eficiencia energética con el uso del variador de frecuencia energética es de un 87.40 % a una velocidad de arranque de 360 rpm como se muestra en la figura 2, teniendo en cuenta la línea superior continua, mientras que la línea inferior discontinua presenta la eficiencia energética sin el uso del variador de frecuencia.

Además, cabe recalcar que para determinar los resultados previamente mostrados, todo ello se realizo en base a lo mostrado en la siguiente figura 3.

Figura 3

Procedimiento realizado para obtener los resultados.



IV. DISCUSIÓN

Analizar la eficiencia energética en arranque de un motor de inducción con y sin variador de frecuencia.

. (Sánchez, 2019) En su investigación destaca la importancia de la renovación de un equipo didáctico enfocado en el control de motores de inducción. Aunque, este estudio se centra en la configuración y el ensayo de estrategias de control, sus hallazgos respaldan la relevancia de los variadores de frecuencia como herramientas clave para optimizar el rendimiento de los motores eléctricos. En línea con esta tendencia, este estudio pretende ofrecer un análisis de la eficiencia energética durante el arranque de un motor de inducción, comparando el desempeño con y sin el uso de un variador de frecuencia; en donde trabaja con 0 %, 25 %, 50%, 75% y 100%. Mientras que en la presente investigación se trabaja con valores de menor magnitud siendo 20 %, 17.5 % , 15%, 12.5%, 10% 7.5%, 5%, 2.5% respectivamente los usados para calcular la eficiencia energética tanto con variador de frecuencia asi como sin variador de frecuencia.

Es por ello que los resultados de (Sánchez, 2019) son mayores en cuanto a eficiencia energética ya que sus valores son mayores es decir son directamente proporcionales entre sí, ante ello los valores de esta presente investigación son menores los valores de eficiencia energética dado que los valores de trabajo son inferiores respectivamente entre sí.

Calcular la eficiencia energética en el arranque del motor sin usar variador de frecuencia.

El cálculo de la eficiencia energética sin variador de frecuencia realizado en la presente investigación en concordancia con lo mencionado por (Jiménez, 2022) En su investigación de pregrado titulada “Sistemas de variación de velocidad con motores trifásicos de inducción”, plantea un estudio según en el método empírico de causalidad de aplicación, la cual muestra que el inicio de arranque directo de los motores es perjudicial, para la vida útil del motor, así como el ahorro de energía, en aras de determinar cómo arrancar idóneamente los motores que optimicen costos. Los motores deben ser seleccionados de acuerdo a su aplicación en el proceso productivo, la cual está determinada por el ahorro de energía, torque y también cuidando la conexión de carga, como ventiladores, bombas de agua, comprensores de pistón, tornillos y prensas. Las simulaciones desarrolladas son con arranque tipo directo, estrella triangulo y variador de velocidad, conduce a la mejor selección adecuada de motores eléctricos según su uso en la industria; Ante ello usa distintos factores de potencia 0.25 para 25% de carga, 0.41 para 50% de carga, 0.53 para 75% de carga, 0.62 para 100% de carga.

Es por ello que los resultados obtenidos en la presente investigación no son semejantes ya que los factores de potencia discrepan respecto de los porcentajes de carga y cada uno es distinto respecto del otro valor.

Calcular la eficiencia energética en el arranque del motor con el uso del variador de frecuencia.

De acuerdo al cálculo de la eficiencia energética con variador de frecuencia realizado en la presente investigación, por su parte (Turcios, 2020) asevera que, al utilizar variadores de frecuencia en los motores, se ha encontrado un ahorro que redundará en buenos resultados con un tipo de recuperación en los motores tanto con convertidor como de capacidad única con alta capacidad y variadores de velocidad, además se han identificado las áreas donde se pueden utilizar variadores de velocidad como pruebas importantes para las cintas transportadoras, mirando al futuro para aplicar en otros lugares. Como resultado, los motores y el convertidor de frecuencia obtuvieron los datos para el análisis técnico y económico para determinar la viabilidad del proyecto. La investigación se centra en un tema consuetudinario de la industria, como es la eficiencia energética en los motores eléctricos, donde se añaden resultados cuantificables: Los resultados presentados son claros y cuantificables, con un análisis económico que demuestra la viabilidad de la implementación de variadores de velocidad. en donde se puede ahorrar hasta un 40% de facturación de energía eléctrica.

Por su parte (Calcina, 2016) se enfoca en la optimización del motor de inducción de jaula de ardilla mediante un variador de frecuencia teniendo como objetivo principal el análisis de la implementación de un convertidor de frecuencia para mejorar la eficiencia del motor eléctrico. Las mediciones de ahorro de energía se realizaron utilizando un medidor trifásico y el consumo de energía se comparó entre el arranque y el funcionamiento utilizando un convertidor de frecuencia en frecuencias de 60 Hz, 50 Hz y 40 Hz. Dicha

investigación resalta su importancia en la adopción del variador de frecuencias para buscar ventajas significativas en términos de ahorro y eficiencia operativa. A medida que mejora la eficiencia energética, estos resultados muestran como la tecnología puede ayudar a resolver los desafíos económicos y ambientales.

Es por ello que mostraron un ahorro promedio de 0.0143 KW/h al usar el variador de frecuencia.

Comparar los resultados del arranque del motor con y sin variador de frecuencia.

Posteriormente de obtener los resultados sin variador de frecuencia y con variador de frecuencia, cabe recalcar que por su parte (Huamán, 2020) Muestra la importancia de optimizar el arranque de motores eléctricos para mejorar la eficiencia energética y aumentar la vida útil de los equipos. Si bien su estudio se centra en motores trifásicos, sus hallazgos son relevantes para nuestra investigación, ya que ambos trabajos comparten el objetivo común de identificar el arranque más adecuado para una determinada aplicación. Al analizar su comportamiento de un motor de inducción monofásico con y sin variador de frecuencia, nuestra tesis busca complementar los resultados obtenidos y proporcionar nuevas evidencias sobre las ventajas de los variadores de frecuencia en este tipo de motores. Por ello permitirá validar un arranque suave y analizar las similitudes y diferencias entre los motores monofásicos y trifásicos en términos de características de encendido y respuesta a los diferentes métodos de arranque. Además, proporciona una valiosa información respecto a la integración de un equipo variador de velocidad con autómatas programables, es decir, PLCs para el funcionamiento idóneo siendo una alternativa más a los

variadores de frecuencia omitiendo inicios bruscos en el inicio de su funcionamiento la corriente en el motor es de 120% en tiempo cero y bajando a 80% en tiempo 0.8 segundos, para luego subir hasta 125% en tiempo 7 segundos y bajar a su nominal de 100% en 7.5 segundos; mientras que en la presente investigación la eficiencia energética con el uso del variador de frecuencia energética es de un 87.40 % a una velocidad de arranque de 360 rpm.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- El análisis en base a los resultados obtenidos determina que se transforma radicalmente el perfil energético del motor. En tanto que el arranque directo es una situación de alta pérdida energética, el variador permite convertir la energía eléctrica en trabajo mecánico de manera efectiva comenzando las primeras revoluciones de 45 rpm sin variador de frecuencia a 0.36 % y con variador de frecuencia a 23.50%.

- Los resultados obtenidos demuestran que en el momento de conectar el motor directamente a 220 V, se genera un pico de corriente de (~16.4 A) sin producir trabajo mecánico útil inmediato, lo que resulta en un estrés térmico severo para los devanados y una perturbación en la red eléctrica sin retorno productivo y una baja eficiencia energética.

- Se concluye que el uso del variador permite una reducción en la corriente de arranque, además cabe recalcar que la eficiencia energética superior al 38% desde apenas el 5% de la velocidad y alcanza niveles óptimos (>90%) en parámetros de velocidad media ejemplo a 450 RPM para magnetizar el motor y mover la carga, eliminando el exceso de consumo.

- En torno a la comparación cuantitativa se concluye que existe brecha de eficiencia abismal en velocidades parciales; dado que, a una velocidad de 360 RPM, el sistema con variador opera con una eficiencia del 87.4%, en tanto que intentar forzar esa operación sin variador resultaría en una eficiencia teórica de solo 2.92% con un consumo de potencia 30 veces mayor.

5.2. RECOMENDACIONES

- Es recomendable el uso de variadores de frecuencia en cualquier aplicación que requiera más de un arranque, ya que el ahorro energético y la protección de la vida útil del motor compensan la inversión inicial del equipo obtenido y se reflejara durante el uso cotidiano del motor.

- Se recomienda en sistemas de uso obligatorio para usar arranque directo por costos, se debe limitar estrictamente el número de arranques por hora para evitar el sobrecalentamiento acumulativo por efecto Joule, ya que el motor no tiene capacidad de disipar la energía térmica.

- Además, se recomienda durante el uso del variador de frecuencia ajustar correctamente los parámetros en la configuración del variador. Un ajuste inadecuado reducirá la eficiencia.

- Realizar un estudio de Retorno de Inversión basado en el costo del kWh local (Perú), en busca de justificar económicamente la adquisición del variador de frecuencia, con la finalidad de sugerir la zonas y aplicaciones, locales, industriales, donde es mayor la rentabilidad.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguirre, V., & Gonzalez, L. (2022). *Diseño e implementación de un tablero eléctrico de pruebas para la evaluación de parámetros eléctricos en arranque de motores monofásicos y trifásicos para procesos industriales.* [Universidad Estatal Península de Santa Elena]. https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/8466

Calcina, A. (2016). *Optimización del funcionamiento de un motor de inducción para el ahorro de energía eléctrica en el laboratorio UNCP*. [Universidad Nacional del centro del Perú]. https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/3928

Huamán, L. (2020). *Elección óptima de arranque de motores eléctricos trifásicos asíncronos según su uso en la industria.* [Universidad Continental]. https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/10047

Ibar, F. (2019). Mejoras deeficiencia energética (EE) en losmotores monofásicos sincrónicosde 220 (VAC) / 50 (Hz), tipo PMSM. *Revista UIS Ingenierías*, *18*(4), 57–70. https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistauisingenierias/article/view/9300

Jiménez, F. (2022). *Sistemas de variación de velocidad con motores trifásicos de inducción.*

[Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD]. https://repository.unad.edu.co/handle/10596/55706?locale-attribute=fr

Lascano, S., & Llumiquinga, E. (2022). *Análisis energético del control de motores de 5 hp en el laboratorio de máquinas eléctricas de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga campus Belisario.* [Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE]. https://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/29337

Leyton Arce, J. J. (2022). *Metodología experimental para identificar oportunidades de mejora de la eficiencia energética en el proceso de molienda del mineral de cobre utilizando un molino de bolas de 0, 5 HP*. Pontificia Universidad Católica del Perú http://hdl.handle.net/20.500.12404/22793

López, D. (2013). *Distorsión armónica producida por variadores de frecuencia para mejorar el desempeño de motores eléctricos trifásicos en el laboratorio de automatización industrial de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.* [Universidad Técnica de Ambato]. https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/8215

Martínez, A. (2023). *Metodología para evaluar estrategias de eficiencia energética asociadas al uso final de la energía eléctrica en el sector residencial colombiano. Universidad Tecnológica de Pereira.* https://hdl.handle.net/11059/14562

Pesantez, A. (2012). *Diseño y construcción de un módulo de laboratorio con variador de frecuencia para el control de un sistema de bombeo y determinación del ahorro energético.* [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/1881

Quesada Sánchez, D. (2015). Estudio de la eficiencia energética en edificios municipales comparando herramientas de simulación con medidas experimentales. https://uvadoc.uva.es/handle/10324/18072

Quispe, A, & Tonato, M. (2021). *Análisis económico de la eficiencia energética por la*

utilización de tecnología LED en el consumo eléctrico residencial. Revista Científica. https://doi.org/10.21855/resnonverba.v11i1.423

Sánchez, F. (2019). *Control de un motor de inducción basado en un variador de velocidad.* [Universidad de Sevilla]. https://idus.us.es/handle/11441/90988?show=full

Turcios, C. (2020). *Implementación De Eficiencia Energética En Motores Eléctricos Trifásicos Por Medio Del Uso De Variador De Velocidad.* [Universidad Tecnológica Centroamericana]. https://repositorio.unitec.edu/handle/123456789/11402

Veliz, E. (2020). *Propuesta de instalación de variadores de frecuencia para incrementar la eficiencia en la planta Proserla- Jayanca.* [Universidad Cesar Vallejo]. https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/54072

AGRADECIMIENTO

Emerson Jhose Pelaez Vigo

Deseo expresar mi mas más sincero y profundo agradecimiento a mis padres, quienes han sido el pilar fundamental en mi vida. Su amor incondicional, sus acertadas orientaciones y los innumerables sacrificios que realizaron a lo largo de los años han sido el motor que me impulsó a perseverar en cada etapa de mi formación académica. Su ejemplo de esfuerzo, dedicación y compromiso constituye una guía invaluable en el desarrollo personal y profesional.

Este logro académico no es únicamente el resultado del esfuerzo en conjunto, sino también de la presencia, paciencia y fe de la familia, quienes han estado acompañándome en este desafío. A ellos dedico este importante paso en la vida profesional, reconociendo que su apoyo ha sido decisivo para la culminación de este proyecto de investigación.

Expreso un agradecimiento especial a mi asesor el Dr. Edwin Carlos Lenin Felix Poicon, por su orientación y conocimiento científico, asi como también por su paciencia en guiarme durante todo el desarrollo del proyecto.

Dreicer Fernando Romero Peña.

Deseo expresar mi mas más sincero y profundo agradecimiento a mis padres, quienes han sido el pilar fundamental en mi vida. Su amor incondicional, sus acertadas orientaciones y los innumerables sacrificios que realizaron a lo largo de los años han sido el motor que me impulsó a perseverar en cada etapa de mi formación académica. Su ejemplo de esfuerzo, dedicación y compromiso constituye una guía invaluable en el desarrollo personal y profesional.

Este logro académico no es únicamente el resultado del esfuerzo en conjunto, sino también de la presencia, paciencia y fe de la familia, quienes han estado acompañándome en este desafío. A ellos dedico este importante paso en la vida profesional, reconociendo que su apoyo ha sido decisivo para la culminación de este proyecto de investigación.

Expreso un agradecimiento especial a mi asesor el Dr. Edwin Carlos Lenin Felix Poicon, por su orientación y conocimiento científico, asi como también por su paciencia en guiarme durante todo el desarrollo del proyecto.

DEDICATORIA

Emerson Jhose Pelaez Vigo

Dedico este trabajo a mis padres y familiares, quienes han sido el sostén y guía esencial en mi vida. Su amor incondicional, su entrega y su orientación constante me han otorgado la fortaleza necesaria para afrontar cada reto y alcanzar este importante logro académico. El cual es también un reflejo del sacrificio, las enseñanzas y el apoyo firme de las personas que nos apoyaron en el camino, convirtiéndose en una fuente permanente de inspiración y motivación a lo largo de mi desarrollo personal y profesional.

Dreicer Fernando Romero Peña.

Dedico este trabajo a mis padres y familiares, quienes han sido el sostén y guía esencial en mi vida. Su amor incondicional, su entrega y su orientación constante me han otorgado la fortaleza necesaria para afrontar cada reto y alcanzar este importante logro académico. El cual es también un reflejo del sacrificio, las enseñanzas y el apoyo firme de las personas que nos apoyaron en el camino, convirtiéndose en una fuente permanente de inspiración y motivación a lo largo de mi desarrollo personal y profesional.

ANEXOS

Figura 4

Variador de frecuencia SINAMICS



Nota: La interfaz de usuario del variador de frecuencia, la variación de velocidad (RPM) y el registro de variables eléctricas de entrada.

Figura 5

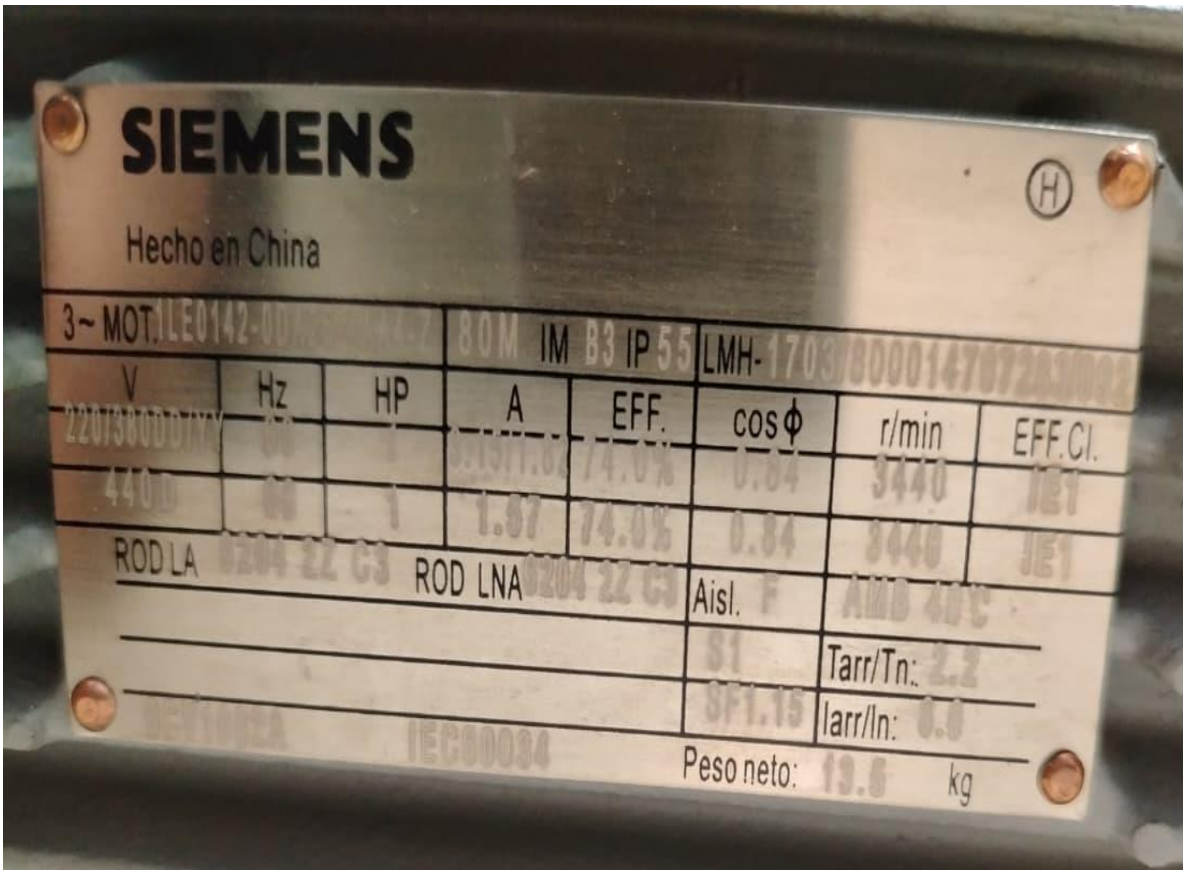
Motor Eléctrico Siemens de 1 HP



Nota: Vista lateral del motor Eléctrico Siemens de 1 HP y vista de la caja de bornes del motor de inducción de corriente alterna acoplado al banco de pruebas experimentales.

Figura 6

Placa de características del motor eléctrico Siemens de 1 HP



Nota: La placa muestra la velocidad nominal de 3440 rpm y además muestra sus datos nominales de corriente de diseño de 220 v y frecuencia 60 Hz.

Figura 7

Variador de frecuencia y motor Siemens de 1 HP



Nota: La integración del Variador de frecuencia y motor Siemens de 1 HP en un solo módulo integrado entre sí.

Figura 8

Laboratorio de Automatización y control para obtener la potencia de entrada y salida.



Nota: La potencia de entrada y potencia de salida se calculó en base a los valores registrados en el Laboratorio de Automatización y control.

Figura 9

Laboratorio de Automatización y control para analizar la eficiencia energética.



Nota: La eficiencia energética se calculó en base a los valores de la potencia de entrada y potencia de salida, registrados en el Laboratorio de Automatización y control.

Figura 10

Toma de datos con el uso del variador de frecuencia a 270 rpm.



Nota: El variador de frecuencia indica una tensión real de 41 V con una velocidad real de 270 rpm.

Figura 11

Toma de datos con el uso del variador de frecuencia a 360 rpm.



Nota: El variador de frecuencia indica una tensión real de 51 V con una velocidad real de 360 rpm.

Figura 12

Variación en los rpm, para obtener los diversos datos y variables.



Nota: Variación en la velocidad para toma de datos de la tensión real.

Figura 13

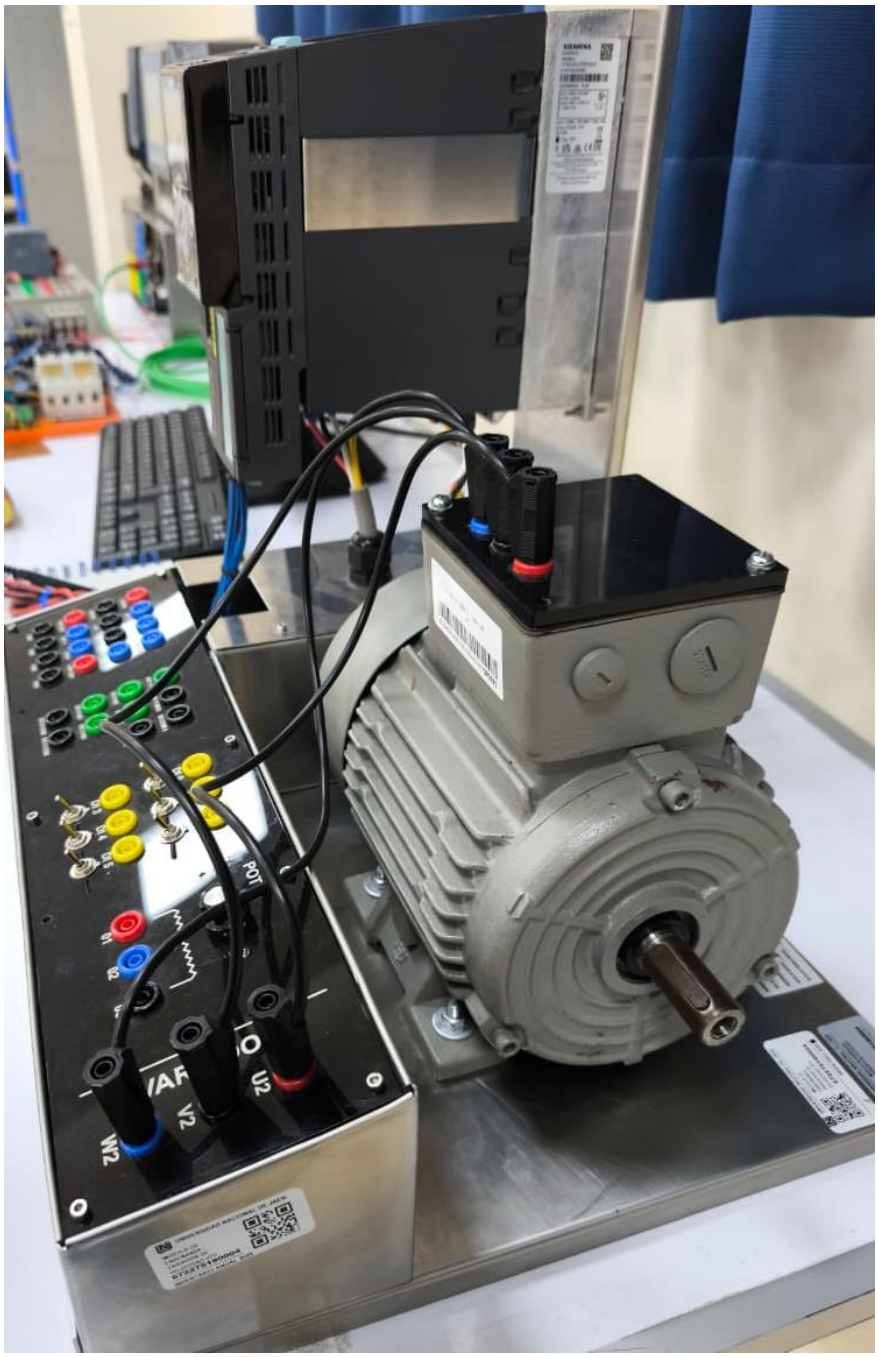
Funcionamiento del motor de 1HP y el variador de frecuencia.



Nota: Al conectar el motor directamente a 220 V esta demanda una corriente constante de 16.4 A.

Figura 14

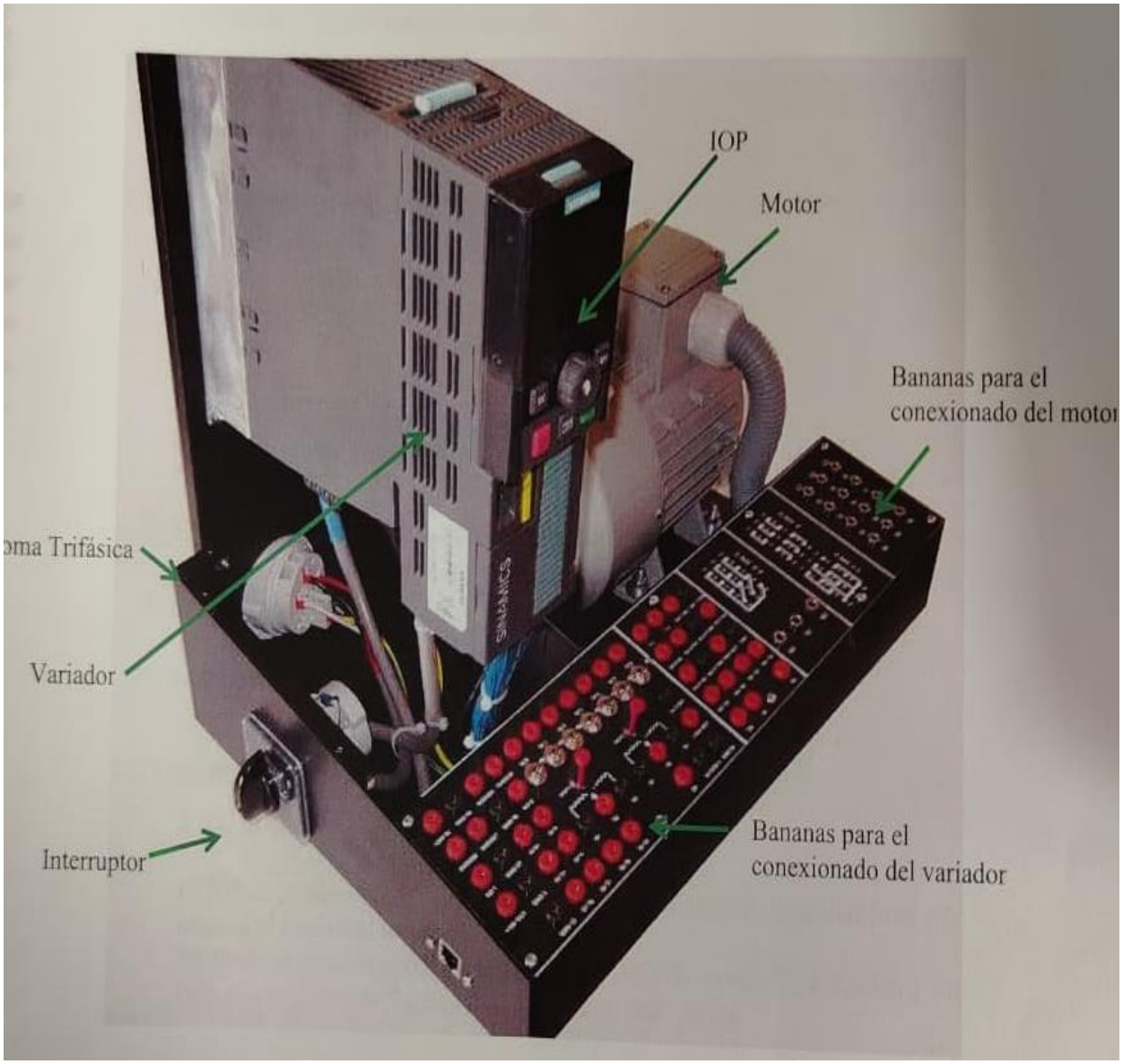
Motor y variador de frecuencia instalados en conjunto.



Nota: A una velocidad de arranque de 360 rpm, la eficiencia energética con el uso del variador de frecuencia energética es la mayor lograda.

Figura 15

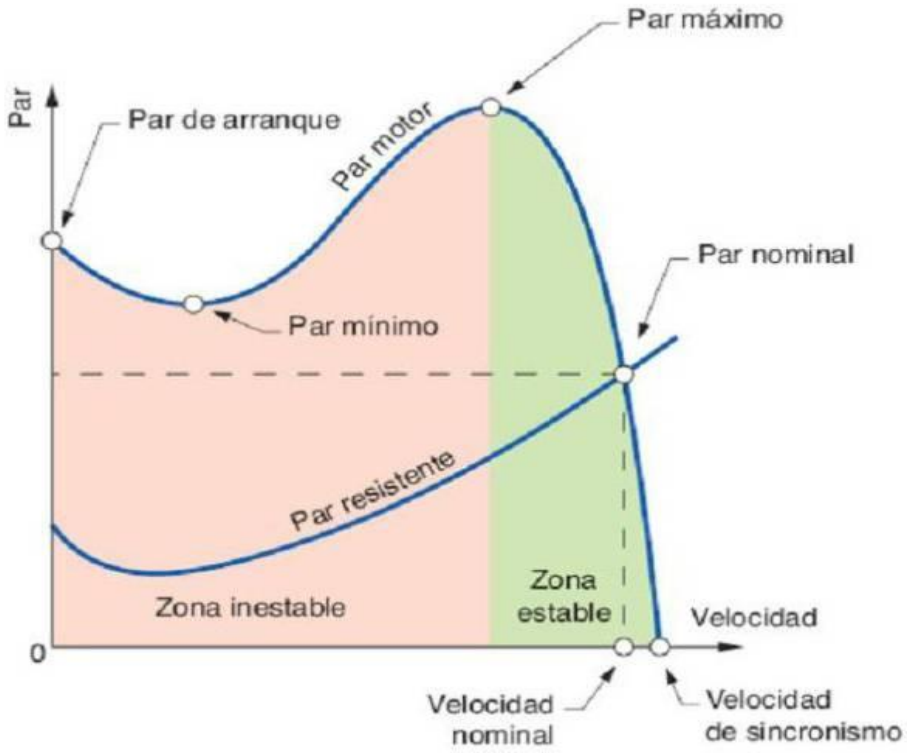
Elementos del equipo Dinaut (automatización y control)



Nota: Manual que muestra los elementos del conjunto integrado entre el Variador de frecuencia y motor Siemens de 1 HP.

Figura 16

Esquema de curva Par-Velocidad de un motor eléctrico.



Nota: La velocidad nominal del motor presenta una zona estable que oscila a base al par de resistencia, provocando una ligera variación en la velocidad.

Fuente:https://automatismoindustrial.com/curso-carnet-instalador-baja%20tension/motores/1-3-3-motores-asincronos/par-motor-par-resistente/

Figura 17

Ubicación del Laboratorio de Automatización y control.



Nota: Tomada de "Vista satelital de Universidad Nacional de Jaén", por Google Earth.

Figura 18

Variador de frecuencia SINAMICS



Fuente: Control y Tecnología, https://ct-aut.com/sinamicx-g120x-pn-3hp-pn-6sl3220-3ye16-0uf0/

Figura 19

Pinza amperimétrica



Nota: (López, 2013) hace uso de las pinzas de medición en el equipo y las conecta en paralelo para realizar las mediciones para su investigación.

Fuente: Promart, https://www.promart.pe/pinza-amperimetrica-fluke-302-400v-600a-ca-1000540427/p

Figura 20

Motor Eléctrico Siemens de 1 HP

.



Fuente: Motors Mark E.I.R.L, https://motorsmark.com/motores-electricos/trifasicos/siemens/