

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



**ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DEL ARRANQUE DE UN
MOTOR DE INDUCCIÓN PARA REDUCIR EL CONSUMO
ENERGÉTICO EN LA EMPRESA T'PEC & CIA S.A.C.**

**INFORME FINAL DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

AUTORES: BACH. JORGE SMITH SILVA RAMOS

BACH. NEXAR JHONNY TOCTO GARCÍA

ASESOR: DR. MARIO FELIX OLIVERA ALDANA.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: EFICIENCIA ENERGÉTICA.

JAÉN - PERÚ, JULIO - 2026

Jorge S. Silva Ramos - Nexar J. Tocto García

ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DEL ARRANQUE DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN PARA REDUCIR EL CONSUMO ENERG...

 Quick Submit Quick Submit Universidad Nacional de Jaen

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::1:3615006874

Fecha de entrega

4 ago 2026, 1:17 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

4 ago 2026, 1:26 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

-SILVA_RAMOS_Y_TOCTO_GARCÍA_-_NEXAR_JHONNY_TOCTO_GARCÍA.pdf

Tamaño del archivo

1.7 MB

61 páginas

10.643 palabras

65.054 caracteres



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN



Dra. María Marleni Torres Cruz
Responsable de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ingeniería

3% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

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

Fuentes principales

- 2%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 2%  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



Dra. María Marleni Torres Cruz
Responsable de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ingeniería



FORMATO 03: ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día lunes 03 de agosto de 2026, siendo las 17:00 horas, se reunieron los integrantes del Jurado:

Presidente : Dr. Walter Linder Cabrera Torres
Secretario : Mg. Rolando René Rodríguez Medina
Vocal : Mg. Juan Antonio Labrin Romero

Para evaluar la Sustentación del Informe Final:

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

Titulado: "ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DEL ARRANQUE DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN PARA REDUCIR EL CONSUMO ENERGÉTICO EN LA EMPRESA T'PEC & CIA S.A.C".

Presentado por los bachilleres: Jorge Smith Silva Ramos y Nexar Jhonny Tocto García, 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.

Dr. Walter Linder Cabrera Torres
Presidente Jurado Evaluador

Mg. Rolando René Rodríguez Medina
Secretario Jurado Evaluador

Mg. Juan Antonio Labrin Romero
Vocal Jurado Evaluador

“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, Bach. Silva Ramos Jorge Smith, egresado de la carrera Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jaén, identificado (a) con DNI 75051213.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy Autor del trabajo titulado:

“Análisis del funcionamiento del arranque de un motor de inducción para reducir el consumo energético en la empresa T´PEC & CIA S.A.C.”.

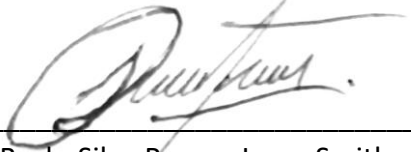
Asesorado por Dr. Mario Felix Olivera Aldana.

El mismo que presento bajo la modalidad de Informe Final de Tesis para optar; el Título Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica.

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.

Fecha: Jaén, 21, 08 y 2026.


Bach. Silva Ramos Jorge Smith



“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, Bach. Tocto García Nexar Jhonny, egresado de la carrera Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jaén, identificado (a) con DNI 74288374.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy Autor del trabajo titulado:

“Análisis del funcionamiento del arranque de un motor de inducción para reducir el consumo energético en la empresa T´PEC & CIA S.A.C.”.

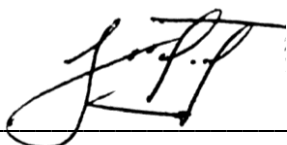
Asesorado por Dr. Mario Felix Olivera Aldana.

El mismo que presento bajo la modalidad de Informe Final de Tesis para optar; el Título Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica.

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.

Fecha: Jaén, 21, 08 del 2026.


Bach. Tocto García Nexar Jhonny



ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS.....	6
RESUMEN	7
ABSTRACT.....	8
I. INTRODUCCIÓN	9
1.1. Descripción de la realidad Problemática.....	9
1.2. Justificación	11
1.3. Hipótesis	12
1.4. Objetivos	13
1.4.1. Objetivo General	13
1.4.2. Objetivos Específicos.....	13
1.5. Antecedentes de la Investigación.....	14
1.6. Marco teórico	18
1.6.1. Motor de Inducción Trifásico	18
1.6.2. Métodos de Arranque en Motores de Inducción.....	18
1.6.3. Parámetros Eléctricos Fundamentales	19
II. MATERIALES Y MÉTODOS	22
2.1. Objeto de Estudio.....	22
2.2. Ubicación del Área de Estudio	23
2.3. Materiales.....	23

2.4.	Población, Muestra y Muestreo	25
2.4.1.	Población.....	25
2.4.2.	Muestra	25
2.4.3.	Muestreo	25
2.5.	Metodología de la Investigación.....	25
2.5.1.	Tipo de Investigación.....	25
2.5.2.	Enfoque de Estudio	25
2.5.3.	Diseño de Investigación.....	26
2.5.4.	Método de Investigación.....	26
2.5.5.	Método	26
2.6.	Técnicas	27
2.7.	Procedimiento	28
III.	RESULTADOS.....	31
3.1.	O.E.1: Caracterización técnica y energética del funcionamiento del motor de inducción utilizando el sistema de arranque estrella-triángulo (Y- Δ).	31
3.1.1.	Parámetros eléctricos durante el arranque estrella-triángulo.	32
3.1.2.	Descripción de los parámetros eléctricos en el arranque Y- Δ	32
3.1.3.	Cálculo de la Potencia Activa (P)	33
3.1.4.	Cálculo de la Potencia Reactiva (Q)	34
3.1.1.	Cálculo de la energía consumida en la Etapa Estrella (Y).	35

3.1.2.	Cálculo de la energía consumida en la Etapa Triángulo (Δ).....	35
3.2.	O.E.2: Evaluación del desempeño del motor de inducción mediante la implementación de un variador de frecuencia (VFD).....	36
3.2.1.	Parámetros eléctricos del motor con variador de frecuencia.	36
3.2.2.	Cálculo de potencias con VFD.	37
3.2.3.	Cálculo de la energía consumida con VFD.....	37
3.3.	O.E.3: Comparación del rendimiento energético y operativo del motor entre ambos métodos de arranque.	38
3.3.1.	Análisis comparativo de indicadores.	38
3.3.2.	Cálculo del porcentaje de mejora.....	39
3.4.	O.E.4: Evaluación y comparación de los costos asociados al funcionamiento del motor en ambos métodos de arranque.....	40
3.4.1.	Análisis de costos y ahorros.....	40
IV.	DISCUSIÓN	41
V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	46
5.1.	Conclusiones	46
5.2.	Recomendaciones	47
VI.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	49
	ANEXOS	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Pasos del primer objetivo</i>	29
Tabla 2 <i>Pasos del segundo objetivo</i>	30
Tabla 3 <i>Pasos del tercer objetivo</i>	30
Tabla 4 <i>Pasos del cuarto objetivo</i>	31
Tabla 5 <i>Parámetros eléctricos del motor con arranque estrella-triángulo</i>	32
Tabla 6 <i>Parámetros eléctricos del motor con arranque mediante variador de frecuencia</i>	36
Tabla 7 <i>Comparación del rendimiento energético entre el arranque Y-Δ y con variador de frecuencia.</i>	38
Tabla 8 <i>Análisis comparativo de costos: Arranque Y-Δ vs Variador de Frecuencia</i>	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Ubicación de la empresa T'PEC & CIA S.A.C.</i>	23
Figura 2 <i>Diagrama de flujo del procedimiento de investigación</i>	28
Figura 3 <i>Comparación de parámetros eléctricos en arranque Y-Δ</i>	33
Figura 4 <i>Parámetros del motor con Variador de Frecuencia</i>	37
Figura 5 <i>Comparación del rendimiento energético: Y-Δ vs VFD</i>	39
Figura 6 <i>Comparación de costos acumulados: Y-Δ vs VFD</i>	41
Figura 7 <i>Diagrama unifilar para el arranque con variador de frecuencia</i>	53
Figura 8 <i>Diagrama unifilar y de fuerza para arranque estrella triángulo</i>	54
Figura 9 <i>Solicitud de equipos para la ejecución de la tesis</i>	55
Figura 10 <i>Carta de autorización de la empresa</i>	56
Figura 11 <i>Motor trifásico de 1hp</i>	57
Figura 12 <i>Placa del motor trifásico</i>	57
Figura 13 <i>Pinza amperimétrica</i>	58
Figura 14 <i>Circuito de fuerza y control para el arranque estrella – triángulo y variador de frecuencia</i>	58
Figura 15 <i>Mediciones realizadas mediante el variador de frecuencia</i>	59
Figura 16 <i>Mediciones realizadas mediante el arranque estrella - triángulo</i>	60
Figura 17 <i>Mediciones realizadas para el nivel de tensión</i>	61

RESUMEN

El alto consumo energético en la industria, originado por arranques convencionales como el estrella-triángulo en motores de inducción, genera corrientes de hasta 6 a 8 veces la nominal y sobre costos operativos. La investigación tuvo como objetivo analizar el funcionamiento del arranque de un motor de inducción trifásico de 1 HP para reducir el consumo energético en la empresa T'PEC & CIA S.A.C., Jaén. El estudio fue aplicado, con enfoque cuantitativo y diseño preexperimental. Se caracterizó el motor con el sistema estrella-triángulo, obteniendo en régimen permanente 1.07 A, 0.58 kW y factor de potencia 0.77. Posteriormente, se implementó un variador de frecuencia (VFD), registrando 0.80 A y 0.43 kW, lo que representó un ahorro del 25.86% en el consumo mensual. El análisis económico mostró un Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI) de 2.6 años. Se concluye que la implementación del VFD es viable técnica y económicamente para motores de baja potencia, optimizando el rendimiento y reduciendo costos operativos en la empresa.

Palabras clave: eficiencia energética, consumo eléctrico, motor de inducción, arranque estrella-triángulo, variador de frecuencia.

ABSTRACT

High energy consumption in industry, caused by conventional starting methods such as star-delta starting in induction motors, generates currents up to 6 to 8 times the rated value and leads to additional operating costs. The objective of this research was to analyze the operation of a 1 HP three-phase induction motor starter to reduce energy consumption at T'PEC & CIA S.A.C. in Jaén. The study employed a quantitative approach and a pre-experimental design. The motor was characterized using the star-delta system, yielding steady-state values of 1.07 A, 0.58 kW, and a power factor of 0.77. Subsequently, a variable frequency drive (VFD) was implemented, recording 0.80 A and 0.43 kW, which represented a 25.86% savings in monthly energy consumption. The economic analysis showed a Payback Period (PRI) of 2.6 years. It is concluded that the implementation of the VFD is technically and economically viable for low-power motors, optimizing performance and reducing operating costs for the company.

Keywords: energy efficiency, electrical consumption, induction motor, star-delta starting, variable frequency drive.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Descripción de la realidad Problemática

Los motores de inducción representan aproximadamente el 70 % del consumo eléctrico en el sector industrial global debido a su bajo costo y versatilidad (International Energy Agency [IEA], 2022). Sin embargo, cuando estos equipos operan con sistemas de arranque convencionales, como el arranque directo o el sistema estrella-triángulo (Y- Δ), se generan corrientes de arranque de hasta 6 a 8 veces la corriente nominal, lo que provoca sobreconsumo energético, reducción de la vida útil de los equipos y aumento de los costos operativos (Rodríguez Chacón, 2022).

En América Latina, la limitada adopción de tecnologías de eficiencia energética, como los variadores de frecuencia, sumada a un mantenimiento deficiente y a la falta de gestión energética, ha ocasionado pérdidas significativas de eficiencia y una mayor dependencia de fuentes no renovables (Banco Mundial, 2021).

En el Perú, investigaciones recientes confirman que los motores de inducción trifásicos, al operar sin controles adecuados, presentan incrementos de consumo energético entre el 5 % y el 15 %, afectando especialmente a las medianas y pequeñas empresas que no cuentan con equipos modernos de regulación (Detán Gordillo, 2022; Mallma Dolorier, 2019).

A nivel local, en la empresa T'PEC & CIA S.A.C., ubicada en Jaén, se han realizado mediciones preliminares que evidencian problemas concretos en uno de los motores de inducción de su línea de producción: corrientes de arranque de hasta 6 veces la corriente nominal, factor de potencia promedio de 0.75 (por debajo del mínimo recomendado de 0.90) y temperaturas superiores en un 15 % a los límites establecidos por el fabricante. De no intervenir, se estima que el consumo energético de la empresa podría aumentar entre un 10 % y un 15 % en los próximos años, elevando los costos operativos y afectando su competitividad. Por ello, resulta técnicamente

necesario analizar el funcionamiento del arranque del motor de inducción y evaluar la implementación de tecnologías de control como los variadores de frecuencia, que han demostrado en otros contextos reducir el consumo entre un 12 % y un 30 % (Medina Guzmán, 2019; Rodríguez Chacón, 2022).

El presente trabajo de investigación tiene una relevancia social, económica, ambiental y tecnológica. Socialmente, contribuye a reducir interrupciones en la producción y a proteger la seguridad de los trabajadores. Económicamente, busca disminuir los costos derivados del consumo eléctrico mediante un ahorro estimado entre el 10 % y el 20 %. Ambientalmente, se alinea con el Acuerdo de París y los Objetivos de Desarrollo Sostenible al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la generación eléctrica. Tecnológicamente, impulsa la adopción de variadores de frecuencia y sistemas de monitoreo energético en entornos industriales reales. Con base en lo expuesto, el objetivo general de esta investigación es analizar el funcionamiento del arranque de un motor de inducción con el fin de reducir el consumo energético en la empresa T'PEC & CIA S.A.C. , y como objetivos específicos se plantean: caracterizar técnica y energéticamente el motor utilizando el sistema de arranque estrella-triángulo; evaluar su desempeño mediante la implementación de un variador de frecuencia; comparar el rendimiento energético y operativo entre ambos métodos de arranque; y evaluar y comparar los costos asociados a cada método.

Finalmente, nos planteamos la siguiente interrogante: ¿De qué manera el análisis del funcionamiento del arranque de un motor de inducción en la empresa T'PEC & CIA S.A.C., contribuirá a reducir el consumo eléctrico y mejorará el rendimiento operativo del equipo?

1.2. Justificación

Justificación Social:

El presente estudio es importante porque contribuye al bienestar social mediante el uso eficiente de la energía eléctrica en la empresa T'PEC y Compañía Sociedad Anónima Cerrada, lo que reduce interrupciones en la producción y protege la seguridad de los trabajadores. Asimismo, es relevante para que se promueva una cultura empresarial responsable y sostenible, garantizando la estabilidad de los puestos de trabajo y fortaleciendo la competitividad regional. Desde un enfoque técnico-científico, la elaboración de este proyecto permite generar evidencia cuantificable sobre los beneficios sociales de aplicar medidas de eficiencia energética en entornos industriales, demostrando cómo la reducción del consumo eléctrico impacta directamente en la seguridad y la continuidad laboral.

Justificación Económica:

Esta investigación es necesaria porque busca disminuir los altos costos derivados del consumo eléctrico ocasionado por arranques ineficientes de motores de inducción. Es pertinente para que la empresa logre un ahorro energético estimado entre 10 % y 20 %, lo cual permitirá mejorar su rentabilidad y reinvertir recursos en innovación tecnológica y capacitación de su personal. En el marco técnico-científico, la elaboración del proyecto permitirá aplicar cálculos de consumo energético, análisis comparativo de métodos de arranque y evaluación del costo-beneficio, con lo cual se obtendrán resultados medibles que respalden la viabilidad económica de la optimización propuesta.

Justificación Ambiental:

El estudio resulta fundamental porque la eficiencia energética es una estrategia clave para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la generación de electricidad. Es

valioso para que la empresa T'PEC contribuya activamente al cumplimiento de los compromisos climáticos nacionales e internacionales, alineándose con el Acuerdo de París y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. De manera técnica-científica, la elaboración del proyecto permitirá cuantificar la disminución de emisiones mediante indicadores energéticos y ambientales, aportando información verificable que sustente la importancia de adoptar tecnologías limpias en la industria.

Justificación Tecnológica:

La investigación es pertinente porque impulsa la adopción de tecnologías modernas de control y monitoreo, como variadores de frecuencia y sistemas de diagnóstico energético. Es crucial para que la empresa incremente el nivel de automatización, prolongue la vida útil de sus motores y reduzca los costos de mantenimiento correctivo, fortaleciendo su sostenibilidad tecnológica e industrial. En lo técnico-científico, la elaboración del presente proyecto permitirá validar experimentalmente el desempeño de variadores de frecuencia y sistemas de monitoreo en condiciones reales de operación, generando resultados replicables en otros entornos industriales.

1.3. Hipótesis

Mediante el análisis del funcionamiento del arranque de un motor de inducción, se contribuirá a la reducción del consumo eléctrico y mejorar el rendimiento operativo del equipo en la empresa T'PEC & CIA S.A.C.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

- Analizar el funcionamiento de arranque de un motor de inducción con el fin de reducir el consumo energético en la empresa T'PEC & CIA S.A.C.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar técnica y energéticamente el funcionamiento del motor de inducción utilizando el sistema de arranque estrella-triángulo ($Y - \Delta$) para analizar su rendimiento energético
- Evaluar el desempeño del motor de inducción mediante la implementación de un variador de frecuencia, analizando su influencia en el consumo energético.
- Comparar el rendimiento energético y operativo del motor de inducción entre ambos métodos de arranque.
- Evaluar y comparar los costos asociados al funcionamiento del motor de inducción en los métodos de arranque estrella-triángulo y con variador de frecuencia.

1.5. Antecedentes de la Investigación

En Chile, Vallejos Ríos (2025) con su investigación “Análisis técnico-económico de motores energéticamente eficientes para sistemas de ventilación en infraestructura hospitalaria”, evaluó el impacto del reemplazo de motores estándar por motores eficientes en sistemas de ventilación hospitalaria, considerando el ahorro energético y la viabilidad económica. Utilizó un enfoque cuantitativo con análisis técnico-económico y mediciones en dos hospitales de Santiago, empleando modelado energético y analizadores de red trifásicos. Los resultados indicaron una reducción promedio del 18,6% en el consumo eléctrico y un período de retorno de inversión menor a 3,5 años. Se concluyó que los motores eficientes son una estrategia técnica y económicamente viable en sistemas críticos y de operación continua, aportando a la toma de decisiones empresariales ya la sostenibilidad operativa.

En Ecuador, Bombon Paredes et al. (2024) con su investigación “Análisis de Eficiencia Eléctrica en motores de 3/4 Hp con bobinado de cobre y aluminio”, compararon el desempeño energético de motores monofásicos de 3/4 HP con devanados de cobre y aluminio. Utilizaron un enfoque experimental en laboratorio, midiendo variables eléctricas y térmicas en dos motores idénticos, empleando instrumentos como multímetro digital y pistola de temperatura. Se observará que el motor con bobinado de cobre presentará mayor eficiencia, menor incremento térmico y menores pérdidas resistivas. Se concluyó que los motores con cobre son más eficientes y duraderos, recomendándose para aplicaciones industriales exigentes y destacando la importancia de optimizar los materiales internos en la eficiencia energética.

En Italia, Gammaidoni et al., (2023) con un estudio titulado “Análisis CFD de un sistema de refrigeración de motor eléctrico IPMSM para aplicaciones automotrices”, buscaron optimizar la eficiencia del sistema de refrigeración de un motor IPMSM mediante simulaciones CFD en

Ansys Fluent, trabajando con modelos validados de motores en automóviles eléctricos. El rediseño de los canales de enfriamiento permitió disminuir la temperatura del estator hasta 20 °C y mejorar la distribución térmica general, aumentando la eficiencia y durabilidad. Concluyeron que el modelado CFD es eficaz para perfeccionar el diseño térmico de motores eléctricos, subrayando la relevancia del control térmico en la optimización energética industrial.

En Colombia, Rodríguez Chacón (2022) con su investigación titulada “Ahorro energético en motores eléctricos y dióxido de carbono utilizando variadores de frecuencia”, analizó el efecto del uso de variadores de frecuencia en el ahorro energético y reducción de emisiones de CO₂ en motores de inducción industriales. El estudio utilizó un método cuantitativo, comparando arranque directo y arranque con variadores mediante medición digital trifásica de consumo en entornos industriales reales. Los variadores lograron disminuir el consumo entre un 12 % y un 30 % y reducir las emisiones asociadas. Se concluyó que implementar variadores es una estrategia efectiva y sostenible para optimizar el uso de energía y reducir costos en la industria.

En España, Sierra Erice (2020) con su investigación titulada “Control de motores de inducción en vehículos eléctricos mediante control escalar y vectorial”, analizó el comportamiento de motores de inducción en vehículos eléctricos bajo control escalar y vectorial, con el propósito de mejorar la eficiencia operativa. Utilizó experimentos y simulaciones en MATLAB/Simulink con bancos de prueba y controladores PWM. Encontró que el control vectorial otorga mayor precisión y eficiencia energética, especialmente ante condiciones variables de carga, superando el desempeño del control escalar tradicional. Concluyó que las estrategias avanzadas de control aumentan el rendimiento y la eficiencia del motor en aplicaciones de movilidad y tracción.

En México, Medina Guzmán (2019) con una investigación titulada “Diseño e implementación de un inversor de frecuencia variable con corrección de factor de potencia para

motores de inducción monofásicos”, diseñó e implementó un inversor de frecuencia variable con corrección de factor de potencia en motores monofásicos domésticos, como compresores herméticos. Se utilizó experimentación controlada con medición en tiempo real de potencia y eficiencia. Los resultados mostraron una reducción del 15 % en consumo energético y una mejora del factor de potencia de 0,82 a 0,98. Se concluye que el uso combinado de variadores de frecuencia y corrección de factor de potencia es viable para aplicaciones domésticas e industriales, mejorando significativamente la eficiencia.

En Ecuador, Pilaquinga Cantuña (2015) con su trabajo “Diseño de un arranque y control de velocidad de un motor de inducción jaula de ardilla (MIJA), que permita optimizar el consumo de energía dentro de un proceso industrial”, desarrolló un sistema automatizado de arranque y control de velocidad para motores de inducción jaula de ardilla usando variadores de frecuencia, para optimizar el consumo energético en procesos industriales. Empleó experimentación con un módulo a escala y comparó métodos de arranque. Los resultados demostraron que el uso de variadores redujo sustancialmente el consumo energético y fue una inversión rentable a largo plazo. Se concluyó que la integración de variadores incrementa la eficiencia, prolonga la vida útil y es una solución efectiva para la optimización de procesos industriales.

En Perú, Detán Gordillo (2022) con su investigación titulada “Implementación de procedimiento de un arranque eficiente del centro pesquero Exalmar para optimizar un 5 % el consumo de energía eléctrica”, propuso un procedimiento eficiente de arranque para motores de sistemas de bombeo en el centro pesquero Exalmar a fin de reducir el consumo energético. Aplicó un diseño preexperimental midiendo el consumo antes y después del procedimiento con un medidor digital trifásico. La estrategia permitió reducir el consumo un 5,2 %, disminuir picos de corriente y mejorar la eficiencia operativa. Se concluye que el procedimiento es replicable en otras instalaciones industriales, brindando mejoras sin requerir grandes inversiones.

En Perú, Mallma Dolorier (2019) con su trabajo “Optimización del funcionamiento de motor de inducción en niveles de baja tensión estándares para el ahorro de energía eléctrica”, buscó determinar el nivel de tensión óptimo para reducir el consumo de motores de inducción en procesos industriales, utilizando un método experimental con medición en un motor de 7.5 HP operando a distintas tensiones. Se encontró que operar a 220 V mejoraba la eficiencia y permitía un ahorro energético de hasta el 10 %. Concluyó que ajustar la tensión de alimentación según estándares puede optimizar el rendimiento y reducir el consumo en instalaciones industriales.

En Perú, Calcina Sotelo (2016) con su tesis “Optimización del funcionamiento de un motor de inducción para el ahorro de energía eléctrica en el laboratorio UNCP”, mejoró el rendimiento y el ahorro energético de un motor asíncrono jaula de ardilla mediante el uso de un variador de frecuencia, usando experimentos en laboratorio y comparando diferentes modos de arranque y operación. Se observará un ahorro promedio de 0.0143 kWh por hora y una vida útil mayor para el motor con la incorporación del variador. Se concluye que el arranque controlado mediante variadores reduce el consumo y los costos de mantenimiento, siendo técnicamente y económicamente viable para la industria.

En Perú, Pacheco Salazar (2014) con su investigación “Estudio comparativo de ahorro energético en motores eléctricos de 440 V aplicado a una planta de procesos de una refinería de petróleo”, realizó un análisis comparativo de estrategias para el ahorro y la optimización energética en motores trifásicos de 440 V en una refinería de petróleo, empleando diagnóstico y medición de parámetros eléctricos en campo. La implementación de mantenimiento preventivo, redimensionamiento y variadores permitió ahorros del 10 % al 15 % y mejoró el factor de potencia. Se concluyó que el control adecuado del arranque y operación de motores es una alternativa rentable para aumentar la productividad y reducir las pérdidas en la industria.

1.6. Marco teórico

1.6.1. Motor de Inducción Trifásico

El motor de inducción trifásico, también conocido como motor asíncrono, es una máquina eléctrica rotativa que convierte energía eléctrica en energía mecánica mediante el principio de inducción electromagnética. Su estator genera un campo magnético rotatorio al ser alimentado con corriente alterna trifásica, el cual induce corrientes en el rotor tipo jaula de ardilla, produciendo un par electromagnético que hace girar al eje (Chapman, 2012). Este tipo de motor es el más utilizado en la industria debido a su construcción robusta, bajo costo de mantenimiento y alta confiabilidad operativa (Fitzgerald et al., 2013).

1.6.2. Métodos de Arranque en Motores de Inducción

Una de las principales limitaciones operativas del motor de inducción es su elevada corriente de arranque, que puede alcanzar valores de 5 a 8 veces la corriente nominal. Este fenómeno se produce porque, al momento del encendido, el rotor se encuentra en reposo y el deslizamiento es igual a la unidad, lo que genera una alta corriente inducida en el rotor y, en consecuencia, una elevada corriente de línea (Guru & Hiziroglu, 2018). Esta situación puede provocar caídas de tensión en la red eléctrica, afectar el funcionamiento de otros equipos conectados y generar esfuerzos mecánicos excesivos en el motor y la carga acoplada.

Para mitigar estos efectos, se han desarrollado diversos métodos de arranque, los cuales se clasifican en métodos de tensión plena y métodos de tensión reducida.

1.6.2.1. Arranque Estrella-Triángulo (Y- Δ)

El arranque estrella-triángulo es un método de tensión reducida empleado para disminuir la corriente de arranque en motores de inducción cuyos devanados están diseñados para operar en delta durante el régimen permanente. Durante el arranque, los devanados se conectan en estrella

(Y), lo que reduce la tensión aplicada a cada fase al 57.7% de la tensión nominal, disminuyendo la corriente de arranque a aproximadamente un tercio de la corriente que se presentaría con un arranque directo en delta. Transcurrido un tiempo preestablecido (generalmente cuando el motor alcanza el 80% de su velocidad nominal), los devanados se conmutan a conexión triángulo (Δ) para la operación normal (Kothari & Nagrath, 2018). Este método es económico, pero presenta limitaciones en aplicaciones con cargas que requieren un par de arranque elevado.

1.6.2.2. Variador de Frecuencia (VFD)

El variador de frecuencia es un dispositivo electrónico de potencia que permite regular la velocidad de los motores de inducción mediante el control simultáneo de la frecuencia y la tensión de alimentación, manteniendo una relación constante V/f para preservar el flujo magnético del motor y evitar su saturación (Rashid, 2015). Su principio de funcionamiento se basa en tres etapas: rectificación (conversión de CA a CC), filtrado (alisamiento de la tensión continua) e inversión (conversión de CC a CA con frecuencia y tensión variables mediante modulación por ancho de pulso PWM). Esta tecnología permite un arranque suave con corrientes cercanas a la nominal, un control preciso de velocidad y un ahorro energético significativo, especialmente en aplicaciones con cargas de par variable como bombas centrífugas y ventiladores (Mohan et al., 2003).

1.6.3. Parámetros Eléctricos Fundamentales

1.6.3.1. Consumo Energético

El consumo energético se define como la cantidad de energía eléctrica utilizada por un equipo o sistema durante un intervalo de tiempo determinado, expresada en kilovatios-hora (kWh). Para un motor trifásico, el consumo energético se calcula a partir de la potencia activa consumida y el tiempo de operación mediante la siguiente expresión (Guru & Hiziroglu, 2018):

Donde:

$$E = P * t \text{ --- Ecuación 1}$$

Donde:

- E: Energía consumida (kWh).
- P: Potencia activa en la etapa estrella (kW).
- t: Tiempo de arranque en horas.

1.6.3.2. Potencia Activa, Reactiva y Aparente

En los sistemas eléctricos de corriente alterna trifásica, se distinguen tres tipos de potencia (Chapman, 2012):

- Potencia activa (P): Es la potencia que realmente se convierte en trabajo útil (calor, luz, movimiento). Se expresa en kilovatios (kW) y se calcula como:

$$P = \sqrt{3} * V * I * \cos(\phi) \text{ --- Ecuación 2}$$

- Potencia reactiva (Q): Es la potencia necesaria para crear y mantener los campos magnéticos (como los que requiere el motor de inducción). No produce trabajo útil, pero es indispensable para el funcionamiento de equipos inductivos. Se expresa en kilovoltamperios reactivos (kVAR).

$$Q = \sqrt{3} * V * I * \sin(\phi) \text{ --- Ecuación 3}$$

- Potencia aparente (S): Es la potencia total que la red eléctrica suministra a un equipo, resultante de la combinación vectorial de la potencia activa y la potencia reactiva. Se expresa en kilovoltamperios (kVA).

$$S = \sqrt{3} * V * I \text{ --- Ecuación 4}$$

1.6.3.3. Factor de Potencia

El factor de potencia (FP) es un indicador de la eficiencia con la que se utiliza la energía eléctrica en un sistema, definido como el coseno del ángulo de fase (ϕ) entre la tensión y la

corriente $\cos(\emptyset)$. Representa la relación entre la potencia activa (útil) y la potencia aparente (total suministrada). En motores de inducción, el factor de potencia varía con la carga: es bajo en vacío (0.15 - 0.25) debido a que la corriente de magnetización predomina sobre la componente activa, y aumenta a medida que la carga se incrementa, alcanzando valores de 0.75 a 0.90 a plena carga (Fitzgerald et al., 2013). Un factor de potencia bajo genera penalizaciones económicas por parte de las empresas distribuidoras de electricidad y origina mayores pérdidas en las redes de transmisión y distribución.

1.6.3.4.Eficiencia Energética

La eficiencia energética en un motor de inducción se define como la relación entre la potencia mecánica útil entregada en el eje y la potencia eléctrica activa consumida de la red, expresada como porcentaje (Guru & Hiziroglu, 2018):

$$\eta = \frac{P_{mec}}{P_{sléc}} * 100\% \text{ --- Ecuación 5}$$

Las pérdidas que reducen la eficiencia comprenden: pérdidas en el cobre del estator y rotor (efecto Joule), pérdidas en el hierro (histéresis y corrientes de Foucault), pérdidas mecánicas (rozamiento en rodamientos y ventilación) y pérdidas adicionales por carga (Kothari & Nagrath, 2018). La mejora de la eficiencia energética constituye una estrategia clave para reducir el consumo eléctrico, disminuir los costos operativos y mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero.

1.6.3.5.Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI)

El Periodo de Recuperación de la Inversión es un indicador económico que mide el tiempo necesario para que los ahorros generados por una inversión iguallen el monto invertido inicialmente (Blank & Tarquin, 2018). Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$PRI = \frac{\text{Inversión inicial diferencial}}{\text{Ahorro económico anual}} \text{ --- Ecuación 6}$$

Donde:

- La inversión inicial diferencial representa la diferencia de costo entre la tecnología propuesta (variador de frecuencia) y la tecnología existente (arranque estrella-triángulo).
- El ahorro económico anual corresponde a la reducción en el costo operativo (principalmente por menor consumo energético) lograda con la nueva tecnología.

Un PRI más bajo indica una recuperación más rápida de la inversión y, por tanto, una mayor viabilidad económica del proyecto.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Objeto de Estudio

El objeto de estudio del proyecto es el motor de inducción trifásico de 1 HP instalado en la empresa T'PEC & CIA S.A.C., específicamente su proceso de arranque y funcionamiento operativo bajo diferentes esquemas de control (arranque directo, estrella-triángulo y variador de frecuencia), enfocado en analizar, optimizar y comparar su comportamiento energético, la reducción del consumo eléctrico y la mejora del rendimiento técnico y económico en la línea de producción.

2.2. Ubicación del Área de Estudio

Figura 1

Ubicación de la empresa T'PEC & CIA S.A.C.



Nota. Fuente: Google Earth. Pasaje Utcubamba N°316 - Jaén

2.3. Materiales

a) Multímetro:

Instrumento portátil de medición eléctrica que permite registrar valores de tensión, corriente, resistencia y continuidad en el motor y su sistema de alimentación. Esencial para verificar parámetros nominales, detectar anomalías y validar condiciones de operación durante los ensayos de arranque y funcionamiento.

b) Pinza amperimétrica:

Dispositivo de medición electrónica diseñado para medir la corriente eléctrica directa en los conductores del motor sin necesidad de desconexión, mediante el principio de inducción magnética. Es muy útil para registrar la corriente de arranque y la corriente en régimen permanente de manera rápida y segura durante pruebas en campo.

c) Software CADe Simu versión V4.0:

Herramienta computacional interactiva que facilita la simulación gráfica de circuitos eléctricos industriales, incluyendo esquemas de control y fuerza para motores eléctricos. Permite modelar y analizar las diferentes estrategias de arranque (directo, estrella-triángulo, variador de frecuencia) y visualizar el comportamiento esperado de los parámetros eléctricos en cada escenario, apoyando la toma de decisiones técnicas.

d) Excel:

Plataforma de hojas de cálculo utilizada para organizar, procesar y analizar los datos obtenidos de las mediciones y simulaciones. Facilita la tabulación de resultados, la elaboración de gráficos comparativos y el cálculo de indicadores como energía consumida, porcentaje de ahorro, factor de potencia y retorno de inversión para cada método evaluado en el proyecto.

e) Placa del motor de inducción:

Elemento físico adherido al cuerpo del motor que contiene la información técnica esencial del equipo: potencia nominal, tensión de operación, frecuencia, factor de potencia, eficiencia, corriente máxima y modelo. Es la referencia principal para configurar correctamente los parámetros de simulación y para efectuar comparaciones fiables entre los métodos de arranque y los resultados energéticos reales.

2.4. Población, Muestra y Muestreo

2.4.1. Población

La población de este estudio está conformada por todos los motores de inducción trifásicos en operación dentro de la empresa T'PEC & CIA S.A.C., ubicada en Jaén, Cajamarca.

2.4.2. Muestra

La muestra está conformada por un motor de inducción trifásico de 1HP instalado en una de las líneas de producción de la empresa T'PEC & CIA S.A.C.

2.4.3. Muestreo

Lo que hemos considerado es el muestreo no probabilístico por juicio, ya que al seleccionar un solo un motor de una población que contiene múltiples motores.

2.5. Metodología de la Investigación

2.5.1. Tipo de Investigación

El presente proyecto corresponde a una investigación aplicada, pues su propósito es resolver un problema técnico real, optimizando el proceso de arranque de motores de inducción en instalaciones industriales (Vallejos Ríos, 2025). Este tipo de investigación es común en estudios sobre eficiencia energética en el ámbito productivo (Bombon Paredes et al., 2024), y permite generar resultados útiles para la toma de decisiones empresariales en la gestión de recursos energéticos (Detán Gordillo, 2022).

2.5.2. Enfoque de Estudio

El enfoque del estudio es cuantitativo, ya que se basa en la obtención y análisis de datos eléctricos, energéticos y operativos registrados mediante instrumentos de medición en campo y simulaciones computacionales (Gammaidoni et al., 2023). Este enfoque es ampliamente utilizado en investigaciones relacionadas con el impacto de soluciones tecnológicas en motores eléctricos

(Rodríguez Chacón, 2022), facilitando la comparación objetiva de indicadores de desempeño antes y después de la aplicación de mejoras (Pacheco Salazar, 2014).

2.5.3. Diseño de Investigación

El diseño de la investigación es preexperimental y comparativo, pues se analiza una situación inicial (sin mejoras) y posteriormente se implementa una intervención tecnológica para después comparar sus efectos sobre los parámetros eléctricos y energéticos (Medina Guzmán, 2019). Este diseño permite la observación directa de los resultados derivados de la aplicación de procedimientos de optimización en motores industriales (Mallma Dolorier, 2019).

2.5.4. Método de Investigación

El método empleado combina el análisis técnico y evaluativo con la simulación y la medición directa en campo, permitiendo verificar cuantitativamente el impacto de las tecnologías de control energético implementadas (Calcina Sotelo, 2016). Según los referentes metodológicos en el área, se integra la experimentación controlada y el monitoreo de variables en tiempo real como parte esencial del proceso de investigación (Pilaquinga Cantuña, 2015; Sierra Erice, 2020).

2.5.5. Método

El método lógico utilizado es el método deductivo, el cual parte de principios generales sobre eficiencia energética en motores de inducción avalados por la teoría y estudios previos para analizar un caso particular dentro de la empresa T'PEC y Compañía Sociedad Anónima Cerrada. A partir de estos conocimientos, se infiere que la aplicación de variadores de frecuencia y estrategias de monitoreo puede reducir el consumo energético del motor, hipótesis que será verificada mediante la contrastación empírica.

De acuerdo con (Hernández Sampieri et al., 2014) el método deductivo permite pasar de lo general a lo particular, aplicando leyes o teorías ya establecidas a situaciones concretas, lo que resulta adecuado en investigaciones aplicadas como la presente.

2.6. Técnicas

a) Fichas de recolección de datos:

Instrumentos estructurados donde se registran de forma ordenada los valores medidos del motor (corriente de arranque, corriente nominal, tensión, factor de potencia, horas de operación, temperatura), así como datos de la instalación y del equipo, permitiendo disponer de una base cuantitativa para el análisis técnico y energético del arranque.

b) Observación visual:

Técnica mediante la cual se inspecciona directamente el motor, tablero de control y condiciones de instalación (estado de cables, protecciones, ventilación, ruidos o vibraciones anómalas) durante los arranques y la operación, con el fin de identificar problemas prácticos que puedan influir en el consumo energético y en el desempeño del sistema.

c) Investigación documental:

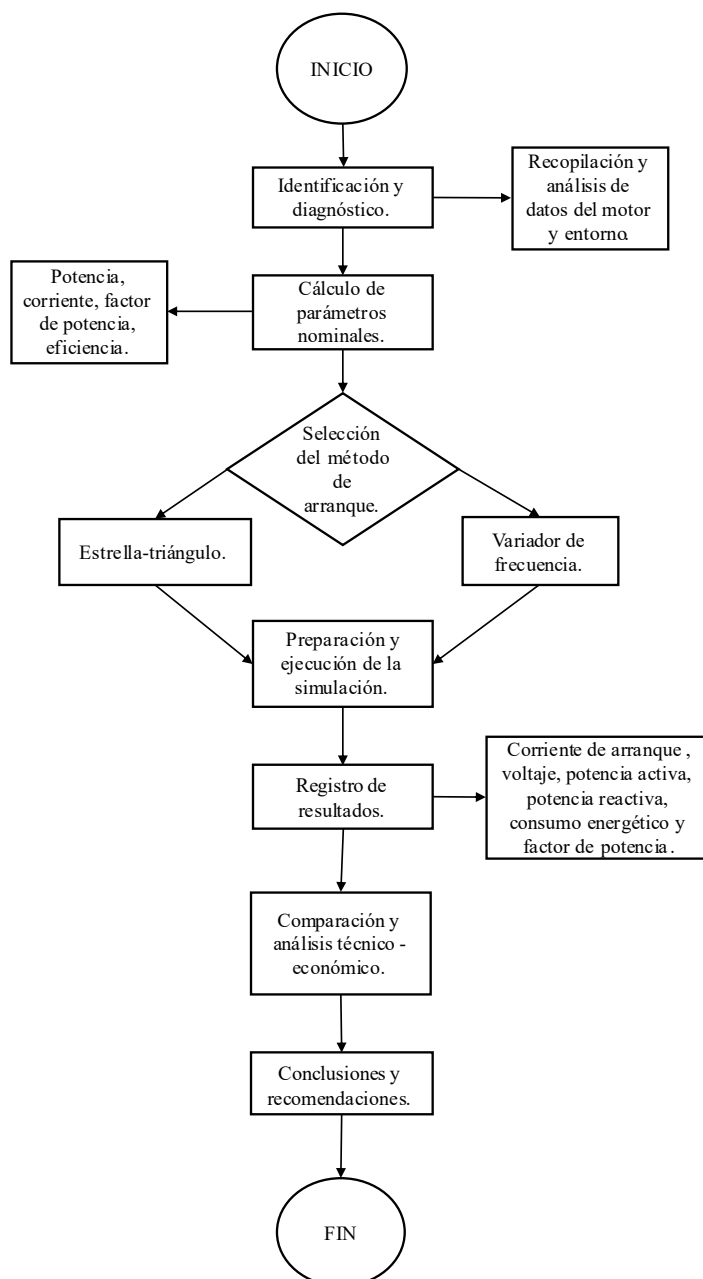
Revisión y análisis de normas técnicas, manuales de fabricantes, artículos científicos y tesis sobre eficiencia energética y métodos de arranque en motores de inducción, que sirven para fundamentar teóricamente el proyecto, definir criterios de comparación y respaldar las propuestas de mejora en el sistema de arranque y control del motor.

2.7. Procedimiento

En figura 2 se muestran los procedimientos que se realizó durante el desarrollo de la investigación.

Figura 2

Diagrama de flujo del procedimiento de investigación



Nota. Elaboración propia.

Para la realización de la investigación se realizaron los siguientes procedimientos:

Etapla 1: Caracterizar técnica y energéticamente el funcionamiento del motor de inducción utilizando el sistema de arranque estrella-triángulo ($Y - \Delta$) para analizar su rendimiento energético

Tabla 1

Pasos del primer objetivo

Paso	Actividad	Instrumentos / Técnicas
1	Instalación y Configuración	Se instalo un sensor eléctricos de un tiempo de arranque de 10 segundos para el arranque estrella (Y) y luego de los 10 segundos pasara al arranque triangulo (Δ). Luego con la pinza amperimétrica y un multímetro se procedio a la adquisicion de datos. Se registraron los siguientes parámetros clave del motor en su configuración actual de arranque Y-Δ: ➤ Corriente de arranque ➤ Voltaje ➤ Factor de potencia
2	Registro de Parámetros	Obtenidos estos datos se procedio a obtener los siguientes parametros: ➤ Potencia activa ➤ Potencia reactiva ➤ Energía consumida (kWh)
3	Establecimiento de la Línea Base	Las mediciones se efectuaron en distintos momentos del día y bajo condiciones reales de carga para asegurar representatividad de los datos

Nota. Elaboración propia.

Etapla 2: Evaluar el desempeño del motor de inducción mediante la implementación de un variador de frecuencia, analizando su influencia en el consumo energético

Tabla 2*Pasos del segundo objetivo*

Paso	Actividad	Instrumentos / Técnicas
1	Implementación del VFD	Se instalo un variador de frecuencia, configurándolo según las especificaciones del motor y el perfil operativo de la carga
2	Programación Operativa	Se programo las rampas de aceleración y desaceleración para optimizar el consumo energético, disminuir la corriente de arranque y mejorar el factor de potencia.
3	Registro Post-Implementación	Se realizo pruebas controladas de un arranque de 10 segundos para registrar exactamente los mismos parámetros eléctricos de la Etapa 1 (corriente, voltaje, potencia, F.P. y energia consumida), asegurando condiciones comparables.

Nota. Elaboración propia.

Etapas 3: Comparar el rendimiento energético y operativo del motor de inducción entre ambos métodos de arranque.

Tabla 3*Pasos del tercer objetivo*

Paso	Actividad	Instrumentos / Técnicas
1	Procesamiento de Datos	Se utilizo software del excel para procesar y visualizar los datos recolectados en la Etapa 1 (Y- Δ) y la Etapa 2 (VFD). Se calculo y comparo los siguientes indicadores:
2	Cálculo de Indicadores	➤ Ahorro porcentual de energía ➤ Disminución de la corriente de arranque ➤ Mejora del factor de potencia ➤ Eficiencia operativa general
3	Análisis Comparativo	Se efectuo el análisis comparativo entre el arranque Y- Δ y el arranque con VFD para identificar cuál ofrece el mayor rendimiento energético.

Nota. Elaboración propia.

Etapla 4: Evaluar y comparar los costos asociados al funcionamiento del motor de inducción en los métodos de arranque estrella-triángulo y con variador de frecuencia.

Tabla 4

Pasos del cuarto objetivo

Paso	Actividad	Instrumentos / Técnicas
1	Estimación de Costos	Se estimaron los costos de: ➤ Inversión (compra del VFD) ➤ Instalación ➤ Mantenimiento del variador de frecuencia.
2	Cálculo de Ahorros	Se cuantifico los ahorros energéticos obtenidos en términos monetarios.
3	Análisis de Viabilidad Económica	Se calculo el Periodo de Retorno de la Inversión (PRI) para el VFD y se analizo los beneficios económicos a mediano y largo plazo.

Nota. Elaboración propia.

III. RESULTADOS

3.1. O.E.1: Caracterización técnica y energética del funcionamiento del motor de inducción utilizando el sistema de arranque estrella-triángulo (Y- Δ).

Se realizó la caracterización del motor de inducción trifásico de 1 HP (380 V) durante su operación con el sistema de arranque estrella-triángulo. Durante el arranque, la conexión estrella (Y) es transitoria y dura únicamente los 10 segundos del arranque, tiempo necesario para que el motor reduzca su corriente de pico y alcance una velocidad cercana a la nominal antes de conmutar a triángulo (Chapman, 2012). En contraste, la conexión triángulo (Δ) corresponde al régimen permanente del motor, por lo que su consumo se calcula proyectado a 1 hora, que es la unidad estándar para la facturación eléctrica y el análisis energético (Guru & Hizioglu, 2018).

Por lo tanto, el tiempo de 10 segundos no es arbitrario, sino que responde a la dinámica del arranque, mientras que el tiempo de 1 hora para la etapa triángulo corresponde a la operación estable del motor.

3.1.1. Parámetros eléctricos durante el arranque estrella-triángulo.

Las mediciones se realizaron con una pinza amperimétrica y un multímetro, registrando la corriente y el voltaje durante las etapas de arranque. En la Figura 16 se muestra una comparación visual de la señal de corriente durante el arranque.

3.1.2. Descripción de los parámetros eléctricos en el arranque Y-Δ.

Se evaluaron los parámetros de potencia activa, potencia reactiva y consumo energético. En la Tabla 5 se detallan los valores obtenidos durante las pruebas.

Tabla 5

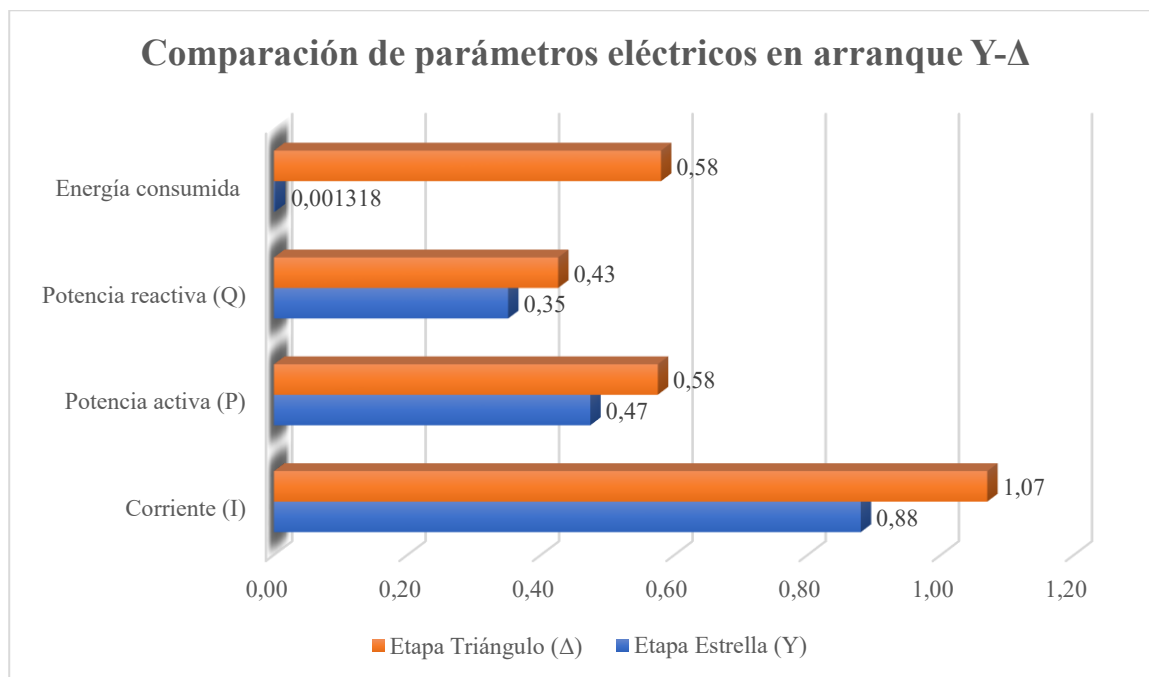
Parámetros eléctricos del motor con arranque estrella-triángulo.

Parámetro	Unidad	Etapla Estrella (Y)	Etapla Triángulo (Δ)
Corriente (I)	A	0.88	1.07
Potencia activa (P)	kW	0.47	0.58
Potencia reactiva (Q)	kVAR	0.39	0.48
Voltaje de línea (V)	V	403.90	403.90
Factor de Potencia (FP)	-	0.77	0.77
Energía consumida	kWh	0.001318	0.58

Nota. El valor de 0.58 kWh corresponde al consumo por hora en régimen permanente, y el de 0.00131 kWh al consumo durante los 10 segundos de arranque. Fuente: Elaboración propia

Figura 3

Comparación de parámetros eléctricos en arranque Y-Δ



Nota. Elaboración propia

3.1.3. Cálculo de la Potencia Activa (P)

Para determinar la energía consumida durante el arranque, se calculó primero la potencia activa utilizando la ecuación 2:

$$P = \sqrt{3} * V * I * \cos(\phi)$$

Donde:

- **P:** Potencia activa (kW).
- **V:** Voltaje de línea (403.9 V).
- **I:** Corriente de línea (A).
- **cos(φ):** Factor de potencia (FP).

Reemplazando los valores de la etapa estrella en la **Ecuación 2:**

$$P_Y = \sqrt{3} * 403.9 * 0.88 * 0.77 = 0.47kW$$

Reemplazando los valores de la etapa triángulo en la **Ecuación 2:**

$$P_{\Delta} = \sqrt{3} * 403.9 * 1.07 * 0.77 = 0.58kW$$

3.1.4. Cálculo de la Potencia Reactiva (Q)

Para determinar la energía consumida durante el arranque, se calculó primero la potencia activa utilizando la ecuación 3:

$$Q = \sqrt{3} * V * I * \sin(\phi)$$

Donde:

- **Q:** Potencia reactiva (kVAR).
- **V:** Voltaje de línea (403.9 V).
- **I:** Corriente de línea (A).
- **sin(φ):** Seno del ángulo de fase $\sqrt{1 - FP^2}$.

Para calcular la potencia reactiva (Q), se requiere el seno del ángulo de fase (sin(φ)). Este valor se calcula a partir del factor de potencia (FP) medido, el cual es de 0.77. El factor de potencia es el coseno del ángulo (cos(φ)), por lo que el ángulo φ se determina de la siguiente manera:

$$\phi = \arccos(FP)$$

Para un FP de 0.77:

$$\phi = \arccos(0.77) = 39.65^\circ$$

$$\sin(39.65^\circ) = 0.64$$

Por lo tanto, el valor de 0.64 no es un factor de potencia, sino el seno del ángulo (sin(φ)), derivado del factor de potencia de 0.77 medido en campo. Este procedimiento es estándar en los cálculos de potencia en sistemas trifásicos (Chapman, 2012; Fitzgerald et al., 2013).

Reemplazando los valores de la etapa estrella en la **Ecuación 3:**

$$Q_Y = \sqrt{3} * 403.9 * 0.88 * 0.64 = 0.39kW$$

Reemplazando los valores de la etapa triángulo en la **Ecuación 3:**

$$Q_{\Delta} = \sqrt{3} * 403.9 * 1.07 * 0.64 = 0.48kW$$

3.1.1. Cálculo de la energía consumida en la Etapa Estrella (Y).

La energía consumida durante el tiempo de arranque ($t = 10s = 0.00278h$) se calculó con la ecuación 1:

$$E = P * t$$

Donde:

- E: Energía consumida (kWh).
- P: Potencia activa en la etapa estrella (0.47 kW).
- t: Tiempo de arranque en horas ($10s = 0.00278h$).

Reemplazando los datos en la **Ecuación 1:**

$$E = 0.47kW * 0.00278h = 0.00131kWh$$

La energía consumida durante el proceso de arranque de 10 segundos en configuración estrella fue de 0.00131 kWh.

3.1.2. Cálculo de la energía consumida en la Etapa Triángulo (Δ).

La energía por hora consumida se calculó con la ecuación 1:

$$E = P * 1h$$

Donde:

- E: Energía consumida (kWh).
- P: Potencia activa en la etapa triángulo (0.58 kW).
- h: Consumo por hora operado (1h).

Reemplazando los datos en la **Ecuación 1**:

$$E = 0.58kW * 1h = 0.58kWh$$

La energía consumida en configuración triángulo fue de 0.58 kWh.

3.2. O.E.2: Evaluación del desempeño del motor de inducción mediante la implementación de un variador de frecuencia (VFD).

Posteriormente, se implementó un variador de frecuencia, configurándolo con una rampa de 35.2 hz para un arranque controlado, con el objetivo de optimizar el consumo energético y la corriente de arranque.

3.2.1. Parámetros eléctricos del motor con variador de frecuencia.

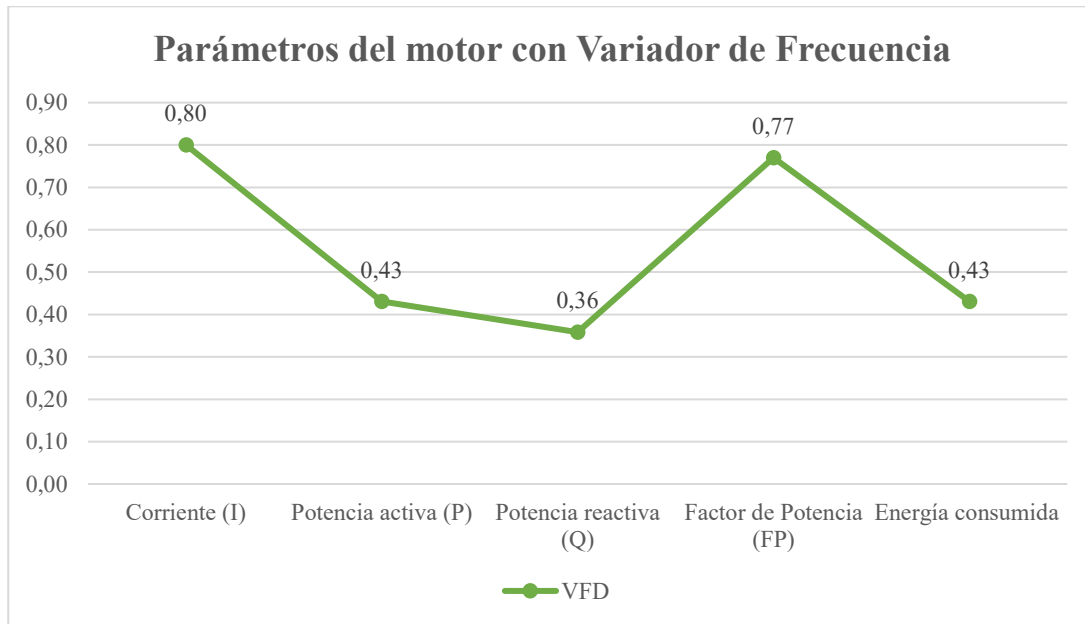
Se registraron los mismos parámetros eléctricos bajo las mismas condiciones de carga. En la Tabla 6 se presentan los resultados obtenidos con el VFD.

Tabla 6

Parámetros eléctricos del motor con arranque mediante variador de frecuencia.

Parámetro	Unidad	VFD
Corriente (I)	A	0.80
Potencia activa (P)	kW	0.43
Potencia reactiva (Q)	kVAR	0.36
Voltaje de línea (V)	V	403.90
Factor de Potencia (FP)	-	0.77
Energía consumida	kWh	0.43

Nota. Elaboración propia.

Figura 4*Parámetros del motor con Variador de Frecuencia**Nota.* Elaboración propia.**3.2.2. Cálculo de potencias con VFD.**

Aplicando la misma **Ecuación 2** para la potencia activa con VFD:

$$P_{VFD} = \sqrt{3} * 403.9 * 0.80 * 0.77 = 0.43kW$$

Aplicando la **Ecuación 3** para la potencia reactiva con VFD:

$$Q_{VFD} = \sqrt{3} * 403.9 * 0.80 * 0.64 = 0.36kVAR$$

3.2.3. Cálculo de la energía consumida con VFD.

Para la operación en régimen permanente, la energía consumida por hora de funcionamiento es:

Aplicando la **Ecuación 1** para la energía consumida:

$$E = 0.43kW * 1h = 0.43kWh$$

La energía consumida en configuración triángulo fue de 0.43 kWh.

3.3. O.E.3: Comparación del rendimiento energético y operativo del motor entre ambos métodos de arranque.

Se realizó un análisis comparativo de los datos obtenidos en las etapas previas para determinar el método con mayor rendimiento energético.

3.3.1. Análisis comparativo de indicadores.

En la Tabla 7 se consolidan y comparan los principales indicadores de rendimiento para los dos métodos de arranque evaluados.

Tabla 7

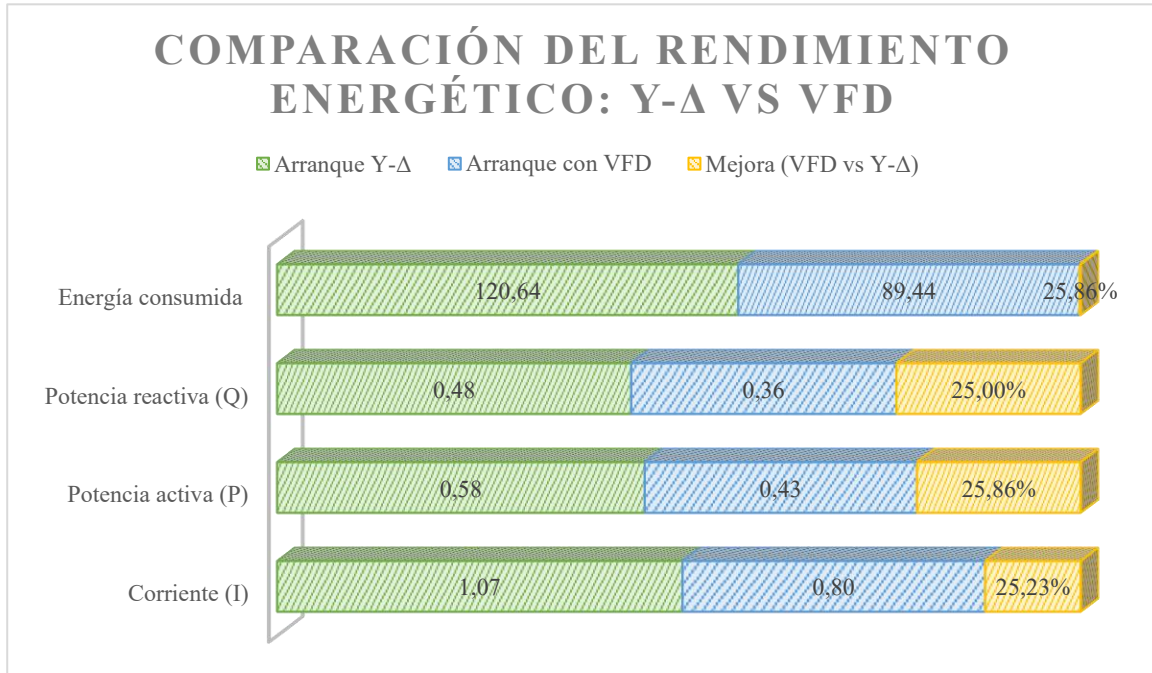
Comparación del rendimiento energético entre el arranque Y- Δ y con variador de frecuencia.

Indicador	Unidad	Arranque Y- Δ	Arranque con VFD	Mejora (VFD vs Y- Δ)
Corriente (I)	A	1.07	0.80	25.23%
Potencia activa (P)	kW	0.58	0.43	25.86%
Potencia reactiva (Q)	kVAR	0.48	0.36	25.00%
Voltaje de línea (V)	V	403.9	403.9	0.00%
Factor de Potencia (FP)	-	0.77	0.77	0.00%
Energía consumida	kWh/mes	120.64	89.44	25.86%

Nota. El consumo mensual se estimó en base a un régimen de operación típico de 8 horas diarias durante 26 días al mes.

Figura 5

Comparación del rendimiento energético: Y-Δ vs VFD



Nota. Elaboración propia.

3.3.2. Cálculo del porcentaje de mejora.

El porcentaje de mejora en el consumo mensual, que valida la hipótesis de la investigación, se calculó mediante la ecuación 6:

$$\%Mejora = \left(\frac{Consumo_{Y-\Delta} - Consumo_{VFD}}{Consumo_{Y-\Delta}} \right) * 100$$

Reemplazando los datos de la Tabla 7 en la **Ecuación 6**:

$$\%Mejora = \left(\frac{120.64 - 89.44}{120.64} \right) * 100 = 25.86\%$$

3.4. O.E.4: Evaluación y comparación de los costos asociados al funcionamiento del motor en ambos métodos de arranque.

Se evaluó la viabilidad económica de la implementación del variador de frecuencia, considerando la inversión inicial y los ahorros generados.

3.4.1. Análisis de costos y ahorros.

En la Tabla 8 se detallan los costos de inversión para la implementación del VFD, así como los ahorros proyectados.

Tabla 8

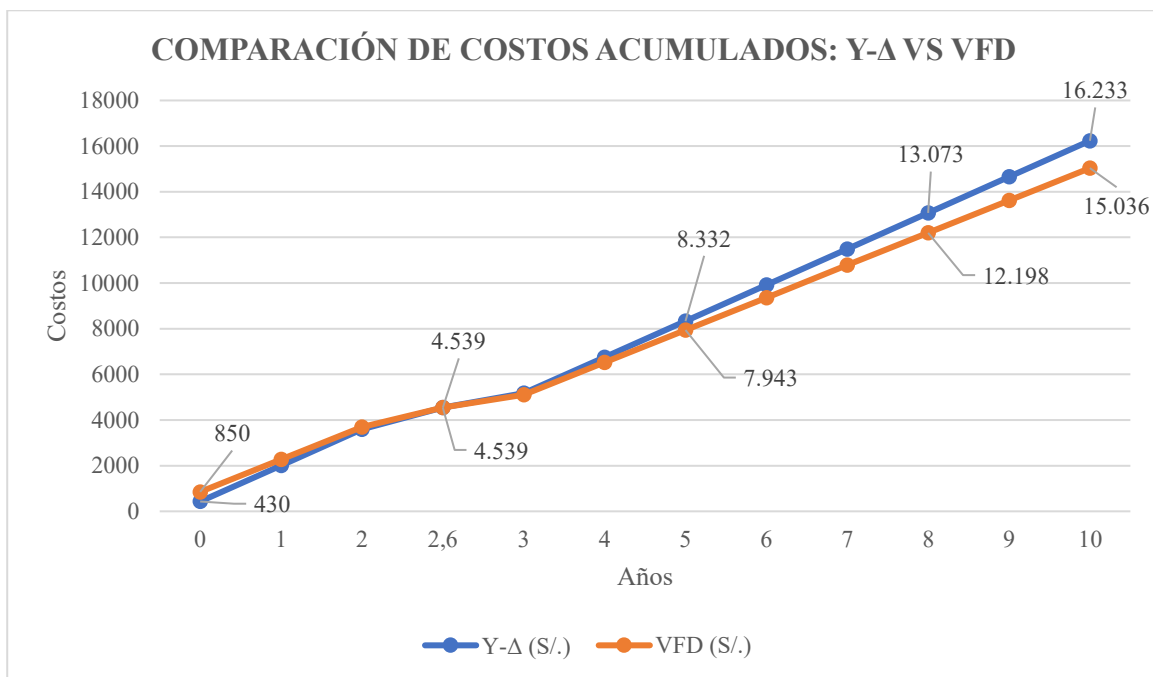
Análisis comparativo de costos: Arranque Y-Δ vs Variador de Frecuencia

Concepto	Unidad	Arranque Y-Δ	Arranque con VFD	Diferencia
COSTOS DE INVERSIÓN				
Equipo de arranque	S/.	250	650	400
Instalación y configuración	S/.	100	150	50
Materiales eléctricos (cables, protecciones)	S/.	80	50	-30
Inversión Inicial Total	S/.	430	850	420
COSTOS DE OPERACIÓN ANUAL				
Consumo energético anual	kWh/año	1447.68	1248	-199.68
Costo de energía (S/ 0.72/kWh)	S/./año	1042.33	898.56	-143.77
Mantenimiento preventivo	S/./año	538	520	-18
Costo Operativo Total Anual	S/./año	1580.33	1418.56	-161.77
INDICADORES ECONÓMICOS				
Ahorro energético anual	kWh/año		199.68	
Ahorro económico anual	S/./año		161.77	
Inversión diferencial	S/.		420	
Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI)	años		2.60	

Nota. Elaboración propia.

Figura 6

Comparación de costos acumulados: Y-Δ vs VFD



Nota. Comparación de costos acumulados durante 10 años.

IV. DISCUSIÓN

- Resulta particularmente interesante contrastar los hallazgos de Vallejos Ríos (2025) en Chile, quien logró una reducción del 18.6% en sistemas de ventilación hospitalaria mediante motores IE3, con el ahorro del 25.86% obtenido en la presente investigación. Esta diferencia evidencia que la implementación de un variador de frecuencia puede ser más efectiva que el simple reemplazo de motores por versiones eficientes, especialmente cuando el perfil de carga es variable. Mientras Vallejos Ríos (2025) invirtió en motores de alta eficiencia manteniendo el método de arranque, el presente estudio demuestra que optimizar el control del motor existente con un VFD no solo

evita el costo de un motor nuevo, sino que además logra un ahorro superior (25.86% vs. 18.6%) y un periodo de recuperación más corto (2.6 años vs. 3.5 años), validando la superioridad del control electrónico sobre la simple sustitución de equipos.

- Un enfoque complementario al presente estudio proviene de Bombon Paredes et al. (2024) en Ecuador, quienes demostraron que los motores con bobinado de cobre son más eficientes que los de aluminio. En esta investigación, el motor analizado (con bobinado de cobre según su placa) alcanzó un factor de potencia de 0.77 con arranque Y- Δ , el cual mejoró indirectamente al reducir la corriente de 1.07 A a 0.80 A mediante el VFD. Lo fascinante de esta comparación es que ambos caminos, mejorar el material del bobinado (Bombon Paredes et al., 2024) o implementar un VFD (presente estudio), conducen a una mayor eficiencia, pero el VFD tiene la ventaja adicional de adaptarse dinámicamente a las variaciones de carga.
- Una perspectiva innovadora es la aportada por Gammaidoni et al. (2023) en Italia, quienes mediante simulaciones CFD lograron reducir la temperatura del estator en 20 °C. En la presente investigación, aunque no se midió directamente la temperatura, la reducción de corriente del 25.23% (de 1.07 A a 0.80 A) implica necesariamente menores pérdidas por efecto Joule ($P=I^2R$), lo que se traduce en una menor generación de calor en los devanados. Este paralelismo sugiere que una combinación de ambas estrategias (rediseño térmico y control electrónico) podría maximizar la durabilidad y eficiencia de los motores industriales.

- En sintonía con los resultados de Rodríguez Chacón (2022) en Colombia, quien reportó reducciones de consumo entre el 12% y el 30% mediante VFD, el presente estudio obtuvo un ahorro del 25.86%, ubicándose cómodamente dentro de ese rango. Esta coincidencia, en contextos latinoamericanos similares, fortalece la validez externa de los hallazgos y sugiere que los beneficios observados son replicables en otros países de la región.
- Un hallazgo que invita a la reflexión es el de Sierra Erice (2020) en España, quien demostró que el control vectorial supera en eficiencia al control escalar (V/f constante) en motores de inducción. El presente estudio utilizó un VFD con control escalar, alcanzando un ahorro del 25.86%. La pregunta que surge es: ¿cuánto mayor podría haber sido el ahorro con un VFD de control vectorial? Esta interrogante abre una emocionante oportunidad para futuras investigaciones.
- Una discrepancia especialmente ilustrativa se presenta al comparar el presente estudio con el de Medina Guzmán (2019) en México, quien diseñó un VFD con corrección activa de factor de potencia, logrando mejorar el FP de 0.82 a 0.98 y reducir el consumo en un 15%. En contraste, el VFD estándar utilizado en esta investigación mantuvo el FP en 0.77. Esta diferencia no es una debilidad, sino una lección valiosa: la corrección del factor de potencia no es automática al instalar cualquier VFD. Para la empresa T'PEC & CIA S.A.C., esta comparación sugiere que la próxima inversión debería orientarse a un VFD con corrección activa de FP o a la instalación de un banco de capacitores complementario.

- La confirmación más directa de los hallazgos proviene de Pilaquina Cantuña (2015) en Ecuador, quien, al igual que el presente estudio, comparó los métodos de arranque y concluyó que el arranque con VFD reduce significativamente el consumo energético y que la inversión resulta rentable a largo plazo. Esta convergencia entre un entorno controlado (Pilaquina Cantuña, 2015) y uno industrial real (presente estudio) otorga una robustez metodológica significativa a ambas investigaciones.
- Una comparación que resulta especialmente aleccionadora para la realidad peruana es la que se establece con Detán Gordillo (2022), quien implementó un procedimiento de arranque eficiente sin inversión significativa, logrando un ahorro del 5.2%. El presente estudio, que invirtió S/. 420.00 en un VFD, alcanzó un ahorro del 25.86%. La lección es clara: mientras las medidas de bajo costo son útiles como punto de partida, las inversiones tecnológicas moderadas en VFD generan ahorros sustancialmente mayores.
- Un enfoque alternativo fue explorado por Mallma Dolorier (2019) en Perú, quien ajustando la tensión de alimentación de 440 V a 220 V logró un ahorro del 10%. El presente estudio, operando a 403.9 V, alcanzó un ahorro del 25.86% mediante VFD. El VFD ofrece una ventaja adicional: permite variar la velocidad del motor para adaptarse a la demanda del proceso, algo que un simple ajuste fijo de tensión no puede lograr.
- Una confirmación contundente de la viabilidad del VFD en el contexto peruano proviene de Calcina Sotelo (2016), quien en el laboratorio UNCP encontró un ahorro promedio de 0.0143 kWh por hora de operación. El presente estudio,

realizado en condiciones reales de producción, no solo confirma esa viabilidad, sino que la extiende al demostrar un ahorro mensual del 25.86% y un PRI de 2.6 años en un entorno industrial real.

- Finalmente, Pacheco Salazar (2014) en Perú, en una refinería de petróleo, encontró reducciones de consumo entre el 10% y el 15%. El presente estudio, enfocado en un motor de 1 HP, obtuvo un ahorro del 25.86%. La interpretación es que, en la refinería, los motores ya operaban en condiciones relativamente optimizadas; en cambio, en la empresa T'PEC & CIA S.A.C., las condiciones iniciales eran notablemente ineficientes, lo que permitió que el VFD generara un impacto más visible. Esta comparación enseña que el retorno de la inversión en eficiencia energética es inversamente proporcional al nivel de optimización previo.

En conjunto, la discusión presentada valida la hipótesis de la investigación y demuestra que el uso de variadores de frecuencia es una estrategia técnica y económicamente superior al arranque estrella-triángulo para el caso de estudio, ofreciendo a la empresa T'PEC & CIA S.A.C. una ruta clara hacia la eficiencia energética y la sostenibilidad operativa.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se caracterizó técnica y energéticamente el funcionamiento del motor de inducción de 1 HP utilizando el sistema de arranque estrella-triángulo, determinando que en configuración triángulo (régimen permanente) el motor presenta una corriente de 1.07 A, una potencia activa de 0.58 kW y un factor de potencia de 0.77. Estos valores establecen la línea base de consumo para la operación continua del motor en la empresa T'PEC & CIA S.A.C.
- Se evaluó el desempeño del motor mediante la implementación de un variador de frecuencia, concluyendo que esta tecnología optimiza significativamente el consumo energético. Los resultados demostraron una reducción de la corriente de operación a 0.80 A, una potencia activa de 0.43 kW y un ahorro energético mensual estimado del 25.86% en comparación con el arranque Y- Δ . Estos hallazgos confirman que el VFD ajusta el suministro energético a la demanda real de la carga, maximizando la eficiencia del motor.
- La comparación del rendimiento energético entre ambos métodos de arranque permitió establecer que el variador de frecuencia es superior al arranque estrella-triángulo en términos de eficiencia para la empresa T'PEC & CIA S.A.C. Se logró una mejora del 25.23% en la reducción de la corriente de operación y un ahorro del 25.86% en el consumo energético mensual estimado. Esta evidencia demuestra que la adopción de tecnologías de control avanzado es fundamental para la gestión energética en entornos industriales, pudiendo inferirse que beneficios similares serían obtenidos en otros motores de la planta con perfiles de carga análogos.

- Se evaluaron y compararon los costos asociados al funcionamiento del motor bajo los dos métodos de arranque, determinando la viabilidad económica de la implementación del variador de frecuencia. La inversión inicial de S/. 850.00 se recupera en un periodo de 2.6 años, gracias a un ahorro económico anual de S/. 161.77 derivado de la reducción del consumo energético. Este análisis concluye que, para la población de motores de baja potencia en la empresa, la inversión en VFD es rentable a mediano plazo y contribuye a la sostenibilidad operativa y financiera.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda a la empresa T'PEC & CIA S.A.C. implementar progresivamente variadores de frecuencia en otros motores de su planta, especialmente en aquellos que operan con perfiles de carga variable o ciclos de trabajo intermitentes. Para maximizar el ahorro energético global, se sugiere realizar una auditoría energética previa que permita priorizar los equipos con mayor potencial de mejora, basándose en los indicadores de consumo y horas de operación.
- Para futuras investigaciones, se sugiere ampliar el período de monitoreo post-implementación del VFD con el fin de evaluar el impacto a largo plazo en la vida útil de los componentes mecánicos del motor (rodamientos, sistema de acoplamiento) y en los costos de mantenimiento correctivo. Se recomienda utilizar técnicas de mantenimiento predictivo como el análisis de vibraciones, termografía y análisis de corriente, para correlacionar el desgaste con el ahorro energético acumulado y validar los beneficios intangibles de la tecnología.
- Es recomendable realizar un estudio similar en motores de mayor potencia (superiores a 5 HP) y con diferentes perfiles de carga (bombas centrífugas, ventiladores,

compresores) dentro del mismo sector industrial, para determinar si los porcentajes de ahorro energético y los periodos de retorno de inversión se mantienen, mejoran o varían. Esto permitiría generalizar los beneficios de esta tecnología a otros contextos productivos de la región y desarrollar un modelo de priorización de inversiones en eficiencia energética.

- Dado que los resultados de esta investigación demostraron la viabilidad técnica y económica del VFD, se sugiere a la universidad y a los futuros tesisas explorar líneas de investigación complementarias, como el diseño de sistemas de control más avanzados (control vectorial, control predictivo) o la integración de energías renovables (sistemas fotovoltaicos) para alimentar estos sistemas. El objetivo sería profundizar en la optimización energética y la sostenibilidad industrial, aportando soluciones innovadoras y alineadas con los objetivos de desarrollo sostenible.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Banco Mundial. (2021). *El acceso universal a la energía sostenible seguirá siendo inalcanzable, a menos que se aborden las desigualdades*. Banco Mundial.
<https://documents1.worldbank.org/curated/en/615511640189474271/pdf/Main-Report.pdf>
- Blank, L., & Tarquin, A. (2018). *Ingeniería Económica* (6ª edición). McGraw-Hill.
https://escuelaesam.pe/biblioteca/assets/uploads/libro_689e512b80657.pdf
- Bombon Paredes, J. A., Zapata Villacis, N. R., Mora Murillo, M. F., & Toapanta Galarza, M. Verónica. (2024). *Análisis de Eficiencia Eléctrica en motores de 3/4 Hp con bobinado de cobre y aluminio: Analysis of electrical efficiency in 3/4 Hp motors with copper and aluminum windings*. 5(1), 351-360.
<https://doi.org/10.60100/rcmg.v5i1.200>
- Calcina Sotelo, A. F. (2016). *Optimización del funcionamiento de un motor de inducción para el ahorro de energía eléctrica en el laboratorio UNCP* [Tesis de maestría, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional de la UNCP.
<https://repositorio.uncp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/560a0362-f4bb-4ec9-8cea-67f95f3ea858/content>
- Chapman, S. J. (2012). *Máquinas Eléctricas* (5ª edición). McGraw-Hill.
<https://goo.su/gH3doza>
- Detán Gordillo, S. E. (2022). *Implementación de procedimiento de un arran que eficiente de la planta Pesquera Exalmar, para optimizar el 5% del consumo de energía eléctrica* [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. Repositorio Institucional de la UC. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/12984>

- Fitzgerald, A. E., Kingsley Jr., C., & Stephen D., U. (2013). *Máquinas eléctricas* (6ª edición). McGraw-Hill.
https://www.academia.edu/29572756/MAQUI_AS_EL%C3%89CTRICAS
- Gammaidoni, T., Zembi, J., Battistoni, M., Biscontini, G., & Mariani, A. (2023). CFD Analysis of an Electric Motor's Cooling System: Model Validation and Solutions for Optimization. *Case Studies in Thermal Engineering*, 49, 103349.
<https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.103349>
- Guru, B. S., & Hiziroglu, H. R. (2018). *Máquinas eléctricas y transformadores* (3ª edición). Oxford University Press. <https://archive.org/details/maquinas-electricas-y-transformadores-guru>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2014). *Metodología de la Investigación* (6ª Edición). McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V. <https://goo.su/TMFhA>
- International Energy Agency [IEA]. (2022). *Energy Efficiency 2022* [International Energy Agency]. <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2022#overview>
- Kothari, D. P., & Nagrath, I. J. (2018). *Máquinas eléctricas* (5ª edición). McGraw-Hill Education. <https://lib.hpu.edu.vn/handle/123456789/35700>
- Mallma Dolorier, F. K. (2019). *Optimización del funcionamiento de motor de inducción en niveles de baja tensión estándares para el ahorro de energía eléctrica* [Tesis de licenciatura, Universidad Continental]. Repositorio Institucional de la UC.
https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/6092/2/IV_FIN_109_TI_Mallma_Dolorier_2019.pdf

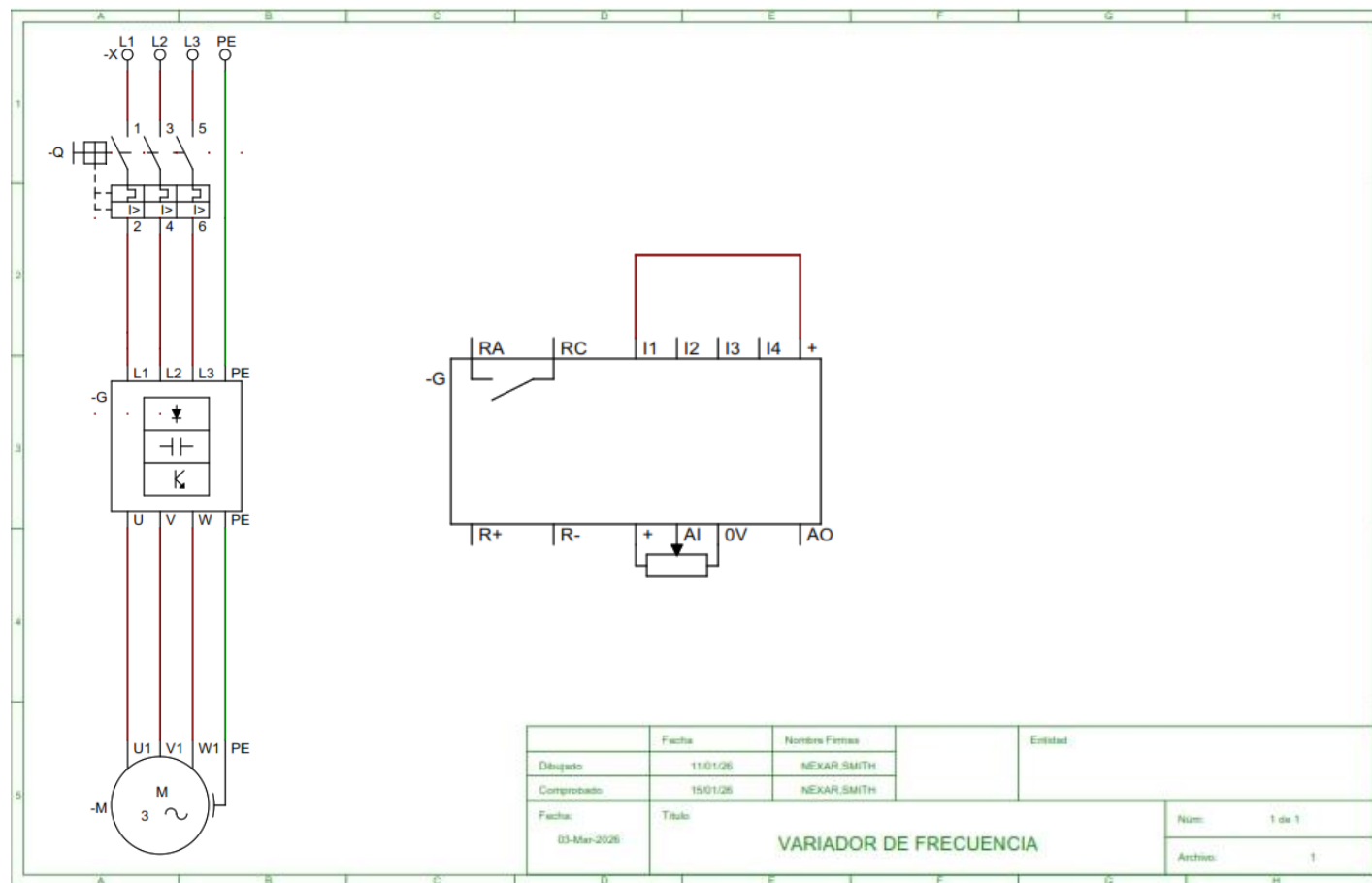
- Medina Guzmán, L. E. (2019). *Diseño e implementación de un inversor de frecuencia variable con corrección de factor de potencia para motores de inducción monofásicos* [Tesis de maestría, Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial]. Repositorio Institucional del CIDESI.
<https://cidesi.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1024/142/1/M-LEMG-2016.pdf>
- Mohan, N., Undeland, T. M., & Robbins, W. P. (2003). *Power electronics: Converters, applications, and design* (3ª Edición). Wiley. <https://goo.su/ZIM8flz>
- Pacheco Salazar, J. F. (2014). *Estudio comparativo de ahorro energético en motore eléctricos de 440V aplicado a una planta de procesos de una refinería de petróleo*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional de la UNI.
https://repositorio.uni.edu.pe/bitstream/20.500.14076/11818/1/pacheco_sf.pdf
- Pilaquinga Cantuña, F. X. (2015). *Diseño de un arranque y control de velocidad de un motor de inducción jaula de ardilla (MIJA), que permita optimizar el consumo de energía dentro de un proceso industrial* [Tesis de grado no publicada, Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. Repositorio Institucional de la UTEQ.
<https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/5dd9f9fb-2580-4869-b48b-08146c051b77/content>
- Rashid, M. H. (2015). *Electrical and Computer Engineering University of West Florida* (4ª Edición). Pearson.
<https://bibliotecadigital.utn.edu.ec/files/original/f1837dfbc333aa351aa5d7ab69d6f522282a7982.pdf>

- Rodríguez Chacón, J. C. (2022). *Ahorro energético en motores eléctricos y dióxido de carbono utilizando variadores de frecuencia*. 13(1), 34-45.
<https://doi.org/10.34893/nkf9-1593>
- Sierra Erice, Á. (2020). *Control de motores de inducción en vehículos eléctricos mediante control escalar y vectorial* [Tesis de grado, Universidad Politécnica de Madrid]. Repositorio Institucional de la UPM.
https://oa.upm.es/62781/1/TFG_ALVARO_SIERRA_ERICE.pdf
- Vallejos Ríos, C. F. (2025). *Análisis técnico-económico de motores energéticamente eficientes para sistemas de ventilación en infraestructura hospitalaria* [Tesis de maestría, Universidad de Chile]. Repositorio Académico de la Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/104037>

ANEXOS

Figura 7

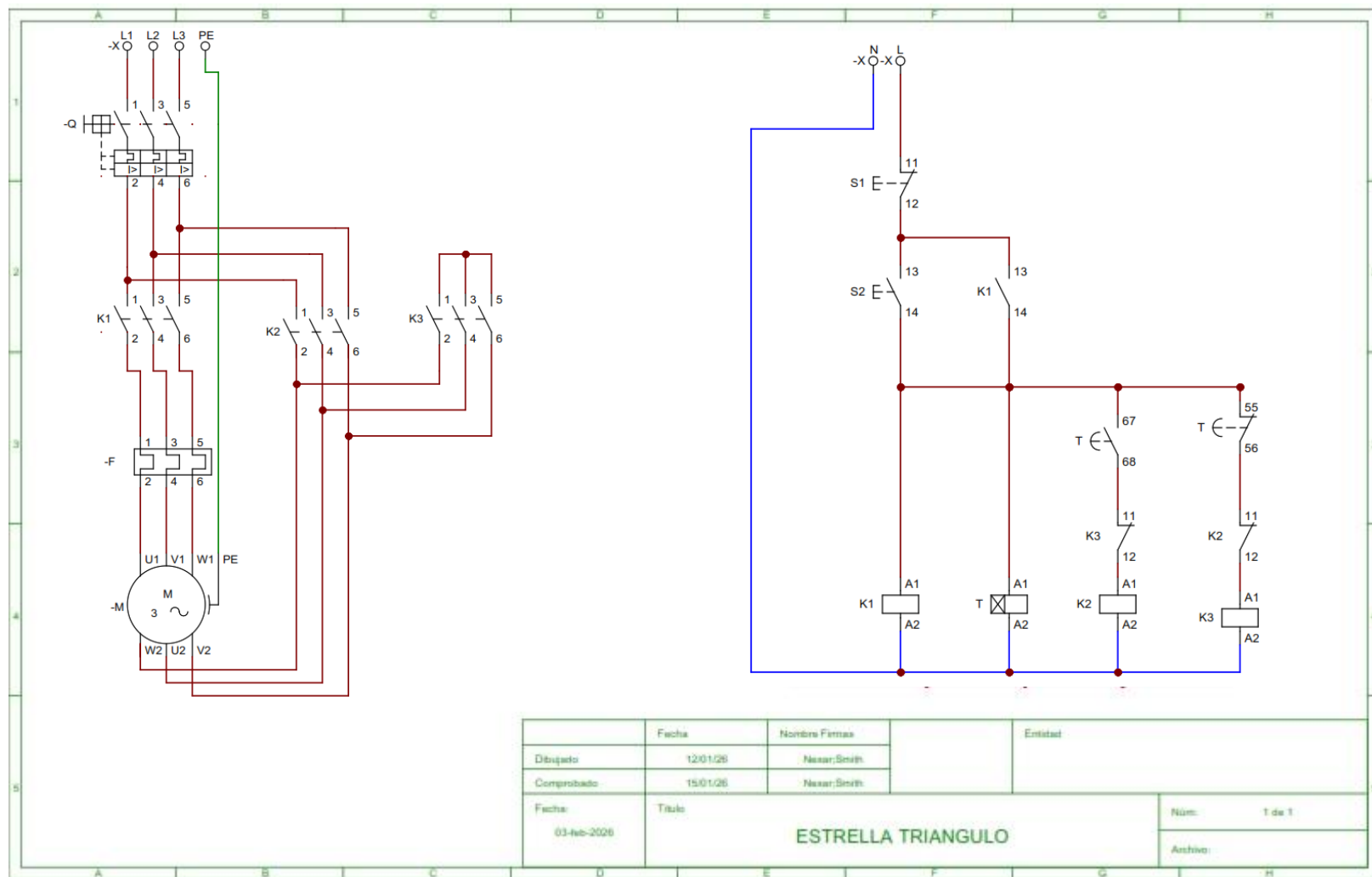
Diagrama unifilar para el arranque con variador de frecuencia



Nota. Elaboración propia.

Figura 8

Diagrama unifilar y de fuerza para arranque estrella triángulo



Nota. Elaboración propia.

Figura 9

Solicitud de equipos para la ejecución de la tesis

“AÑO DE LA ESPERANZA Y EL FORTALECIMIENTO DE LA DEMOCRACIA”

**Solicito: Uso de equipos para ejecución
de proyecto de tesis.**

Señor: Rloja Fernández Juan Carlos
Responsable de la Empresa T'PEC & CIA S.A.C.

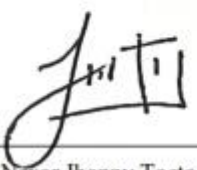
Quienes suscriben, **Bach. Nexar Jhonny Tocto Garcia y Egr. Jorge Smith Silva Ramos**, de la Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad Nacional de Jaén, ante usted nos presentamos y exponemos:

Que, para el cumplimiento de los objetivos de nuestra investigación titulada: **“ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DEL ARRANQUE DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN PARA REDUCIR EL CONSUMO ENERGÉTICO EN LA EMPRESA T'PEC & CIA S.A.C.”**, requerimos realizar pruebas técnicas que demandan el uso de equipos especializados con los que su empresa cuenta. Por ello, solicitamos cordialmente su autorización para el uso de: **un variador de frecuencia de 0.75kw y un motor trifásico de 1 hp**. De la misma manera, nos comprometemos formalmente a seguir estrictamente los protocolos de seguridad de la empresa y cuidar la integridad de los equipos.

Agradecemos de antemano su apertura y apoyo al desarrollo académico y científico.

Atentamente,

Jaén, 20 de Diciembre del 2025


 Bach. Nexar Jhonny Tocto Garcia

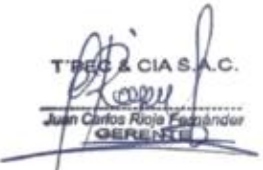

 Egr. Jorge Smith Silva Ramos

Nota. Elaboración propia.

Figura 10*Carta de autorización de la empresa***Carta de autorización****TPEC & CIA SAC.****Autorizo.**

AL SR. SILVA RAMOS SMITH DNI. Y AL SR. TOCTO GARCIA NEXAR JHONNY PARA EL RETIRO Y USO TEMPORAL DE UN VARIADOR DE FRECUENCIA DE 0.75KW Y UN MOTOR TRIFÁSICO DE 1 HP. EL RECEPTOR SE HACE RESPONSABLE DEL CUIDADO Y LA CORRECTA MANIPULACIÓN DE LOS EQUIPOS DURANTE EL TIEMPO QUE PERMANEZCA BAJO SU RESGUARDO, COMPROMETIÉNDOSE A SU DEVOLUCIÓN EN CONDICIONES ÓPTIMAS.

JAEN, 28 DE DICIEMBRE DEL 2025.

TPEC & CIA S.A.C.

 Juan Carlos Rioja Fernández
 GERENTE

Psj: Utcubamba N° 316 – Jaén – Cajamarca – Perú.
 Email: tepec.cia@gmail.com

Nota. Elaboración propia.

Figura 11*Motor trifásico de 1hp**Nota.* Elaboración propia.**Figura 12***Placa del motor trifásico*

Nota. La placa del motor de 1 HP tiene una tensión de 380V y su factor de potencia de 0.77.

Figura 13

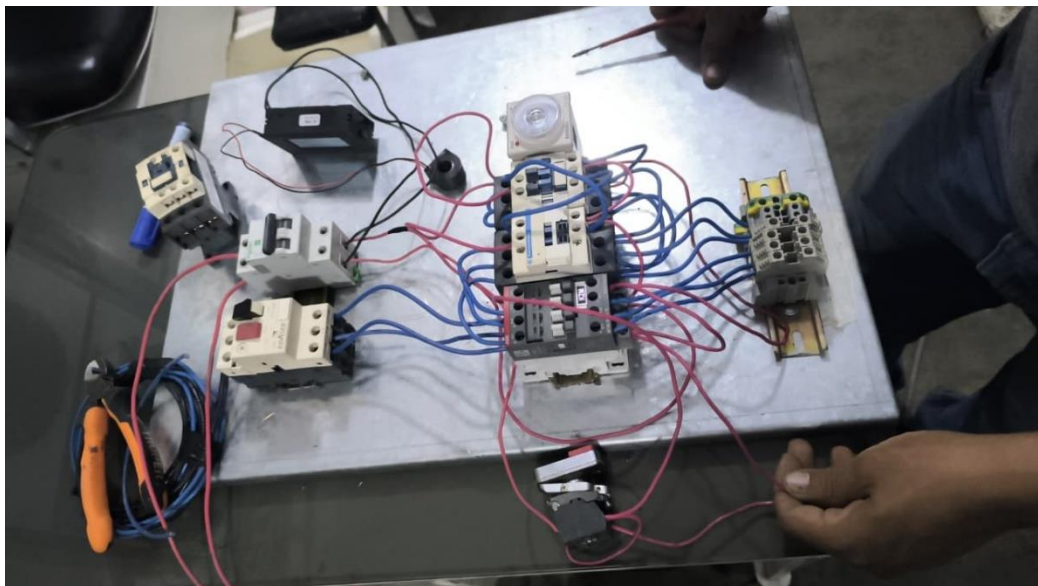
Pinza amperimétrica



Nota. Elaboración propia.

Figura 14

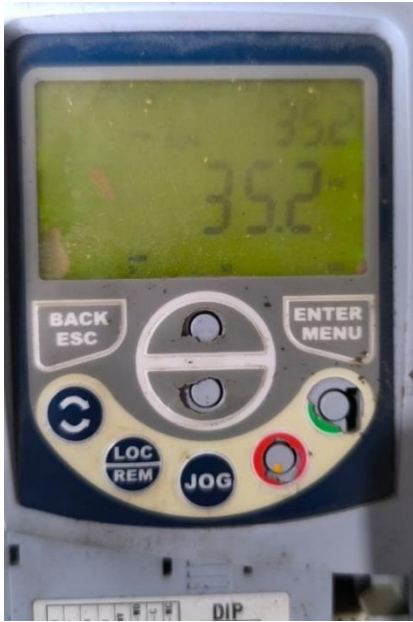
Circuito de fuerza y control para el arranque estrella – triángulo y variador de frecuencia



Nota. Elaboración propia.

Figura 15

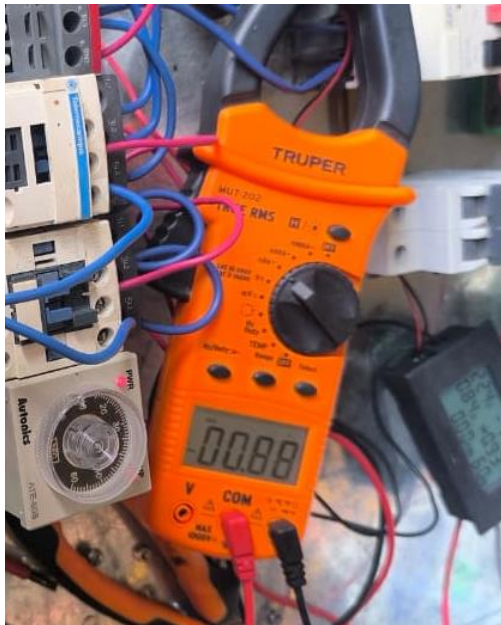
Mediciones realizadas mediante el variador de frecuencia



Nota. El variador de frecuencia está configurado a 35.2Hz y en la pinza amperimétrica se aprecia un consumo de 0.80A.

Figura 16

Mediciones realizadas mediante el arranque estrella - triángulo



Nota. En el arranque estrella se observa un arranque de 0.88A y al pasar a triángulo sube a 1.07A trabajando en su potencia total del motor.

Figura 17

Mediciones realizadas para el nivel de tensión



Nota. En la imagen se observa que el voltaje de línea que se trabajo fue de 403.9V.