



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**PROPUESTA TECNOLÓGICA**

**ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN ARRANQUES DE MOTORES TRIFÁSICOS DE 1HP PARA SISTEMAS DE BOMBEO**

Proyecto de titulación previo a la obtención del título de ingeniero eléctrico en  
sistemas eléctricos de potencia

**Autor/es:**

Enríquez Tello Ismael Eduardo

Quispe Sandoval Juan Daniel

**Tutor:**

PhD. Secundino Marrero Ramírez

**LATACUNGA – ECUADOR**

**2022**



## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros **ENRÍQUEZ TELLO ISMAEL EDUARDO** y **QUISPE SANDOVAL JUAN DANIEL** declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: “**ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN ARRANQUES DE MOTORES TRIFÁSICOS DE 1 HP PARA SISTEMAS DE BOMBEO**”, siendo el PhD. **SECUNDINO MARRERO** el tutor del presente trabajo, y eximo expresamente a la universidad técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

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

---

**Enríquez Tello Ismael Eduardo**  
C.I. 0503456949  
0987932600  
ismael.enriquez6949@utc.edu.ec

---

**Quispe Sandoval Juan Daniel**  
C.I.0550016687  
0984286855  
juan.quispe7@utc.edu.ec



## AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

**“ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN ARRANQUE DE MOTORES TRIFÁSICOS DE 1 HP PARA SISTEMAS DE BOMBEO”**, de : ENRIQUEZ TELLO ISMAEL EDUARDO Y QUISPE SANDOVAL JUAN DANIEL, de la carrera INGENIERÍA ELÉCTRICA, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADA de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, agosto, 2022

El Tutor

PhD. Marrero Ramírez Secundino

C.I: 1757107907



## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la FACULTAD de CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADA ; por cuanto, los postulantes: ENRIQUEZ TELLO ISMAEL EDUARDO Y QUISPE SANDOVAL JUAN DANIEL con el título de Proyecto de titulación: **ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN ARRANQUE DE MOTORES TRIFÁSICOS DE 1 HP PARA SISTEMAS DE BOMBEO** han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

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

Latacunga, agosto 2022

Para constancia firman:

**Lector 1 (Presidente)**

**Nombre: Marco Aníbal León Segovia**

**CC: 0502305402**

**Lector 2**

**Nombre: Rommel Eusebio Suárez Vinueza**

**CC: 1804165353**

**Lector 3**

**Nombre: Carlos Francisco Pacheco Mena**

**CC:0503072902**



## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida y a toda mi familia por estar siempre presentes.

Mi profundo agradecimiento a todas las autoridades y personal que hacen la Universidad Técnica de Cotopaxi, por confiar en mí, abrirme las puertas y permitirme realizar todo el proceso investigativo dentro de su establecimiento.

De igual manera agradezco a mis profesores en especial al Ing. Carlos Pacheco e Ing. Eduardo Hinojosa, quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que pueda crecer día a día como profesional, gracias a cada una de ustedes por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad.

Agradezco a mi compañero de Tesis Juan Daniel que con paciencia y esmero ha sido una base fundamental para sobre llevar este trabajo.

Finalmente quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento al PhD. Secundino Marrero, principal colaborador durante todo este proceso, quien con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo

**Ismael Enríquez**



## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por llenarme de salud y sabiduría. Al culminar mi proyecto de titulación y con ello el fin de mis estudios de pregrado, expreso un infinito agradecimiento a mis padres Edgar Quispe y Rosa Sandoval por el apoyo incondicional durante mi carrera universitaria, que me han formado inculcándome con valores y respeto, por el pilar fundamental en mi vida ya que con su esfuerzo me han dado mis estudios y permitirme obtener mi título universitario.

Mi agradecimiento a la universidad técnica de Cotopaxi por haberme aceptado a ser parte de ella y abierto las puertas de su seno científico para poder estudiar mi carrera, así como también a los diferentes docentes que me brindaron sus conocimientos y su apoyo para seguir adelante día a día.

Agradezco a mis compañeros, amigos y familiares que me han ayudado y motivado a seguir adelante y no declinar durante mi carrera universitaria, a mi compañero de tesis Ismael que con paciencia y esmero ha sido una base fundamental para sobre llevar este trabajo, de igual forma agradezco a Erika por siempre estar a mi lado en los momentos más difíciles con su motivación, cariño y apoyo incondicional.

**Daniel Quispe**



## DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a:

A Dios quien ha sido mi guía, fortaleza y su mano de fidelidad y amor han estado conmigo hasta el día de hoy.

A mis padres Jorge y Mery quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

A mi hermana por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias.

A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

Finalmente quiero dedicar esta tesis a todos mis amigos, por apoyarme cuando más las necesito, por extender su mano en momentos difíciles y por el amor brindado cada día, siempre los llevo en mi corazón.



## **DEDICATORIAA**

Dedicó esta tesis a mis padres Edgar Quispe y Rosa Sandoval que siempre me apoyaron incondicionalmente en la parte moral y económica para poder llegar a ser un profesional de la Patria.

A mis hermanas y demás familiares por el apoyo brindado a lo largo de mi carrera universitaria.



## RESUMEN

La presente tesis realiza el análisis de la eficiencia energética en arranques de motores trifásicos de 1 HP para un sistema de bombeo, ya que por realizar un arranque erróneo existe un consumo excesivo de energía y daños constructivos y operativos del motor, con la ayuda del analizador Fluke 435 el cual fue conectado en las líneas de alimentación para obtener los datos iniciales en la operación del motor. Los arranques fueron estrella, delta directos y controlados por un virador de frecuencia marca INVT, lo cual después del análisis se observó que el arranque de estrella directo es el mejor por no presentar un pico de corriente muy elevado y por llegar a su estabilidad en pocos segundos ya que con el uso del variador se presentó varios problemas como distorsión armónica en la red lo cual afectó en ciclo del funcionamiento del motor, los datos de operación fueron recolectados durante 60 segundos de operación del motor en intervalos de 10 segundos. Mediante estos análisis se demostró los distintos tipos de arranques y sus aplicaciones ya que los motores de inducción se los utilizan en diferentes aplicaciones como bombas, bandas transportadoras y para obtener una mayor eficiencia y mejor aprovechamiento de la energía eléctrica se realizó el estudio de los arranques comunes con sus distintas variables eléctricas, es importante verificar que los circuitos de control del motor cuenten con las características técnicas adecuadas y protecciones de acuerdo al tipo de conexión para la utilización del instrumentó que toma los datos para el análisis se deberá revisar el manual de utilización para la correcta conexión y evitar problemas el equipo ya que con esto se obtendrá los datos que requiere el usuario.

Palabras claves: eficiencia, análisis, operación, estabilidad, corriente pico.

**COTOPAXI TECHNICAL UNIVERSITY**

**ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES FACULTY**

**TOPIC:** "STUDY OF ENERGY EFFICIENCY IN STARTING THREE-PHASE MOTORS OF 1HP FOR PUMPING SYSTEMS"

Authors:

Enrriquez Tello Ismael Eduardo

Quispe Sandoval Juan Daniel

**ABSTRACT**

This current thesis makes the energy efficiency of 1 HP three-phase motor starts analyzes for a pumping system. Fpr making an erroneous start, there is excessive energy consumption and constructive operational damage to the motor, with the help, which was connected to the power lines to get the initial data on the motor operation. The starts were star, direct delta and controlled by an INVT brand frequency converter, which after, the analysis it was observed that the direct star is the optimal one, because it does not present a very high current peak and because it reaches its stability in a few seconds, since with the variator use was presented several problems, such as harmonic distortion in the network, which affected the motor's operating cycle, the operating data was collected during 60 seconds of motor operation at 10 seconds intervals. Through these analyzes, they were demonstrated the starts different types and their applications, since induction motors are used in different applications, such as pumps, conveyor belts, and to get greater efficiency and electrical energy better use was made the starts common study with their different electrical variables, it is important to verify that the motor control circuits have the appropriate technical characteristics and protections according to the connection type for the instrument use, which takes the data for the analysis, it should be reviewed the user manual for the adequate connection and to avoid problems with the equipment, since with this will be got the data that the user requires.

**Keywords:** Efficiency, analysis, operation, stability, peak current.

## *AVAL DE TRADUCCIÓN*

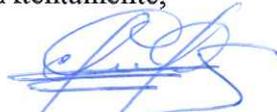
En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que:

La traducción del resumen al idioma Inglés del trabajo de titulación cuyo título versa: **“ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN ARRANQUES DE MOTORES TRIFÁSICOS DE 1HP PARA SISTEMAS DE BOMBEO.”**, presentado por: **Ismael Eduardo Enríquez Tello y Juan Daniel Quispe Sandoval**, estudiantes de la Carrera de: **Ingeniería Eléctrica** perteneciente a la **Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas**, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

Latacunga, agosto del 2022

Atentamente,



Mg. Marco Beltrán



CENTRO  
DE IDIOMAS

**DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC**  
**CI: 0502666514**



## INDICE DE CONTENIDO

INDICE DE CONTENIDO .....	xi
1 INFORMACION GENERAL .....	1
TÍTULO DEL PROYECTO.....	1
2. INTRODUCCION.....	2
2.1 EL PROBLEMA .....	3
2.1.1 Situación Problémica.....	3
2.1.2 Formulación del problema.....	3
2.3 OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN .....	3
2.3.1 Objeto de estudio .....	3
2.3.2 Campo de acción .....	3
2.4 BENEFICIARIOS .....	3
2.5 JUSTIFICACIÓN.....	3
2.6 HIPOTESIS .....	4
2.7 OBJETIVO .....	4
2.7.1 Objetivo general .....	4
2.7.2 Objetivos específicos.....	4
2.8 SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS.....	5
3. REVISION BIBLIOGRAFICA Y DOCUMENTAL.....	6
3.2. Eficiencia energética.....	6
3.2.1. Bomba centrífuga y motor eléctrico .....	6
3.2.1.1. Motor eléctrico .....	6
3.2.1.2. Motor de inducción tipo jaula de ardilla.....	7
3.2.1.3. Eficiencia de motor eléctrico.....	7
3.2.2. Bomba centrífuga .....	8
3.2.2.1. Bomba centrífuga de flujo radial.....	9
3.2.2.3. Curvas características de las bombas centrifugas.....	10
3.2.2.3.1. Curva de eficiencia.....	11
3.2.2.2. Curva de carga.....	12
3.2.2.3 Curva flujo- potencia.....	12
3.2.2.4. Determinación de flujo de consumo de energía de la bomba.....	12
3.3. Control de flujo.....	13
3.3.1. Estructura de un variador de frecuencia.....	13



3.3.1.1. Armónicos en los variadores de frecuencia.....	13
3.4.1. Armónicos. ....	14
3.4.1.1. Efectos producidos por los armónicos.....	16
3.4.2. Ahorro de energía. ....	16
3.5. Instrumentación. ....	16
3.5.1. Vacuómetro. ....	17
3.5.2. Analizador de potencia. ....	17
3.6. Motor de inducción.....	18
3.6.1. Diagrama equivalente motor trifásico. ....	19
3.7. Conexiones. ....	20
3.7.1. Conexión de motores de seis terminales.....	20
3.7.2. Conexión en triángulo. ....	21
3.8. Tipos de arranques.....	22
3.8.1. Arranque directo. ....	22
3.8.2. Arranque estrella – triángulo.....	23
3.8.3. Arranque con variador de frecuencia.....	23
4. MATERIALES Y MÉTODOS: .....	24
4.1 Método de investigación.....	24
4.2 MATERIALES E INSTRUMENTOS .....	24
4.2.1 Normativa .....	24
5. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	29
5.2. Análisis de la corriente pico .....	29
5.3. Análisis de frecuencia.....	30
5.4. Análisis de la potencia Aparente. ....	31
5.5 Análisis de los armónicos de corriente. ....	31
5.2.2 Análisis de la corriente pico configuración estrella.....	33
5.2.3. Análisis de la frecuencia.....	34
5.2.4. Análisis de la potencia aparente. ....	34
5.2.5 Análisis de los armónicos de corriente. ....	35
5.2.6 Análisis de la corriente y potencia.....	36
5.3. Arranque Delta con variador de frecuencia.....	36
5.3.1 Análisis de la corriente pico del arranque delta con variador de frecuencia .....	37
5.3.2. Análisis de la Potencia del arranque delta con variador de frecuencia .....	38
5.3.3. Analisis de la Frecuencia en el arranque delta con variador de frecuencia.....	39



5.3.4. Análisis de los armónicos del arranque delta con variador de frecuencia.....	40
5.4. Arranque Estrella con variador de frecuencia .....	41
5.4.1. Análisis corriente pico del arranque estrella con variador de frecuencia .....	42
5.4.2. Análisis de frecuencia en arranque estrella .....	43
5.4.3. Analisis de la potencia.....	44
5.4.4. Análisis de los Armónicos del arranque estrella con variador de frecuencia .....	45
6.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	46
6.2. RECOMENDACIONES .....	47
7.BIBLIOGRAFIA.....	48
8. Anexos.....	50

## ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 3. 1. Clasificación de motores eléctricos.....	6
Figura 3. 2. Motor rotor jaula de ardilla. ....	7
Figura 3. 3. Clasificación de las turbo máquinas.....	8
Figura 3. 4. Clasificación de las bombas. ....	9
Figura 3. 5. Bomba centrífuga de flujo radial.....	9
Figura 3. 6. Partes de la bomba centrífuga. ....	10
Figura 3. 7. Curvas de una bomba centrífuga.....	10
Figura 3. 8. Proporción estimada de la demanda mundial de electricidad (2006). ....	14
Figura 3. 9. Fuentes que producen armónicos. ....	15
Figura 3. 10. Vacuómetro. ....	17
Figura 3. 11. Analizador de Potencia. ....	17
Figura 3. 12. Circuito equivalente del transformador.....	19
Figura 3. 13. Circuito equivalente del motor de inducción. ....	19
Figura 3. 14. Conexión estrella.....	21
Figura.3.15. Conexión delta .....	22
Figura 3.16. Circuito de fuerza para arranque directo.....	22
Figura 3.17. Circuito de fuerza de arranque estrella -triangulo.....	23
Figura 4. 1. Datos iniciales. ....	29
Figura 4. 2. Corriente pico en configuración delta.....	30
Figura 4. 3 Frecuencia .....	30
Figura 4. 4. Potencia aparente configuración delta .....	31



Figura 4. 5 Armónicos de corriente 3,5 de las tres líneas.....	32
Figura 4. 6. Resumen de datos iniciales .....	32
Figura4.8. frecuencia media de funcionamiento del sistema de bombeo.....	34
Figura 4.9. Potencia Aparente de la bomba.....	35
Figura 4.10. Armónico de tensión en configuración estrella.....	35
Figura 4.11. Diagrama de conexión.....	36.
Figura 4. 14. Curvas de la potencia aparente.....	39
Figura 4.16. Análisis de armónico de corriente.....	40
Figura 4.17. Armónico de corriente en configuración delta con variador.....	40
Figura 4. 18. Diagrama de conexiones en el programa Cade Simu.....	41
Figura 4. 19. Parámetros iniciales del Analizador.....	42
Figura 4. 20. Señales emitidas por el analizador de redes en el arranque estrella.....	42
Figura 4. 22. Frecuencia (Autores).....	44
Figura 4. 23. Potencia aparente. ....	44
Figura 4.24. Análisis de armónico en configuración estrella con variador .....	45
Figura 4.25. Armónico de corriente en configuración estrella con variador.....	45

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1 detalles de partes del analizador de energía fluke 345. ....	25
Tabla 4.2. detalle de funciones auxiliares.....	26
Tabla 4.3. ajuste de fecha del reloj en tiempo real y contraste.....	27
Tabla 5. 1. Datos de corriente pico en configuración delta. ....	29
Tabla 4. 2. Datos de potencia aparente configuración delta.....	31
Tabla 5. 3. Datos de armónicos de corriente configuración delta. ....	32
Tabla 5. 4. Datos de corriente configuración estrella. ....	33
Tabla 5.5. Datos de potencia aparente obtenida mediante la prueba con el analizar de energía. .....	34
Tabla 5.6. Datos en porcentaje de los armónicos de corriente en configuración estrella.....	35
Tabla 5.7. Resumen de los valores de corriente potencia entre los arranques estrella y triangulo.....	36
Tabla 5.8. Datos de corriente pico en configuración delta con variador. ....	37
Tabla 4. 9. Datos de potencia aparente configuración delta con variador.....	38
Tabla 5. 10. Datos de la frecuencia en configuración delta con variador de frecuencia. ....	39



Tabla 5. 11. Datos del armónico número 5 en configuración delta con variador de frecuencia. ....	40
Tabla 4.12. Datos en porcentaje de los armónicos de corriente en configuración delta con variador. ....	41
Tabla 5.13. Datos de corriente pico en configuración estrella con variador. ....	43
Tabla 5. 14. Datos de frecuencia en configuración estrella con variador de frecuencia. ....	43
Tabla 5. 15. Datos de potencia aparente configuración delta con variador. ....	44
5.4.4. Análisis de los Armónicos del arranque estrella con variador de frecuencia. ....	45
Tabla 5.17. Datos en porcentaje de los armónicos en configuración estrella con variador. ....	46

# **1 INFORMACION GENERAL**

## **TÍTULO DEL PROYECTO.**

ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN ARRANQUES DE MOTORES TRIFÁSICOS DE 1HP PARA SISTEMAS DE BOMBEO

## **Fecha de inicio:**

Abril 2022

## **Fecha de finalización:**

Agosto 2022

## **Lugar de ejecución:**

Latacunga, Cotopaxi.

## **Facultad que auspicia**

Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

## **Carrera que auspicia:**

Carrera de Ingeniería Eléctrica en Sistemas Eléctricos de Potencia

## **Proyecto de investigación vinculado:**

Proyecto de la Carrera de Ingeniería Eléctrica.

## **Equipo de Trabajo:**

### **Coordinadores del proyecto.**

Phd. Secundino Marrero

Ismael Eduardo Enríquez Tello

Juan Daniel Quispe Sandoval

### **Área de Conocimiento:**

07 ingeniería / 071 control industrial/ 0713 Electricidad y energía.

### **Línea de investigación:**

Calidad de Energía, eficiencia energética y proyección ambiental.

### **Sub líneas de investigación de la Carrera:**

Electrónica de Potencia, Control y Automatización

## **2 INTRODUCCION.**

La tecnología de diagnóstico energético actual permite el análisis, evaluación y recomendación para una operación y mejoras de técnicas en sectores económicos, como la producción y la prestación de servicios. Estos son los puntos de partida para la eficiencia energética. En los amplios campos del diagnóstico energético, existen contenidos relacionados con los motores de inducción y sus aplicaciones. Un motor de inducción se utiliza principalmente para máquinas accionadas por motor, como bombas, cintas transportadoras, compresores, y una de las aplicaciones de bombeo más importantes. La eficiencia de un motor de inducción es el valor único de cada motor, pero su magnitud se ve afectado por los siguientes factores: por su estructura, el factor de carga, calidad de la fuente de alimentación, y cuánto se ha reconstruido su bobinado.

Una característica importante de un motor es que su costo de operación suele ser mucho más alto que su costo de adquisición. Según el tiempo de ejecución, la potencia y el rendimiento, un motor puede tener un consumo de energía entre 25 y 150 veces su valor de compra. Por eso es tan importante apostar por la correcta gestión de los motores utilizados en las plantas industriales, minimizando los costes de explotación con un uso eficiente y completo de la energía eléctrica. Así, promover incentivos a la eficiencia en la industria aumenta directamente la competitividad de la industria.

Normalmente, la inversión de devolución en los motores efectivos varía de 6 meses de a 3 años, la economía justifica su elección. La diferencia de precio entre el motor es eficiente y el estándar es de aproximadamente el 20%, pero esta diferencia se toma en los primeros años de uso si se tiene en cuenta el costo de la energía y el mantenimiento. En los últimos años, la producción y el uso de la energía es responsable se ha convertido en una prioridad básica para aquellos que esperan un futuro para cumplir con el concepto de desarrollo sostenible. Con este hecho y las preocupaciones crecientes crean los efectos dañinos del cambio climático, seguro para proporcionar energía y el desarrollo de la economía sostenible, nunca ha enviado una mecánica, la asociación es más favorable para centrarse en usar energía en una carretera más eficiente.

## **2.1 EL PROBLEMA**

### **2.1.1 Situación Problemática**

Como parte del plan de estudios, que se crea en el campo de la ingeniería para estudiantes, se presenta el tema de los motores eléctricos, como una base teórica, que incluye su clasificación, parámetros operacionales y de selección, así como las diferentes aplicaciones en el campo de la ingeniería.

Se ha detectado que no se posee dentro de la formación una práctica exclusiva para los estudiantes puedan tener una interacción física que permita una formación técnica con respecto a las variables de funcionamiento, arranque, control y protección de motores eléctricos.

### **2.1.2 Formulación del problema**

En la formación de ingeniería no se ha logrado concretar todas las bases prácticas para el desarrollo de procesos de automatización. Es de esta manera que se plantea la necesidad de desarrollar prácticas de laboratorio en el área de motores eléctricos para analizar la eficiencia energética.

## **2.3 OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN**

### **2.3.1 Objeto de estudio**

Estudio de eficiencia energética en un sistema de bombeo con el uso de diferentes tipos de arranques de un motor eléctrico.

### **2.3.2 Campo de acción**

Mediante el uso del módulo de control, se realizar los diferentes tipos de arranques de un motor trifásico utilizado en un sistema de bombeo, para tener una mejor eficiencia energética.

## **2.4 BENEFICIARIOS**

Beneficiarios directos	<ul style="list-style-type: none"><li>• Estudiantes de la facultad de CIYA.</li><li>• 1280 estudiantes.</li></ul>
Beneficiarios indirectos	<ul style="list-style-type: none"><li>• Universidad Técnica de Cotopaxi</li><li>• 10500 estudiantes.</li></ul>

## **2.5 JUSTIFICACIÓN**

El desarrollo de la industria en el Ecuador ha obligado a tener un mayor ahorro de energía eléctrica el cual se ha basado en el análisis de la eficacia energética en los diferentes procesos

de producción, para un óptimo consumo. Hoy, la definición que describe la eficiencia energética es "consumo de energía inteligente", es decir satisfacer una necesidad con la menor cantidad de energía, recursos limitados y necesidades energéticas.

Las áreas que deben enfocarse en la eficiencia energética son los sectores comerciales, industrial y de transporte dado que estos factores están estrechamente relacionados con el crecimiento de la producción. Debe fomentarse la reducción de la densidad energética, y esto requiere la optimización de la producción, significa obtener productos con la misma cantidad de energía.

Para mejorar la eficiencia energética de las bombas se requiere de una disminución de la potencia consumida por esta, por lo tanto, se determina el consumo de energía cuando se hace uso de la válvula para regular el flujo y lo mismo hace cuando se utiliza el variador de frecuencia, de esta manera se podrá comparar ambos consumos de energía y determinar el ahorro que existe entre la utilización de una válvula contra variador de frecuencia.

Debido al uso del variador de frecuencia y en los dos puntos, uno anterior y uno posterior, además se determina en que hay menos cantidad de estos para conocer bajo qué condiciones es más eficiente que trabaje la bomba centrífuga. Los motores eléctricos eficientes, no se calientan fácilmente y tiene una larga vida útil este tipo se caracterizan por un diseño más elegante, que reduce la pérdida de calor y el ruido.

## **2.6 HIPOTESIS**

Es posible desarrollar el análisis de la eficiencia energética en motores de inducción para el aprovechamiento máximo de la energía eléctrica mediante la implementación de arranques de motores. Simulando el arranque de los motores se identifica las características técnicas necesarias para el arranque de motores eléctricos síncronos que optimicen costos según el uso en la industria.

## **2.7 OBJETIVO**

### **2.7.1 Objetivo general**

Analizar la eficiencia energética de arranques para un motor de 1HP utilizado en un sistema de bombeo eléctrico en el periodo abril 2022 agosto 2022.

### **2.7.2 Objetivos específicos**

- Indagar los fundamentos teóricos, revisiones bibliográficas sobre la eficiencia energética en los diferentes tipos de arranques de motores en sistemas de bombeo.
- Evaluar los diferentes tipos de arranques en un motor de 1HP utilizado el sistema de bombeo.
- Comparar los diferentes tipos de arranque para determinar su eficiencia energética.

## 2.8 SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultados esperados	Técnicas, medios e instrumentos
Indagar los fundamentos teóricos mediante fuentes bibliográficas sobre la eficiencia energética en los diferentes tipos de arranques de motores en sistemas de bombeo.	<p>Búsqueda de información bibliográfica de la eficiencia energética en los tipos de arranque de motores eléctricos.</p> <p>Análisis de las bibliografías con respecto a los arranques de motores.</p> <p>Búsqueda bibliográfica de sistemas de bombeo</p>	<p>Información: definición y antecedentes referente a eficiencia energética</p> <p>Datos técnicos de motores y sistemas de bombeo.</p>	<p>Investigación biográfica:</p> <p>Libros</p> <p>Tesis</p> <p>Artículos</p> <p>Normativas</p>
Desarrollar los 4 tipos de arranques en un motor de 1HP utilizado en el sistema de bombeo.	<p>Conexión de los circuitos para el arranque del motor.</p> <p>Análisis de los datos obtenidos en los arranques</p> <p>Recopilación de datos de los 4 tipos de arranques</p>	<p>Graficas del comportamiento del motor con los diferentes arranques.</p>	<p><b>Técnica:</b> Aplicación práctica.</p> <p><b>Instrumento:</b> CadeSimu, Fluke 435-II</p>
Establecer cuáles son los arranques para un óptimo consumo de energía.	<p>Análisis de los resultados obtenidos en los arranques de motor para la eficiencia energética.</p> <p>Clasificación de los tipos de arranque para identificar cual es el mejor.</p>	<p>Simulación de los arranques mediante cadesimu.</p> <p>Evaluación de las curvas de arranque.</p> <p>Análisis de los datos obtenidos.</p>	<p><b>Técnica:</b> Análisis del arranque de motor trifásico.</p> <p><b>Instrumento:</b> Excel</p> <p>Fluke 435-II</p> <p>Calidad de energía</p>

### 3. REVISION BIBLIOGRAFICA Y DOCUMENTAL

#### 3.2. Eficiencia energética

La eficiencia energética implica hacer funcionar un sistema con la menor cantidad de energía sin reducir la eficiencia del sistema. Para lograr la eficiencia del sistema se debe considerar varios factores, entre ellos el funcionamiento de la bomba, un control adecuado de la demanda del sistema, cálculos del sistema de tubería [1].

##### 3.2.1. Bomba centrífuga y motor eléctrico

Una bomba centrífuga es una máquina hidráulica que convierte la energía que la impulsa en energía hidráulica del fluido. La mayoría de los casos, la energía para accionar la bomba la proporciona un motor de inducción trifásico de jaula de ardilla [1].

##### 3.2.1.1. Motor eléctrico

Los motores se pueden clasificar según el tipo de corriente que utilizan, síncronos o asíncronos, el número de fases y el tipo de rotor, como se muestra en la Figura (3.1).

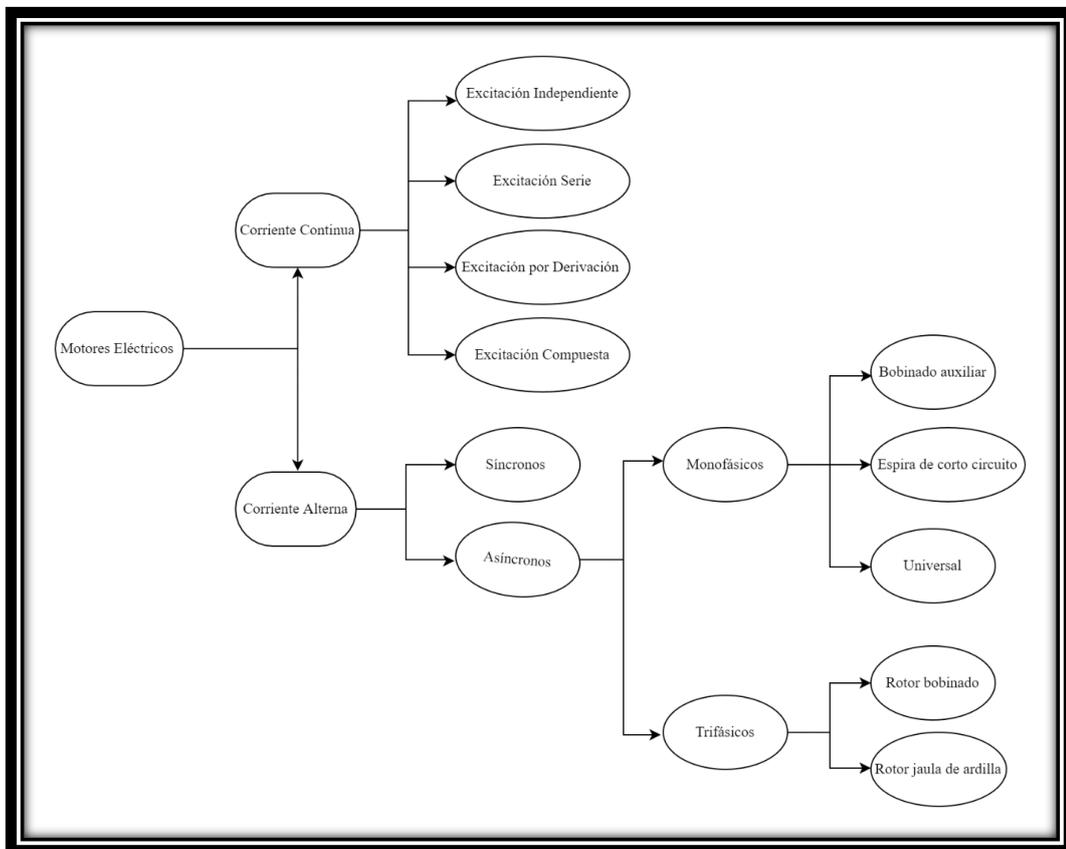


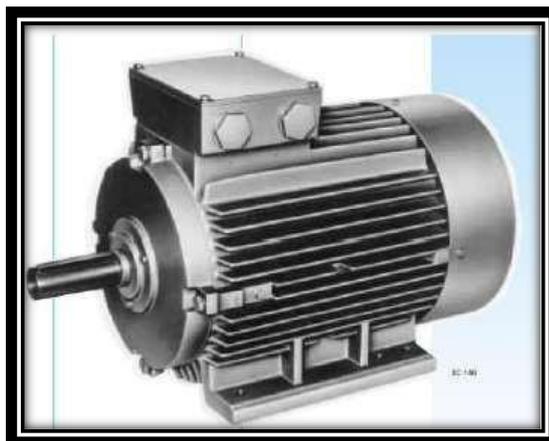
Figura 3. 1. Clasificación de motores eléctricos.

### 3.2.1.2. Motor de inducción tipo jaula de ardilla

El motor de inducción trifásico de jaula de ardilla es una parte del motor de CA y su característica principal es la forma del motor. La función de un motor eléctrico es convertir la energía en energía mecánica para realizar un trabajo útil [2].

El motor de inducción de jaula de ardilla como se muestra en Figura (3.2) es el tipo de motor más común debido a su simplicidad y construcción. Por su precio, robustez y facilidad de mantenimiento, se considera el motor ideal para la mayoría de las aplicaciones, con el inconveniente de utilizar un alto amperaje en el arranque [3][4].

El motor de inducción de jaula de ardilla Figura (3.2) es un tipo popular de motor eléctrico debido a su estructura simple. El actuador es ideal en la mayoría de las aplicaciones debido a su precio, potencia, facilidad de mantenimiento y tiene la desventaja de usar una alta resistencia a la tracción en el momento de la puesta en marcha [3][4].



**Figura 3. 2.** Motor rotor jaula de ardilla.[5]

El funcionamiento del motor de inducción asíncrona se basa en la acción del flujo giratorio magnético generado en el circuito del estator sobre las corrientes de inducción por este flujo en el circuito del rotor. La velocidad de estos motores eléctricos regula la velocidad de estos motores actuando sobre la frecuencia de alimentación del motor, convirtiendo la frecuencia industrial de la red en una distinta que se aplica al motor.[6]

### 3.2.1.3. Eficiencia de motor eléctrico.

La eficiencia de un motor es la relación entre la potencia mecánica de salir y la potencia eléctrica de entrada. La eficiencia se puede expresar de las siguientes formas:

$$\eta_B = \frac{P_m}{P_e} \quad (3.1)$$

$$\eta_m = \frac{P_e - \text{Perdidas}}{P_e} \quad (3.2)$$

$\eta_B$  : Eficiencia [J].

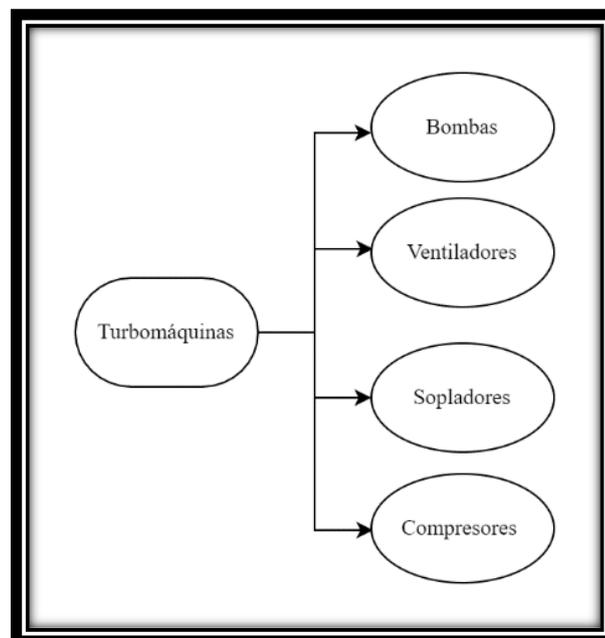
$P_m$  : Potencia mecánica [W].

$P_e$  : Potencia eléctrica [W].

El valor más alto de la eficiencia sería la unidad, en el caso de que las pérdidas fueran iguales a cero.

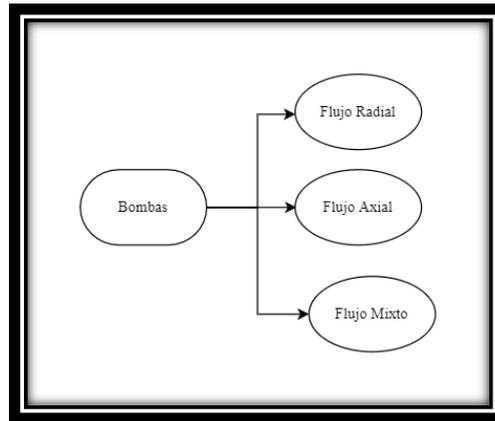
### 3.2.2. Bomba centrífuga

Es una máquina de flujo hidráulica que absorbe energía mecánica y restituye energía al fluido en forma de presión. Las bombas centrífugas se encuentran dentro de la clasificación de turbo máquinas junto con los ventiladores, sopladores y los compresores, tal como se muestra en la Figura (3.3).[7]



**Figura 3. 3.**Clasificación del turbo máquinas. (Autores)

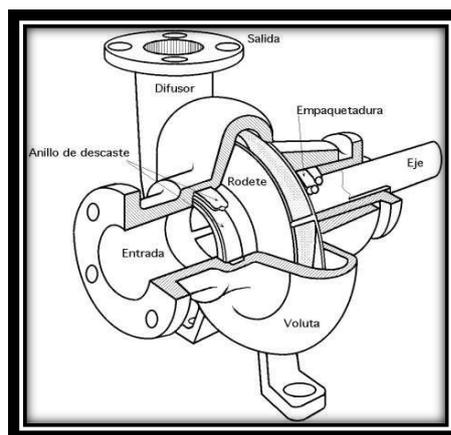
Las bombas se clasifican por el tipo de flujo que maneja de acuerdo a la Figura (3.4).



**Figura 3. 4.**Clasificación de las bombas. (Autores)

### 3.2.2.1. Bomba centrífuga de flujo radial.

En las bombas de flujo de radial Figura (3.5), el líquido es empujando en las direcciones correspondientes a los radios del circuito por los impulsores en su giro.[8]

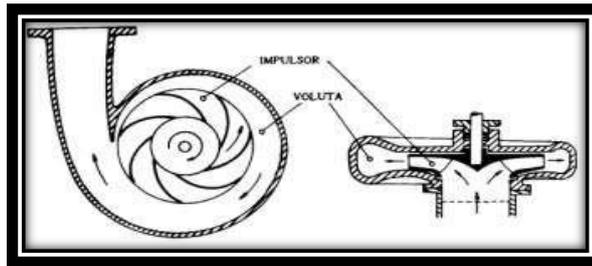


**Figura 3. 5.** Bomba centrífuga de flujo radial. [9]

Las bombas centrífugas tienen un impulsor montado en un eje conectado a una fuente de alimentación. El impulsor aumenta la velocidad del fluido y lo descarga en la tubería para convertir la velocidad en presión [1].

Las bombas centrífugas constan de dos componentes principales:

- Un ventilador o impulsor, formado por álabes que aumentan la velocidad y presión del fluido durante su rotación Figura (3.6). [10]
- El voltaje es responsable de llevar el fluido desde la salida del impulsor hasta la brida de descarga. Consiste en un canal cuya sección transversal aumenta gradualmente hasta llegar a la salida de la bomba. En él, parte de la energía de velocidad se convierte en energía de presión, lo que reduce la pérdida por fricción Figura (3.6).[10]



**Figura 3. 6.** Partes de la bomba centrífuga.[9]

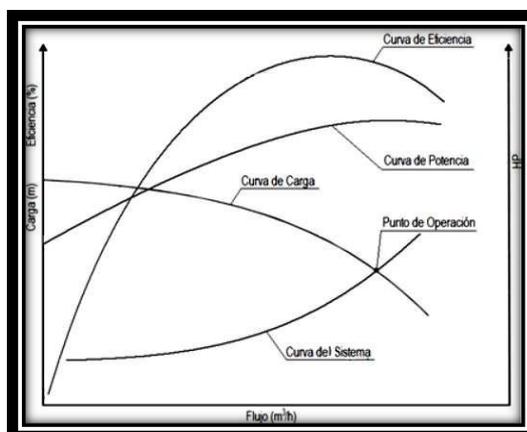
### 3.2.2.2. Principios de operación de las bombas centrífugas.

El principio de funcionamiento de las bombas centrífugas se basa en el cambio de momento angular que experimenta el fluido debido al cambio de velocidad absoluta a medida que pasa a través de las palas del impulsor. Este cambio de cantidad de movimiento es la causa directa del hecho de que el fluido que sale del impulsor esté sometido a una presión mayor que la que tenía antes de entrar en él.[9]

La dinámica global es el aumento de presión que experimentará el fluido a su paso por el impulsor, y debe ser necesario mover el fluido de un lugar a otro. Por lo tanto, la tarea de la bomba puede estar determinada por dos características principales, la dinámica general y el flujo volumétrico.[9]

### 3.2.2.3. Curvas características de las bombas centrífugas.

Las curvas características de las bombas Figura (3.7) son relaciones graficas entre carga, gasto, potencia y eficiencia. Es indispensable conocer las curvas características de una bomba, ya que de esta manera se conoce el comportamiento de esta, una vez instalada es un determinado sistema.[9]



**Figura 3. 7.** Curvas de una bomba centrífuga.[9]

El rendimiento de una bomba centrífuga se caracteriza por una curva que relaciona la altura del eje dinámico generado con la corriente (a velocidad nominal). Si la velocidad cambia, se crea una nueva curva; Uno es más grande si la velocidad aumenta y el otro es más pequeño si la velocidad disminuye.[9]

### 3.2.2.3.1. Curva de eficiencia.

En la coordenada tenemos el caudal y el retorno por unidad en porcentaje. Las pérdidas de eficiencia en la bomba pueden ser:

- Hidráulica, por caída de presión por fuga de fluido.
- Mecánica por fricción mecánica.
- Fuga causada por una pequeña cantidad de agua que se escapa del lado de alta presión al lado de baja presión.

Para calcular la eficiencia de una bomba centrífuga se utiliza la relación entre la potencia que la bomba suministra al líquido y la potencia requerida por el motor eléctrico, es decir.[11]

$$\% \eta = \frac{P_H}{P_E} * 100 \quad (3.3)$$

Donde:

$P_H$  = Potencia hidráulica [W]

$P_E$  = Potencia eléctrica [W]

$$\eta_B = \frac{H * Q_v * \gamma}{I * V * \cos\theta} \quad (3.4)$$

Donde:

H = Carga [m].

$Q_v$  = Flujo volumétrico [m<sup>3</sup>/s].

$\gamma$  = Peso específico [N/m<sup>3</sup>]

I = Corriente eléctrica [A].

V = Tensión eléctrica [V].

$\cos\theta$  = Factor de potencia [sin unidades].

### 3.2.2.3.2. Curva de carga

Este gráfico muestra el rendimiento de flujo de la bomba en relación con la carga que tiene para ofrecer, cuando es interceptado por la curva de carga del sistema, se obtiene el punto de operación total del sistema.[12] La altura se puede calcular por la diferencia de presión entre la succión y la descarga de una bomba centrífuga, como se muestra en la siguiente relación:

$$H = \frac{P_d * P_s}{\gamma} \quad (3.5)$$

Donde:

$P_d$  = Presión de descarga [Pa].

$P_s$  = Presión de succión [Pa].

$\gamma$  = Peso específico del agua [N/m<sup>3</sup>].

H = Carga [m].

### 3.2.2.3. Curva flujo- potencia.

La Figura (3.7) muestra la potencia mínima que se produce con flujo cero, es decir, cuando el acelerador está completamente cerrado. La fuente de alimentación solo se usa para mantener el agua contra la válvula y no toma el flujo de fluido para circular a través del sistema.[13]

$$P_e = \sqrt{3} * I * V * \cos\theta \quad (3.6)$$

Donde:

I = Corriente eléctrica [A].

V = Tensión eléctrica [V].

$\cos \theta$  = Factor de potencia [sin unidades].

$P_e$  = Potencia eléctrica [W].

### 3.2.2.4. Determinación de flujo de consumo de energía de la bomba.

El consumo de energía se determina con la potencia que demanda el conjunto motor -bomba (kW) y el tiempo de operación del mismo.[14]

$$\text{Consumo (kWh)} = \text{Potencia medida} \times \text{horas de operación}$$

### **3.3. Control de flujo.**

El sistema de bombeo es el responsable del caudal proporcional que requiere el sistema, en diferentes procesos este caudal es constante, para poder cumplir con los requerimientos existen formas de controlar el caudal, como por ejemplo la válvula, que controla el caudal de entrada del sistema directamente, o con un convertidor de frecuencia que controle la velocidad de funcionamiento de la bomba, consiguiendo así un mayor o menor caudal.[10]

#### **3.3.1. Estructura de un variador de frecuencia.**

El convertidor de frecuencia consta de:

- Corrección en un solo paso. Convierte el voltaje AC en DC a través de dispositivos electrónicos ya sean diodos, tiristores, etc.
- Paso medio. Es un filtro de suavizado de voltaje del rectificador, que reduce la ondulación del voltaje proveniente de la etapa del rectificador.
- Inversor. Convierte un voltaje de CC de rango medio en una fuente de voltaje de frecuencia variable mediante la generación de pulsos.

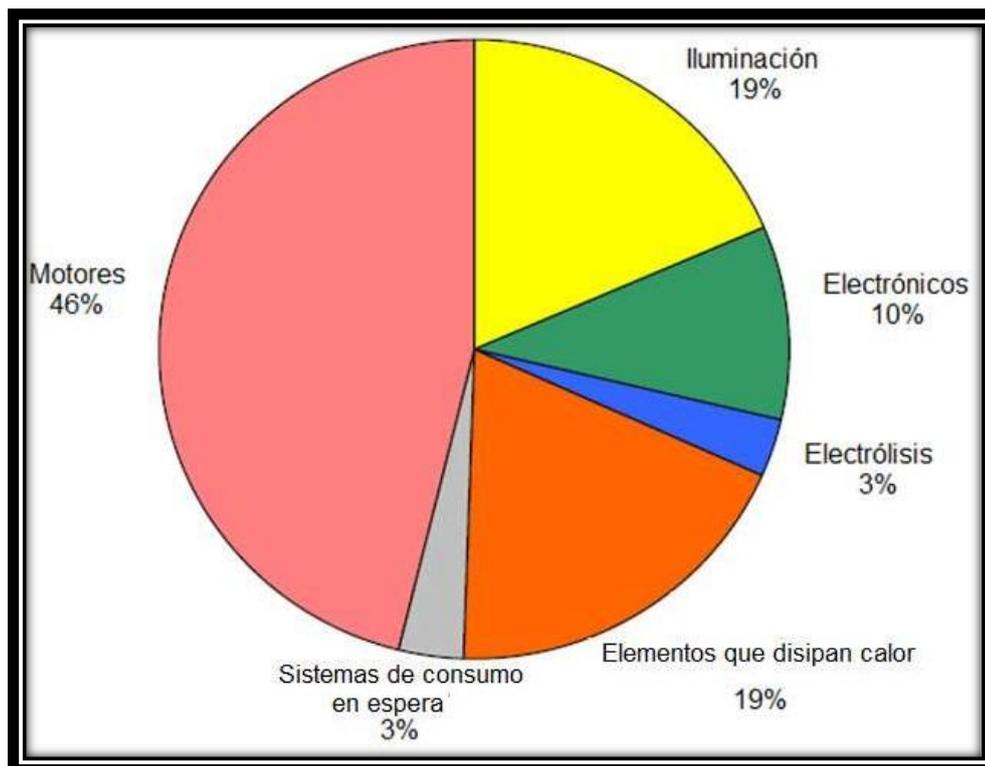
##### **3.3.1.1. Armónicos en los variadores de frecuencia.**

Los convertidores de frecuencia están equipados con elementos no lineales necesarios para su funcionamiento, distorsionando la forma de onda de la fuente de alimentación. Un transformador es un elemento no lineal que, al conectarlo en paralelo con una fuente de corriente alterna, produce armónicos. Estos armónicos pueden extenderse a la carga del rectificador y afectar la porción de carga de CC.[15]

### **3.4. Calidad de energía.**

El consumo de energía es la demanda de motores, iluminación, electrónica, análisis eléctrico, sistemas de consumo de emergencia y elementos de producción de calor, incluida la cantidad total de electricidad para motores eléctricos en todas las industrias en un 46 %, como se muestra en la Figura (3.8).[16]

La competitividad de un mundo globalizado exige productos de calidad cada vez mayor, la industria de la energía conoce bien este hecho. La electricidad es el pilar de la industria, muy buena La calidad de la energía asume que las máquinas vecinas están en buenas condiciones de funcionamiento.[16]



**Figura 3. 8.** Proporción estimada de la demanda mundial de electricidad (2006).[17]

La eficiencia energética implica ejecutar un sistema con la menor cantidad de energía posible sin sacrificar la calidad y la eficiencia del sistema, es decir, hacer más con menos energía.

Para lograr la eficiencia energética del sistema de bombeo se deben tener en cuenta muchos factores, como el funcionamiento de la bomba, control total de las necesidades del sistema, cálculos del sistema de tuberías. [1]

La presencia de armónicos indica una tensión o una onda de corriente distorsionada. La distorsión de la onda de corriente o voltaje significa que la distribución de energía eléctrica se ve perturbada y la calidad de la energía no es óptima. [18]

### 3.4.1. Armónicos.

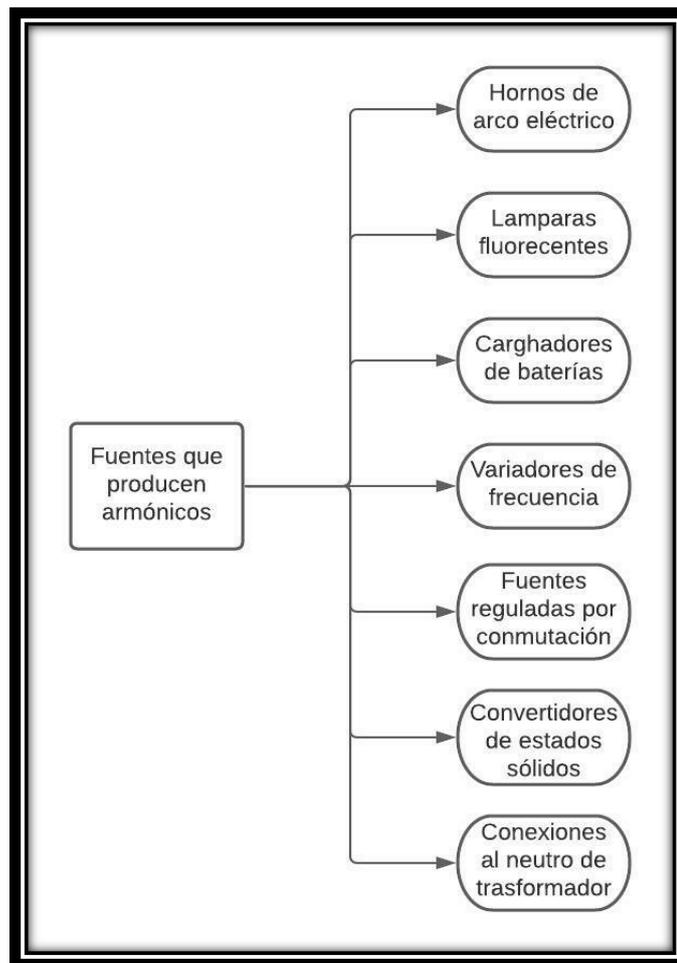
Los armónicos están presentes en todos los sistemas trifásicos y son generados por cargas no lineales como transformadores electrónicos, rectificadores, convertidores de frecuencia, convertidores de frecuencia, etc.

Determinar los armónicos presentes en el circuito de distribución permite a los ingenieros diseñar filtros para eliminar la influencia de estos armónicos. [19]

Hasta hace diez años, los armónicos no eran un problema, ya que sus efectos solían ser pequeños. Sin embargo, la amplia introducción de la electrónica de potencia en los equipos ha exacerbado este fenómeno en todos los ámbitos.

Los armónicos son producidos por cargas no lineales que, cuando se les suministra un voltaje síncrono, producen una onda de corriente distorsionada no lineal reactiva. Se puede considerar que las cargas no lineales traen corrientes armónicas a la red de distribución, hacia la fuente. [20]

Una carga es lineal si se alimenta con un voltaje sinusoidal que responde con una corriente sinusoidal. Las cargas no lineales son aquellas cargas conectadas a una red de corriente alterna sinusoidal, que proporcionan una corriente no sinusoidal, aunque generalmente es cíclica. En la Figura (3.9). Se muestran los ejemplos más comunes de fuentes armónicas en sistemas eléctricos.[20]



**Figura 3. 9.**Fuentes que producen armónicos. (Autores)

### **3.4.1.1. Efectos producidos por los armónicos.**

Los armónicos degradan la calidad de la fuente de alimentación, lo que conduce a la aparición de efectos negativos, tales como:

- Pérdida en máquinas asíncronas: La tensión armónica aplicada a la máquina asíncrona produce una corriente en el rotor con una frecuencia superior a 50 Hz, lo que es fuente de pérdidas adicionales.
- Sobrecargar equipos como generadores, transformadores, máquinas asíncronas y capacitores.
- Las interferencias afectan cargas sensibles como equipos de regulación, computadores y equipos de control y monitoreo.
- Pérdida de energía.
- Mayores costos de suscripción: La presencia de corrientes armónicas puede requerir un mayor nivel de potencia registrada, lo que aumenta los costos de energía.
- Equipo de gran tamaño: Los conductores deben dimensionarse teniendo en cuenta el flujo de corrientes armónicas.
- Reduce la vida útil de los equipos.
- Dispositivo de protección contra sobretensiones: Los interruptores automáticos de montaje están sujetos a picos de corriente causados por armónicos. Estos picos conducen a paradas repentinas que resultan en pérdidas en la producción, así como costos relacionados con el tiempo que lleva reinstalarlo y operarlo.

### **3.4.2. Ahorro de energía.**

El ahorro de energía es una de las principales preocupaciones en la industria debido a los efectos económicos que implica el costo de la energía, al requerir un menor consumo de energía, se reduce la demanda de energía, por lo que se utiliza de manera más efectiva y se evita. Se utilizan más recursos para crearlo.[21]

### **3.5. Instrumentación.**

En todos los procesos se requiere la medición de variaciones ya sea para conocer el estado del sistema o para realizar control de alguna variable.[22]

### 3.5.1. Vacuómetro.

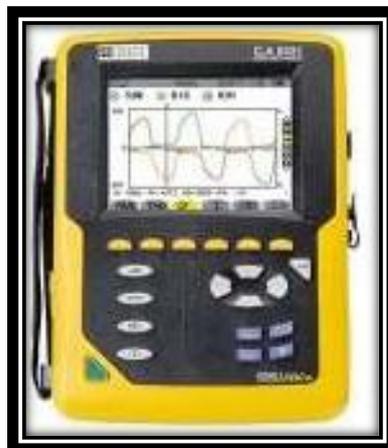
Este es un instrumento utilizado para medir la presión a presión atmosférica, y se basa en el principio del tubo de Bourdon que consiste en un tubo cuya parte flexible forma un anillo casi completo, cerrado en un extremo como se muestra en la Figura (3.10).[21] Al disminuir la presión en el interior del tubo, éste se contrae y el movimiento se transmite a la aguja mediante un elemento dentado y un piñón. Este manómetro tiene gradientes en sentido contrario a las agujas del reloj de 0 psi a 30 psi y se utiliza para medir la presión bajo la presión atmosférica.[9]



**Figura 3. 10.** Vacuómetro.

### 3.5.2. Analizador de redes.

Un analizador de redes es un dispositivo multifuncional que mide parámetros AC o DC tales como voltaje, corriente, potencia activa, potencia reactiva, potencia aparente, factor de potencia, etc. Figura 3.11.[23] Además de que algunos pueden incluso medir armónicos de tensión y corriente, también muestran gráficos de los tipos de armónicos presentes en la red de medida.[23]



**Figura 3. 11.** Analizador de Redes.

### 3.6. Motor de inducción.

El motor asíncrono trifásico es el tipo de motor más utilizado en la industria debido a su durabilidad y facilidad de uso. Estos motores constan de dos partes principales: un estator y un rotor giratorio.[4] El estator consta de un cuerpo de acero que soporta un núcleo cilíndrico en capas. Hay dos tipos de rotores:

- Rotor devanado.
- Rotor jaula de ardilla.

La parte móvil de la jaula de ardilla consta de varillas de cobre desnudas, que se insertan en los agujeros y se suelda en dos anillos para cortocircuitar todas las varillas. El devanado del rotor tiene un devanado trifásico similar al del estator, las tres fases de los devanados del rotor generalmente están conectadas en estrella y los extremos de los tres cables están conectados a los anillos deslizantes del eje del rotor y al cortocircuito. [1]

La ley de Lorentz explica el principio de funcionamiento de un motor de inducción, que establece que cuando una corriente fluye a través de una bobina, se crea un campo magnético, cuya dirección cambia con el cambio del ángulo de la línea de fuerza. Hay tres conjuntos de bobinas alimentadas por tres desfasadas 120° entre ellas, y estos devanados generan un campo magnético en una dirección, lo que hace que el rotor se mueva.[4]

La ley de Lorentz está definida por la siguiente ecuación:

$$F = Q * v * B * \text{Sen}(v \wedge B) \quad (3.7)$$

F = Fuerza de Lorentz

Q= Carga

v= Velocidad [rpm]

B= Campo Magnético

La velocidad del rotor es diferente de la velocidad del campo magnético del estator debido a la red trifásica aplicada, la velocidad del rotor es menor que la velocidad síncrona debido al deslizamiento de la máquina. [2]

La velocidad de rotación del campo magnético está dada por la siguiente ecuación:

$$n = \frac{120f_e}{p} \quad (3.8)$$

Donde  $f_e$  es la frecuencia del sistema y  $P$  es el número de polos.

### 3.6.1. Diagrama equivalente motor trifásico.

La representación esquemática de una máquina de inducción es similar a la de un transformador en que cuando el estator recibe energía de la red eléctrica, se genera un campo magnético que induce una FEM en el circuito del rotor. En el estator tenemos resistencia y una reactancia de dispersión de la bobina.[24]

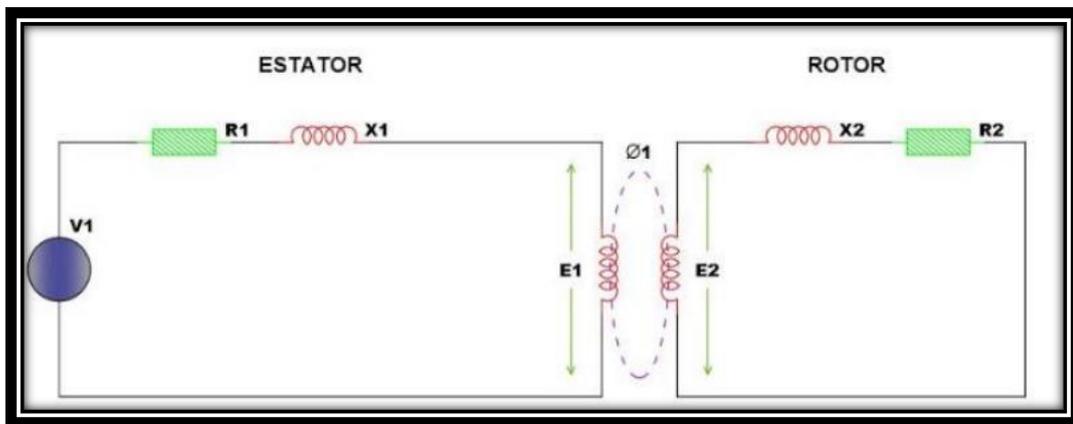


Figura 3. 12. Circuito equivalente del transformador.[24]

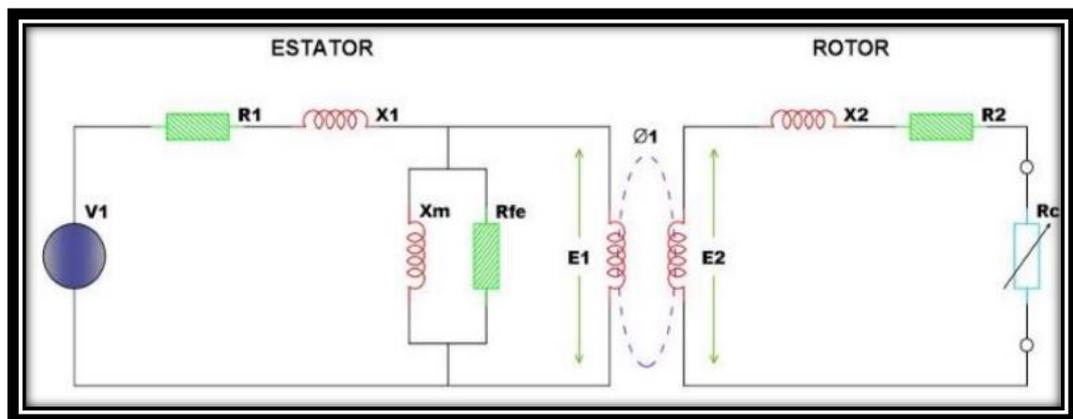


Figura 3. 13. Circuito equivalente del motor de inducción.[24]

El circuito del rotor tiene la resistencia e inductancia producida por los mismos devanados, así como la resistencia variable creada por la carga mecánica presente en el motor. La frecuencia eléctrica en el rotor depende del deslizamiento de la máquina y las variables en el lado del rotor dependen de la frecuencia eléctrica presente en el rotor.[24]

La ecuación de la resistencia eléctrica que equivale a la carga mecánica del motor sale a partir de la búsqueda de la corriente en el circuito del rotor y está definida por la siguiente ecuación [3].

$$I_2 \frac{E_2}{Z_2} \quad (3.9)$$

I= corriente [A]

E= Tensión [V]

Z= Impedancia [R]

### 3.7. Conexiones.

#### 3.7.1. Conexión de motores de seis terminales.

Los motores trifásicos de jaula de ardilla se pueden conectar de varias formas, según el tipo de red que tenga y la cantidad de conectores del motor. Los más habituales son los motores de seis terminales, que se pueden conectar de dos formas:

- Conexión en estrella
- Conexión delta

En la conexión en serie en estrella, la corriente a través de cada fase es igual a la corriente de cada línea, pero el voltaje aplicado a cada fase es menor que el voltaje de línea.[25]

Se representa entonces:

$$U_f = \frac{U_l}{\sqrt{3}} \quad (3.10)$$

U<sub>f</sub>= tensión de fase [V]

U<sub>l</sub>= tensión de línea [V]

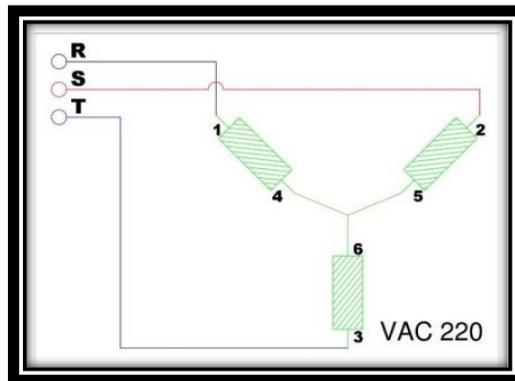
Y que:

$$I_f = I_l \quad (3.11)$$

I<sub>f</sub>= Corriente de fase [A]

I<sub>l</sub>= Corriente de línea [A]

Las salidas de los tres conjuntos de bobinas están conectadas y la entrada tiene el voltaje especificado por el fabricante. En general esta conexión se la somete a un voltaje mayor en conexión delta por lo cual consume menor corriente. Ya que se estabiliza a la corriente nominal en cuestión de segundos. La conexión en delta no produce un pico alto de corriente al momento de ponerse en funcionamiento el motor.[26]



**Figura 3. 14.** Conexión estrella.[26]

### 3.7.2. Conexión en triángulo.

En la conexión en triángulo, la intensidad que recorre cada fase es  $\sqrt{3}$  menor que la intensidad de línea, pero la tensión de línea es igual a la tensión de fase.

Se respeta entonces que

$$I_F = U_L \quad (3.12)$$

$I_F$ = Corriente de fase [A]

$U_L$ = tensión de línea [A]

y que

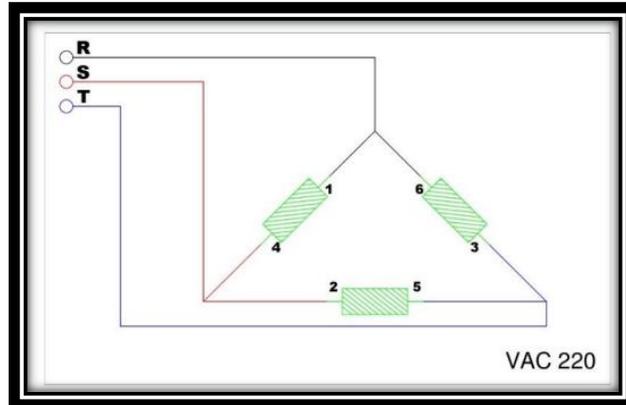
$$I_f = I_l \sqrt{3} \quad (3.13)$$

$I_f$ = corriente fase [A]

$I_l$ = corriente de línea [A]

Por lo tanto, la salida de un juego de bobinas se conecta a la entrada de un segundo juego de bobinas, esto se realiza para los tres grupos de bobinas y en la conexión de estos se conecta la alimentación. Generalmente, en esta conexión, la tensión de alimentación es inferior a la tensión aplicada en la conexión en estrella, por lo que consume más corriente.[26]

En conexión estrella, la corriente de fase lógica es la misma que la corriente de línea porque el cable no está dividido, sino que la tensión de línea  $U_L$  se compartirá entre las dos cargas con tensión de fase  $U_F = U_L / \sqrt{3}$ . [26]

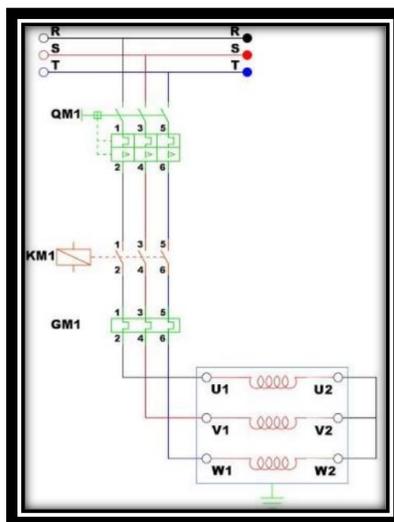


**Figura.3.15.** Conexión delta. [26]

### 3.8. Tipos de arranques.

#### 3.8.1. Arranque directo.

Este es el método más sencillo porque las bobinas se conectan directamente a la red mediante un sencillo proceso de conmutación. Gracias a esta aplicación se obtiene una alta corriente de arranque, lo que provoca una caída de tensión en la red. El cableado a la red y al motor debe ser capaz de soportar un pico de corriente de este tipo de arranque de 5 a 8 veces la corriente nominal. El arranque directo provoca tensión térmica en los devanados del motor, lo que reduce la vida útil de la bobina. [26]



**Figura 3.16.** Circuito de fuerza para arranque directo. [26]

### 3.8.2. Arranque estrella – triángulo

Este es el método más común para arrancar un motor trifásico e implica una conexión en estrella del motor durante el arranque y una conexión en triángulo después del arranque para que esté conectado a la tensión nominal. Se instalará un interruptor entre el motor y la línea que conecta los extremos de los devanados del motor sin hacer una conexión en el bloque de terminales.[26]

La conmutación de estrella a triángulo debe realizarse lo más rápido posible para evitar grandes corrientes transitorias debido a pérdidas de energía instantáneas.[26]

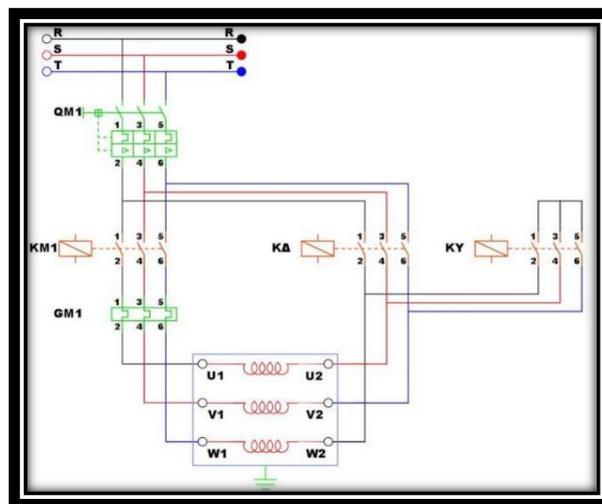


Figura 3.17. Circuito de fuerza de arranque estrella -triángulo.[26]

La configuración estrella-triángulo solo es adecuada para equipos de bajo par. La transición delta provoca un aumento significativo de la corriente y de todas las tensiones de alimentación en los devanados del motor.[26]

### 3.8.3. Arranque con variador de frecuencia.

También conocidos como actuadores de velocidad variable, estos dispositivos se utilizan para arrancar motores y pueden regular la frecuencia y, por lo tanto, la velocidad del motor. Al controlar la frecuencia de salida, puede reducir el desgaste mecánico del motor.[21]

Las ventajas de utilizar este dispositivo son:

- Reducen los desgastes mecánicos
- Control de velocidad

Analizando las ventajas de este dispositivo podemos concluir que el motor siempre funcionará en óptimas condiciones, con un indicador avisando cuando esto suceda.[21]

## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1 Método de investigación.

Para realizar este proyecto se requiere aplicar la evaluación de datos a través de la utilización del análisis de metodologías y procedimientos para la obtención de datos mediante pruebas, con la ayuda de un método descriptivo se realizara la recolección y tabulación de datos y posterior análisis , a través de fuentes bibliográficas se tendrá un refuerzo en la parte teórica a partir de información de fuentes , utilizando libros, guías, artículos, tesis y normativas para la utilización de motores eléctricos trifásicos.[25]

### 4.2 MATERIALES E INSTRUMENTOS

#### 4.2.1 Normativa

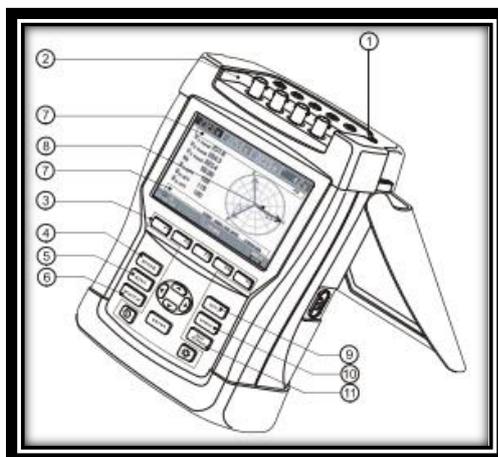
Para el desarrollo del proyecto se utilizó la normativa INEN la cual especifica el porcentaje de eficiencia energética de los motores trifásicos la cual fue elaborada por organismos competentes en el ámbito de motores eléctricos.[25]

##### a) Normativa técnica ecuatoriana INEN2 498:2009

Esta normativa establece los valores de eficiencia energética nominal y mínima asociada, y las características de la etiqueta informativa en cuanto a la eficiencia energética de los motores eléctricos estacionarios monofásicos y trifásicos.[25]

#### 4.2.2 Manual de analizador de calidad de energía.

##### 4.2.2.1 partes del analizador de calidad de energía.



**Figura 4.1** partes del analizador de calidad de energía.[25]

En la figura 4.1 se muestra la descripción en números de las partes importantes del analizador de calidad de energía. Sus partes se describirán en la tabla 4.1

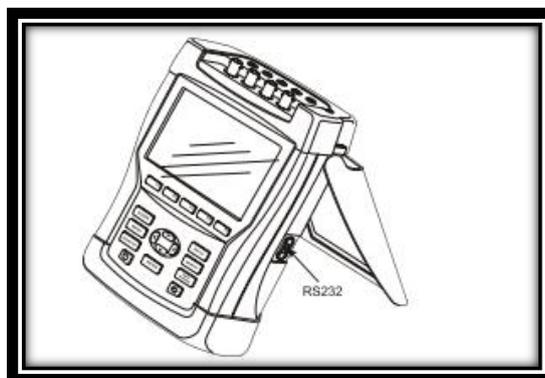
**Tabla 4.1** detalles de partes del analizador de energía fluke 345.[25]

	Tema	Pagina
1	Carga de baterías y preparación para el uso.	
2	Conexión de entrada	
3	Funciones auxiliares, navegación por los menús.	
4	Modo osciloscopio (tecla SCOPE)	
5	Menú de medidas (tecla MENU)	
6	Supervisión de la calidad eléctrica (tecla MONITOR)	
7	Símbolos en pantalla.	
8	Pantalla y teclas de función.	
9	Configuración del analizador (tecla SETUP)	
10	Configuración del analizador (tecla MEMORY)	
11	Almacenamiento de pantallas (tecla SAVE SCREEN)	

#### 4.2.2.2 Cargas de baterías y preparación para el uso.

Las baterías de NiMH instaladas se pueden descargar en el momento de la compra del analizador. Necesita cargar en 4 horas con el analizador apagado: Cuando utilice el analizador por primera vez, Ajústalo para que se adapte a las medidas que quieras tomar. La sección de configuración del analizador incluye resumen de los elementos configurados.[25]

##### a) Soporte de sujeción.

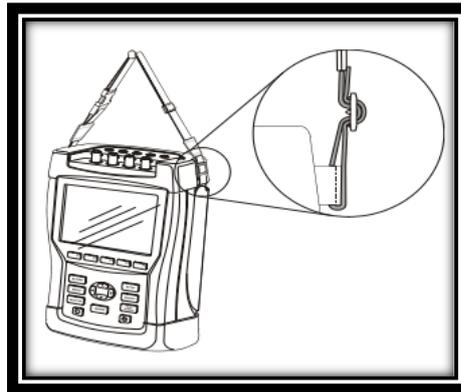


**Figura 4.2.** Soporte de sujeción. [25]

En la figura 4.2 se muestra el soporte de sujeción que permite ver la pantalla inclinada cuando se coloca en alguna superficie.

**b) Correa**

En la figura 4.3 se muestra la correa de sujeción y se muestra cómo se engancha correctamente la correa del analizador.



**Figura 4.3.** correa de sujeción del analizador de energía.[25]

**4.2.2.3. Funciones auxiliares.**

En esta sección se detallará en la tabla 4.2 funciones de encendido apagado, ajuste del brillo y bloqueo del teclado con su respectiva ilustración.[25]

**Tabla 4.2.** Detalle de funciones auxiliares.[25]

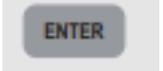
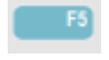
Ilustración	Descripción
	El analizador se apagará o encenderá a través de la tecla de encendido ubicada en el teclado del analizador.
	Mediante la tecla podremos regular el brillo de la pantalla.
	Mediante la tecla enter se podrá bloquear el analizador presionando durante 5 segundos.

**c) Navegación por los menús.**

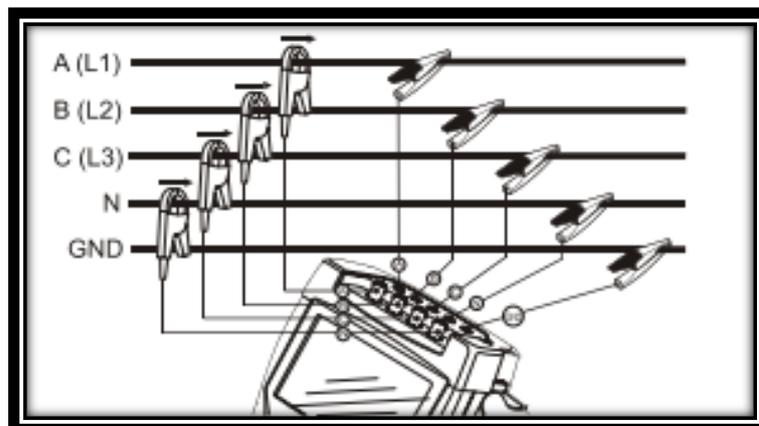
En la tabla 4.3 se detalla las funciones de navegación en el fluke 435 para ingresar a las pruebas a efectuarse. Y en esta sección se explicará cómo utilizar dichos menús. Como un ejemplo que

se muestra en la tabla 4.3 se explicara como ajustar la fecha del reloj en tiempo real y el contraste.

**Tabla 4.3.** ajuste de fecha del reloj en tiempo real y contraste.

<b>Figura</b>	<b>Descripción</b>
	Presionando SETUP aparece el menú configurar.
	Utilice las flechas de arriba abajo para ubicarse en la fecha que aparecerá en la pantalla.
	Pulsando enter para acceder al submenú ajustar fecha.
	Seleccione el día
	Seleccione la fecha.
	Pulse la tecla F5 3 veces para confirmar las selecciones y volver al menú principal
<b>Ajuste del contraste</b>	<b>Descripción</b>
	Pulse la tecla F4 para acceder al submenú de ajustar el contraste
	Ajuste el CONTRASTE con las flechas como desee.
	Pulse la tecla F5 varias veces para desplazarse hacia arriba a través de los menús.

#### 4.2.2.4. Conexión de entrada.



**Figura 4.4.** Conexiones de entrada.[25]

#### 4.2.2.4. modo osciloscopio (tecla SCOPE)

mediante una descripción general en esta sección se ofrece una descripción general de los modos de medida. La información de pantalla y el uso de las teclas de función del analizador. Mediante el osciloscopio se muestra graficas de las formas de onda la tensión/ corriente y valores numéricos que posterior mente se pueden trasladar a una hoja de cálculo.[25]

#### 4.2.2.5. Menú de medidas.

Se puede acceder mediante el menú a las funciones de medida por medio de la tecla (MENU). Están disponibles funciones como.[25]

- Tablas: valores numéricos como tensión, corriente, frecuencia, factor pico.
- Tendencias: valores a lo largo del tiempo de los valores de las tablas.

#### 4.2.2.6. Supervisión de la calidad eléctrica.

En esta sección se encuentran disponibles funciones como: gráficos de barras, tabla de eventos tendencia. Se puede ingresar atreves de a tecla del monitor en la pantalla principal.[25]

#### 4.2.2.7. Símbolo en pantalla.

Se localizó en la pantalla diversos símbolos en la zona superior e inferior de la pantalla para indicar el estado del analizador y sus medidas símbolos como: fecha, hora, ZOOM, grabación de datos, indicador de cargador conectado, teclado de bloqueo.[25]

#### 4.2.2.8. Pantallas y teclas de función.

El analizador cuenta con 5 pantallas diferentes para mostrar resultados de las medidas. Cada tipo de pantalla se organiza para presentar los datos de forma mas clara posible. Las fases se indican con distintos colores como se muestra en la figura 4.5.[25]

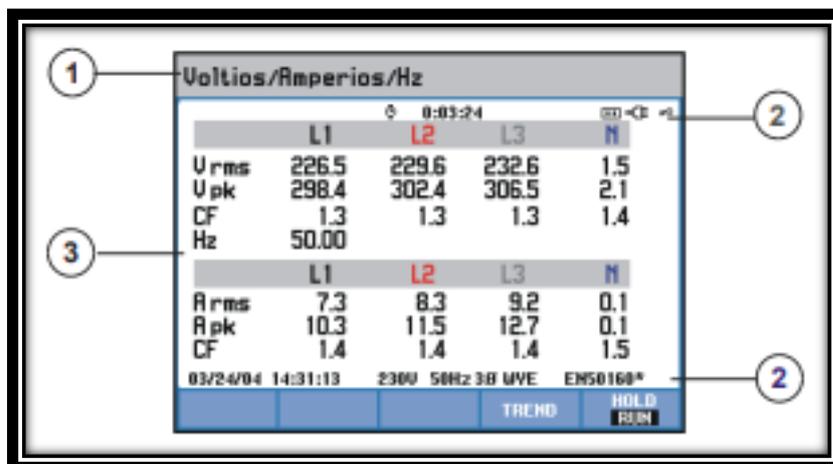


Figura.4.5. pantalla de datos del analizador.[25]

## 5. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 5.1. Arranque delta directo.

Metodología para la obtención de la base de datos con el uso del FLUKE 435-II.



**Figura 5. 1.** Datos iniciales. (autores)

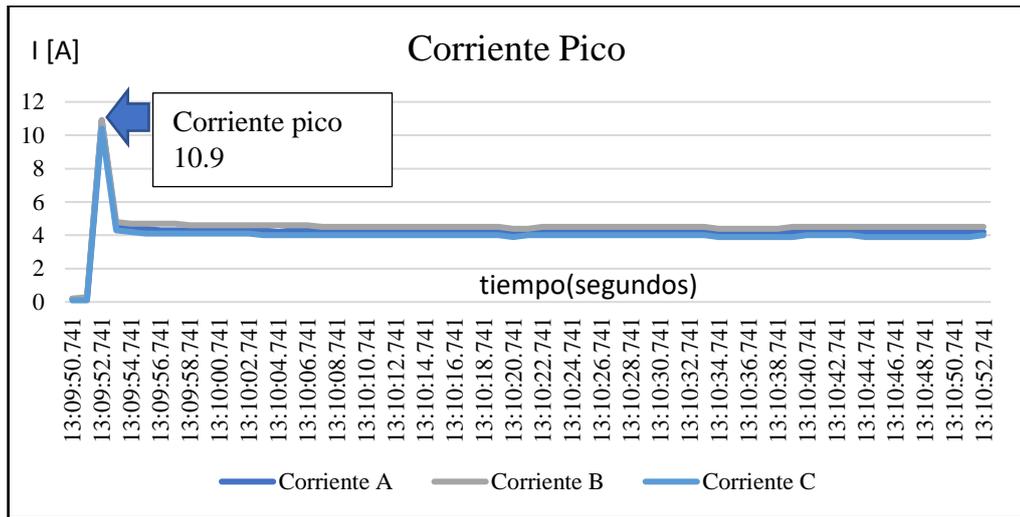
### 5.2. Análisis de la corriente pico

En la tabla 5.1 se mostró las corrientes pico de las tres fases, alcanza una corriente de 10.9[A] en el minuto 13:09:52.741 y la nominal es de 5 A con este tenemos un aumento de 5 [A] de corriente al momento del arranque, luego se estabiliza y trabaja a su corriente nominal. En el anexo 1 se observará todos los eventos suscitados durante la prueba.

**Tabla 5. 1.** Datos de corriente pico en configuración delta.

Hora	Corriente A [A]	Corriente B [A]	Corriente C [A]
13:09:50.741	0,2	0,2	0,1
13:09:51.741	0,2	0,3	0,1
13:09:52.741	10,9	10,9	10,4
13:09:53.741	4,5	4,8	4,3

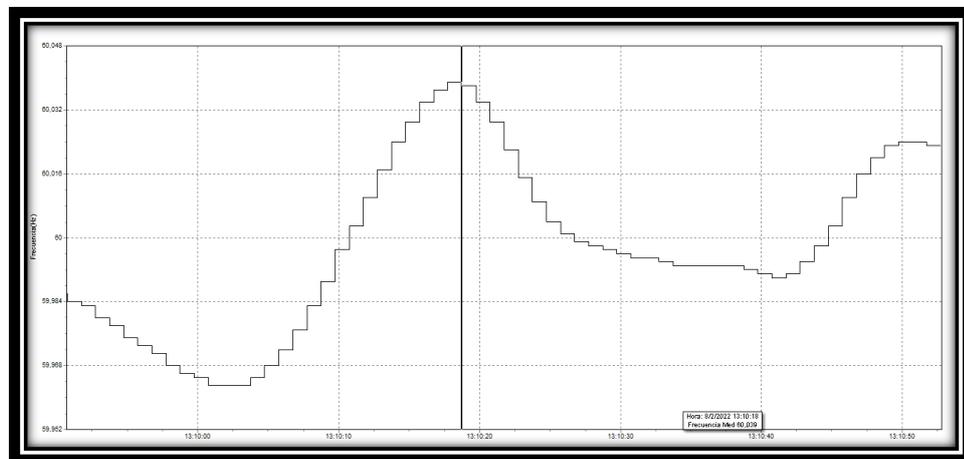
En la figura (5.2) se observó las corrientes pico del arranque, los valores de la corriente al momento que la bomba ingresa a trabajar se muestran en la tabla 1 y se señaló el tiempo que empieza a funcionar el sistema de bombeo ya que la prueba para el análisis se las realizo durante un minuto. En el eje de las x es el valor de la corriente y en el eje de la y son los valores de tiempo estimado.



**Figura 5. 2.** Corriente pico en configuración delta. (autores)

### 5.3. Análisis de frecuencia

En la figura 5.3 se muestra la frecuencia media que es constante a 60 Hz en las tres fases. Ya que la bobina no trabajó bajo carga y no tuvo ninguna variación y por su arranque que fue directo se representó la frecuencia de la red. En la red se trabajó con tres líneas L1, L2, L3. Cada una de ellas con un voltaje de 127 voltios en corriente alterna. (AC)



**Figura 5. 3.** Frecuencia. (autores)

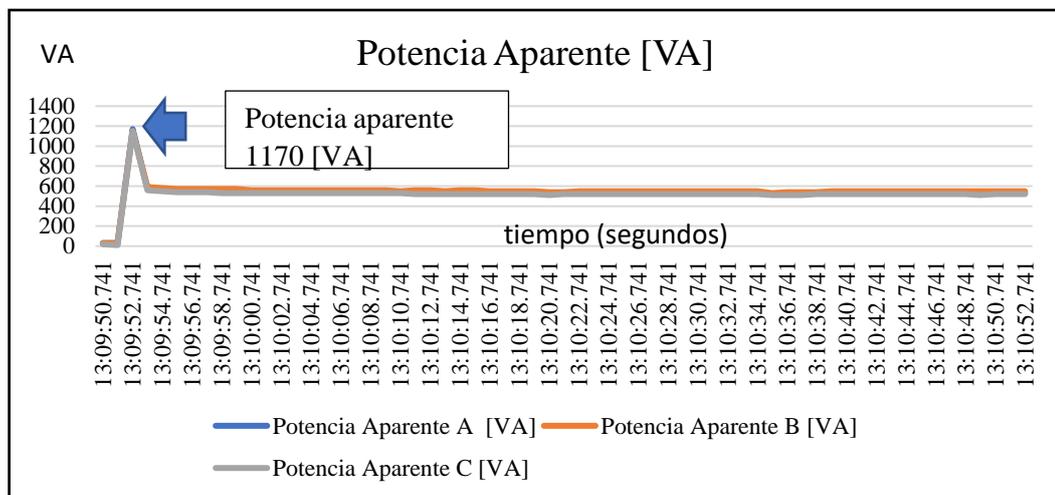
#### 5.4. Análisis de la potencia Aparente.

En la tabla 5.2 tenemos los datos de la potencia aparente, en la hora 13:09:51.741 se eleva cuando el motor arranca y luego en el tiempo de 13:09:53.741 vuelve a ser constante.

**Tabla 5. 2.** Datos de potencia aparente configuración delta.

Hora	Potencia Aparente A [VA]	Potencia Aparente B [VA]	Potencia Aparente C [VA]
13:09:50.741	30	30	20
13:09:51.741	30	30	10
13:09:52.741	1170	1150	1150
13:09:53.741	570	590	560
13:09:54.741	560	580	550

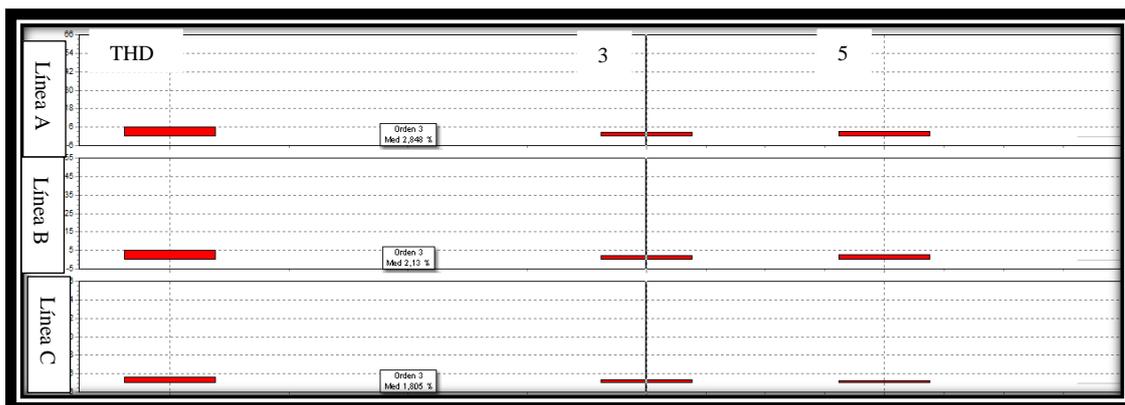
En la figura 5.4 se observó que, cuando mi corriente de arranque se eleva la potencia aparente de igual forma, cuando el motor pasa a su corriente nominal las potencias entregadas por cada línea vuelven a ser constantes.



**Figura 5. 4.** Potencia aparente configuración delta. (autores)

#### 5.5 Análisis de los armónicos de corriente.

En la figura 5.5 se muestran los armónicos de corriente 3,5 los valores de porcentaje se muestran en la tabla 5.3. Donde observamos que el porcentaje del armónico 5 no afecta ya que se muestra un porcentaje bajo que no ocasiona distorsión armónica ala onda fundamental la cual no afectara el funcionamiento del sistema de bombeo.



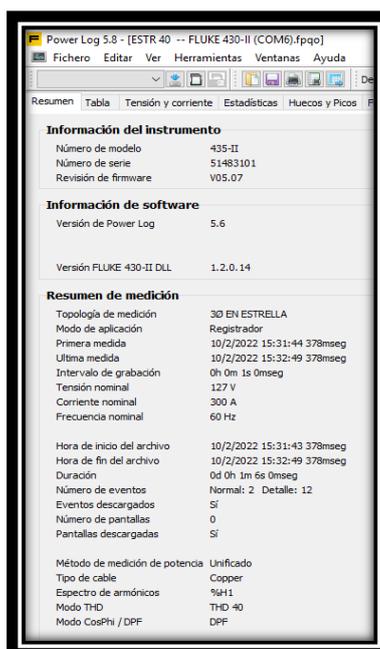
**Figura 5. 5** Armónicos de corriente 3,5 de las tres líneas.(autores)

**Tabla 5. 3.** Datos de armónicos de corriente configuración delta.

LINEAS	A %	B%	C %
Armónico 3	2,84%	2,13%	1,80%
Armónico 5	3,26%	2,81%	1,43%
THD	6,26%	4,86%	3,83%

### 5.2.1 Arranque estrella directo.

Metodología para la obtención de la base de datos mediante el FLUKE 435-2 en el arranque del sistema de bombeo.



**Figura 5. 6.** Resumen de datos iniciales. (autores)

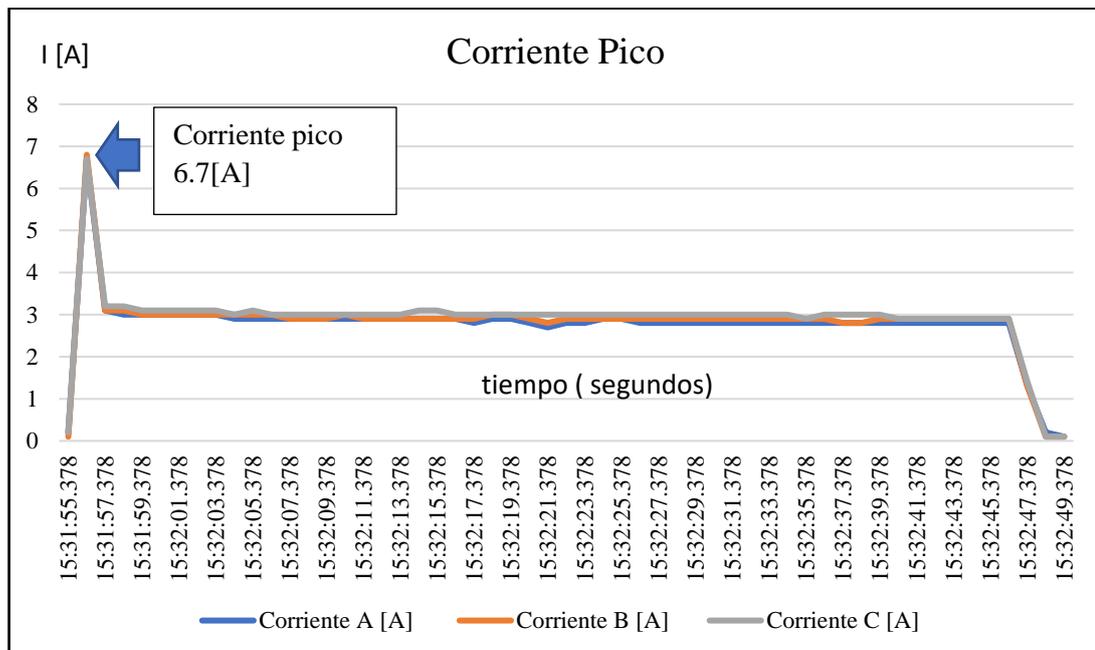
### 5.2.2 Análisis de la corriente pico configuración estrella.

En la tabla 5.4 se mostró las corrientes pico de las tres fases el pico que alcanza en el minuto 15:31:56.378 la corriente es de 6,9 [A] y la nominal es de 3 [A] con este tenemos un aumento de 3,9 a la corriente al momento del arranque luego se estabiliza y trabaja a su corriente nominal en el minuto 15:31:59.378.

**Tabla 5. 4.** Datos de corriente configuración estrella.

Hora	Corriente A[A]	Corriente B[A]	Corriente C[A]
15:31:55.378	0,2	0,1	0,2
15:31:56.378	6,7	6,8	6,7
15:31:57.378	3,1	3,1	3,2
15:31:58.378	3	3,1	3,2
15:31:59.378	3	3	3,1

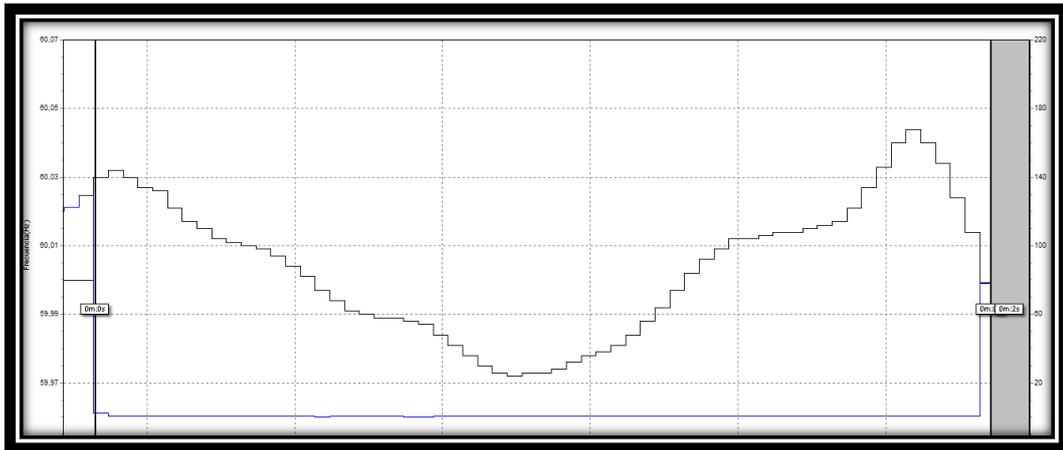
En la figura 5.7 se observó las corrientes pico al momento del arranque, los valores de la corriente al momento que la bomba ingresa a trabajar se muestran en la tabla 5.4 y se señaló el tiempo que empieza a funcionar el sistema de bombeo ya que la prueba para el análisis se las realizo durante un minuto. En el eje de las x es el valor de la corriente y en el eje de la y son los valores de tiempo estimado.



**Figura 5.7.** Corriente pico arranque en estrella. (autores)

### 5.2.3. Análisis de la frecuencia

Se muestra el análisis de la frecuencia con la que trabajamos que es 60Hz y la misma puede identificar que es un trabajo normal de la bomba teniendo en cuenta que la misma tiene un trabajo uniforme como se muestra en la figura 4.8



**Figura 5.8.** frecuencia media de funcionamiento del sistema de bombeo. (autores)

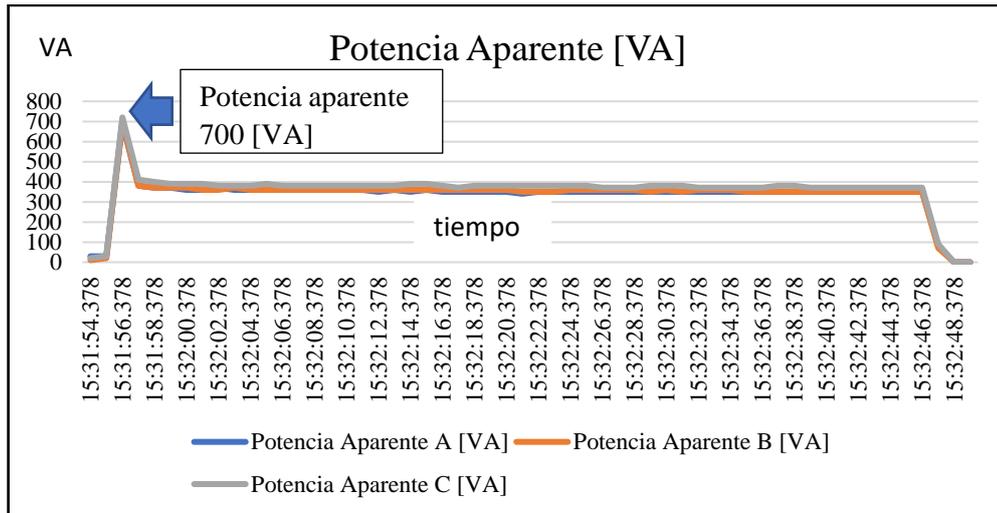
### 5.2.4. Análisis de la potencia aparente.

En la tabla 5.9 Se muestra los datos de la potencia aparente en el minuto 15:31:56.378 se observó el pico máximo posteriormente en el minuto 15:31:57.378 se estabiliza. Este aumento de potencia aparente sucede al momento que arranca el motor en cuestión de segundos se eleva y se estabiliza el sistema.

**Tabla 5.5.** Datos de potencia aparente obtenida mediante la prueba con el analizar de energía.

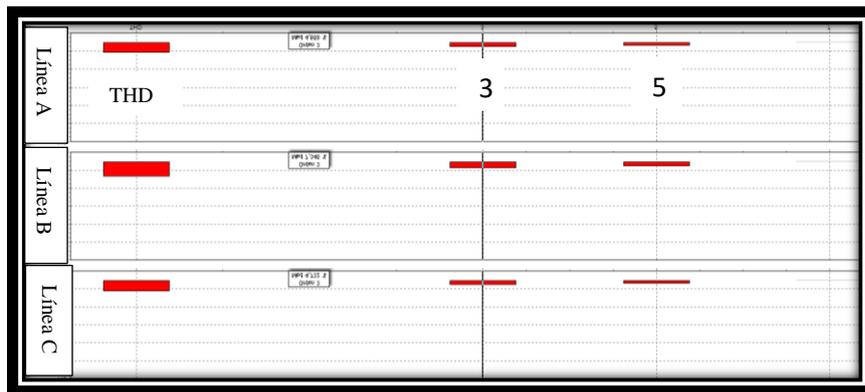
Hora	Potencia Aparente A [VA]	Potencia Aparente B [VA]	Potencia Aparente C [VA]
15:31:54.378	30	10	20
15:31:55.378	30	20	30
15:31:56.378	690	700	720
15:31:57.378	380	380	410
15:31:58.378	370	370	400

En la figura 5.9 se observó que cuando mi corriente de arranque se eleva mi potencia activa de igual forma, cuando el motor pasa a su corriente nominal las potencias entregadas por cada línea vuelven a ser constantes. Los datos obtenidos se muestran en la tabla 5.5.



**Figura 5.9.** Potencia Aparente de la bomba. (autores)

### 5.2.5 Análisis de los armónicos de corriente.



**Figura 5.10.** Armónico de tensión en configuración estrella. (autores)

En la figura 5.10 se muestra el porcentaje de armónico de corriente en las tres líneas que se describirá en la tabla 5.6.

**Tabla 5.6.** Datos en porcentaje de los armónicos de corriente en configuración estrella.

LINEAS	A %	B%	C %
Armónico 3	0,48%	0,98%	0,83%
Armónico 5	1,25%	1,19%	1,84%
THD	1,80%	2,58%	2,34%

En la tabla 5.6 se muestra el porcentaje de los armónicos de las tres líneas y se observó que el armónico 5 no presenta un porcentaje alto por lo cual no afecta al trabajo de la bomba.

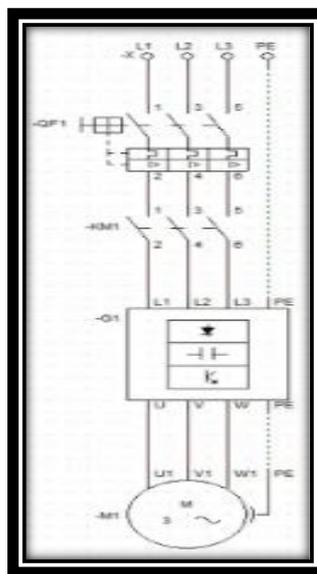
### 5.2.6 Análisis de la corriente y potencia

**Tabla 5.7.** Resumen de los valores de corriente potencia entre los arranques estrella y triangulo.

Corriente pico en configuración delta	Corriente pico en configuración estrella	Potencia Aparente en delta	Potencia Aparente en estrella	Frecuencia
10,9 [A]	6,7 [A]	1170 [VA]	690 [VA]	60 [Hz]
10,9 [A]	6,8 [A]	1150 [VA]	700 [VA]	60 [Hz]
10,4 [A]	6,7 [A]	1150 [VA]	720 [VA]	60 Hz]

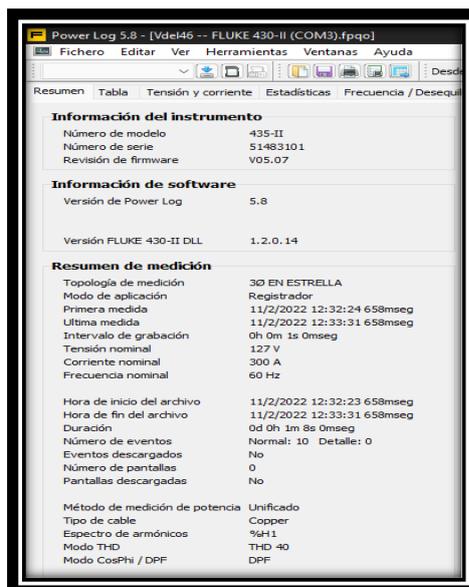
### 5.3. Arranque Delta con variador de frecuencia

Para este arranque utilizamos en virador de marca invt el cual nos permitió trabajar con frecuencias desde 0Hz hasta los 60 Hz y un motor eléctrico de 1HP, para la obtención de los datos utilizamos el analizador de redes de marca Fluke 435-II.



**Figura 5.11.** Diagrama de conexión. (Autores)

En la figura 5.11 se muestra la información del analizador de energía como también los datos iniciales del arranque del sistema de bombeo, el tiempo de medición tienen como duración 1 minuto y los intervalos fueron cada 10 segundos, teniendo como voltaje de línea 120v y una frecuencia de 60Hz.



**Figura 5.12.** Parámetros iniciales del Analizador. (Autores)

#### 4.3.1. Análisis de la corriente pico del arranque delta con variador de frecuencia

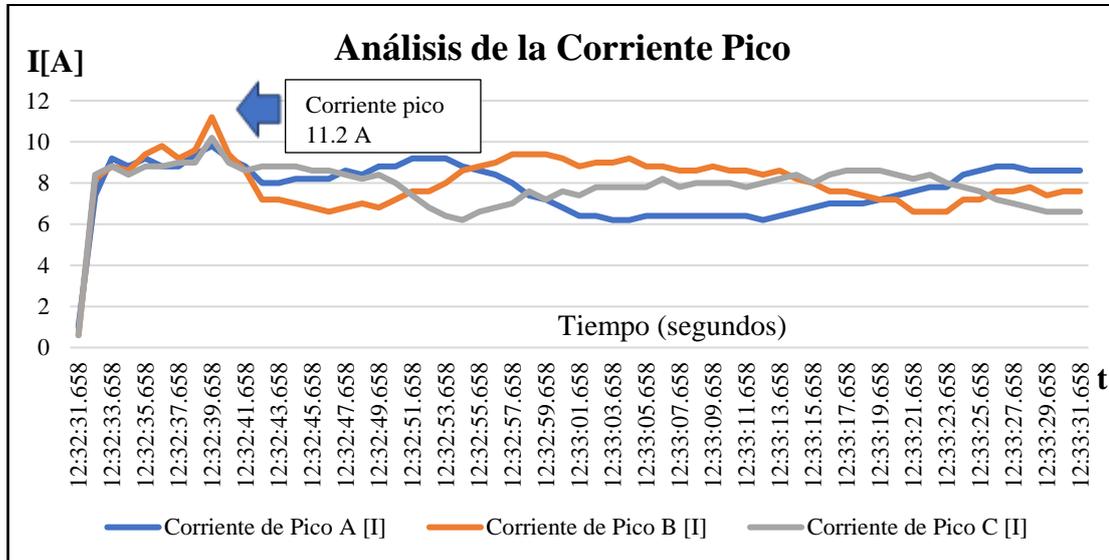
La corriente pico de este arranque se muestra en la figura 5.12. donde se pueden observar que el pico más alto de corriente es de 9,8A en la línea A, 11,2 A en la línea B y 10,2 A en la línea C, que se produjo en el evento número 16 como se muestra en la tabla (4.8), después pasó a un modo estable de trabajo donde la corriente es de 8,6A y su voltaje es constante. En el anexo 1 se observará todos los eventos suscitados durante la prueba.

**Tabla 5.8.** Datos de corriente pico en configuración delta con variador.

Hora	Corriente de Pico A [I]	Corriente de Pico B [I]	Corriente de Pico C [I]	Corriente de Pico N [I]
12:32:37.658	8,8	9,2	9	1,2
12:32:38.658	9,4	9,6	9	1,2
12:32:39.658	9,8	11,2	10,2	1,2
12:32:40.658	9,2	9,4	9	1,4
12:32:41.658	8,8	8,6	8,6	1,2

En la figura 5.13 se observó las corrientes pico del arranque, los valores de la corriente al momento que la bomba ingresa a trabajar se muestran en la tabla 1 y se señaló el tiempo que empieza a funcionar el sistema de bombeo ya que la prueba para el análisis se las realizó durante

un minuto. En el eje de las x es el valor de la corriente y en el eje de la y son los valores de tiempo estimado.



**Figura 5. 13.** Corriente pico en configuración delta con variador. (Autores)

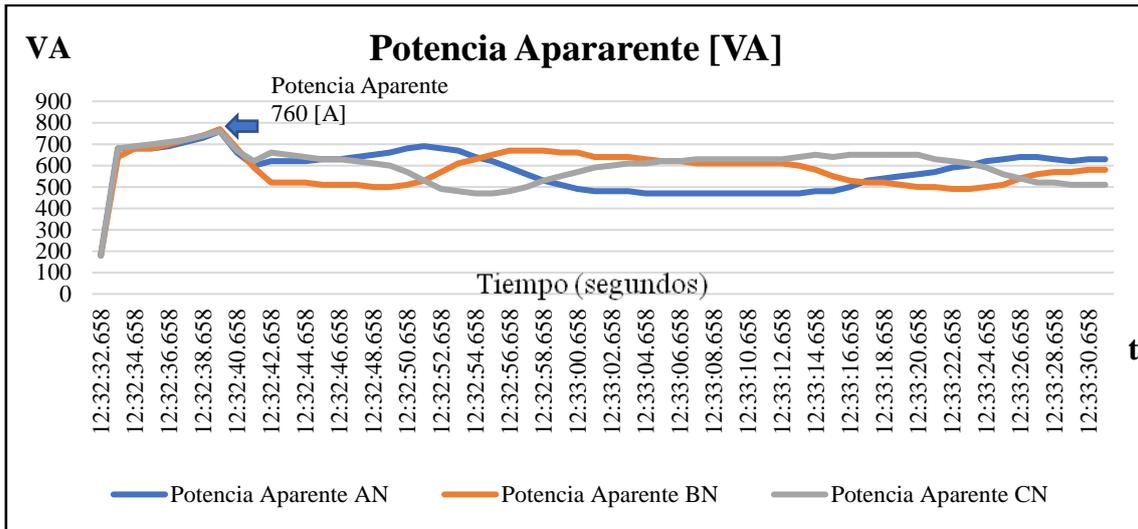
### 5.3.2. Análisis de la Potencia Aparente del arranque delta con variador de frecuencia

En la figura 5.9. se pudo observar la potencia máxima con la que trabaja el motor que oscila entre los 570W hasta 650w en el tiempo 12:32:37.658 al 12:32:41.658 ya que por el trabajo que desempeña esta vería en ocasiones por la apertura y cierre de valvulas en el sistema de bombeo.

**Tabla 4. 9.** Datos de potencia aparente configuración delta con variador.

Hora	Potencia Aparente AN [VA]	Potencia Aparente BN [VA]	Potencia Aparente CN [VA]
12:32:37.658	710	720	720
12:32:38.658	730	740	740
12:32:39.658	760	770	760
12:32:40.658	660	680	670
12:32:41.658	600	590	620

En la figura 5.14. se observó que, cuando mi corriente de arranque se eleva la potencia aparente de igual forma, cuando el motor pasa a su corriente nominal las potencias entregadas por cada línea vuelven a ser constantes.



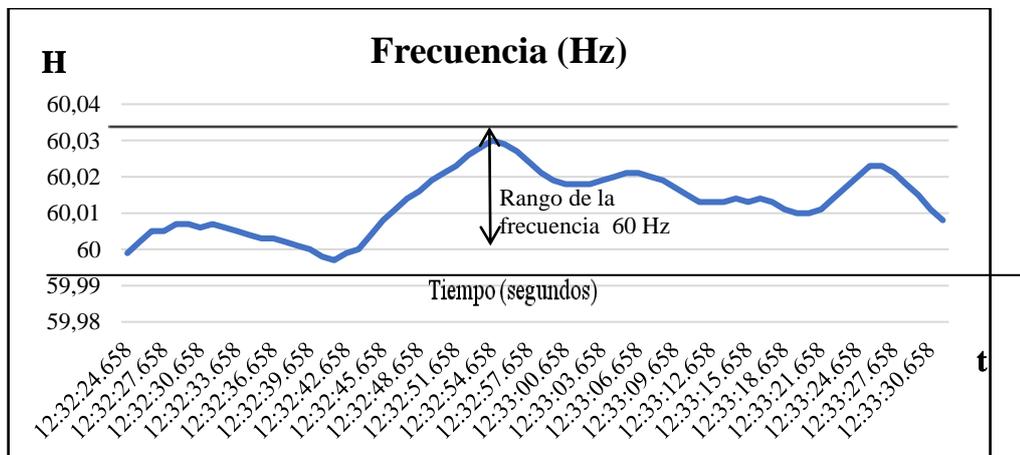
**Figura 4. 14.** Curvas de la potencia aparente. (Autores)

### 5.3.3. Análisis de la Frecuencia en el arranque delta con variador de frecuencia

En la figura 5.15 se muestra el analisis de la frecuencia con la que trabajamos que es 60Hz y la misma puede identificar que es un trabajo normal de la bomba teniedo cuenta que la misma tiene un trabajo uniforme.

**Tabla 5. 10.** Datos de la frecuencia en configuración delta con variador de frecuencia.

Hora	Frecuencia [Hz]
12:32:37.658	60,002
12:32:38.658	60,001
12:32:39.658	60
12:32:40.658	59,998
12:32:41.658	59,997

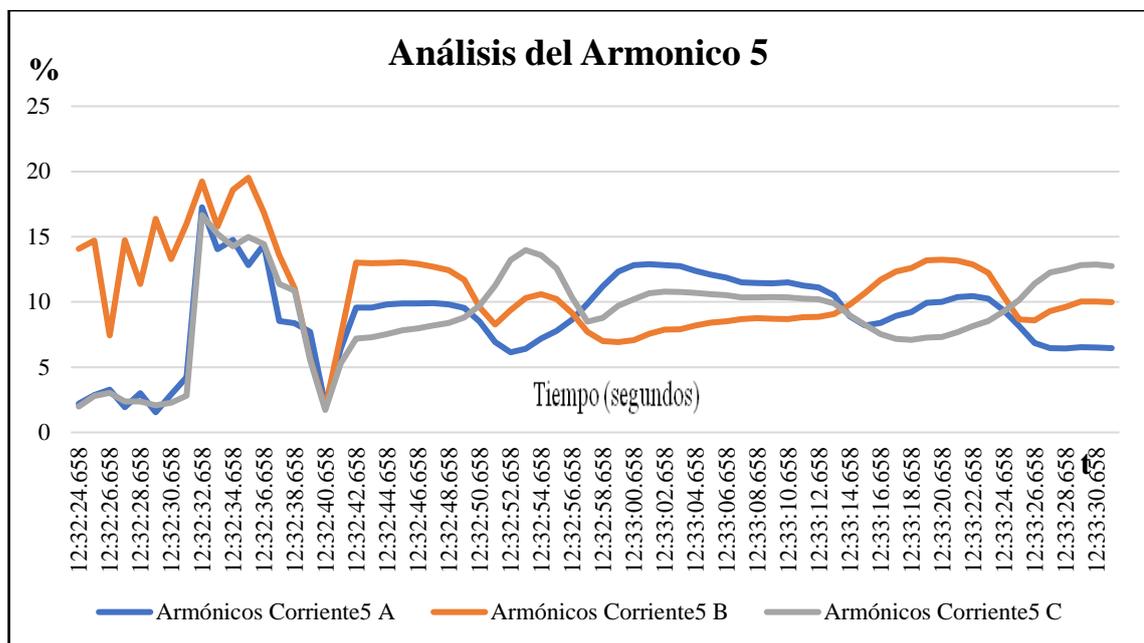


**Figura 5.15.** Parámetros de la frecuencia en configuración delta con variador de frecuencia. (Autores)

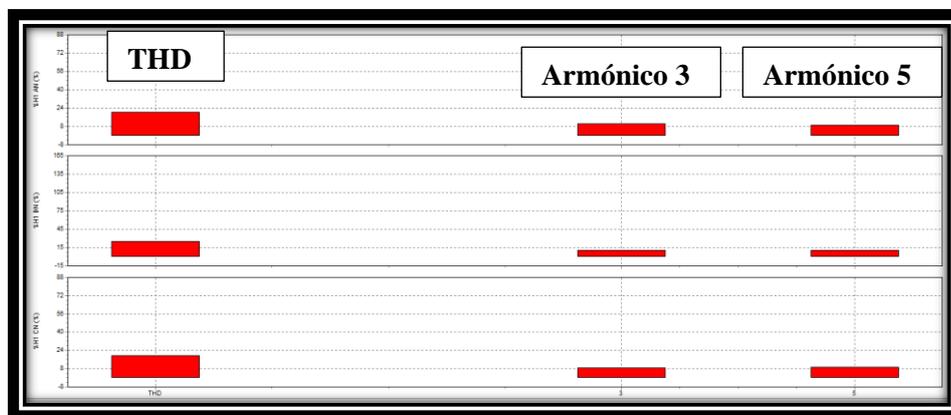
### 5.3.4. Análisis de los armónicos del arranque delta con variador de frecuencia.

**Tabla 5. 11.** Datos del armónico número 5 en configuración delta con variador de frecuencia.

Hora	Armónicos Corriente5 A	Armónicos Corriente5 B	Armónicos Corriente5 C
12:32:37.658	8,53	13,57	11,37
12:32:38.658	8,36	11,04	10,86
12:32:39.658	7,71	5,68	5,56
12:32:40.658	2,08	1,87	1,72
12:32:41.658	6,41	7,38	5,29



**Figura 5.16.** Análisis de armónico en la configuración estrella con variador de frecuencia. (Autores)



**Figura 5.17.** Armónico de corriente en configuración delta con variador de frecuencia. (Autores)

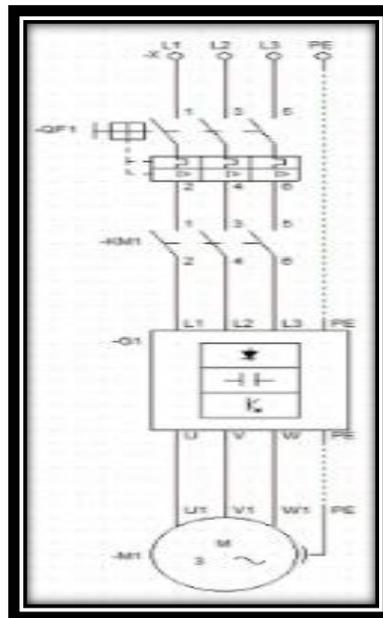
En la figura 5.17 se muestra el porcentaje de armónico de tensión en las tres líneas que se describirá en la tabla los valores de armónicos.

**Tabla 4.12.** Datos en porcentaje de los armónicos de corriente en configuración delta con variador.

LINEAS	A %	B%	C %
Armónico 3	10,24%	11,94%	8,81%
Armónico 5	8,95%	10,94%	9.16%
THD	19,19%	22.88%	17,97%

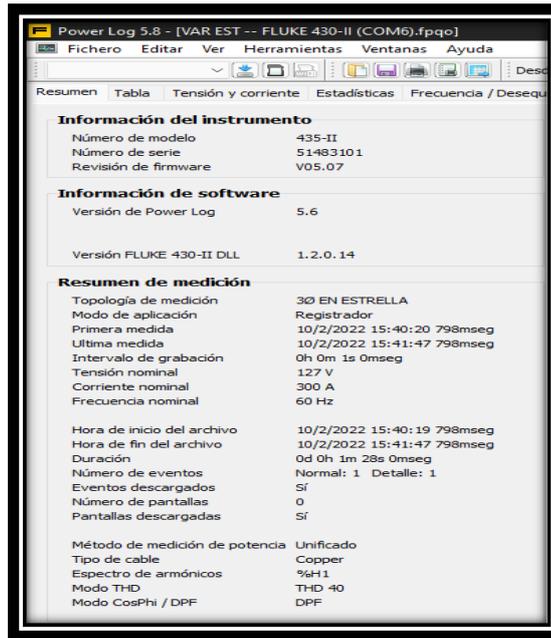
#### 5.4. Arranque Estrella con variador de frecuencia

Para este arranque utilizamos en virador de marca invtel cual nos permitió trabajar con frecuencias desde 0Hz hasta los 60 Hz y un motor eléctrico de 1HP, para la obtención de los datos utilizamos el analizador de redes de marca Fluke 435-II.



**Figura 5. 18.** Diagrama de conexiones en el programa Cade Simu. (Autores)

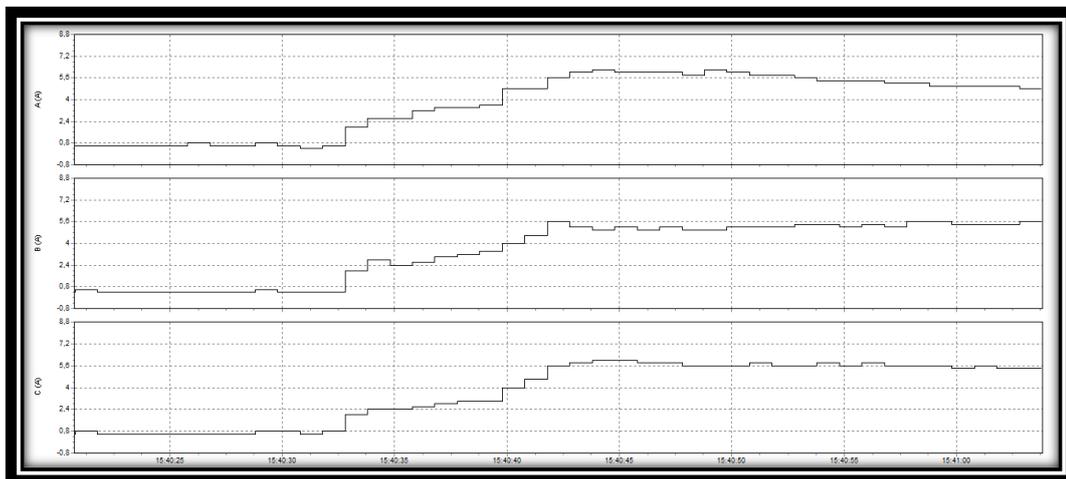
En la figura 5.19 se muestra la información del analizador de energía como también los datos iniciales del arranque del sistema de bombeo, el tiempo de medición tienen como duración 1 minuto y los intervalos fueron cada 10 segundos, teniendo como voltaje de línea 120V y una frecuencia de 60Hz.



**Figura 5. 19.** Parámetros iniciales del Analizador. (Autores)

#### 5.4.1. Análisis corriente pico del arranque estrella con variador de frecuencia

En la figura 5.20 se puede observar que no existe un pico considerable ya que el variador de frecuencia nos elimina la corriente pico, pero por los elementos que existen en el mismo existe pequeñas perturbaciones en sus señales.



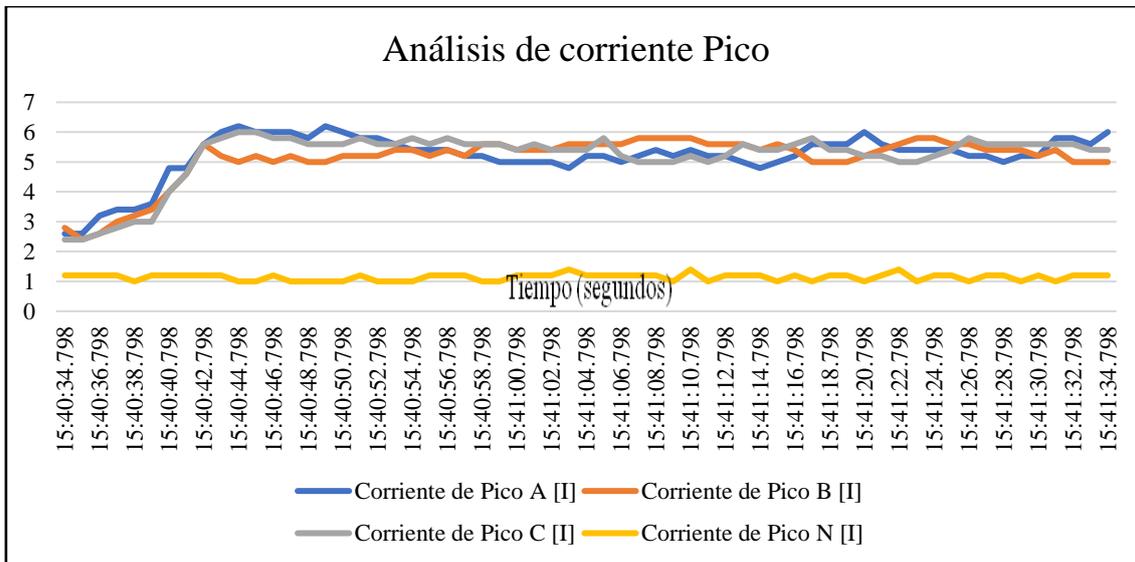
**Figura 5. 20.** Señales emitidas por el analizador de redes en el arranque estrella. (Autores)

En la tabla 5.13 se puede observar cómo tiende a empezar desde una corriente muy baja hasta su estabilidad que es de 60Hz y una corriente de 6A aproximadamente

En este tipo de arranque los valores de corriente son progresivos debido a la configuración de nuestro variador que siempre parte desde 0Hz y no existe un pico notorio en todo es ciclo de arranque de la bomba ya que el arranque estrella es un arranque suave.

**Tabla 5.13.** Datos de corriente pico en configuración estrella con variador.

Hora	Corriente de Pico A [A]	Corriente de Pico B [A]	Corriente de Pico C [A]	Corriente de Pico N [A]
15:40:41.798	4,8	4,6	4,6	1,2
15:40:42.798	5,6	5,6	5,6	1,2
15:40:43.798	6	5,2	5,8	1,2
15:40:44.798	6,2	5	6	1
15:40:45.798	6	5,2	6	1



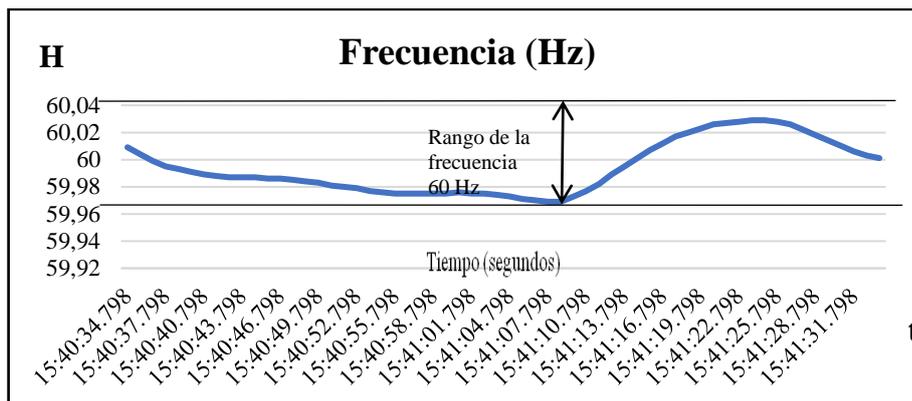
**Figura 5.21.** Análisis de corriente pico en configuración estrella con variador. (Autores)

#### 5.4.2. Análisis de frecuencia en configuración estrella con variador de frecuencia

En la figura 5.22. se muestra el análisis de la frecuencia con la que trabajamos que es 60Hz y la misma puede identificar que es un trabajo normal de la bomba teniendo en cuenta que la misma tiene un trabajo uniforme.

**Tabla 5. 14.** Datos de frecuencia en configuración estrella con variador de frecuencia.

Hora	Frecuencia [Hz]
15:40:41.798	59,988
15:40:42.798	59,987
15:40:43.798	59,987
15:40:44.798	59,987
15:40:45.798	59,986



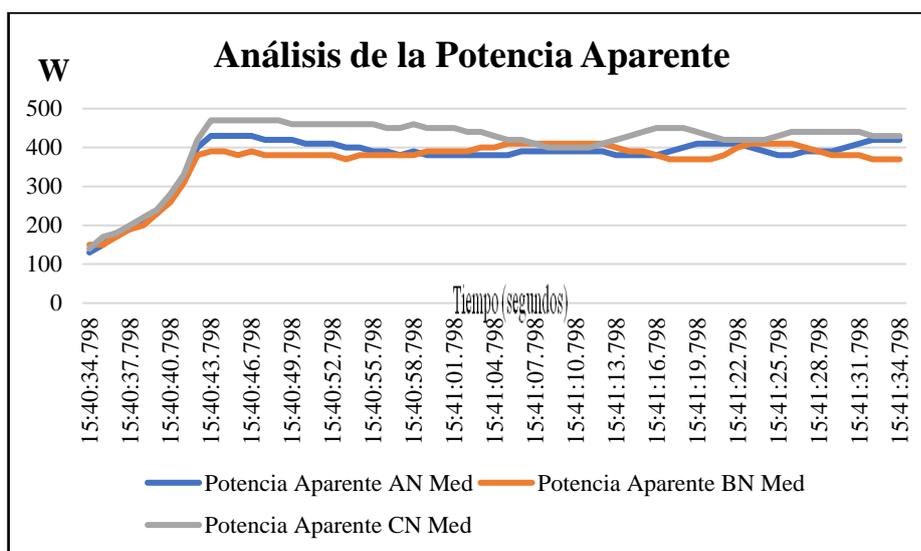
**Figura 5. 22.** Parámetros de la frecuencia en configuración estrella con variador de frecuencia. (Autores)

### 5.4.3. Análisis de la potencia en configuración estrella con variador de frecuencia.

En la figura 5.23. se pudo observar la potencia maxima con la que trabaja el motor que oscila entre los 380W hasta 470W ya que por el trabajo que desempeña esta varia en ocasiones.

**Tabla 5. 15.** Datos de potencia aparente configuración delta con variador

Hora	Potencia Aparente AN	Potencia Aparente BN	Potencia Aparente CN
15:40:41.798	320	310	330
15:40:42.798	400	380	420
15:40:43.798	430	390	470
15:40:44.798	430	390	470
15:40:45.798	430	380	470



**Figura 5. 23.** Curva de la potencia aparente en configuración estrella con variador de frecuencia. (Autores)

### 5.4.4. Análisis de los Armónicos del arranque estrella con variador de frecuencia

Tabla 5. 16. Datos de armónicos en configuración estrella con variador

Hora	Armónicos Corriente5 A	Armónicos Corriente5 B	Armónicos Corriente5 C	Armónicos Corriente5 N
15:40:43.798	2,4	1,07	1,65	1,02
15:40:44.798	2,45	1,12	1,66	1,03
15:40:45.798	2,43	1,09	1,68	0,99
15:40:46.798	2,46	1,11	1,63	1,15
15:40:47.798	2,48	1,14	1,65	1,03

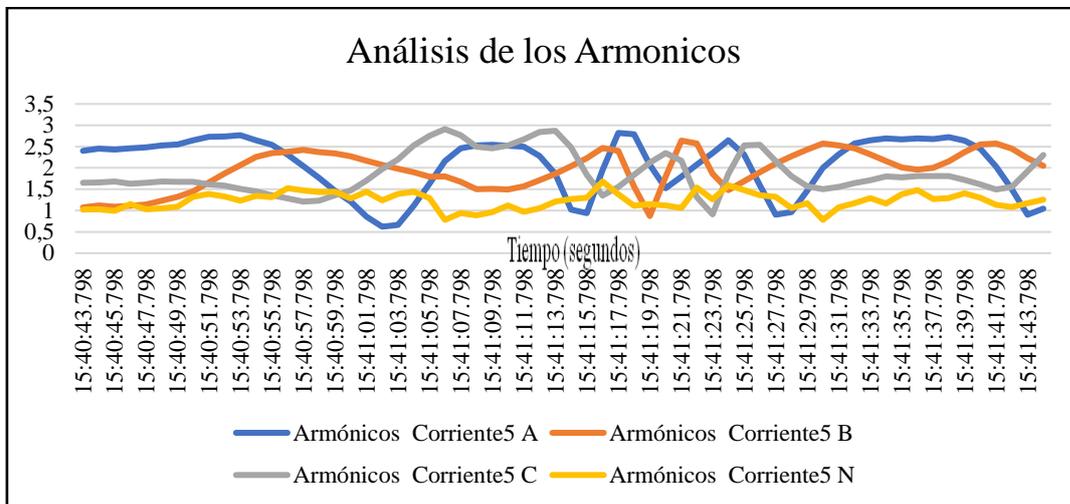


Figura 5.24. Análisis de armónico en configuración estrella con variador de frecuencia. (Autores)

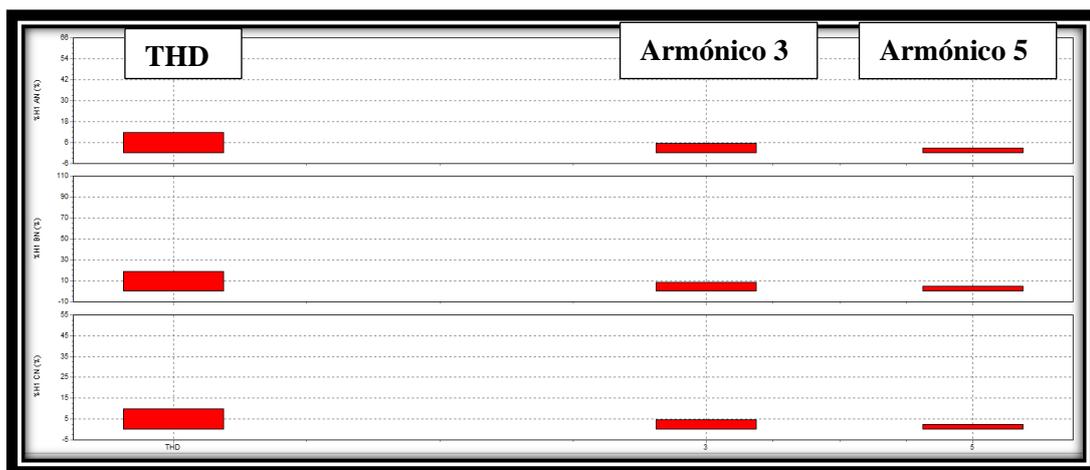


Figura 5.25. Armónico de corriente en configuración estrella con variador de frecuencia. (Autores)

En la figura 5.25 se muestra el porcentaje de armónico de tensión en las tres líneas que se describirá en la tabla los valores de armónicos

**Tabla 5.17.** Datos en porcentaje de los armónicos en configuración estrella con variador.

LINEAS	A %	B%	C %
Armónico 3	6,65%	8,18%	4.59%
Armónico 5	2,85%	5,08%	2.51%
THD	9,5%	13,26%	7,1%

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. CONCLUSIONES

Mediante la revisión bibliográfica se pudo estudiar los distintos tipos de arranque y sus aplicaciones ya que los motores de inducción se los utilizan en diferentes aplicaciones como bombas, bandas transportadas y para obtener una mayor eficiencia y mejor aprovechamiento de la energía eléctrica se realizó el estudio de los arranques comunes con sus distintas variables eléctricas.

Después de realizar la conexión estrella, delta y estrella, delta con variador de frecuencia se observó varias perturbaciones en los arranques como corrientes pico, distorsiones de onda, desbalance en los armónicos y variaciones en la frecuencia. Pero al analizar todos estos casos el arranque en delta directo es ideal, ya que no existe un pico considerable y las perturbaciones son mínimas, con ello la eficiencia de este arranque es adecuado.

En el análisis de los arranques estrella, delta con y sin variador conseguimos analizar la corriente pico, variaciones de frecuencia, potencia aparente y los armónicos, los cuales afectan con el funcionamiento del motor para ello contamos con un analizador de redes marca Fluke 435-II el cual nos permitió verificar todas las perturbaciones en los diferentes arranques.

## **6..2. RECOMENDACIONES**

Al realizar el estudio bibliográfico tomar en cuenta los diferentes aspectos de los motores como su potencia, sus revoluciones y su aplicación, ya que deberían tener la mayor eficiencia del mismo para no sobrecargarlos y no tener problemas, con ello continuar mejorando la aplicación de utilización de motores para tener una mayor eficiencia y rendimiento a través de la incorporación de tecnología y monitoreo de la eficiencia energética.

Para los diferentes arranques se debe verificar que cuenten con las características técnicas adecuadas y protecciones necesarias de acuerdo al tipo de conexión.

Para la utilización del analizador de energía se debe revisar el manual de utilización para realizar las conexiones correctamente y evitar estropear el equipo ya que con este se obtendrá los parámetros correctos requeridos por el usuario.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- [1] S. Raúl, “Ahorro de energía en bombas centrifugas por medio del control de flujo,” INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL, 2009.
- [2] M. CERVANTES, “Control de bombas de alimentación a caldera con un variador de velocidad hidrodinámico,” 2008.
- [3] G. H. Enriquez, *El Libro Practico De Los Generadores, Transformadores Y Motores Electricos / The Practical Book of Generators, Transformers and Electical Motors*. México: Editorial Limusa S.A. De C.V., 2005.
- [4] G. E. Harper, *El libro práctico de los generadores, transformadores y motores eléctricos*. 2004.
- [5] D. Energeticos, “ENERGÍA E LÉCTRICA DE GUATEMALA ” PROMOTORES DE A HORRO Y EFICIENCIA DE ENERGÍA E LÉCTRICA MÓDULO I : CURSO – TALLER PROMOTORES DE AHORRO Y EFICIENCIA,” pp. 1–67, 2010.
- [6] E. Cornejo and J. Tinajero, “Diseño y construcción de un banco didáctico para pruebas de motores monofásicos,” p. 214, 2015, [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/10279/1/UPS-GT001366.pdf>.
- [7] F. G. Becker *et al.*, *No Mtores Electricos*, vol. 7, no. 1. 2015.
- [8] I. De Prospectiva, E. Prioritaria, and S. Energética, “Revista Técnica,” vol. 11, 2015.
- [9] A. Marchegiani, “Bombas Centrifugas,” UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE, 2004.
- [10] D. Avilés, “Modernización del set de bombas centrifugas marca,” pp. 1–15, 2013, [Online]. Available: <https://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/7457>.
- [11] M. De Operación, “Inversor de la Serie N3,” pp. 1–120.
- [12] J. García, “Detección de fallas en motores trifásicos de inducción utilizando análisis de componentes independientes (ICA),” pp. 1–55, 2018.
- [13] et al Inge S, “No Title,” *Occup. Med. (Chic. Ill.)*, vol. 53, no. 4, p. 130, 2013.
- [14] Patel, “No Title No Title No Title,” pp. 9–25, 2019.
- [15] R. Arnanz, F. J. García, and L. J. Miguel, “Métodos de control de motores de inducción: síntesis de la situación actual,” *RIAI - Rev. Iberoam. Autom. e Inform. Ind.*, vol. 13, no. 4, pp. 381–392, 2016, doi: 10.1016/j.riai.2015.10.001.
- [16] Doe, “Variable Speed Pumping — A Guide to Successful Applications, Executive Summary is the result of a collaboration between the Hydraulic Institute, Europump, and the U.S. Department of Energy’s (DOE) Industrial Technologies Program,” *A Guid. to Var. speed Pump.*, p. 20, 2004.
- [17] A. Boglietti, A. Cavagnino, M. Cossale, A. Tenconi, and S. Vaschetto, “Efficiency determination of converter-fed induction motors: Waiting for the IEC 60034-2-3 standard,” *2013 IEEE Energy Convers. Congr. Expo. ECCE 2013*, no. September, pp. 230–237, 2013, doi: 10.1109/ECCE.2013.6646705.

- [18] J. A. Pérez *et al.*, *Eficiencia energética: tecnología y políticas de apoyo*, vol. 7. 2010.
- [19] J. M. Bossio, G. R. Bossio, and C. H. De Angelo, “Diagnóstico de Fallas en Motores de Inducción Utilizando Redes Neuronales Auto-organizadas y Error de Cuantificación,” Instituto Politécnico Nacional, 2017.
- [20] L. O. Guerra Vaca, “Diseño de un Sistema de Hidrobombeo para la Industria Lechera Floralp S.A [Design of a Hydro-Pumping System for the Dairy Company Floralp S.A.],” p. 2013, 2012, [Online]. Available: <http://dspace.espace.edu.ec/handle/123456789/2350>.
- [21] G. M. Reyes Chaparro and L. A. Castillo Galarza, “Eficiencia energética en bombas centrífugas,” p. 97, 2019.
- [22] K. J. McNaughton, “Bombas: Selección, Uso y Mantenimiento,” *Chem. Eng.*, p. 379, 1989, Accessed: Feb. 24, 2022. [Online]. Available: <https://books.google.com/books/about/Bombas.html?hl=es&id=wRS0OwAACAAJ>.
- [23] T *et al.*, “Motores,” *Conservacion de alimentos y Recetas sencillas.pdf* <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/245180/245180.pdf> <https://hdl.handle.net/20.500.12380/245180> <http://dx>.
- [24] P. Q. Analyzer, “Fluke 43B,” *Europe*, no. April 2001, 2005.
- [25] T. Phase and P. Quality, “Fluke 433/434,” 2004.
- [26] ABB, “La solución ABB para el filtrado activo de armónicos,” pp. 1–8, [Online]. Available: <https://library.e.abb.com/public/bbeb131a8bdc1f3ac1256f2e00445c5e/2GCS301072A0070.pdf>.

## Document Information

<b>Analyzed document</b>	ENRIQUEZ_QUISPE.pdf (D143412657)
<b>Submitted</b>	2022-08-30 23:50:00
<b>Submitted by</b>	Secundino Marrero Ramirez
<b>Submitter email</b>	secundino.marrero@utc.edu.ec
<b>Similarity</b>	1%
<b>Analysis address</b>	secundino.marrero.utc@analysis.arkund.com

## Sources included in the report

<b>SA</b>	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI / tesis_tipan_galeas.pdf</b> Document tesis_tipan_galeas.pdf (D124254293) Submitted by: carlos.quinatoa7864@utc.edu.ec Receiver: carlos.quinatoa7864.utc@analysis.arkund.com	 <b>3</b>
<b>SA</b>	<b>1549330255_328__Proyecto_Final_Pincay_Solano_Soriano.pdf</b> Document 1549330255_328__Proyecto_Final_Pincay_Solano_Soriano.pdf (D47602771)	 <b>2</b>

## Entire Document

1 1 INFORMACION GENERAL TÍTULO DEL PROYECTO. ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN ARRANQUES DE MOTORES TRIFÁSICOS DE 1HP PARA SISTEMAS DE BOMBEO .

**73%**

**MATCHING BLOCK 2/5**

**SA**

tesis\_tipan\_galeas.pdf (D124254293)

Fecha de inicio: Octubre 2021 Fecha de finalización: Enero 2022 Lugar de ejecución: Latacunga, Cotopaxi. Facultad que auspicia Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas Carrera que auspicia: Carrera de Ingeniería

Eléctrica en Sistemas Eléctricos de Potencia Proyecto de investigación vinculado: Proyecto de la Carrera de Ingeniería Eléctrica. Equipo de Trabajo: Coordinadores del proyecto. Phd. Secundino Marrero Ismael Eduardo Enríquez Tello Juan Daniel Quispe Sandoval Área de Conocimiento: Ingeniería, control industrial,

**58%**

**MATCHING BLOCK 1/5**

**SA**

tesis\_tipan\_galeas.pdf (D124254293)

Electricidad y energía. Línea de investigación: Calidad de Energía, eficiencia energética y proyección ambiental. Sub líneas de investigación de la Carrera:

Electrónica de Potencia, Control y Automatización

## 8. ANEXOS.

**Anexo A.** Datos del análisis de la corriente.

**Tabla 8. 1.** Datos de corriente pico en configuración delta.

Hora	Corriente A [A]	Corriente B [A]	Corriente C [A]
13:09:50.741	0,2	0,2	0,1
13:09:51.741	0,2	0,3	0,1
13:09:52.741	10,9	10,9	10,4
13:09:53.741	4,5	4,8	4,3
13:09:54.741	4,4	4,7	4,2
13:09:55.741	4,4	4,7	4,1
13:09:56.741	4,3	4,7	4,1
13:09:57.741	4,3	4,7	4,1
13:09:58.741	4,3	4,6	4,1
13:09:59.741	4,3	4,6	4,1

**Anexo B.** Datos del análisis de la potencia aparente.

**Tabla 8. 2.** Datos de corriente pico en configuración delta.

Hora	Potencia Aparente A [VA]	Potencia Aparente B [VA]	Potencia Aparente C [VA]
13:09:50.741	30	30	20
13:09:51.741	30	30	10
13:09:52.741	1170	1150	1150
13:09:53.741	570	590	560
13:09:54.741	560	580	550
13:09:55.741	550	570	540
13:09:56.741	550	570	540
13:09:57.741	550	570	540
13:09:58.741	550	570	530
13:09:59.741	550	570	530
13:10:00.741	550	560	530
13:10:01.741	540	560	530
13:10:02.741	540	560	530
13:10:03.741	540	560	530
13:10:04.741	540	560	530
13:10:05.741	540	560	530
13:10:06.741	540	560	530
13:10:07.741	540	560	530
13:10:08.741	540	560	530

Hora	Potencia Aparente A [VA]	Potencia Aparente B [VA]	Potencia Aparente C [VA]
13:10:09.741	540	560	530
13:10:10.741	540	550	530
13:10:11.741	540	560	520
13:10:12.741	540	560	520
13:10:13.741	540	550	520
13:10:14.741	540	560	520
13:10:15.741	540	560	520
13:10:16.741	540	550	520
13:10:17.741	540	550	520
13:10:18.741	530	550	520
13:10:19.741	530	550	520
13:10:20.741	530	540	510
13:10:21.741	530	540	520
13:10:22.741	530	550	520
13:10:23.741	540	550	520
13:10:24.741	540	550	520
13:10:25.741	540	550	520
13:10:26.741	540	550	520
13:10:27.741	540	550	520
13:10:28.741	540	550	520
13:10:29.741	540	550	520
13:10:30.741	540	550	520
13:10:31.741	530	550	520
13:10:32.741	530	550	520
13:10:33.741	530	550	520
13:10:34.741	530	550	520
13:10:35.741	520	530	510
13:10:36.741	520	540	510
13:10:37.741	530	540	510
13:10:38.741	530	540	520
13:10:39.741	530	550	520
13:10:40.741	530	550	520
13:10:41.741	540	550	520
13:10:42.741	540	550	520
13:10:43.741	530	550	520
13:10:44.741	540	550	520
13:10:45.741	540	550	520
13:10:46.741	530	550	520
13:10:47.741	530	550	520
13:10:48.741	530	550	520
13:10:49.741	530	550	510
13:10:50.741	530	550	520

13:10:51.741	530	550	520
13:10:52.741	530	550	520

**Anexo C.** Datos del análisis de corriente pico.

**Tabla 8. 3.** Datos de corriente pico en configuración estrella.

Hora	Corriente A[A]	Corriente B[A]	Corriente C[A]
15:31:55.378	0,2	0,1	0,2
15:31:56.378	6,7	6,8	6,7
15:31:57.378	3,1	3,1	3,2
15:31:58.378	3	3,1	3,2
15:31:59.378	3	3	3,1
15:32:00.378	3	3	3,1
15:32:01.378	3	3	3,1
15:32:02.378	3	3	3,1
15:32:03.378	3	3	3,1
15:32:04.378	2,9	3	3
15:32:05.378	2,9	3	3,1
15:32:06.378	2,9	3	3
15:32:07.378	2,9	2,9	3
15:32:08.378	2,9	2,9	3
15:32:09.378	2,9	2,9	3
15:32:10.378	2,9	3	3
15:32:11.378	2,9	2,9	3
15:32:12.378	2,9	2,9	3
15:32:13.378	2,9	2,9	3
15:32:14.378	2,9	2,9	3,1
15:32:15.378	2,9	2,9	3,1
15:32:16.378	2,9	2,9	3
15:32:17.378	2,8	2,9	3
15:32:18.378	2,9	3	3
15:32:19.378	2,9	3	3
15:32:20.378	2,8	2,9	3
15:32:21.378	2,7	2,8	3
15:32:22.378	2,8	2,9	3
15:32:23.378	2,8	2,9	3
15:32:24.378	2,9	2,9	3
15:32:25.378	2,9	2,9	3
15:32:26.378	2,8	2,9	3
15:32:27.378	2,8	2,9	3
15:32:28.378	2,8	2,9	3
15:32:29.378	2,8	2,9	3
15:32:30.378	2,8	2,9	3

Hora	Corriente A[A]	Corriente B[A]	Corriente C[A]
15:32:31.378	2,8	2,9	3
15:32:32.378	2,8	2,9	3
15:32:33.378	2,8	2,9	3
15:32:34.378	2,8	2,9	3
15:32:35.378	2,8	2,9	2,9
15:32:36.378	2,8	2,9	3
15:32:37.378	2,8	2,8	3
15:32:38.378	2,8	2,8	3
15:32:39.378	2,8	2,9	3
15:32:40.378	2,8	2,9	2,9
15:32:41.378	2,8	2,9	2,9
15:32:42.378	2,8	2,9	2,9
15:32:43.378	2,8	2,9	2,9
15:32:44.378	2,8	2,9	2,9
15:32:45.378	2,8	2,9	2,9
15:32:46.378	2,8	2,9	2,9
15:32:47.378	1,3	1,3	1,4
15:32:48.378	0,2	0,1	0,1
15:32:49.378	0,1	0,1	0,1

**Anexo D.** Datos del análisis de la potencia aparente.

**Tabla 8. 4.** Datos de potencia aparente configuración estrella.

Hora	Potencia Aparente A [VA]	Potencia Aparente B [VA]	Potencia Aparente C [VA]
15:31:54.378	30	10	20
15:31:55.378	30	20	30
15:31:56.378	690	700	720
15:31:57.378	380	380	410
15:31:58.378	370	370	400
15:31:59.378	370	370	390
15:32:00.378	360	370	390
15:32:01.378	360	360	390
15:32:02.378	370	360	380
15:32:03.378	360	370	380
15:32:04.378	360	360	380
15:32:05.378	360	360	390
15:32:06.378	360	360	380
15:32:07.378	360	360	380
15:32:08.378	360	360	380
15:32:09.378	360	360	380
15:32:10.378	360	360	380

15:32:11.378	360	360	380
15:32:12.378	350	360	380
15:32:13.378	360	360	380
15:32:14.378	350	360	390
15:32:15.378	360	360	390
15:32:16.378	350	360	380
15:32:17.378	350	360	370
15:32:18.378	350	360	380
15:32:19.378	350	360	380
15:32:20.378	350	360	380
15:32:21.378	340	350	380
15:32:22.378	350	350	380
15:32:23.378	350	350	380
15:32:24.378	350	360	380
15:32:25.378	350	360	380
15:32:26.378	350	360	370
15:32:27.378	350	360	370
15:32:28.378	350	360	370
15:32:29.378	350	350	380
15:32:30.378	350	360	380
15:32:31.378	350	350	380
15:32:32.378	350	360	370
15:32:33.378	350	360	370
15:32:34.378	350	360	370
15:32:35.378	350	350	370
15:32:36.378	350	350	370
15:32:37.378	350	350	380
15:32:38.378	350	350	380
15:32:39.378	350	350	370
15:32:40.378	350	350	370
15:32:41.378	350	350	370
15:32:42.378	350	350	370
15:32:43.378	350	350	370
15:32:44.378	350	350	370
15:32:45.378	350	350	370
15:32:46.378	350	350	370
15:32:47.378	80	70	90
15:32:48.378	0	0	0

**Anexo E.** Datos del análisis de corriente pico.

**Tabla 8. 5.** Datos de corriente pico en configuración delta con variador.

Hora	Corriente de Pico A [I]	Corriente de Pico B [I]	Corriente de Pico C [I]	Corriente de Pico N [I]
12:32:24.658	0,6	0,4	0,4	1,2
12:32:25.658	0,6	0,4	0,6	1,2
12:32:26.658	0,6	0,4	0,8	1,2
12:32:27.658	0,6	0,4	0,4	1,2
12:32:28.658	0,6	0,4	0,6	1,2
12:32:29.658	0,4	0,6	0,6	1,4
12:32:30.658	0,4	0,4	0,4	1,2
12:32:31.658	1	0,6	0,6	1,2
12:32:32.658	7,4	8,2	8,4	1,8
12:32:33.658	9,2	8,8	8,8	1,2
12:32:34.658	8,8	8,6	8,4	1,2
12:32:35.658	9,2	9,4	8,8	1,4
12:32:36.658	8,8	9,8	8,8	1,2
12:32:37.658	8,8	9,2	9	1,2
12:32:38.658	9,4	9,6	9	1,2
12:32:39.658	9,8	11,2	10,2	1,2
12:32:40.658	9,2	9,4	9	1,4
12:32:41.658	8,8	8,6	8,6	1,2
12:32:42.658	8	7,2	8,8	1
12:32:43.658	8	7,2	8,8	1
12:32:44.658	8,2	7	8,8	1
12:32:45.658	8,2	6,8	8,6	1
12:32:46.658	8,2	6,6	8,6	1,2
12:32:47.658	8,6	6,8	8,4	0,8
12:32:48.658	8,4	7	8,2	1
12:32:49.658	8,8	6,8	8,4	1
12:32:50.658	8,8	7,2	8	1
12:32:51.658	9,2	7,6	7,4	1,2
12:32:52.658	9,2	7,6	6,8	0,8
12:32:53.658	9,2	8	6,4	1
12:32:54.658	8,8	8,6	6,2	1
12:32:55.658	8,6	8,8	6,6	1
12:32:56.658	8,4	9	6,8	1,2
12:32:57.658	8	9,4	7	1,2
12:32:58.658	7,4	9,4	7,6	1
12:32:59.658	7,2	9,4	7,2	1
12:33:00.658	6,8	9,2	7,6	1
12:33:01.658	6,4	8,8	7,4	1,2
12:33:02.658	6,4	9	7,8	1

Hora	Corriente de Pico A [I]	Corriente de Pico B [I]	Corriente de Pico C [I]	Corriente de Pico N [I]
12:33:03.658	6,2	9	7,8	1
12:33:04.658	6,2	9,2	7,8	1
12:33:05.658	6,4	8,8	7,8	1
12:33:06.658	6,4	8,8	8,2	1,2
12:33:07.658	6,4	8,6	7,8	1
12:33:08.658	6,4	8,6	8	1
12:33:09.658	6,4	8,8	8	1
12:33:10.658	6,4	8,6	8	1,2
12:33:11.658	6,4	8,6	7,8	1,2
12:33:12.658	6,2	8,4	8	1
12:33:13.658	6,4	8,6	8,2	1
12:33:14.658	6,6	8,2	8,4	1,2
12:33:15.658	6,8	8	8	1,4
12:33:16.658	7	7,6	8,4	1,2
12:33:17.658	7	7,6	8,6	1,2
12:33:18.658	7	7,4	8,6	1,2
12:33:19.658	7,2	7,2	8,6	1,2
12:33:20.658	7,4	7,2	8,4	1,2
12:33:21.658	7,6	6,6	8,2	1,2
12:33:22.658	7,8	6,6	8,4	1,4
12:33:23.658	7,8	6,6	8	1,2
12:33:24.658	8,4	7,2	7,8	1
12:33:25.658	8,6	7,2	7,6	1,2
12:33:26.658	8,8	7,6	7,2	1,4
12:33:27.658	8,8	7,6	7	1,2
12:33:28.658	8,6	7,8	6,8	1,2
12:33:29.658	8,6	7,4	6,6	1,2
12:33:30.658	8,6	7,6	6,6	1,2
12:33:31.658	8,6	7,6	6,6	1,2

**Anexo F.** Datos del análisis de potencia aparente.

**Tabla 8. 6.** Datos de potencia aparente configuración delta con variador.

Hora	Potencia Aparente AN [VA]	Potencia Aparente BN [VA]	Potencia Aparente CN [VA]
12:32:32.658	180	180	180
12:32:33.658	680	640	680
12:32:34.658	680	680	690
12:32:35.658	680	680	700
12:32:36.658	690	700	710
12:32:37.658	710	720	720
12:32:38.658	730	740	740

Hora	Potencia Aparente AN [VA]	Potencia Aparente BN [VA]	Potencia Aparente CN [VA]
12:32:39.658	760	770	760
12:32:40.658	660	680	670
12:32:41.658	600	590	620
12:32:42.658	620	520	660
12:32:43.658	620	520	650
12:32:44.658	620	520	640
12:32:45.658	630	510	630
12:32:46.658	630	510	630
12:32:47.658	640	510	620
12:32:48.658	650	500	610
12:32:49.658	660	500	600
12:32:50.658	680	510	570
12:32:51.658	690	530	530
12:32:52.658	680	570	490
12:32:53.658	670	610	480
12:32:54.658	640	630	470
12:32:55.658	620	650	470
12:32:56.658	590	670	480
12:32:57.658	560	670	500
12:32:58.658	530	670	530
12:32:59.658	510	660	550
12:33:00.658	490	660	570
12:33:01.658	480	640	590
12:33:02.658	480	640	600
12:33:03.658	480	640	610
12:33:04.658	470	630	610
12:33:05.658	470	620	620
12:33:06.658	470	620	620
12:33:07.658	470	610	630
12:33:08.658	470	610	630
12:33:09.658	470	610	630
12:33:10.658	470	610	630
12:33:11.658	470	610	630
12:33:12.658	470	610	630
12:33:13.658	470	600	640
12:33:14.658	480	580	650
12:33:15.658	480	550	640
12:33:16.658	500	530	650
12:33:17.658	530	520	650
12:33:18.658	540	520	650
12:33:19.658	550	510	650
12:33:20.658	560	500	650

Hora	Potencia Aparente AN [VA]	Potencia Aparente BN [VA]	Potencia Aparente CN [VA]
12:33:21.658	570	500	630
12:33:22.658	590	490	620
12:33:23.658	600	490	610
12:33:24.658	620	500	590
12:33:25.658	630	510	560
12:33:26.658	640	540	540
12:33:27.658	640	560	520
12:33:28.658	630	570	520
12:33:29.658	620	570	510
12:33:30.658	630	580	510
12:33:31.658	630	580	510

**Anexo G.** Datos del análisis de frecuencia.

**Tabla 8. 7.** Datos de frecuencia configuración delta con variador.

Hora	Frecuencia [Hz]
12:32:24.658	59,999
12:32:25.658	60,002
12:32:26.658	60,005
12:32:27.658	60,005
12:32:28.658	60,007
12:32:29.658	60,007
12:32:30.658	60,006
12:32:31.658	60,007
12:32:32.658	60,006
12:32:33.658	60,005
12:32:34.658	60,004
12:32:35.658	60,003
12:32:36.658	60,003
12:32:37.658	60,002
12:32:38.658	60,001
12:32:39.658	60
12:32:40.658	59,998
12:32:41.658	59,997
12:32:42.658	59,999
12:32:43.658	60
12:32:44.658	60,004
12:32:45.658	60,008
12:32:46.658	60,011
12:32:47.658	60,014
12:32:48.658	60,016
12:32:49.658	60,019

Hora	Frecuencia [Hz]
12:32:50.658	60,021
12:32:51.658	60,023
12:32:52.658	60,026
12:32:53.658	60,028
12:32:54.658	60,03
12:32:55.658	60,029
12:32:56.658	60,027
12:32:57.658	60,024
12:32:58.658	60,021
12:32:59.658	60,019
12:33:00.658	60,018
12:33:01.658	60,018
12:33:02.658	60,018
12:33:03.658	60,019
12:33:04.658	60,02
12:33:05.658	60,021
12:33:06.658	60,021
12:33:07.658	60,02
12:33:08.658	60,019
12:33:09.658	60,017
12:33:10.658	60,015
12:33:11.658	60,013
12:33:12.658	60,013
12:33:13.658	60,013
12:33:14.658	60,014
12:33:15.658	60,013
12:33:16.658	60,014
12:33:17.658	60,013
12:33:18.658	60,011
12:33:19.658	60,01
12:33:20.658	60,01
12:33:21.658	60,011
12:33:22.658	60,014
12:33:23.658	60,017
12:33:24.658	60,02
12:33:25.658	60,023
12:33:26.658	60,023
12:33:27.658	60,021

**Anexo H.** Datos del análisis de armónicos de corriente.

**Tabla 8. 8.** Datos de armónicos de corriente configuración delta con variador.

Hora	Armónicos Corriente5 A	Armónicos Corriente5 B	Armónicos Corriente5 C
12:32:24.658	2,21	14,08	1,98
12:32:25.658	2,85	14,71	2,78
12:32:26.658	3,28	7,43	3,02
12:32:27.658	1,92	14,73	2,38
12:32:28.658	3,01	11,37	2,36
12:32:29.658	1,54	16,38	2,07
12:32:30.658	2,92	13,28	2,28
12:32:31.658	4,23	15,99	2,8
12:32:32.658	17,25	19,23	16,66
12:32:33.658	14,04	15,78	15,21
12:32:34.658	14,76	18,59	14,27
12:32:35.658	12,83	19,52	14,98
12:32:36.658	14,39	16,85	14,44
12:32:37.658	8,53	13,57	11,37
12:32:38.658	8,36	11,04	10,86
12:32:39.658	7,71	5,68	5,56
12:32:40.658	2,08	1,87	1,72
12:32:41.658	6,41	7,38	5,29
12:32:42.658	9,57	13,01	7,19
12:32:43.658	9,56	12,97	7,28
12:32:44.658	9,81	13	7,53
12:32:45.658	9,89	13,05	7,83
12:32:46.658	9,89	12,93	7,97
12:32:47.658	9,9	12,71	8,2
12:32:48.658	9,81	12,44	8,39
12:32:49.658	9,54	11,7	8,8
12:32:50.658	8,49	9,6	9,73
12:32:51.658	6,92	8,27	11,25
12:32:52.658	6,13	9,36	13,22
12:32:53.658	6,4	10,29	13,98
12:32:54.658	7,18	10,6	13,59
12:32:55.658	7,77	10,23	12,57
12:32:56.658	8,63	9,16	10,34
12:32:57.658	9,85	7,71	8,49
12:32:58.658	11,2	6,99	8,78
12:32:59.658	12,32	6,92	9,72
12:33:00.658	12,82	7,07	10,19
12:33:01.658	12,89	7,55	10,66

Hora	Armónicos Corriente5 A	Armónicos Corriente5 B	Armónicos Corriente5 C
12:33:02.658	12,82	7,87	10,79
12:33:03.658	12,75	7,91	10,77
12:33:04.658	12,39	8,19	10,7
12:33:05.658	12,09	8,42	10,6
12:33:06.658	11,86	8,52	10,53
12:33:07.658	11,51	8,69	10,36
12:33:08.658	11,45	8,75	10,34
12:33:09.658	11,42	8,7	10,37
12:33:10.658	11,49	8,69	10,35
12:33:11.658	11,26	8,82	10,25
12:33:12.658	11,11	8,86	10,2
12:33:13.658	10,5	9,08	9,88
12:33:14.658	8,9	9,79	8,99
12:33:15.658	8,2	10,7	8,25
12:33:16.658	8,39	11,7	7,53
12:33:17.658	8,94	12,33	7,17
12:33:18.658	9,22	12,6	7,1
12:33:19.658	9,93	13,19	7,26
12:33:20.658	10,01	13,24	7,31
12:33:21.658	10,38	13,16	7,68
12:33:22.658	10,45	12,88	8,15
12:33:23.658	10,25	12,24	8,55
12:33:24.658	9,34	10,42	9,27
12:33:25.658	8,15	8,66	10,15
12:33:26.658	6,86	8,58	11,4
12:33:27.658	6,45	9,3	12,26
12:33:28.658	6,43	9,61	12,5
12:33:29.658	6,54	10,02	12,83
12:33:30.658	6,51	10,04	12,86
12:33:31.658	6,46	9,98	12,74

**Anexo I.** Datos del análisis de armónicos de corriente.

**Tabla 8. 9.** Datos de armónicos de potencia en cada línea delta con variador.

LINEAS	A %	B%	C %
Armónico 3	10,24%	11,94%	8,81%
Armónico 5	8,95%	10,94%	9.16%
THD	19,19%	22.88%	17,97%

**Anexo J.** Datos del análisis de potencia aparente.

**Tabla 8. 10.** Datos de corriente pico en configuración estrella con variador.

Hora	Corriente de Pico A [A]	Corriente de Pico B [A]	Corriente de Pico C [A]	Corriente de Pico N [A]
15:40:34.798	2,6	2,8	2,4	1,2
15:40:35.798	2,6	2,4	2,4	1,2
15:40:36.798	3,2	2,6	2,6	1,2
15:40:37.798	3,4	3	2,8	1,2
15:40:38.798	3,4	3,2	3	1
15:40:39.798	3,6	3,4	3	1,2
15:40:40.798	4,8	4	4	1,2
15:40:41.798	4,8	4,6	4,6	1,2
15:40:42.798	5,6	5,6	5,6	1,2
15:40:43.798	6	5,2	5,8	1,2
15:40:44.798	6,2	5	6	1
15:40:45.798	6	5,2	6	1
15:40:46.798	6	5	5,8	1,2
15:40:47.798	6	5,2	5,8	1
15:40:48.798	5,8	5	5,6	1
15:40:49.798	6,2	5	5,6	1
15:40:50.798	6	5,2	5,6	1
15:40:51.798	5,8	5,2	5,8	1,2
15:40:52.798	5,8	5,2	5,6	1
15:40:53.798	5,6	5,4	5,6	1
15:40:54.798	5,4	5,4	5,8	1
15:40:55.798	5,4	5,2	5,6	1,2
15:40:56.798	5,4	5,4	5,8	1,2
15:40:57.798	5,2	5,2	5,6	1,2
15:40:58.798	5,2	5,6	5,6	1
15:40:59.798	5	5,6	5,6	1
15:41:00.798	5	5,4	5,4	1,2
15:41:01.798	5	5,4	5,6	1,2
15:41:02.798	5	5,4	5,4	1,2
15:41:03.798	4,8	5,6	5,4	1,4
15:41:04.798	5,2	5,6	5,4	1,2
15:41:05.798	5,2	5,6	5,8	1,2
15:41:06.798	5	5,6	5,2	1,2
15:41:07.798	5,2	5,8	5	1,2
15:41:08.798	5,4	5,8	5	1,2
15:41:09.798	5,2	5,8	5	1
15:41:10.798	5,4	5,8	5,2	1,4
15:41:11.798	5,2	5,6	5	1
15:41:12.798	5,2	5,6	5,2	1,2
15:41:13.798	5	5,6	5,6	1,2

Hora	Corriente de Pico A [A]	Corriente de Pico B [A]	Corriente de Pico C [A]	Corriente de Pico N [A]
15:41:14.798	4,8	5,4	5,4	1,2
15:41:15.798	5	5,6	5,4	1
15:41:16.798	5,2	5,4	5,6	1,2
15:41:17.798	5,6	5	5,8	1
15:41:18.798	5,6	5	5,4	1,2
15:41:19.798	5,6	5	5,4	1,2
15:41:20.798	6	5,2	5,2	1
15:41:21.798	5,6	5,4	5,2	1,2
15:41:22.798	5,4	5,6	5	1,4
15:41:23.798	5,4	5,8	5	1
15:41:24.798	5,4	5,8	5,2	1,2
15:41:25.798	5,4	5,6	5,4	1,2
15:41:26.798	5,2	5,6	5,8	1
15:41:27.798	5,2	5,4	5,6	1,2
15:41:28.798	5	5,4	5,6	1,2
15:41:29.798	5,2	5,4	5,6	1
15:41:30.798	5,2	5,2	5,6	1,2
15:41:31.798	5,8	5,4	5,6	1
15:41:32.798	5,8	5	5,6	1,2
15:41:33.798	5,6	5	5,4	1,2
15:41:34.798	6	5	5,4	1,2

**Anexo K.** Datos del análisis de frecuencia.

**Tabla 8. 11.** Datos de frecuencia configuración estrella con variador.

Hora	Frecuencia [Hz]
15:40:34.798	60,009
15:40:35.798	60,004
15:40:36.798	59,999
15:40:37.798	59,995
15:40:38.798	59,993
15:40:39.798	59,991
15:40:40.798	59,989
15:40:41.798	59,988
15:40:42.798	59,987
15:40:43.798	59,987
15:40:44.798	59,987
15:40:45.798	59,986
15:40:46.798	59,986
15:40:47.798	59,985
15:40:48.798	59,984
15:40:49.798	59,983
15:40:50.798	59,981

Hora	Frecuencia [Hz]
15:40:51.798	59,98
15:40:52.798	59,979
15:40:53.798	59,977
15:40:54.798	59,976
15:40:55.798	59,975
15:40:56.798	59,975
15:40:57.798	59,975
15:40:58.798	59,975
15:40:59.798	59,975
15:41:00.798	59,976
15:41:01.798	59,975
15:41:02.798	59,975
15:41:03.798	59,974
15:41:04.798	59,973
15:41:05.798	59,971
15:41:06.798	59,97
15:41:07.798	59,969
15:41:08.798	59,969
15:41:09.798	59,973
15:41:10.798	59,977
15:41:11.798	59,982
15:41:12.798	59,989
15:41:13.798	59,995
15:41:14.798	60,001
15:41:15.798	60,007
15:41:16.798	60,012
15:41:17.798	60,017
15:41:18.798	60,02
15:41:19.798	60,023
15:41:20.798	60,026
15:41:21.798	60,027

**Anexo L.** Datos del análisis de potencia aparente.

**Tabla 8. 12.** Datos de potencia aparente configuración delta con variador.

Hora	Potencia Aparente AN	Potencia Aparente BN	Potencia Aparente CN
15:40:34.798	130	150	140
15:40:35.798	150	150	170
15:40:36.798	180	170	180
15:40:37.798	190	190	200
15:40:38.798	210	200	220

Hora	Potencia Aparente AN	Potencia Aparente BN	Potencia Aparente CN
15:40:39.798	230	230	240
15:40:40.798	270	260	280
15:40:41.798	320	310	330
15:40:42.798	400	380	420
15:40:43.798	430	390	470
15:40:44.798	430	390	470
15:40:45.798	430	380	470
15:40:46.798	430	390	470
15:40:47.798	420	380	470
15:40:48.798	420	380	470
15:40:49.798	420	380	460
15:40:50.798	410	380	460
15:40:51.798	410	380	460
15:40:52.798	410	380	460
15:40:53.798	400	370	460
15:40:54.798	400	380	460
15:40:55.798	390	380	460
15:40:56.798	390	380	450
15:40:57.798	380	380	450
15:40:58.798	390	380	460
15:40:59.798	380	390	450
15:41:00.798	380	390	450
15:41:01.798	380	390	450
15:41:02.798	380	390	440
15:41:03.798	380	400	440
15:41:04.798	380	400	430
15:41:05.798	380	410	420
15:41:06.798	390	410	420
15:41:07.798	390	410	410
15:41:08.798	390	410	400
15:41:09.798	390	410	400
15:41:10.798	390	410	400
15:41:11.798	390	410	400
15:41:12.798	390	410	410
15:41:13.798	380	400	420
15:41:14.798	380	390	430
15:41:15.798	380	390	440
15:41:16.798	380	380	450
15:41:17.798	390	370	450
15:41:18.798	400	370	450
15:41:19.798	410	370	440
15:41:20.798	410	370	430

Hora	Potencia Aparente AN	Potencia Aparente BN	Potencia Aparente CN
15:41:21.798	410	380	420
15:41:22.798	410	400	420
15:41:23.798	400	410	420
15:41:24.798	390	410	420
15:41:25.798	380	410	430
15:41:26.798	380	410	440
15:41:27.798	390	400	440
15:41:28.798	390	390	440
15:41:29.798	390	380	440
15:41:30.798	400	380	440
15:41:31.798	410	380	440
15:41:32.798	420	370	430
15:41:33.798	420	370	430
15:41:34.798	420	370	430

**Anexo M.** Datos del análisis de armónicos de corriente.

**Tabla 8. 13.** Datos de armónicos en configuración estrella con variador.

Hora	Armónicos Corriente5 A	Armónicos Corriente5 B	Armónicos Corriente5 C	Armónicos Corriente5 N
15:40:43.798	2,4	1,07	1,65	1,02
15:40:44.798	2,45	1,12	1,66	1,03
15:40:45.798	2,43	1,09	1,68	0,99
15:40:46.798	2,46	1,11	1,63	1,15
15:40:47.798	2,48	1,14	1,65	1,03
15:40:48.798	2,53	1,23	1,68	1,05
15:40:49.798	2,55	1,32	1,67	1,09
15:40:50.798	2,65	1,45	1,67	1,32
15:40:51.798	2,73	1,66	1,61	1,39
15:40:52.798	2,74	1,87	1,58	1,33
15:40:53.798	2,77	2,06	1,51	1,23
15:40:54.798	2,65	2,26	1,45	1,34
15:40:55.798	2,54	2,35	1,36	1,31
15:40:56.798	2,31	2,38	1,28	1,52
15:40:57.798	2,04	2,42	1,21	1,47
15:40:58.798	1,76	2,37	1,23	1,43
15:40:59.798	1,46	2,34	1,36	1,44
15:41:00.798	1,21	2,27	1,47	1,28
15:41:01.798	0,86	2,17	1,7	1,44
15:41:02.798	0,62	2,07	1,97	1,24
15:41:03.798	0,66	1,98	2,2	1,39

Hora	Armónicos Corriente5 A	Armónicos Corriente5 B	Armónicos Corriente5 C	Armónicos Corriente5 N
15:41:04.798	1,11	1,9	2,53	1,44
15:41:05.798	1,63	1,79	2,75	1,29
15:41:06.798	2,16	1,8	2,91	0,78
15:41:07.798	2,46	1,67	2,77	0,94
15:41:08.798	2,53	1,5	2,5	0,89
15:41:09.798	2,54	1,51	2,46	0,96
15:41:10.798	2,52	1,49	2,53	1,12
15:41:11.798	2,5	1,57	2,67	0,97
15:41:12.798	2,28	1,71	2,84	1,05
15:41:13.798	1,86	1,86	2,87	1,21
15:41:14.798	1,02	2,04	2,48	1,27
15:41:15.798	0,94	2,23	1,84	1,3
15:41:16.798	1,95	2,47	1,35	1,68
15:41:17.798	2,82	2,4	1,55	1,38
15:41:18.798	2,79	1,56	1,84	1,11
15:41:19.798	2,07	0,87	2,12	1,15
15:41:20.798	1,52	1,79	2,35	1,12
15:41:21.798	1,79	2,64	2,17	1,06
15:41:22.798	2,08	2,57	1,31	1,54
15:41:23.798	2,35	1,86	0,91	1,26
15:41:24.798	2,65	1,48	1,86	1,59
15:41:25.798	2,31	1,69	2,53	1,48
15:41:26.798	1,59	1,9	2,54	1,36
15:41:27.798	0,9	2,1	2,16	1,32
15:41:28.798	0,96	2,27	1,81	1,06
15:41:29.798	1,46	2,43	1,57	1,17
15:41:30.798	2	2,57	1,5	0,78
15:41:31.798	2,32	2,53	1,55	1,07
15:41:32.798	2,57	2,46	1,64	1,17
15:41:33.798	2,65	2,32	1,71	1,29

**Anexo N.** Datos del análisis de armónicos de corriente.

**Tabla 8. 14.** Datos de armónicos en configuración estrella con variador.

LINEAS	A %	B%	C %
Armónico 3	6,65%	8,18%	4.59%
Armónico 5	2,85%	5,08%	2.51%
THD	9,5%	13,26%	7,1%

**Anexo O.** conexiones de los diferentes arranques para el análisis de las variables eléctricas del motor.



**Figura 8.1** conexión del analizador de calidad de energía en los diferentes arranques.  
(autores)