



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

PROPUESTA TECNOLÓGICA

“ESTUDIO DE EFICIENCIA DE CONTROL PID PARA MOTORES DE 2HP Y 5HP APLICADO A UNA CARGA, CONTROLADO MEDIANTE UN VARIADOR DE FRECUENCIA”

Proyecto de investigación presentado previo a la obtención del Título de
Ingeniero en Electromecánica

AUTORES:

Steven Gabriel Coray Tomalo
Wilder Emerson Toalombo Agualongo

TUTOR:

Ing. Luis Miguel Navarrete López. Ms.C

LATACUNGA- ECUADOR

AGOSTO -2024

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

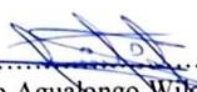
“Nosotros, Steven Gabriel Coray Tomalo y Wilder Emerson Toalombo Agualongo, declaramos ser autores de la presente propuesta tecnológica **“ESTUDIO DE EFICIENCIA DE CONTROL PID PARA MOTORES DE 2HP Y 5HP APLICADO A UNA CARGA, CONTROLADO MEDIANTE UN VARIADOR DE FRECUENCIA”**, siendo Ing. Luis Miguel Navarrete López Msc. Tutor del presente trabajo; eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posible reclamos o acciones legales.

Además, Certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en la presente propuesta tecnológica son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Latacunga, agosto de 2024.



.....
Coray Tomalo Steven Gabriel
C.C: 1753785771



.....
Toalombo Agualongo Wilder Emerson
C.C: 0202331286

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

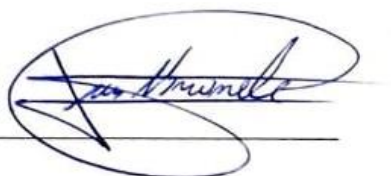
En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“Estudio de eficiencia de control PID para motores de 2HP Y 5HP aplicado a una carga, controlado mediante un variador de frecuencia.”, de Coray Tomalo Steven Gabriel, Toalombo Agualongo Wilder Emerson, de la carrera Ingeniería Electromecánica, 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 de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, agosto, 2024

Tutor

Firma



Ing. Luis Miguel Navarrete López. Ms.C

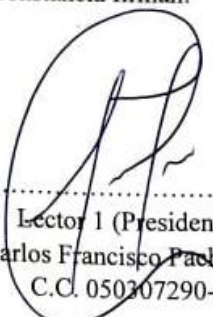
AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

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 APLICADAS; por cuanto, los postulantes, Steven Gabriel Coray Tomalo y Wilder Emerson Toalombo Agualongo con el Proyecto Tecnológico de **“ESTUDIO DE EFICIENCIA DE CONTROL PID PARA MOTORES DE 2HP Y 5HP APLICADO A UNA CARGA, CONTROLADO MEDIANTE UN VARIADOR DE FRECUENCIA”** han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación del trabajo de titulación.

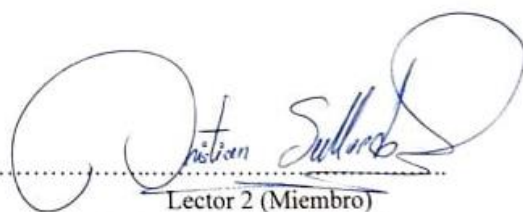
Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

Latacunga, 19 de agosto 2024

Para constancia firman:



Lector 1 (Presidente)
Ing. Carlos Francisco Pacheco Mena
C.C. 050307290-2



Lector 2 (Miembro)
Ing. Cristian Fabian Gallardo Molina
C.C. 0502847692



Lector 3 (Miembro)
Ing. Cevallos Betún Segundo Angel
C.C. 0501782437

AGRADECIMIENTO

Durante este trayecto quiero agradecer a todos los compañeros que me ayudaron a seguir en adelante en momentos difíciles durante la carrera y expreso mi gratitud a mis padres y hermanos por la paciencia y el apoyo que me brindaron.

También agradezco a todos los ingenieros como el Ing Eduardo Hinojosa y el Ing Carlos Pacheco que me apoyaron con consejos y guías durante este trayecto.

Steven Coray

DEDICATORIA

Este logro es en honor a mi familia por su paciencia, apoyo y sacrificio para alcanzar mis metas. Y de manera especial a mi madre y hermanos quienes fueron que me alentaron a seguir y no rendirme y a todas las personas que he conocido y que contribuyeron en este logro con el aliento de fuerza.

Steven Coray

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que han sido un pilar fundamental en mi vida. En primer lugar, a mi madre, cuyo amor, apoyo incondicional y sabiduría han sido mi fuente constante de inspiración y motivación. A mis tíos, quienes, con sus consejos, ejemplo de trabajo y dedicación me han guiado y apoyado en cada etapa de mi vida.

También quiero agradecer de manera especial al Ingeniero Eduardo Hinojosa, por sus valiosos consejos, orientación y dedicación a lo largo de este proceso. Su conocimiento y disposición han sido fundamentales para el desarrollo de mi vida.

Wilder Toalombo

DEDICATORIA

A mi querida familia, por ser la fuente constante de amor, apoyo y fortaleza en cada momento. A mis padres, por sus enseñanzas y por estar siempre a mi lado, guiándome con sabiduría y paciencia. Y a mi pequeña hermana Wendy, cuya sonrisa y energía son mi mayor inspiración. A ustedes, les dedico cada paso dado en este camino, con la esperanza de seguir construyendo juntos muchos más sueños

Wilder Toalombo

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS.

TÍTULO: “ESTUDIO DE EFICIENCIA DE CONTROL PID PARA MOTORES DE 2HP Y 5HP APLICADO A UNA CARGA, CONTROLADO MEDIANTE UN VARIADOR DE FRECUENCIA”

Autores:

Steven Gabriel Coray Tomalo

Wilder Emerson Toalombo Agualongo

Resumen

Este estudio tuvo como objetivo evaluar la eficiencia del control PID en motores de 2 HP y 5 HP aplicado a una carga, específica utilizando un variador de frecuencia. Para ello se realizó una revisión de literatura que incluye artículos, libros y estudios académicos enfocados en el control PID (Proporcional – Integral – Derivativo) en motores eléctricos. Este estudio permitió realizar un análisis centrado en comparar el rendimiento de los motores en términos de estabilidad y respuesta a perturbaciones. Se avaluó el comportamiento de los motores tanto con la implementación del control PID como sin él. Dado que este tipo de control PID es conocido por mejorar la estabilidad y la precisión en la regulación de velocidad de los motores, fue esencial investigar su aplicación en motores de 2 HP y 5 HP para justificar el esfuerzo, eficiencia y costo adicional, especialmente cuando se utilizan en conjunto con un variador de frecuencia. Además, se analizaron las curvas características de los motores bajo una condición de carga para determinar cuál es la configuración de control más adecuada y eficiente en función de respuesta al tipo de carga aplicada, optimizando así el desempeño del sistema. Aunque ambos motores mostraron un rendimiento satisfactorio, el motor de 5 HP presentó mejores respuestas bajo la variación de cargas y un ingreso al sistema mucho más rápido. Por lo tanto, se sugirió analizar el tipo de trabajo al que se somete los motores ya que el motor de 5HP demostró ser muy eficiente en trabajos con mayor y menor demanda de carga.

Palabras clave: PID, estabilidad, motores, eficiencia

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

FACULTY OF ENGINEERING SCIENCES AND APPLIED

THEME: “PID Control Efficiency Study for 2 HP and 5 HP Motors Applied to a Load, Controlled Using a Frequency Variator”

Authors:

Steven Gabriel Coray Tomalo
Wilder Emerson Toalombo Agualongo

Abstract:

The objective of this study was to evaluate the efficiency of PID control in 2 HP and 5 HP motors applied to a specific load using a frequency inverter. To this end, a literature review included articles, books, and academic studies focused on PID control (Proportional-integral - Derivative) in electric motors. This study made it possible to carry out an analysis focused on comparing the performance of the motors in terms of stability and response to disturbances. The behavior of the motors was evaluated both with and without the implementation of PID control. Since this type of PID control is known to improve the stability and accuracy of motor speed regulation, it was essential to investigate its application on 2 HP and 5 HP motors to justify the additional effort, efficiency, and cost, mainly when used in conjunction with a variable frequency drive. In addition, the characteristic curves of the motors under a load condition were analyzed to determine the most suitable and efficient control configuration in response to the load applied, thus optimizing system performance. Although both motors performed satisfactorily, the 5 HP motor showed better responses under varying loads and a much faster system input. Therefore, it was suggested that the type of work the motors are subjected to be analyzed, as the 5 HP motor proved to be very efficient in jobs with higher and lower load demand

Keywords: PID, Stability, Motors, Efficiency.

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 proyecto tecnológico cuyo título versa: **"ESTUDIO DE EFICIENCIA DE CONTROL PID PARA MOTORES DE 2HP Y 5HP APLICADO A UNA CARGA, CONTROLADO MEDIANTE UN VARIADOR DE FRECUENCIA"** presentado por los estudiantes: **Coray Tomalo Steven Gabriel y Toalombo Agualongo Wilder Emerson**, egresados de la Carrera de: **Ingeniería Electromecánica**, 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 2024

Atentamente,



Mg. Bolívar Maximiliano Cevallos Galarza
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC
CI: 0910821669



ÍNDICE GENERAL

1. INFORMACIÓN GENERAL	1
2. INTRODUCCIÓN	3
2.1. Situación Problemica	3
2.2. Formulación del problema	4
2.3. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN	5
2.3.1. Objeto de Investigación: Eficiencia del control PID en motores trifásicos, bajo una condición de carga.	5
2.3.2. Campo de Acción:	5
2.4. BENEFICIARIOS	5
2.4.1. Beneficiarios directos	5
2.4.2. Beneficiarios indirectos	5
2.5. JUSTIFICACIÓN	6
2.6. OBJETIVOS	6
2.6.1. Objetivo General.....	6
2.6.2. Objetivo Específicos.....	6
2.6.3. SISTEMAS DE TAREAS	7
3. MARCO TEÓRICO	8
3.1. ANTECEDENTES	8
3.2. FUNDAMENTACIÓN TEORICA	8
3.2.1. Eficiencia Energética.....	8
3.2.2. Eficiencia energética en la industria.....	9
3.2.3. Energía eléctrica	9
3.2.4. Intensidad eléctrica.....	10
3.2.5. Tipos de potencias	10
3.2.6. Tipos de cargas	11

3.2.7.	Máquinas eléctricas	13
3.2.8.	Breaker.....	14
3.2.9.	Tipos de arranque	15
3.2.10.	Arranque con variador de frecuencia.....	16
3.2.11.	Control PID.....	17
3.2.12.	PLC	17
3.2.13.	Tía Portal.....	18
3.2.14.	Señal analógica en TIA Portal	19
3.2.15.	Variador de frecuencia.....	20
3.3.	Analizador Redes Fluke 435.....	20
3.4.	Fluke Power Log 430 II.	21
4.	MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS	21
4.1.	Diseño de la investigación	21
4.1.1.	Variable dependiente y independientes	22
4.2.	FACTORES EXTERNOS ELÉCTRICOS QUE INTERVIENEN EN LA SELECCIÓN DEL MOTOR.....	22
4.3.	Programación	23
4.4.	MÉTODO ZEIGLER NICHOLS PARA VALORES KP, KI Y KD	24
4.5.	MODELO MATEMÁTICO PARA EL PROCESO.....	25
4.6.	MEMORIA DE CÁLCULO.....	27
4.6.1.	Protección del PLC S7-1200	27
4.6.2.	Protección del VDF	27
4.6.3.	Dimensionamiento de conductores.....	28
4.6.4.	Cálculo de la Resistencia.....	29
4.6.5.	Cálculo de parámetros para el control PID.....	29
4.6.6.	Cálculo de la energía de consumo por la carga	30
4.7.	EQUIPOS REQUERIDOS PARA LAS PRUEBAS	31

4.7.1.	Selección del motor	31
4.7.2.	Selección del Variador de Frecuencia	31
4.7.3.	Selección del PLC	32
4.7.4.	MECANISMOS DE PROTECCIÓN Y CONTROL DESEGURIDAD	33
4.7.5.	Selección de Conductores eléctricos	34
4.7.6.	Selección de la resistencia	34
4.7.7.	Selección del Analizador de Redes Fluke 435	34
4.7.8.	Componentes del analizador de redes	35
4.8.	DIAGRAMA DE CONTROL DEL SISTEMA	36
4.8.1.	Arranque de un motor trifásico de 2 HP con VDF	36
4.8.2.	Arranque de un motor trifásico de 5 HP con VDF	37
4.8.3.	Arranque de un motor trifásico de 2 HP con control PID utilizando VDF	38
4.8.4.	Arranque de un motor trifásico de 5 HP con control PID utilizando VDF	38
4.9.	DESARROLLO DE ALGORITMO PARA EL CONTROL DE LOS MOTORES	39
4.9.1.	Configuración de las entradas analógicas para recibir datos	40
4.9.2.	Pasos para generar un control PID	41
4.9.3.	Configuración la salida analógica para enviar datos	41
4.9.4.	Implementación de parámetros de control PID	43
4.10.	PROCEDIMIENTO PARA EL REGISTRO DE MEDICIONES EN MOTORES DE INDUCCIÓN CON CARGA	43
4.10.1.	Conexiones realizadas para la medición.	43
4.11.	PRUEBAS EXPERIMENTALES.....	45
4.11.1.	Prueba 1:	45
4.11.2.	Prueba 2:	46
4.11.3.	Prueba 3:	46
4.11.4.	Prueba 4:	47
5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	48

5.1. ANÁLISIS DE EFICIENCIA CON LOS DATOS RECOLECTADOS CON EL ANALIZADOR DE REDES	48
5.2. Análisis de la corriente pico del motor 2 HP	48
5.2.1. Cotel PID y variador	48
5.2.2. Control con el variador	48
5.3. Análisis de la corriente pico del motor 5 HP	49
5.3.1. Control PID y variador	49
5.3.2. Control con variador	50
5.4. Análisis de la potencia Aparente del motor 2 HP	50
5.4.1. Control PID y variador	50
5.4.2. Control con el variador	51
5.5. Análisis de la potencia Aparente del motor 5 HP	52
5.5.1. Control PID con variador	52
5.5.2. Control con variador	52
5.6. Análisis de Armonicos 3 de corriente del motor 2 HP	53
5.6.1. Control PID y variador	53
5.6.2. Control con el variador	54
5.7. Análisis de Armónicos 5 de corriente del motor 2 HP	54
5.7.1. Control PID y variador	54
5.7.2. Control con variador	55
5.8. Análisis de Armonicos 3 de corriente del motor 5hp	56
5.8.1. Control PID y variador	56
5.8.2. Control con variador	56
5.9. Análisis de Armonicos 5 de corriente del motor 5hp	57
5.9.1. Control PID y variador	57
5.9.2. Control con variador	58
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	59

6.1.	CONCLUSIONES	59
6.2.	RECOMENDACIONES.....	60
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
8.	ANEXOS	1

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1. Diagrama de Ishikawa.....	4
Figura 3. 1. Beneficios de la Eficiencia Energética.....	9
Figura 3. 2. Potencia activa en base con la tensión	10
Figura 3. 3. Potencia reactiva en adelanto (QC) o atraso (QL) con respecto a la tensión	11
Figura 3. 4. Vector resultante (S) de sumar la potencia activa y reactiva	11
Figura 3. 5. Diagrama fasorial para las cargas resistivas de inducción	12
Figura 3. 6. Diagrama fasorial correspondiente a las cargas inductivas.....	12
Figura 3. 7. Diagrama fasorial asociado con las cargas capacitivas.....	13
Figura 3. 8. Motor de inducción	14
Figura 3. 9. Breaker	15
Figura 3. 10. Diagrama del arranque estrella.....	16
Figura 3. 11 .Variador de frecuencia	16
Figura 3. 12. Diagrama de control Proporcional Integral Derivativo.....	17
Figura 3. 13. PLC S7- 1200.....	18
Figura 3. 14. Logo de Tía portal.....	18
Figura 3. 15. Diagrama de valores normalizados	19
Figura 3. 16. Diagrama de valores escalados	20
Figura 3. 17 Diagrama de entrada y salida de un VDF	20
Figura 3. 18 Analizador de Redes Fluke 435	21
Figura 3. 19 Pantalla de bienvenida del Software	21
Figura 4. 1. Motor y sus partes	22
Figura 4. 2. Esquema de funcionamiento de control basado en lógica difusa.....	23
Figura 4. 3. Sistema de lazo abierto.....	23
Figura 4. 4. Sistema de lazo cerrado.....	23
Figura 4. 5. Método de Z-N.....	24
Figura 4. 6 Características de los conductores eléctricos	29
Figura 4. 7 Componentes del analizador trifásico de energía.....	35
Figura 4. 8 Diagrama de arranque estrella.....	37
Figura 4. 9 Diagrama de arranque estrella.....	37
Figura 4. 10 Diagrama de arranque con control PID.....	38
Figura 4. 11 Diagrama de arranque con control PID.....	39
Figura 4. 12 Bloques de instrucciones "NORM_X" y "SCALE_X"	40

Figura 4. 13 Interrupción cíclica.....	41
Figura 4. 14 Bloques de PID	41
Figura 4. 15 Bloques de instrucciones "NORM_X" y "SCALE_X"	42
Figura 4. 16 Parámetros del PID	43
Figura 4. 17 Diagrama de conexión de un sistema trifásico.....	44
Figura 4. 18 Diagrama de conexión del analizador de redes.....	44
Figura 4. 19 Diagrama de vectores	45
Figura 4. 20 Diagrama de la primera prueba	45
Figura 4. 21 Diagrama de la segunda prueba	46
Figura 4. 22 Diagrama de la tercera prueba.....	47
Figura 4. 23 Diagrama de la cuarta prueba.....	47

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 5. 1 Corriente pico de arranque con control PID.....	48
Gráfico 5. 2 Corriente pico arranque sin control PID	49
Gráfico 5. 3 Corriente pico de arranque con control PID.....	49
Gráfico 5. 4 Corriente pico arranque sin control PID	50
Gráfico 5. 5 Potencia aparente con control PID	51
Gráfico 5. 6 Potencia aparente sin control PID	51
Gráfico 5. 7 Potencia aparente con control PID	52
Gráfico 5. 8 Potencia aparente si control PID	53
Gráfico 5. 9 Armónico 3 control PID	53
Gráfico 5. 10 Armónico 3.....	54
Gráfico 5. 11 Armónico 5 control PID	55
Gráfico 5. 12 Armónico 5.....	55
Gráfico 5. 13 Armónico 3 con control PID	56
Gráfico 5. 14 Armónico 3.....	57
Gráfico 5. 15 Armónico 5 con control PID	57
Gráfico 5. 16 Armónico 5.....	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1 Campos de la Ciencia y Tecnología UNESCO	2
Tabla 2. 1 Campos de la Ciencia y Tecnología UNESCO	5
Tabla 2. 2 Sistema de Tareas del Plan de Titulación.....	7
Tabla 4. 1 Variables.....	22
Tabla 4. 2 Datos técnicos del motor de 2 HP	31
Tabla 4. 3 Datos técnicos del motor de 5Hp	31
Tabla 4. 4 Datos técnicos del variador de frecuencia	32
Tabla 4. 5 Datos técnicos del PLC S7-1200 CPU 1212C AC/DC/RLY	32
Tabla 4. 6 Breaker termomagnético principal	33
Tabla 4. 7 Breaker termomagnético principal	33
Tabla 4. 8 Conductores eléctricos	34
Tabla 4. 9 Resistencia.....	34
Tabla 4. 10 Componentes del analizador de calidad de energía.....	35
Tabla 4. 11 Procedimiento para el diseño de diagramas eléctricos.	36
Tabla 4. 12 los parámetros de instrucciones: NORM_X (Normalizar) y SCALE_X(Escalar) 40	
Tabla 4. 13 Entradas y salidas del PLC utilizadas.....	42

1.INFORMACIÓN GENERAL

Tema del proyecto:

Estudio de eficiencia de control PID para motores de 2Hp Y 5Hp aplicado a una carga, controlado mediante un variador de frecuencia.

Modalidad de Titulación:

Propuestas Tecnológicas	☒
Proyectos de Investigación	☐

Fecha de inicio:

Abril 2024

Fecha de finalización:

Agosto 2024

Lugar de ejecución:

Universidad Técnica de Cotopaxi

Facultad:

Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

Carrera:

Ingeniería Electromecánica

Trabajo de Titulación Vinculado al Proyecto: Nombre del Proyecto Formativo, de Vinculación, Innovación Tecnológica o Académico Científico al que reporta (en caso de que aplique).

Equipo de Trabajo del Trabajo de Titulación:

Ing. Luis Miguel Navarrete López. Ms.C

Steven Gabriel Coray Tomalo

Wilder Emerson Toalombo Agualongo

Área de Conocimiento:

En la siguiente Tabla 1. 1, se detalla el código de los campos de la ciencia y tecnología correspondiente al UNESCO, con el que se trabajará en el área 07 que corresponde a ingeniería, industria y construcción el cual conlleva al campo 071 de ingeniería y profesiones a fin, además se enfoca principalmente en el código 0712 tecnología de protección del medio ambiente el que hace énfasis al tema.

Tabla 1. 1 Campos de la Ciencia y Tecnología UNESCO

07 ingeniería, Industria y Construcción	071 ingeniería y Profesiones Afines	0711 ingeniería y procesos químicos
		0712 tecnología de protección del medio ambiente
		0713 electricidad y energía
		0714 electrónica y automatización
		0715 mecánica y metalurgia
		0716 motor de vehículos, embarcaciones y aeronaves

Línea de investigación:

Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental.

Sublíneas de investigación de la Carrera

Energética en sistemas electromecánico y uso de fuentes renovables de energía

2.INTRODUCCIÓN

La eficiencia energética es un aspecto fundamental en el funcionamiento de motores eléctricos en aplicaciones industriales puesto que el uso de estos motores es fiable para la producción, y que su control del motor puede resultar en significativos ahorros de energía y costos operativos. El uso de controladores PID (Proporcional Integral Derivativo) junto con variadores de frecuencia es una estrategia avanzada que mejora la eficiencia del control de motores ya que los controladores PID permiten estabilizar de una mejor manera el sistema del motor, adaptándose dinámicamente en la carga y manteniendo un rendimiento óptimo. Por otro lado, los variadores de frecuencia, permiten ajustar la velocidad y los Hertz (Hz) del motor de manera continua, optimizando así el consumo de energía, pero este equipo no toma en cuenta cuando se añade una carga y que por ende tratara de optimizarse hasta llegar a su estabilización.

El análisis de eficiencia en el control de motores de 2HP y 5HP implica evaluar tecnologías que contribuyen en la mejora del rendimiento energético del sistema. Esto incluye medir la eficiencia del motor en diferentes condiciones de operación como: el impacto del control PID y el variador de frecuencia sometidos a una carga, este análisis de la eficiencia de control PID de los motores permitirá comparar los resultados obtenidos con métodos de control tradicional del variador. Con este estudio del control permitirá identificar las oportunidades de mejora y optimización en aplicaciones industriales, proporcionando una base para decisiones informadas sobre la implementación de tecnologías de control. Además, el control permite cuantificar los beneficios económicos al optar por estos sistemas, destacando su relevancia en el contexto de sostenibilidad y eficiencia energética.

En este proyecto se explorará los principios básicos del control PID, los variadores de frecuencia, su impacto en la eficiencia energética de motores y los métodos de análisis utilizados para evaluar su rendimiento.

2.1. Situación Problemática

Con el avance de la tecnología en el mundo, existe un constante uso de la energía y cada vez más dependemos de ella, por el cual el costo de este recurso ha ido aumentando y afectando a empresas, industrias, etc., obligándolos a reducir el consumo eléctrico en cada uno de ellos[1]. Una de estas alternativas que se puede tomar es la optimización de procesos y la implementación de controles sofisticados como control PID en combinación de variadores

donde el costo de operación de estos disminuye y el consumo energético baja. Mientras que sin una adopción de los sistemas controlados aumentan el consumo y la rentabilidad disminuye.

En la actualidad el control de los motores con variadores ha ido aumentando en muchas compañías y negocios, sin embargo, la adopción de estas tecnologías y debido al desconocimiento afecta en la integración y optimización del sistema aumentando una probabilidad de daños al motor, mantenimiento no planificado y una productividad baja. La implementación del control PID puede ofrecer ventajas para mejorar la eficiencia y reducir los tiempos de mantenimiento lo cual será esencial para empresas y negocios para que puedan competir con mercados más desarrollados

2.2. Formulación del problema

¿Cómo se relaciona el rendimiento del sistema de control PID en los motores de 2HP y 5HP acoplado a un variador de frecuencia, en los términos de estabilidad cuando se aplica una carga?

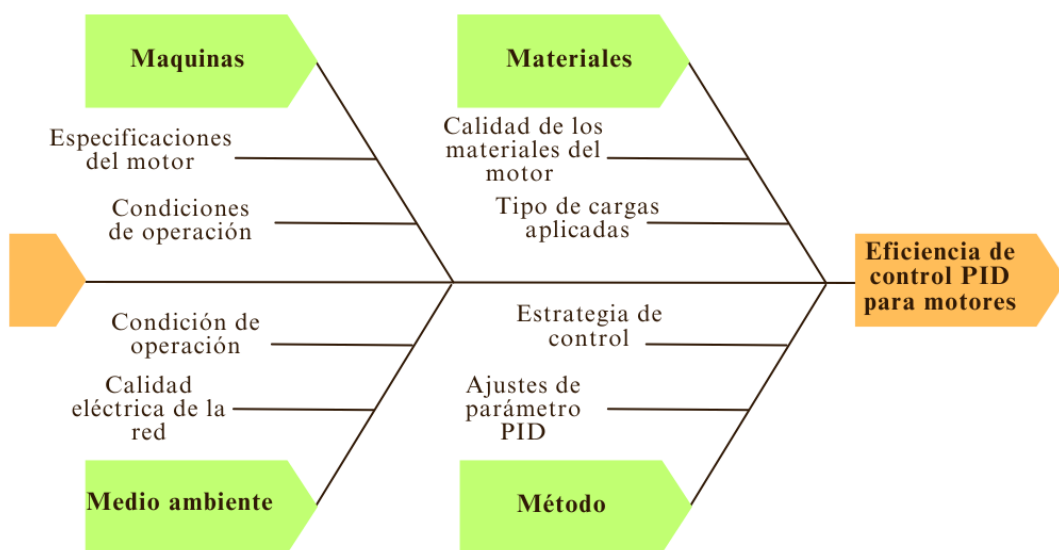


Figura 2. 1. Diagrama de Ishikawa

2.3. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN

2.3.1. **Objeto de Investigación:** Eficiencia del control PID en motores trifásicos, bajo una condición de carga.

2.3.2. **Campo de Acción:**

El ámbito del estudio se encuentra especificado en base a la Nomenclatura Internacional de la UNESCO para los campos de Ciencia y Tecnología. La Tabla 2. 1 presenta un extracto de la lista correspondiente al área de Ciencias Tecnológicas[2].

Tabla 2. 1 Campos de la Ciencia y Tecnología UNESCO

3306 ingeniería y tecnologías eléctricas	
3306.03	Motores eléctricos
3308 ingeniería y tecnología del medio ambiente	
3308.01	Control de la contaminación atmosférica

2.4. BENEFICIARIOS

2.4.1. Beneficiarios directos

Estudiantes de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas (CIYA) de la Universidad Técnica de Cotopaxi: Obtendrán un valioso apoyo académico y práctico para que los estudiantes comprendan el control PID y su aplicación en motores.

Investigadores y profesores de la Facultad de CIYA: Pueden utilizar los resultados del estudio como ayuda didáctica y como material de referencia para futuras investigaciones.

2.4.2. Beneficiarios indirectos

Otros centros de investigación y universidades: Las instituciones educativas e investigativas que necesiten información sobre el control PID en motores eléctricos podrán utilizar los hallazgos de este estudio como base para sus propios trabajos.

La comunidad académica mundial: Después de que el estudio sea publicado, la comunidad académica global podrá acceder a nuevos conocimientos y avances.

2.5. JUSTIFICACIÓN

En la sociedad industrial moderna, la gestión eficiente de los motores eléctricos y la eficiencia energética son esenciales para aumentar la productividad. Sin embargo, para maximizar su adaptabilidad y rendimiento, es fundamental utilizar sistemas de control sofisticados. El controlador PID es una alternativa de control porque puede mejorar significativamente la respuesta y estabilidad de los sistemas dinámicos. Su estructura simple y la capacidad de ajustar las señales del controlador para reducir el error entre una variable de proceso medida y un valor deseado contribuyen a su popularidad. Una solución avanzada para controlar motores eléctricos es la combinación de un controlador PID con un variador de frecuencia. Los variadores de frecuencia regulan la frecuencia del suministro eléctrico y permiten un control efectivo y preciso. Esto mejora la eficiencia operativa y la vida útil del equipo al reducir el estrés mecánico y eléctrico. Los parámetros PID se optimizan con el método de ajuste del regulador PID de Ziegler-Nihols, para mejorar la eficiencia energética, una respuesta más rápida y la estabilidad del funcionamiento del motor. Estas nuevas técnicas de ajuste y control pueden mejorar el funcionamiento de los motores eléctricos, lo que puede ahorrar dinero y aumentar la productividad en entornos industriales.

2.6. OBJETIVOS

2.6.1. Objetivo General

Implementar un sistema de control PID utilizando un PLC vinculado a un variador de frecuencia, para determinar la eficiencia del control energético en el rendimiento operativo en motores de 2 HP y 5 HP bajo una condición de carga.

2.6.2. Objetivo Específicos

- Investigar a través de artículos, libros y estudios académicos, enfocándose, sobre la eficiencia de un control PID en motores de 2 HP y 5 HP.
- Comparar el rendimiento de los motores en términos de estabilidad y respuesta a perturbaciones, evaluando su comportamiento con y sin control PID.
- Analizar las curvas características de los motores cuando son aplicados una carga, para la selección del mejor control.

2.6.3. SISTEMAS DE TAREAS

Tabla 2. 2 Sistema de Tareas del Plan de Titulación

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultados esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
Investigar a través de artículos, libros y estudios académicos, enfocándose, sobre la eficiencia de un control PID en motores de 2 HP y 5 HP.	Consulta de información en libros y revistas de alto impacto. Análisis de bibliografías de un control PID en motores eléctricos.	Información relevante de un control PID en los motores eléctricos. Datos de un control PID en diferentes motores eléctricos.	Investigación en libros, revistas de alto impacto y sitios web académicos.
Comparar el rendimiento de los motores en términos de estabilidad y respuesta a perturbaciones, evaluando su comportamiento con y sin control PID	Practica del control PID en los motores eléctricos aplicando a una carga. Toma de datos de la estabilidad y su repuesta en los motores.	Control eficiente y el tiempo de estabilidad de los motores eléctricos. Variación en el control y estabilidad de los motores eléctricos.	Variador de frecuencia, PLC y tablero de control. Programación Ladder y PID
Analizar las curvas características de los motores cuando son aplicados a una carga, para la selección del mejor control.	Evaluación de los resultados de las curvas características de los motores eléctricos. Visualización del tiempo de estabilidad bajo los ajustes de los parámetros del control PID.	Diferenciación de las curvas en los motores eléctricos sometidos al control PID. Selección del control efectivo que mejore la estabilidad de los motores bajo carga.	Método experimental Computadora Excel Analizador de redes

3.MARCO TEÓRICO

3.1. ANTECEDENTES

NASA Tech Briefs describe, los motores eléctricos trabajan en procesos de velocidad, temperatura, flujo y presión en entornos industriales y comerciales durante periodos largos de 8h sin parar, donde la fiabilidad son críticas porque los procesos de producción ayudan a aumentar la productividad en un constante trabajo. Sin embargo, la mejora de la fiabilidad se puede controlarse mediante un variador de frecuencia (VFD) el cual ayuda a optimizar los procesos, aunque no evalúa la eficiencia cuando es sometido a una carga constante y el rendimiento del motor puede afectar en el constante trabajo en menor tiempo. Con la ayuda de los algoritmos avanzados del VFD en aplicaciones de control PID resulta ser un enfoque único en la mejora de la vida útil y el consumo de energía de los sistemas de control [3].

En la publicación (frequency response based adaptive control for center driven web winders), indica que este tipo de control es una base fundamental en diferentes equipos porque permite regular el control de temperatura y la constancia de trabajo. En este estudio muestra la técnica de auto sintonía del controlador PID basado en un modelo matemático del proceso, que por general no están disponibles como el tiempo que se tiene durante el proceso de puesta en marcha de los equipos. [4].

Investigaciones recientes mencionan que el controlador PID ayuda a obtener mejores resultados en trayectorias más suaves como reducir las vibraciones al inicio de arranque, lo que significa que el error en estado estacionario es cero. Además, en comparación con los controladores que operan de manera individual, este controlador reducen los tiempos de asentamiento y subida, la técnica propuesta redujo los daños potenciales en los sistemas [5].

3.2. FUNDAMENTACIÓN TEORICA

3.2.1. Eficiencia Energética

La eficiencia energética es un concepto que combina eficiencia y uso de la energía que, en esencia, se trata de utilizar la energía de forma óptima para llevar a cabo una actividad productiva o brindar un servicio, minimizando las pérdidas energéticas y el uso de otros recursos materiales. Se puede aplicar en varios campos, como las industrias, las empresas, las instituciones, las cadenas de valor y los sectores económicos a nivel regional o nacional.

De manera más amplia, la eficiencia energética también puede incluir objetivos como la reducción de emisiones contaminantes y mejorar la seguridad en el suministro energético. Esta diversidad puede provocar interpretaciones diversas del término según el contexto en que se utilice. Hay que diferenciar entre eficiencia energética técnica y eficiencia energética económica. El concepto físico de eficiencia energética técnica implica la interdependencia de los insumos y los productos de energía, como el nivel de producción de una empresa. Por el contrario, la eficiencia energética económica se esfuerza por maximizar el beneficio neto de utilizar insumos específicos para producir un resultado, teniendo en cuenta tanto los beneficios públicos como los privados, como se muestra en la Figura 3. 1[6].



Figura 3. 1. Beneficios de la Eficiencia Energética[7]

3.2.2. Eficiencia energética en la industria

La eficiencia energética en los sectores industriales puede centrarse en lograr resultados a partir de acciones sobre componentes físicos o equipos o en la optimización del proceso. Para disminuir el consumo de energía se apunta a los procesos de producción, operativos, logísticos o de gestión puesto que, dentro de los procesos productivos, este concepto se puede emplear para maximizar la producción por unidad de energía consumida o para reducir el consumo de energía por cada unidad producida. Ambas perspectivas son complementarias y representan distintos aspectos del mismo propósito. El uso de la energía en diferentes sectores resalta la importancia del consumo porque, cuanto más eficiente es el sistema más energía se ahorrará y se reducirá la cantidad total de CO_2 . Estas mejoras se vinculan a: un mejor diseño de productos, una mayor circularidad de la producción y una reducción de los procesos logísticos [6].

3.2.3. Energía eléctrica

La energía eléctrica, es la forma de energía originada por la diferencia de potencial existente entre dos puntos, lo que posibilita la manifestación de un flujo de corriente eléctrica entre

ambos. Su diferencia de energía se puede transformar en varias formas (luminosa, mecánica, y térmica) [8].

3.2.4. Intensidad eléctrica

La intensidad energética es un indicador global utilizado para evaluar la eficiencia y diseñar políticas para ahorrar y usar la energía de manera eficiente. Sin embargo, la intensidad energética puede variar debido a dos factores principales: cambios estructurales en la economía y avances tecnológicos que mejoran la eficiencia energética [8].

3.2.5. Tipos de potencias

3.2.5.1. Potencia activa (P)

El término "potencia" se refiere a la capacidad de un circuito para convertir energía eléctrica en trabajo. El componente de corriente que está en fase con el voltaje produce esta energía. Los dispositivos eléctricos transforman la energía eléctrica en una variedad de formas de energía, como mecánica, lumínica, térmica y química, entre otras. Como resultado, esta es la cantidad de energía que realmente consumen los circuitos. Esta potencia se utiliza para medir la demanda eléctrica. La Figura 3. 2 muestra cómo la componente resistiva origina la potencia activa P, que es un vector a cero grados [9].

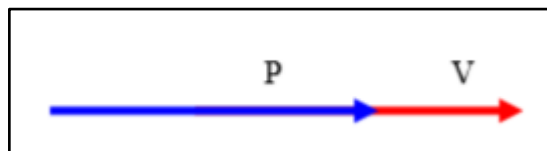


Figura 3. 2. Potencia activa en base con la tensión [9].

3.2.5.2. Potencia reactiva (Q)

Dado que las bobinas o los condensadores generan campos magnéticos y eléctricos, esta potencia no se consume realmente y solo aparece cuando hay bobinas o condensadores en los circuitos. El componente de corriente, ya sea adelantado o retrasado, produce la potencia reactiva. La letra Q representa la potencia reactiva, que no produce trabajo útil porque tiene un valor medio nulo. Como se muestra en la Figura 3. 3, sus unidades son VAR, KVAR o MVAR, lo que confirma que esta potencia es solo de los elementos reactivos, que pueden ser inductivos (QL) o capacitivos (QC) [9].

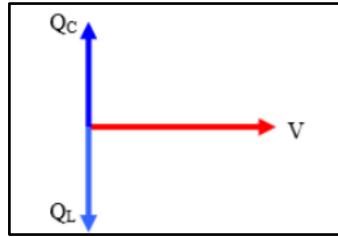


Figura 3. 3. Potencia reactiva en adelante (QC) o atraso (QL) con respecto a la tensión [9].

3.2.5.3. Potencia aparente (S)

La potencia aparente, también conocida como potencia compleja, es el resultado de la combinación de la potencia activa y la potencia reactiva en un circuito eléctrico de corriente alterna. Este diagrama fasorial se muestra en la figura 3.4. La potencia aparente no es la potencia real consumida o útil si el factor de potencia es uno ($\cos \varphi = 1$). La potencia activa en este caso es igual a la potencia aparente. La red de alimentación de un circuito debe cubrir tanto la energía consumida por los componentes resistivos como la que se "almacena" en bobinas y condensadores de acuerdo con esta energía se designa con la letra S [9].

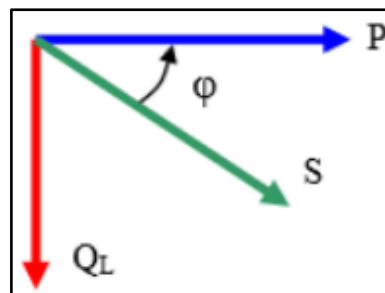


Figura 3. 4. Vector resultante (S) de sumar la potencia activa y reactiva[9].

3.2.6. Tipos de cargas

3.2.6.1. Cargas resistivas

Estas cargas tienen una resistencia eléctrica que se representa con la letra R y se mide en Ohmios (Ω). Las lámparas incandescentes, las planchas y las estufas eléctricas tienen cargas resistivas. La energía lumínica o calorífica es la forma en que se convierte la energía eléctrica necesaria para que estos dispositivos funcionen. El factor de potencia en estos casos es igual a 1.0. La Figura 3. 5 muestra el diagrama fasorial para las cargas resistivas de inducción [9].

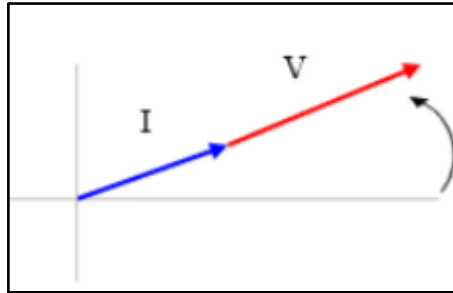


Figura 3. 5. Diagrama fasorial para las cargas resistivas de inducción [9].

3.2.6.2. Cargas inducidas

Los motores, los balastos, los transformadores y otros equipos electromecánicos que contienen bobinas tienen cargas inductivas. Estos dispositivos necesitan potencia reactiva para funcionar y tienen un factor de potencia menor a 1.0. De hecho, las cargas inductivas son una de las principales causas de un factor de potencia bajo, que con frecuencia es inferior a 0.9. En un circuito puramente inductivo, la corriente se retrasa respecto al voltaje; en otras palabras, la corriente está desfasada de 90 grados con respecto al voltaje. El diagrama fasorial correspondiente a las cargas inductivas se muestra en la Figura 3. 6[9].

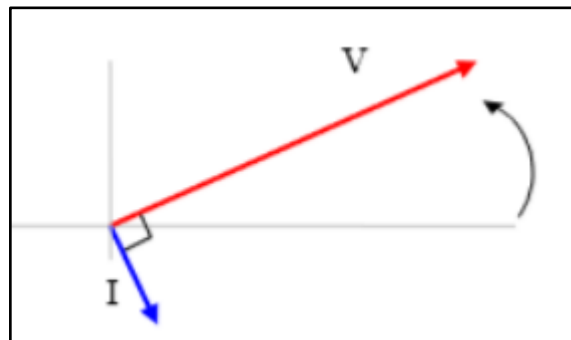


Figura 3. 6. Diagrama fasorial correspondiente a las cargas inductivas [9].

3.2.6.3. Carga capacitiva

Los dispositivos como capacitores o condensadores tienen cargas capacitivas, que tienen una corriente que se adelanta 90 grados con respecto al voltaje. La Figura 3. 7 muestra el diagrama fasorial asociado con las cargas capacitivas [9].

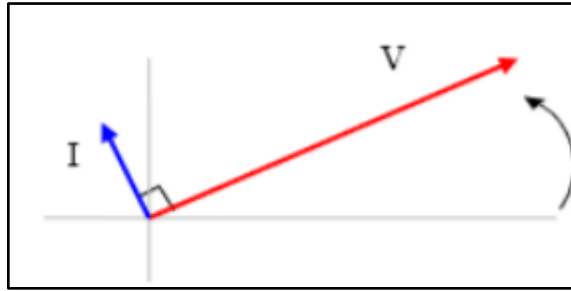


Figura 3. 7. Diagrama fasorial asociado con las cargas capacitivas[9]

3.2.7. Máquinas eléctricas

La máquina eléctrica convierte la energía eléctrica transportada a través de la red de distribución en energía mecánica utilizando un dispositivo rotativo en el que el eje del motor rota mecánicamente a la electricidad por una serie de interacciones electromagnéticas. Cuando la energía mecánica se transforma en energía eléctrica, el dispositivo se llama generador; cuando ocurre lo contrario, se llama motor. Es frecuente encontrar tales máquinas funcionando en instalaciones industriales, comerciales, individuales [10].

3.2.7.1. Motores trifásicos

Estos motores tienen un bobinado inductor en el estator, compuesto por tres bobinados independientes, desplazados 120° eléctricos entre sí y alimentados por un sistema trifásico de corriente alterna, se dividen en dos categorías:

3.2.7.2. Motores síncronos.

En los motores síncronos, el eje rota a la misma velocidad que el campo magnético. En contraste, en los motores asíncronos, el eje gira a una velocidad ligeramente inferior a la del campo magnético [11].

3.2.7.3. Motores asíncronos (o de inducción).

Los motores de inducción trifásicos son comunes en aplicaciones industriales y de electrodomésticos. Su diseño es simple y duradero, y tiene muchas ventajas, como un costo bajo, menos mantenimiento y la capacidad de conectarse directamente a una fuente de alimentación de CA. Estos motores están disponibles para una amplia gama de aplicaciones y usos, en la Figura 3. 7 muestra un motor de inducción [12].

Los motores asíncronos se basa en la creación de un campo magnético giratorio en el entrehierro, generado por la circulación de corriente alterna a través de los devanados trifásicos y la influencia de los polos magnéticos del estator [11].



Figura 3. 8. Motor de inducción [13] .

3.2.7.4. Principio de funcionamiento de los motores de inducción

La ley de Faraday es la base del funcionamiento de los motores de inducción. Esta ley establece que cuando un conductor (inducido) se encuentra en un campo magnético temporal variable, se produce una corriente en el conductor, lo que genera una fuerza electromotriz.

Dado que la corriente en el devanado del rotor depende del campo magnético inducido por el inductor, el rotor del motor intenta seguir este campo magnético. La velocidad del motor es casi igual a la velocidad de sincronismo en condiciones de vacío, pero depende de la carga aplicada. Sin embargo, a medida que aumenta la carga de arrastre. Debido a que su velocidad siempre es menor que la velocidad de sincronismo, los motores de inducción se conocen como motores asíncronos [14].

3.2.8. Breaker

Los breakers, también conocidos como disyuntores o interruptores electromagnéticos como se muestra en la Figura 3. 9, son dispositivos diseñados para permitir la conexión manual de un circuito cuando la corriente que pasa a través de él se encuentra dentro de los límites permitido. Internamente, los breakers incluyen una lámina bimetálica que se calienta debido al paso de la corriente; cuando esta corriente alcanza su valor límite, la lámina se dobla lo suficiente para activar un mecanismo que abre los contactos y desconecta el circuito [15].



Figura 3. 9. Breaker

3.2.9. Tipos de arranque

Los motores de inducción trifásicos pueden funcionar directamente a la red y no tienen los mismos problemas de arranque que los motores síncronos. Sin embargo, su alta corriente de arranque puede causar una caída de voltaje en el sistema de potencia y problemas durante el arranque a través de la línea, lo que lo hace inapropiado. La corriente de arranque de los motores de inducción de jaula de ardilla varía mucho según la resistencia efectiva del rotor en las condiciones de arranque y la potencia nominal del motor [12] .

3.2.9.1. Arranque estrella

La conexión tipo estrella consiste en que todos los extremos de cada bobinado estén conectados en un punto común mientras que los extremos libres de los bobinados son conectados a la red el cual proporcionara energía al sistema tal como se muestra en la Figura 3. 10. La corriente que fluye por cada bobinado es igual a la corriente de línea en el caso de la conexión en estrella. No obstante, la tensión de línea en un factor de raíz cuadrada de tres es mayor que la tensión aplicada a cada bobinado [12].

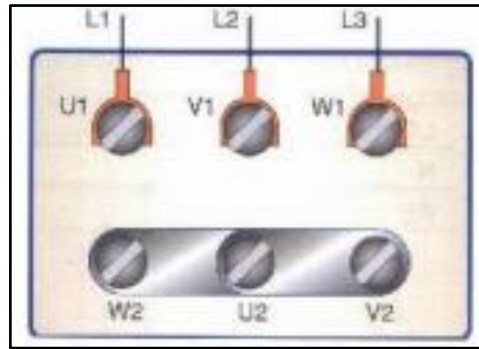


Figura 3. 10. Diagrama del arranque estrella [12].

3.2.10. Arranque con variador de frecuencia

El variador de frecuencia es un dispositivo electrónico de potencia que pueda variar la frecuencia para realizar un arranque y parada de los motores como se muestra en la Figura 3. 11. Esto se puede lograr ajustando la frecuencia que se aplica al motor. Para hacerlo, las magnitudes de tensión y frecuencia fijas de la red se transforman en variables. Este proceso utiliza transistores que funcionan con modulación por ancho de pulso para rectificar el voltaje alterna de la red. Esto produce una corriente trifásica con frecuencia y voltaje ajustables. Esto le permite controlar tanto el par de arranque como la aceleración del motor.

Los arrancadores con variador tienen una gran ventaja porque producen corrientes con picos muy bajos en comparación con otros métodos de arranque. Otros métodos suelen causar sobreesfuerzos en los conductores, lo que resulta en caídas de tensión, perturbaciones y desgaste mecánico, así como golpes mecánicos. Esto puede conducir al calentamiento y desgaste prematuro de los acoplamientos internos [12].



Figura 3. 11 .Variador de frecuencia[12].

3.2.11. Control PID

Un control PID contiene una acción proporcional, integral y derivativo, es un controlador que corrige el error entre la señal de referencia y la señal de salida, sea cero de manera asintótica al tiempo que permite alcanzar la estabilidad deseada de un sistema. El controlador PID se utilizan en industrias en sistemas de realimentación solucionando problemas de sistema dinámico como un control de nivel, velocidad de los motores, control de temperatura. En la Figura 3. 12 se muestra la estructura básica de un sistema de control PID, la salida del sistema (llamada variable de proceso) se compara con un valor referencial (llamado set point). La diferencia entre la referencia y la medición de salida indican un valor de error, el cual es utilizado para calcular las respuestas proporcionales, integrar y derivativas, Estas respuestas son sumadas para obtener una salida del controlador. Esta salida del controlador se emplea como una entrada al sistema que se desea controlar [16].

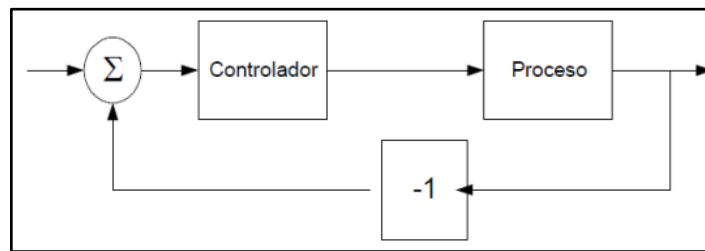


Figura 3. 12. Diagrama de control Proporcional Integral Derivativo[16].

3.2.12. PLC

El controlador lógico programable (PLC) S7-1200 ofrece la flexibilidad y la solidez necesarias para gestionar varios tipos de dispositivos para diferentes requisitos de automatización tal como se muestra en la Figura 3. 13. Su CPU, contenida dentro de una carcasa compacta, está equipada con varios componentes, como un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, circuitos para entrada y salida, integración PROFINET, E/S. Esta combinación de características da como resultado un controlador formidable. Al cargar el programa en la CPU, se convierte en el depósito de toda la lógica necesaria.

El seguimiento y control de los dispositivos dentro de la aplicación es fundamental porque la CPU se encarga de supervisar las entradas y modificar las salidas según la lógica programada por el usuario. Esta lógica puede abarcar operaciones booleanas, instrucciones de conteo y cronometraje, funciones matemáticas complejas y comunicación con otros dispositivos inteligentes [17].

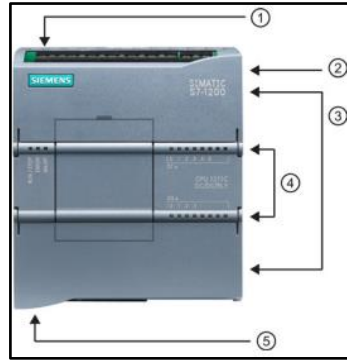


Figura 3. 13. PLC S7- 1200 [17].

1. Conector de corriente
2. Ranura para tarjeta de memoria (debajo de la parte superior de la tapa)
3. Conectores de cable de usuario extraíbles (detrás de las tapas)
4. Luces de estado para E/S integradas
5. Conector PROFINET (al final de la CPU)

3.2.13. Tía Portal

El software Totally Integrated Automation Portal (TIA Portal), proporciona un medio para mejorar la productividad y mejorar la eficiencia de los procesos que a través de una interacción fluida entre los productos TIA, ofrece asistencia integral en todos los aspectos del desarrollo de soluciones de automatización. El TIA Portal permite la configuración de aspectos de control y visualización dentro de un sistema de control, lo que permite un enfoque unificado de la ingeniería. Todos los datos relevantes se almacenan dentro de un proyecto, lo que garantiza una integración perfecta de los componentes. El software de programación (PASO 7) y el software de visualización (WinCC) no son entidades separadas, sino componentes de un sistema unificado que utiliza una base de datos común. Todos los datos se almacenan de forma segura dentro de este sistema. Se puede acceder a todas las funciones de programación y visualización en cualquier momento a través de una interfaz de usuario unificada, que se utiliza en un archivo de proyecto compartido, la siguiente Figura 3. 14 muestra el icono de TIA Portal [18].



Figura 3. 14. Logo de Tía portal V16.

3.2.14. Señal analógica en TIA Portal

El software Tía portal ofrece diferentes tipos de programación el cual ayuda a optimizar los procesos y que además dividen en bloques de programación para diferentes tipos de instrucciones los que consiste:

3.2.14.1. NORM_X: Normalizar

La instrucción "Normalizar" muestra el valor de la variable de entrada VALUE en una escala lineal. Los parámetros MIN y MAX se utilizan para establecer los límites de un rango de valores que se muestran en la escala. Dependiendo de la posición del valor que se debe normalizar dentro de este rango, el resultado se calcula y almacena como un número en coma flotante en la salida OUT. Si el valor a normalizar es igual al valor de entrada MIN, la salida OUT será "0.0". Si el valor a normalizar es igual al valor de entrada MAX, la salida EX dará "1.0" [19] tal como se representa en Figura 3. 15.

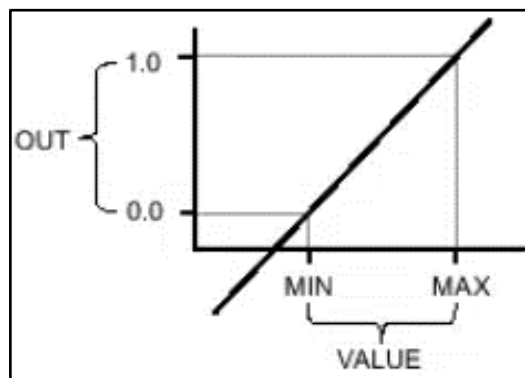


Figura 3. 15. Diagrama de valores normalizados [19].

3.2.14.2. SCALE_X: Escalar

La instrucción "Escalar" mapea el valor de la entrada VALUE a un rango de valores específicos como se detalla en la Figura 3. 16. El número en coma flotante de la entrada VALUE se ajusta al rango de valores establecido por los parámetros MIN y MAX al ejecutar la instrucción "Escalar". Esta modificación agrega un número entero a la salida OUT [19].

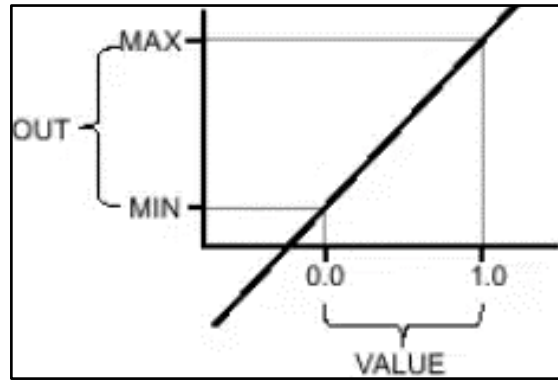


Figura 3. 16. Diagrama de valores escalados [19].

3.2.15. Variador de frecuencia

Son dispositivos electrónicos que permiten el control completo de motores eléctricos de inducción como se muestra en la Figura 3. 17. Estos VFD permiten regular la velocidad mediante el control de la frecuencia de la electricidad optimizando el consumo y evitando las pérdidas[20].

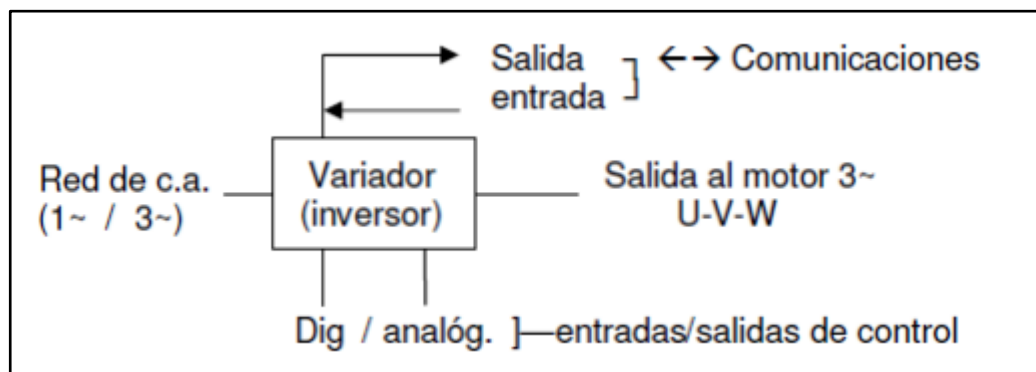


Figura 3. 17 Diagrama de entrada y salida de un VDF

3.3. Analizador Redes Fluke 435

El analizador de redes proporciona una amplia gama de mediciones para evaluar los sistemas de distribución eléctrica. Algunas de estas mediciones están destinadas a investigar detalles específicos del sistema de alimentación eléctrica, mientras que otras brindan una visión general del rendimiento del sistema. Los modelos Fluke 435-II y 437-II tienen una precisión de entrada de tensión del 0,1% y características adicionales como detección de parpadeo, transitorios, ondas de potencia, transmisión de señales, eventos de onda y eventos de RMS. El Fluke 435-II cuenta con características como V/A/Hz Barco y la capacidad de llevar a cabo mediciones en sistemas de 400 Hz, además de tener un estuche rígido de transporte tal como se muestra en la

Figura 3. 18. Se pueden instalar opcionalmente funciones de parpadeo, transitorios, onda de potencia y transmisión de señales en el Fluke 434-II [21].



Figura 3. 18 Analizador de Redes Fluke 435 [21].

3.4. Fluke Power Log 430 II.

Es software Power Log 430 II una herramienta especializada de la marca FLUKE como se muestra en la Figura 3. 19 fue diseñado para controlar y descargar datos de los analizadores de redes eléctricas, lo que permite la gestión de datos sin necesidad de acceder directamente al equipo [22].

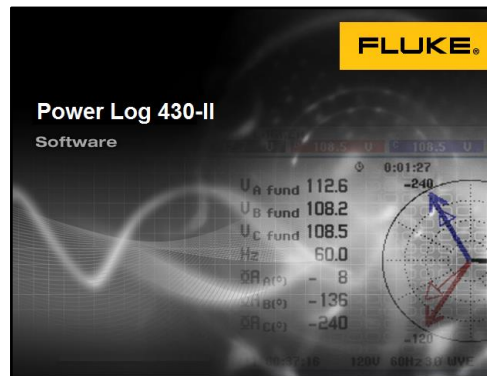


Figura 3. 19 Pantalla de bienvenida del Software

4.MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

4.1. Diseño de la investigación

Este estudio se enfoca en determinar la eficiencia en motores de inducción. Para ello, se realizaron una serie de pruebas utilizando equipos disponibles en el laboratorio de la institución. Con el fin de cumplir con los objetivos de estudio por lo cual se llevaron a cabo cuatro pruebas de las que se aplicó el método cuantitativo para el análisis y pruebas de las misas.

4.1.1. Variable dependiente y independientes

Tabla 4. 1 Variables

Variable Independiente	Variable Dependiente
Configuración de los parámetros PID	Corriente
	Potencia
	Armónicos

4.2. FACTORES EXTERNOS ELÉCTRICOS QUE INTERVIENEN EN LA SELECCIÓN DEL MOTOR.

Para la selección del motor se debe tener en cuenta el uso o aplicaciones del mismo ya que dependiendo del uso se escoge motores monofásicos o trifásicos. Para este caso de estudio se elige motores trifasicos por:

- **Factor de servicio.** - La máquina funciona con carga constante durante un tiempo suficientemente largo como para alcanzar el equilibrio térmico y que la máquina se enfría a temperatura ambiente.
- **Tipo de Aislamiento.** – permite que la máquina pueda transmitir un buen rendimiento térmico y eléctrico óptimo el cual a su vez permite que tenga una vida útil prolongada.
- **Eficiencia.** – Presentan una eficiencia del 75% y 80% de inducción al motor para hacer girar al eje.

Estos motores son eficientes en cuanto a trabajo con carga y que además son de utilidad para el estudio de su efectividad con el control y la elección entre un motor de 2 hp y uno de 5 hp dependerá de las necesidades específicas de la aplicación, considerando factores como la carga, el espacio disponible y la eficiencia requerida ya que su composición de todos los motores eléctricos es la misma tal como se muestra en la Figura 4. 1.



Figura 4. 1. Motor y sus partes

4.3. Programación

La programación de control PID pueden detectar y corregir errores sin asistencia externa, asegurando que el proceso permanezca en el camino previsto y mejorando así la eficiencia y precisión del sistema general como se muestra en la Figura 4. 2.

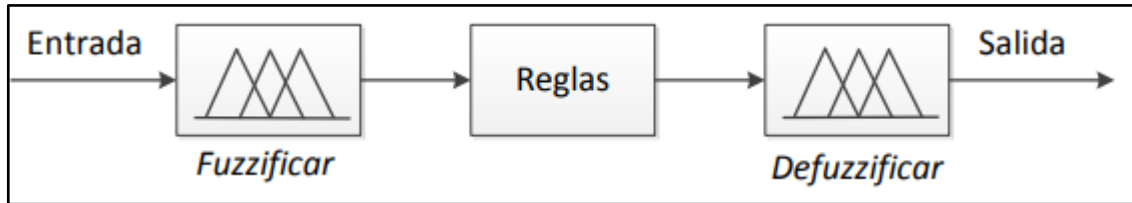


Figura 4. 2. Esquema de funcionamiento de control basado en lógica difusa

Existen dos tipos principales de sistemas de control los cuales son

Sistemas de control de lazo cerrado: Previene los cambios en la variable de proceso como se muestra en la Figura 4. 3, este sistema no es complejo ya que no pueden satisfacer requerimientos de desempeño críticos

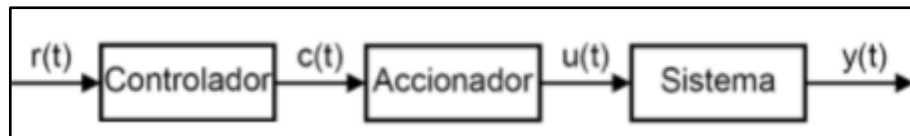


Figura 4. 3. Sistema de lazo abierto.

Donde:

$r(t)$: Entrada del proceso.

$c(t)$: Variable controlada.

$u(t)$: Variable manipulada.

$y(t)$: Variable de procesos

Sistemas de control de lazo cerrado: este control de lazo cerrado depende de la salida porque la señal controlada se realimenta y se compara con el valor de referencia como se muestra en la Figura 4. 4 muestra los componentes y señales de un sistema de control de lazo cerrado.

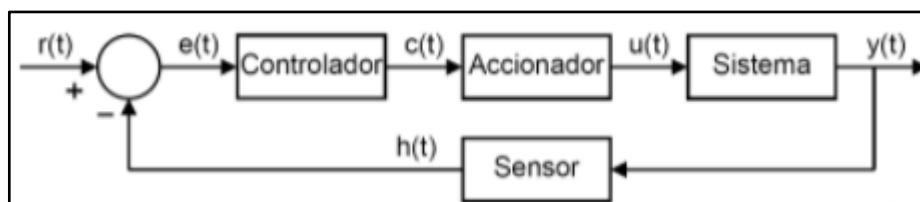


Figura 4. 4. Sistema de lazo cerrado.

Donde:

$r(t)$: Valor de consigna (set point).

$e(t)$: Error ($r(t) - h(t)$).

$c(t)$: Variable controlada.

$u(t)$: Variable manipulada.

$y(t)$: Variable de proceso.

$h(t)$: Variable de proceso medida

4.4. MÉTODO ZEIGLER NICHOLS PARA VALORES K_P , K_I Y K_D

Los parámetros de ganancia crítica K_{CR} y período de oscilación crítica T_{CR} se utilizan basado en la respuesta oscilatoria experimental en lazo cerrado de la planta. La siguiente Figura 4. 5 contiene los valores de los parámetros PID.

Tipo	K_p	T_i	T_d	K_p	T_i	T_d
P	$1/a$	∞	0	$0,5K_{CR}$	∞	0
PI	$0.9/a$	$3L$	0	$0,45K_{CR}$	$\frac{T_{CR}}{1,2}$	0
PID	$1.2/a$	$2L$	$0.5L$	$0,6K_{CR}$	$\frac{T_{CR}}{2}$	$\frac{T_{CR}}{8}$

Figura 4. 5. Método de Z-N.

Los parámetros del controlador PID se determinan utilizando la siguiente ecuación.

La ganancia proporcional (K_p) dentro del cálculo se representa en la siguiente ecuación (4.1):

$$K_P = 0,6 \times K_{cr} \quad (4.1)$$

Ganancia integral (T_i) también representado de la ecuación (4.2):

$$T_i = \frac{T_{CR}}{2} \quad (4.2)$$

Ganancia derivativa (T_d) representado con la ecuación (4.3):

$$T_d = \frac{T_{CR}}{8} \quad (4.3)$$

4.5. MODELO MATEMÁTICO PARA EL PROCESO

Fórmula de la intensidad del circuito

Para circuitos de corriente alterna trifásicos, se constituye la siguiente ecuación (4.4):

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times \cos(\varphi)} \quad (4.4)$$

Donde:

I: Corriente nominal(A)

P: Potencia efectiva (W)

V: Tensión nominal(V)

$\cos(\varphi)$: Factor de potencia (Unidad)

Fórmula de la intensidad de arranque de la carga inductiva

La intensidad de arranque de una carga inductiva puede variar entre 2 y 7 veces la corriente nominal en la mayoría de los casos y para el cálculo de este se utiliza la ecuación (4.5) para conocer la corriente de arranque.

$$I_A = I_{\text{nominal}} \times 2 \quad (4.5)$$

Donde:

I_A: Corriente de arranque

I_n: Corriente nominal

2: Factor de carga

Fórmula de la resistencia con la ley ohm

La resistencia eléctrica se puede determinar usando la Ley de Ohm, que establece que la resistencia (R) es igual al voltaje (V) dividido por la corriente (I). La ecuación (4.6) permite calcular la resistencia en un circuito eléctrico siempre que se conozcan los valores de voltaje y corriente.

$$R = \frac{V}{I} \quad (4.6)$$

Donde:

R: Resistencia eléctrica

V: voltaje (V)

corriente (I)

Para el cálculo de la corriente eléctrica se puede determinar con la ley de la potencia, cuando se conocen la potencia y el voltaje, se utiliza la ecuación (4.7) derivada de la relación entre estas tres magnitudes.

$$I = \frac{P}{V} \quad (4.7)$$

Donde:

I: Corriente eléctrica(A)

P: Potencia (W)

V: Voltaje(V)

Fórmula de energía de salida

Para determinar la energía de salida de los motores eléctricos, se utiliza el método de entrada-salida requiere medir directamente la potencia consumida (entrada) y calcular la producida (salida) durante las pruebas operativas. Este método ofrece una evaluación precisa del consumo de la carga del motor en condiciones de operación, para aplicar este método se utiliza la siguiente Ecuación (4.8) para su debido cálculo.

$$P_s = \frac{P_e}{\eta} = \frac{V \times I \times t}{\eta} \quad (4.8)$$

Donde:

P_s: Potencia de salida

η: Eficiencia %

P_e: Potencia de entrada

V: Voltaje de entrada

I: Corriente de entrada

t: tiempo de función entrada

4.6. MEMORIA DE CÁLCULO

4.6.1. Protección del PLC S7-1200

Los datos del PLC se identifican en la tabla 4.5, indican que el consumo máximo del PLC es de 3 W.

Los siguientes son los datos:

V = 120 voltios

P = 3 watts

Para calcular la corriente consumida, se emplea la Ecuación (4.7).

$$I = \frac{3 \text{ watts}}{120 \text{ voltios}}$$

$$I = 0,025 \text{ Amperios}$$

El consumo de corriente del PLC S7-1200 CPU 1212C AC/DC/RLY es de 0.25 amperios, para la protección se estima un interruptor termomagnético de 2 A.

4.6.2. Protección del VDF

Para calcular la corriente de protección del variador de frecuencia trifásico Micro master 420, utilizaremos los datos técnicos proporcionados del Anexo II.

Donde:

V = 200 V a 240 V 3CA(usaremos el valor medio de 220 V)

P = 1/6 HP a 7,5 HP (usaremos el valor máximo de 7,5 HP)

Cosφ = 0,95

Conversión de potencia

1 HP es igual a 746 W, por lo tanto, 7,5 HP es igual a:

$$P = 7,5 \times 746 = 5595 \text{ W}$$

Se emplea la siguiente Ecuación (4.4) de corriente en un sistema trifásico:

$$I = \frac{5595 \text{ W}}{\sqrt{3} \times 220 \text{ V} \times 0,95}$$

$$I = 15,46 \text{ Amperios}$$

La corriente consumida por el variador de frecuencia VDF Micromaster 420, operando a su máxima capacidad (7.5 HP) con un factor de potencia de 0.95, es aproximadamente 15.46 A. Este valor representa la corriente nominal que el variador consumirá durante su operación normal con el factor de potencia especificado. En base a estos cálculos se implementó un breaker termomagnético de 16 A debido a su flexibilidad en el mercado.

4.6.3. Dimensionamiento de conductores

Motor de 2 HP

Para calcular la corriente de arranque para motores de 2 HP, usaremos la siguiente Ecuación (4.5) respectivamente.

Donde:

I_{nominal} : 6.2 Amperios

$$I_A = 6,2 \text{ A} \times 2$$

$$I_A = 12,4 \text{ Amperios}$$

Motor de 5 HP

Para calcular la corriente de arranque para motores de 5 HP, usaremos la siguiente ecuación la misma Ecuación (4.5)

Donde:

I_{nominal} : 13.9 Amperios

$$I_A = 13,9 \text{ A} \times 2$$

$$I_A = 27,8 \text{ Amperios}$$

Dado que las corrientes nominales y de arranque de ambos motores (2 HP y 5 HP) están dentro del límite de 30 amperios que el cable número 12 puede soportar, como se indica en la Figura 4. 6, es adecuado para ambos motores. Por lo tanto, el cable número 12 es apropiado para estos motores.

Calibre AWG o kcmil	Temperatura máxima en conductor						Calibre AWG o kcmil
	60°C	75°C	90°C	60°C	75°C	90°C	
	(140°F)	(167°F)	(194°F)	(140°F)	(167°F)	(194°F)	
	Tipo	Tipo	Tipo	Tipo	Tipo	Tipo	
	TW UF	RHW THHW THW XHHW	RHH THHN XHH XHHW	TW UF	RHW THHW THW XHHW	RHH THHN XHH XHHW	
	Cobre			Aluminio			
18	----	----	14	----	----	----	----
16	----	----	18	----	----	----	----
14	15	20	25	----	----	----	----
12	20	25	30	15	20	25	12
10	30	35	40	25	30	35	10

Figura 4. 6 Características de los conductores eléctricos[23].

4.6.4. Cálculo de la Resistencia

Seleccionamos una resistencia que facilite la conversión adecuadamente para convertir una señal de corriente de 0/4-20 mA a un rango de voltaje de 0-10 V, para seleccionar la resistencia se emplea la Ecuación (4.6).

Donde:

Señal de corriente máxima del variador : 20 mA (0,02 A)

Voltaje máximo que el PLC S7 – 1200 puede leer: 10 V

$$R = \frac{10 \text{ V}}{0,02 \text{ A}}$$

$$R = 500 \text{ ohmios}$$

Por lo tanto, una resistencia de 500 ohmios es adecuada para convertir la señal de corriente de 20 mA a un voltaje de 10 V, que puede ser leído por el PLC S7-1200.

4.6.5. Cálculo de parámetros para el control PID

Para determinar los parámetros se utiliza la siguiente ecuación, conjuntamente con el método experimental para poder determinar la ganancia crítica (KCR) y el periodo crítico (TCR).

Donde:

Ganancia crítica (KCR): **11, 5333**

Período crítico (TCR): **4, 56538 segundos**

Con estos valores, se puede aplicar la fórmula del Método de Ziegler-Nichols para calcular los parámetros PID.

Para calcular la ganancia proporcional (K_p) se emplea la Ecuación (4.1):

$$K_p = 0,6 \times 11,53338$$

$$K_p = 6,91998$$

Para calcular la Ganancia integral (T_i) se emplea la Ecuación (4.2):

$$T_i = \frac{4,56538}{2}$$

$$T_i = 2.28269$$

Para calcular la Ganancia derivativa (T_d) se emplea la Ecuación (4.3):

$$T_d = \frac{4,56538}{8}$$

$$T_d = 0,5706725$$

Aunque el Método de Ziegler-Nichols brinda una base sólida, es común realizar ajustes adicionales que se fundamentan en la observación y las pruebas prácticas para lograr un rendimiento óptimo del sistema.

4.6.6. Cálculo de la energía de consumo por la carga

Para el cálculo de la carga de consumo de energía se usa la ecuación (4.8) para conocer la energía consumida cuando es aplicado para el motor.

η : 83%

V: 220V

I: 13.9A

t: 2min = 0.033h

$$P_e = 220V \times 13.9A \times 0.033h$$

$$P_s = \frac{101.93Wh}{83\%}$$

$$P_s = 122.81W$$

4.7. EQUIPOS REQUERIDOS PARA LAS PRUEBAS

4.7.1. Selección del motor

Para el desarrollo de este proyecto se utilizará los siguientes motores trifásicos, que se detallan en la Tabla 4. 2 y Tabla 4. 3 las cuales indica los datos técnicos de cada motor, y que posterior a ello servirá para el análisis cuantitativo del mismo.

Tabla 4. 2 Datos técnicos del motor de 2 HP

Motor trifásico de inducción (2 HP)	Datos del motor
	Modelos: Siemens Potencia: 1.5kW / 2 HP Voltaje :220/380V Frecuencia: 60Hz RPM: 1725 Corriente nominal: 4.9 A Eficiencia: 81% (0.81%) CosØ: 0.78

Tabla 4. 3 Datos técnicos del motor de 5Hp

Motor trifásico de inducción (5 HP)	Datos del motor
	Modelo: Siemens Potencia: 3.75kW/5 HP Voltaje: 220/380 V Frecuencia: 60 Hz RPM: 1715 Corriente nominal: 13.9A/8.0 A Eficiencia: 85% (0.85%) CosØ: 0.83

4.7.2. Selección del Variador de Frecuencia

Tomando en cuenta la información técnica de los motores de las tablas anteriores, se procedió a la selección del variador de frecuencia adecuado para operar en una red trifásica, por ende, el variador elegido es el MICRO MASTER 420, con una capacidad de 4 kW/5 HP, 220V, trifásico y de tipo compacto tal como se muestra en la Tabla 4. 4. Este variador posee una frecuencia nominal de operación de 60 Hz y una corriente de salida nominal de 19.7 A, lo cual cumple con los requisitos operativos del motor.

Tabla 4. 4 Datos técnicos del variador de frecuencia

VDF Micromaster 420	Datos del VDF
	Tensión de alimentación: 200 V a 240 V 3 CA $\pm 10\%$ Potencia en par constante: 4 kW Frecuencia de entrada: 47 Hz a 63 Hz Frecuencia de salida: 0 Hz a 650 Hz Entradas analógicas: 1 para el setpoint o entrada PI (0 a 10 V), programable como 4a entrada digital Salida analógica: 1 programable (0/4 mA a 20 mA) Factor de potencia: ≥ 95

4.7.3. Selección del PLC

Para la selección del PLC se aplicó la prueba experimental, el cual se probó las programaciones en cada una de las versiones para así escoger el tipo de versión a utilizar. Esta selección fue un PLC S7-1200 CPU 1212C AC/DC/RLY V4.0 como se muestra en la Tabla 4. 5, el cual es una opción ideal para implementar el control PID en los motores ya que estos están controlados mediante un variador de frecuencia. Debido a su capacidad avanzada de control PID, su facilidad de integración con variadores de frecuencia es muy sencilla por su robustez, confiabilidad, soporte técnico, compatibilidad con sensores y actuadores y su versatilidad.

Tabla 4. 5 Datos técnicos del PLC S7-1200 CPU 1212C AC/DC/RLY

PLC S7-1200 CPU 1212C AC/DC/RLY	Datos del VDF
	Tensión de alimentación: 120V AC-230V AC Intensidad: 240 mA con 120 V AC 120 mA con 240 V AC Frecuencia: 47-63 Hz Rangos de entrada: (valores nominales), tensiones 0 a +10 Resistencia de entrada: (0 a 10 V) ≥ 100 ohmios

4.7.4. MECANISMOS DE PROTECCIÓN Y CONTROL DE SEGURIDAD

Para la selección de los elementos de protección se determinó la corriente que consumen cada uno de los equipos, en base a los cálculos realizados, estas protecciones se dividen en dos categorías: un interruptor termomagnético de dos polos y un interruptor termomagnético de tres polos, para el sistema de energización los cuales fueron dimensionados en función de las cargas del sistema.

4.7.4.1. Selección de protección para el PLC S7-1200

Para garantizar el correcto funcionamiento y la protección del PLC S7-1200, se revisaron sus especificaciones técnicas, disponibles en el ANEXO II, Además se comprobó con los resultados de los cálculos para tener una mayor confianza, las cuales indican una corriente máxima de alimentación de 0.24 A. Por lo tanto, se seleccionó un el breaker modelo CHINT, como se indica en la Tabla 4. 6.

Tabla 4. 6 Breaker termomagnético principal

Interruptor termomagnético 2 polos	Intensidad de protección	Datos del PLC S7-120
	2 amperios	Tensión: 120 V 3AC Amperaje: 0.24 A

4.7.4.2. Selección de protección para el VDF

Para asegurar el funcionamiento y la protección del variador de frecuencia, se calculó su corriente máxima e indica una corriente de alimentación máxima de 15,46 A. Por consiguiente, se ha elegido el breaker modelo CHINT, como se indica en la Tabla 4. 7.

Tabla 4. 7 Breaker termomagnético principal

Interruptor termomagnético 3 polos	Intensidad de protección	Datos del VD
	16 amperios	Tensión: 220 V Amperaje: 15.46 A Potencia: 5595 W

4.7.5. Selección de Conductores eléctricos

Para la selección de conductores se tomó en cuenta los datos calculados de la corriente de arranque de los motores, puesto que los conductores pueden afectar en la toma de datos y el arranque ya que pueden ser muy altos, y así garantizar un rendimiento y seguridad óptimos del sistema eléctrico, como se muestra en la Tabla 4. 8.

Tabla 4. 8 Conductores eléctricos

Amperaje del motor	Conductores eléctricos y amperaje máximo	Conductore eléctrico seleccionado
Motor 2hp: Corriente nominal: 6.2 Amperios Corriente de arranque: 2.4 Amperios Motor 5hp: Corriente nominal: 13.9Amperios Corriente de arranque: 27.8 Amperios	16 AWG: 13A 14 AWG: 18 A 12 AWG: 30A	12 AWG: 30A

4.7.6. Selección de la resistencia

Para la selección de la resistencia se tomó en cuenta la corriente de salida analógica del variador el cual tiene un rango de salida de (0-20mA) y la señal voltaje (0-10 V) de la entrada digital del PLC, con estos valores conocidos se realizó el cálculo correspondiente de la resistencia, lo cual ayudo a garantizar una lectura precisa entre el variador de frecuencia y PLC. Con la consideración anterior la resistencia a usada es de 500 ohmios como se muestra en Tabla 4. 9, lo cual proporcionara una salida de voltaje de 0-10V que se va a ingresar a la entrada digital del PLC.

Tabla 4. 9 Resistencia

RESISTENCIA	Datos
	R= 500 ohmios

4.7.7. Selección del Analizador de Redes Fluke 435

La selección del analizador de redes Fluke 435 de debe a la facilidad de prestación de la institución, ya que su capacidad para medir parámetros complejos, su facilidad de uso y su compatibilidad con software de análisis. Es una herramienta ideal para obtener datos detallados

y confiables sobre voltaje, corriente, armónicos y otros parámetros eléctricos cruciales. Esta herramienta garantiza un análisis detallado y preciso.

4.7.8. Componentes del analizador de redes

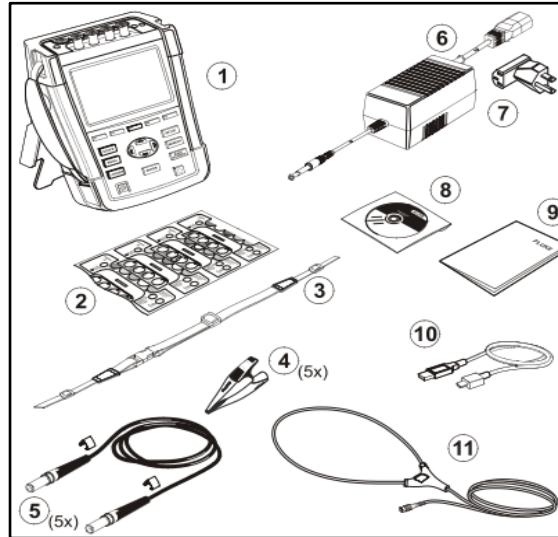


Figura 4. 7 Componentes del analizador trifásico de energía[21].

En la Figura 4. 7, se pueden identificar numéricamente los componentes principales del analizador de redes y en la Tabla 4. 10, contiene una descripción detallada de cada una de estas partes.

Tabla 4. 10 Componentes del analizador de calidad de energía[21].

N°	Descripción
1	Analizador de calidad de la energía eléctrica Fluke 43x Serie II + correa lateral, juego de baterías BP290 (28 Wh) y tarjeta de memoria SD de 8 GB instalada
2	Juego de etiquetas para tomas de entrada (Nuevo UE y Reino Unido, UE, China, Reino Unido, EE.UU., Canadá)
3	Correa
4	Pinzas de cocodrilo. Juego de 5
5	Cables de prueba, 2,5 m + pinzas codificadas con colores. Juego de 5
6	Adaptador de red
7	Juego de adaptadores de enchufe de red (UE, EE.UU., Reino Unido, Australia/China, Suiza, Brasil, Italia) o cable de alimentación regional.
8	Manual de instrucciones de seguridad (en varios idiomas)

9	CD-ROM con manuales (en varios idiomas), software PowerLog y controladores USB
10	Cable de interfaz USB para conexión al PC (USB A a mini-USB B)
11	Sonda de corriente de CA 6.000 A flexible (no se incluye en la versión básica)

4.8. DIAGRAMA DE CONTROL DEL SISTEMA

El diseño esquemático del circuito se realizó utilizando el software CAdE SIMU, para todos los diseños, se siguió un procedimiento uniforme, cambiando solo los elementos de cada diagrama y su disposición o ubicación. La siguiente Tabla 4. 11, muestra el procedimiento completo.

Tabla 4. 11 Procedimiento para el diseño de diagramas eléctricos.

Ítem	Procedimiento para el diseño de diagramas
Método	Diseño esquemático
Herramienta o equipo	Computador, software
Procedimiento	
1. Tener experiencia en el manejo del software.	
2. Inicie el software e inicie un nuevo proyecto.	
3. Seleccionar los componentes requeridos de la biblioteca de software.	
4. Seleccione y arrastra los componentes a la ventana de trabajo desde la biblioteca.	
5. Asegúrese de que las entradas y salidas de las señales estén dispuestas de manera adecuada y tenga en cuenta los valores nominales de operación de cada componente.	
6. Guarde el diseño en una carpeta en la computadora y verifique que todas las conexiones entre los elementos sean correctas	

4.8.1. Arranque de un motor trifásico de 2 HP con VDF

El esquema principal muestra el diagrama para el arranque estrella de un motor trifásico de inducción con un variador de frecuencia, como se muestran en la Figura 4. 8. El esquema principal consta de una red trifásica L1, L2, L3, PE, que sirve como fuente principal para el variador de frecuencia y se le agregar una protección para la misma (Q1), y al final se le coloca una protección para el motor (F1). Las salidas del variador se conectan finalmente a los terminales del motor U1, V1 y W1.

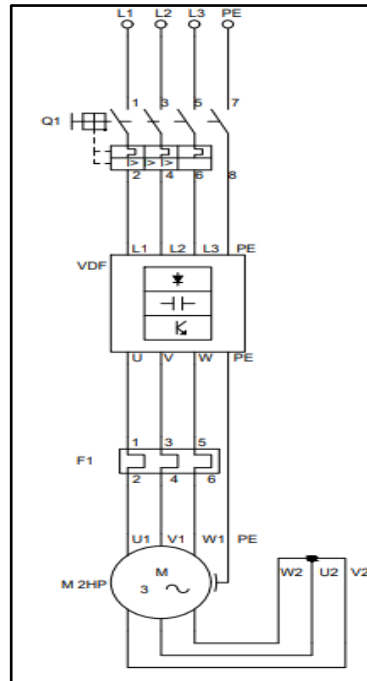


Figura 4. 8 Diagrama de arranque estrella

4.8.2. Arranque de un motor trifásico de 5 HP con VDF

El esquema principal muestra el diagrama para el arranque estrella de un motor trifásico de inducción con un variador de frecuencia, como se muestran en la Figura 4. 9. El esquema principal consta de una red trifásica L1, L2, L3, PE, que sirve como fuente principal para el variador de frecuencia y una protección para la misma (Q1), como último se le agrega una protección para el motor (F1). Las salidas del variador se conectan finalmente a los terminales del motor U1, V1 y W1.

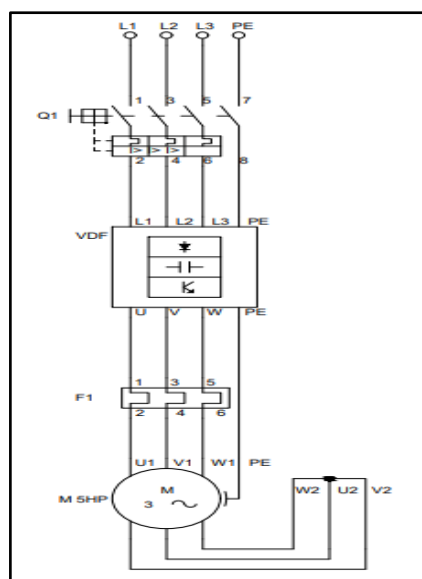


Figura 4. 9 Diagrama de arranque estrella

4.8.3. Arranque de un motor trifásico de 2 HP con control PID utilizando VDF

En la Figura 4. 10, muestra el esquema para el arranque de un motor trifásico de inducción con un PLC, un variador de frecuencia. Este esquema consta de dos partes: La parte de Control que incluye una alimentación (L, N, PE), y una protección para el PLC (Q1), finalmente se coloca una resistencia para transformar la señal analógica de corriente que emite el variador (DAC+, DAC-) a una señal analógica de voltaje que recibe el PLC (2M , AI1), y la siguiente de fuerza que contiene una red trifásica L1, L2, L3, PE que sirve como fuente principal, seguida de una protección para el variador de frecuencia (Q2), y finalmente una protección para el motor (F2). Las salidas del variador se conectan finalmente a los terminales del motor U1, V1 y W1. El PLC controla la lógica de arranque y parada del motor, el uso permite un control preciso y automatizado del arranque y operación de un motor trifásico de inducción.

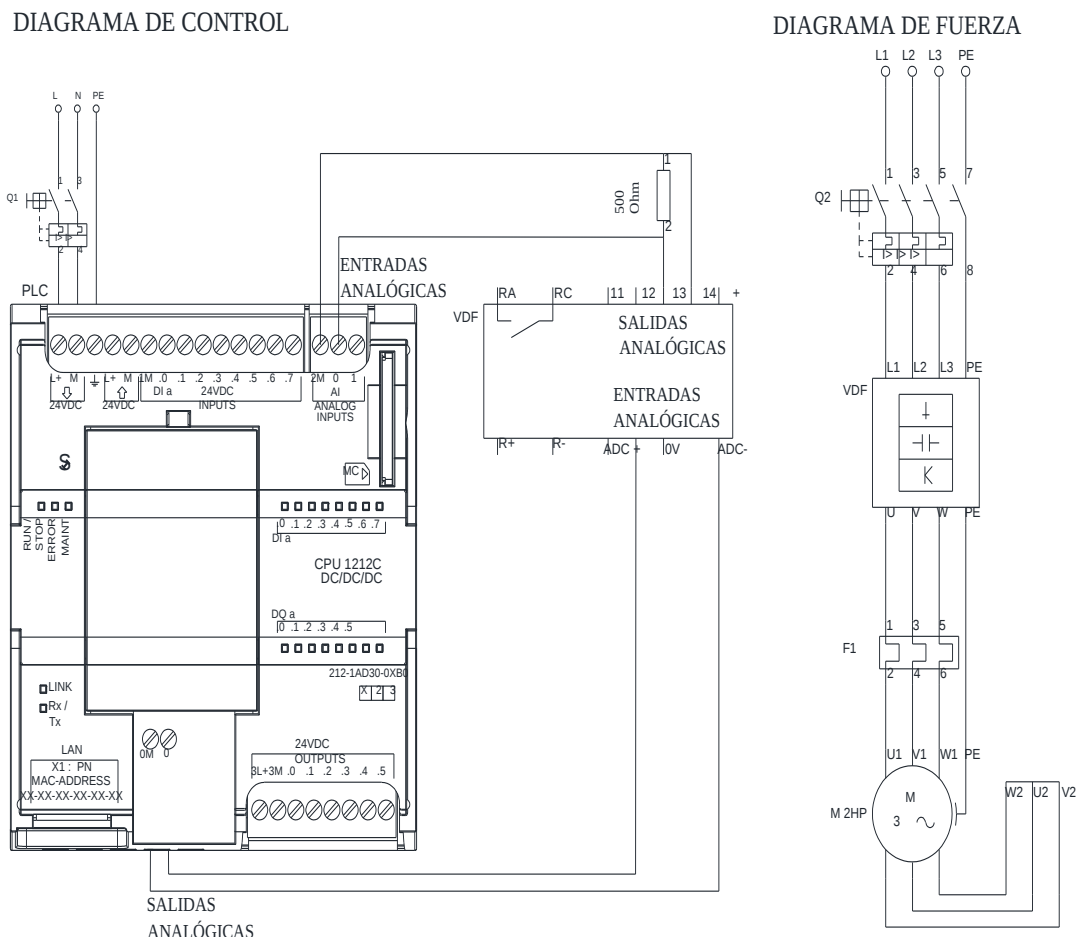


Figura 4. 10 Diagrama de arranque con control PID

4.8.4. Arranque de un motor trifásico de 5 HP con control PID utilizando VDF

En la Figura 4. 11, muestra el esquema para el arranque de un motor trifásico de inducción, Este esquema conlleva dos partes: La parte que control que está constituida de una red de

alimentación (L, N, PE), y una protección para el PLC (Q1), finalmente se coloca una resistencia para transformar la señal analógica de corriente que emite el variador (DAC+, DAC-) a una señal analógica de voltaje que recibe el PLC (2M, AI1), y la parte de fuerza que conlleva una red trifásica L1, L2, L3, PE que sirve como fuente principal, seguida de una protección, para el variador de frecuencia (Q1) y finalmente una protección para el motor (F1). Las salidas del variador se conectan finalmente a los terminales del motor U1, V1 y W1. El PLC controla la lógica de arranque y parada del motor, esto permite un control preciso y automatizado del arranque y operación de un motor trifásico de inducción.

DIAGRAMA DE CONTROL

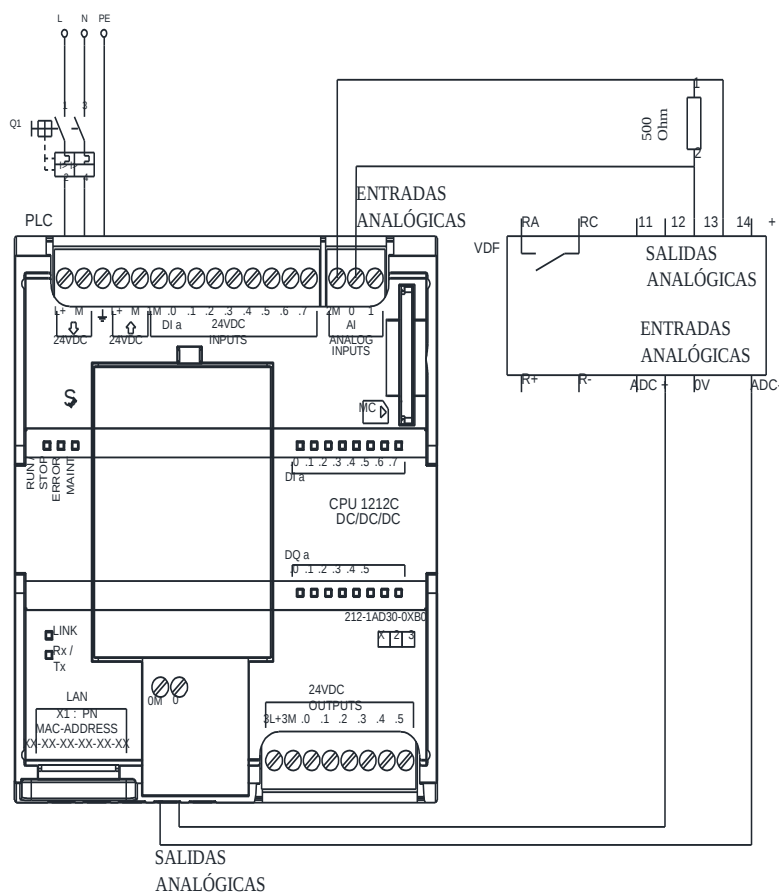


DIAGRAMA DE FUERZA

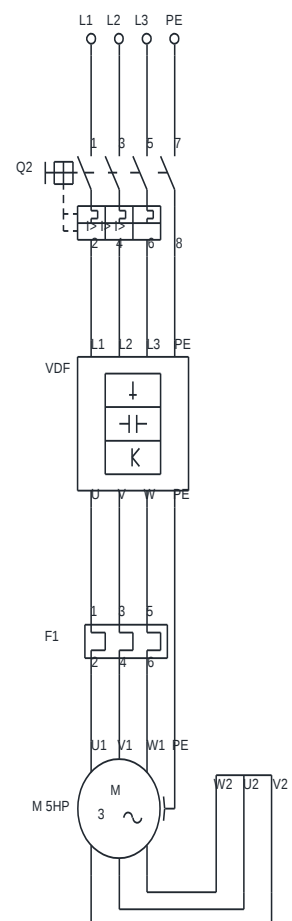


Figura 4. 11 Diagrama de arranque con control PID

4.9. DESARROLLO DE ALGORITMO PARA EL CONTROL DE LOS MOTORES

Para desarrollar el algoritmo programación, se utilizó el software industrial TIA Portal se empleó la versión V16, que cuenta con las herramientas y librerías necesarias para su implementación, también para desarrollar los algoritmos se utilizó la lógica difusa, la cual

indica que las señales de entradas pasan por una “máquina de deducción”, donde reglas humanas o basadas en la experiencia son aplicadas para producir una señal de salida.

4.9.1. Configuración de las entradas analógicas para recibir datos

El proceso se realizó utilizando el rango de salida analógica de 0 a 20mA que entrega el VDF, se le transforma a una señal de voltaje colocando en paralelo una resistencia de 500 ohm. El PLC S7-1200 tiene dos entradas analógicas de voltaje, solo recibe la señal analógica del variador a través de la entrada analógica IW64. Esta entrada analógica tiene un rango de 0 a 10V, un rango de procesamiento total de 0 a 27648 unidades y una resolución de 10 bits. La Figura 4. 12, muestra el proceso de normalización y escalado de la señal analógica de VDF.

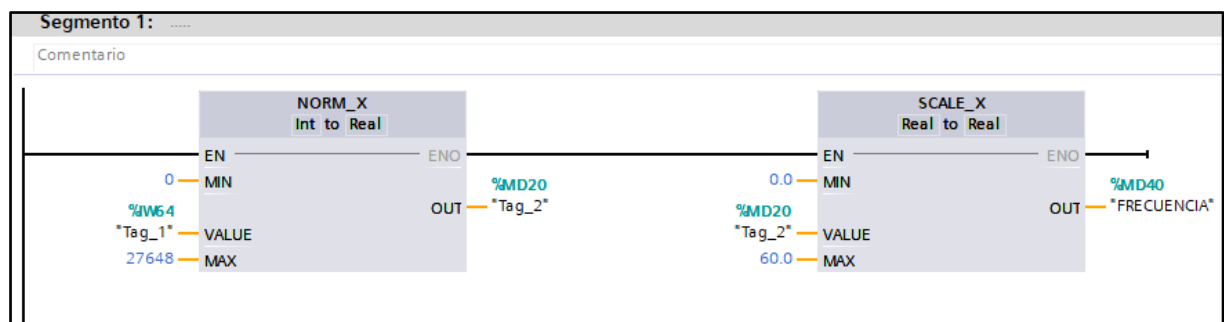


Figura 4. 12 Bloques de instrucciones "NORM_X" y "SCALE_X"

Los bloques de instrucciones "NORM_X" y "SCALE_X" se utilizan para recibir datos. Estos componentes ayudan a normalizar y escalar las señales de entrada, lo que garantiza la correcta recepción de los datos enviados por el VDF, que proporciona señales analógicas de frecuencia. En la Tabla 4. 12, se muestra la descripción de los parámetros de instrucciones que se utilizaron.

Tabla 4. 12 los parámetros de instrucciones: NORM_X (Normalizar) y SCALE_X(Escalar)

Instrucciones: NORM_X (Normalizar) y SCALE_X(Escalar)	
Parámetros de entrada	Descripción
MIN:	Entrada que indica el valor mínimo del rango.
VALUE:	Valor de entrada que se debe escalar o normalizar.
MAX:	Entrada que indica el valor máximo del rango
OUT:	Valor de salida escalado o normalizado.

4.9.2. Pasos para generar un control PID

Se incluyó un bloque de programación de tipo "interrupción cíclica" con un intervalo de 100 milisegundos, que es el valor predeterminado, como se muestra en la Figura 4. 13.

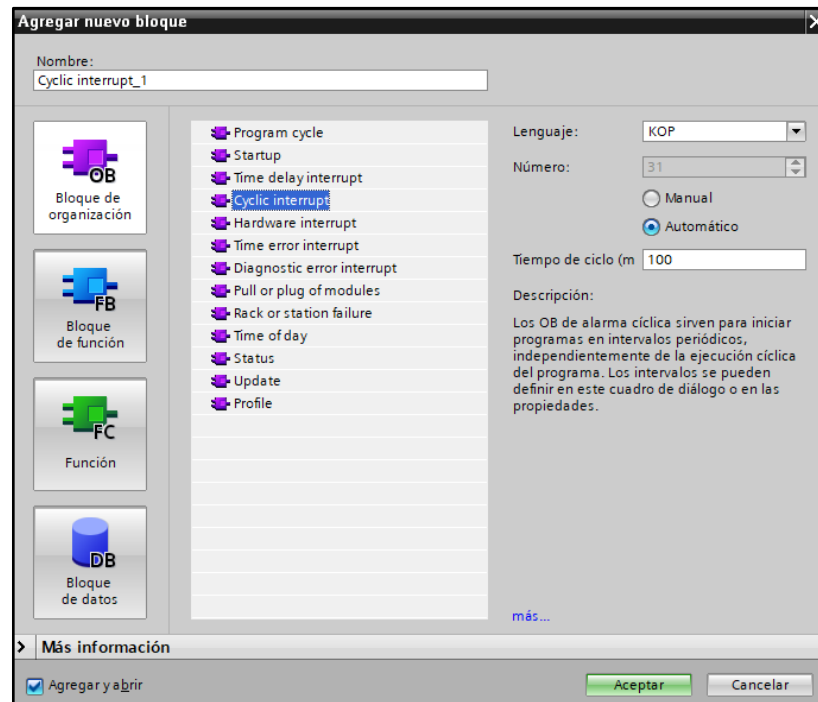


Figura 4. 13 Interrupción cíclica

4.9.3. Configuración la salida analógica para enviar datos

El acondicionamiento se ejecutó utilizando el valor escalado del variador de frecuencia. Además, el PLC S7-1200 también cuenta con PID compact, este algoritmo recibe la señal escalada del variador y también recibe el valor de la frecuencia a la cual se desea llegar. Para así procesar un rango de salida analógica de 0 a 10 V, en la Figura 4. 14, muestra el proceso.

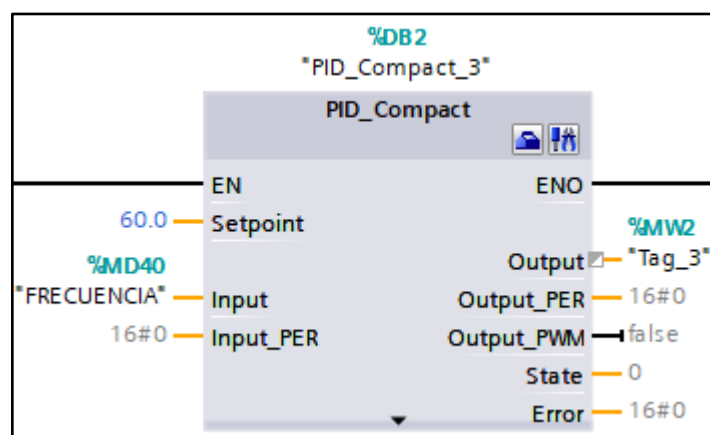


Figura 4. 14 Bloques de PID

a) Descripciones de los Tres Parámetros

Setpoint: Representa el parámetro de la frecuencia deseada del motor es el punto de consigna del control PID.

Input: Es un parámetro de entrada de tipo Word de tipo doble que representa la señal analógica que recibe el controlador PID; en este caso, corresponde a la entrada del variador de frecuencia.

Output: El parámetro de salida, también conocido como parámetro de tipo doble Word, muestra la salida preferida del sistema.

Los bloques de instrucciones "NORM_X" y "SCALE_X" se manipularon para obtener datos del PID. Estos elementos permitieron normalizar y escalar las señales enviadas por el PID, lo que permite que las salidas analógicas se ajusten al rango de procesamiento total de 0 a 10 V antes de enviarlas al VDF, la Figura 4. 15, muestra el proceso.

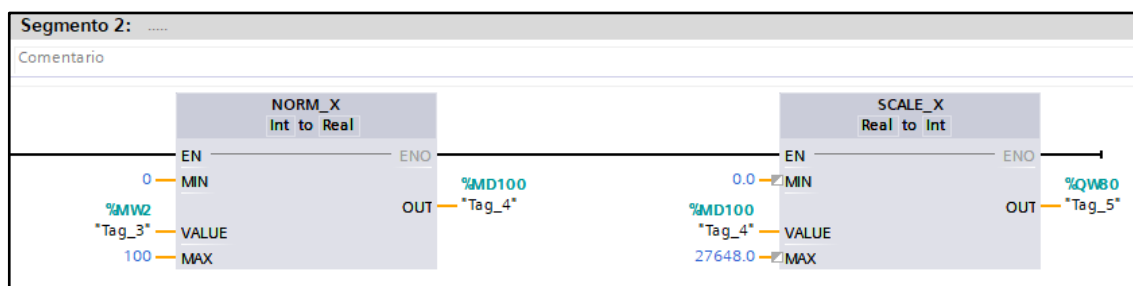


Figura 4. 15 Bloques de instrucciones "NORM_X" y "SCALE_X"

Con este proceso se pudo determinar los errores mínimos en los cambios de frecuencia, lo que permitiría la supervisión, la recopilación y el control de los datos. Por lo tanto, se creó un algoritmo de control para hacerlo. La Tabla 4. 13, muestra las entradas y salidas del PLC utilizados para llevar a cabo este estudio.

Tabla 4. 13 Entradas y salidas del PLC utilizadas

DIRECCIONES DEL PLC	DESCRIPCIÓN
Entradas analógicas	
IW64	Entrada de señal de frecuencia
Salidas analógicas	
QW80	Salida de 0 a 10 V al VDF

4.9.4. Implementación de parámetros de control PID

Para la implementación de parámetros se manejó conjuntamente con el sistema de lazo cerrado, para poder determinar la ganancia crítica (KCR) y el periodo crítico (TCR), en base a estos datos se implementó el método Ziegler-Nichols, la cual permitió calcular los parámetros del controlador PID, este método garantizó una respuesta efectiva y estable en múltiples condiciones de operación al aplicar directamente los parámetros obtenidos en el sistema de control, los parámetros del PID para mantener el proceso estable el sistema se muestra en la Figura 4. 16.

The screenshot displays a software interface titled 'Parámetros PID'. It includes a checkbox labeled 'Activar entrada manual' which is checked. Below this, several parameters are listed with their corresponding values in yellow input fields and green up/down arrow icons for adjustment:

- Ganancia proporcional: 6.91997
- Tiempo de integración: 2.28269 s
- Tiempo derivativo: 0.57067 s
- Coefficiente retardo derivativo: 0.1
- Ponderación de la acción P: 1.0
- Ponderación de la acción D: 0.0
- Tiempo muestreo algoritmo PID: 9.99955E-2 s

At the bottom, there is a section titled 'Regla para la optimización' containing a dropdown menu for 'Estructura del regulador' set to 'PID'.

Figura 4. 16 Parámetros del PID

4.10. PROCEDIMIENTO PARA EL REGISTRO DE MEDICIONES EN MOTORES DE INDUCCIÓN CON CARGA

4.10.1. Conexiones realizadas para la medición.

Es esencial explicar cómo hacer las conexiones al sistema de distribución eléctrica que se está probando y cómo ajustar los valores del analizador para realizar las mediciones de manera adecuada. Es fundamental asegurarse de que la configuración esté adecuada antes de realizar las mediciones.

4.10.1.1. Conexión de entrada

El analizador cuenta con cinco cables de señal de tensiones y cuatro para señales de corriente. Para asegurar mediciones seguras, es necesario utilizar conectores BNC aislados porque estas pinzas tienen un conector BNC de plástico. La Figura 4. 17 muestra cómo se deben realizar las conexiones en un sistema trifásico.

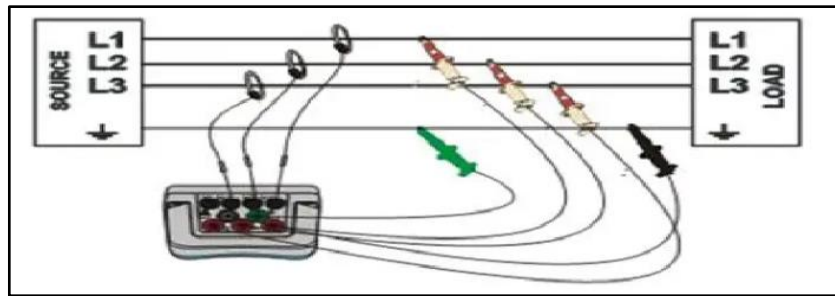


Figura 4. 17 Diagrama de conexión de un sistema trifásico

Tomando en cuenta las conexiones de la Figura 4. 15 anterior, se conectó los cables de tensión A, B, C, así como los cables de señal de corriente A, B, C a la salida del variador de frecuencia en (U1, V1 y W1), como se muestra en la Figura 4. 18. Es importante asegurarse de que las conexiones sean firmes y seguras para evitar interferencias o lecturas incorrectas. Además, es esencial calibrar el analizador de redes Fluke antes de realizar las mediciones para asegurar que los datos registrados sean precisos y fiables.

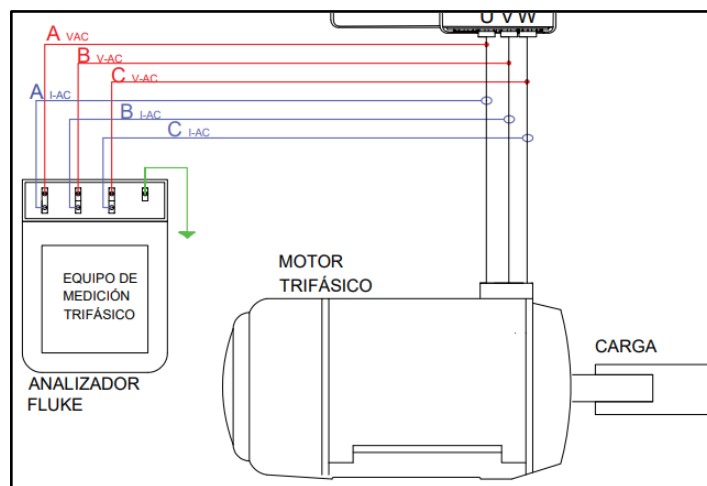


Figura 4. 18 Diagrama de conexión del analizador de redes

El fasor y el osciloscopio son útiles porque las corrientes A (L1), B (L2) y C (L3) deben aparecer en secuencia en el sentido de las agujas del reloj en el diagrama de vectores, como se muestra en la Figura 4. 19. Esto ayudó a determinar si los cables de corriente están bien conectados.

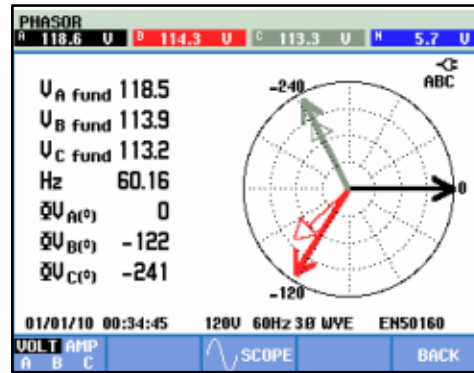


Figura 4. 19 Diagrama de vectores

4.11. PRUEBAS EXPERIMENTALES

En este estudio se llevaron a cabo cuatro pruebas de arranque en estrella, estas pruebas son fundamentales porque proporcionan los datos necesarios para evaluar la eficacia y el rendimiento de los motores sometidos a una carga.

4.11.1. Prueba 1:

En primera instancia, se realizó una prueba del arranque en estrella del motor de 2 HP, se implementó el variador de frecuencia para el arranque conjunto de una carga, para ello se tomaron datos de dos minutos hasta que el motor se estabilice en su rango máximo de frecuencia, estos datos recolectados con el analizador de redes son fundamental para determinar la eficiencia del sistema con el variador de frecuencia, en la Figura 4. 20 se muestra el diagrama de la primera prueba.

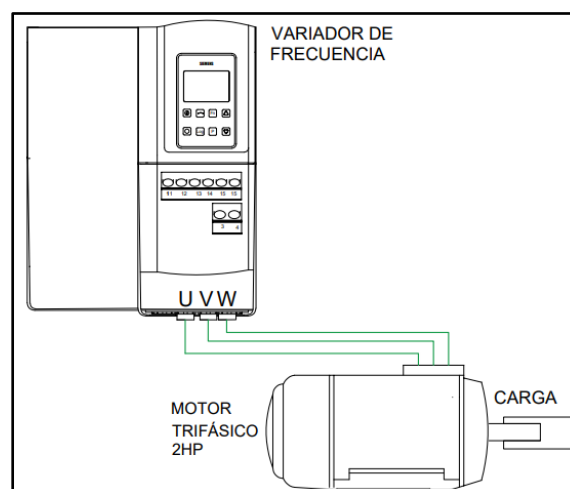


Figura 4. 20 Diagrama de la primera prueba

4.11.2. Prueba 2:

En la segunda prueba, se realizó el arranque estrella al mismo motor de 2 HP, considerando la implementación del control PID, variador de frecuencia, y la carga. Para ello, se registraron datos durante dos minutos, hasta que el motor se estabilice en su rango máximo de frecuencia. Los datos recolectados con el analizador de redes son fundamentales para determinar la eficiencia del sistema compuesto por el control PID, en la Figura 4. 21 se muestra el diagrama de la segunda prueba.

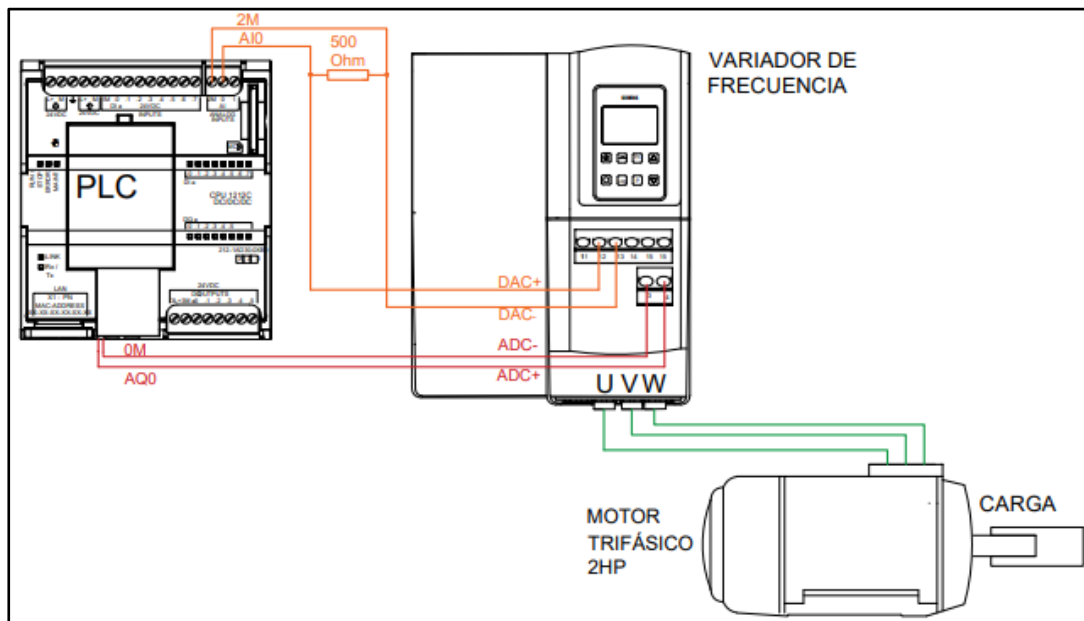


Figura 4. 21 Diagrama de la segunda prueba

4.11.3. Prueba 3:

La tercera prueba, incluyo el arranque estrella del motor de 5 HP, en esta prueba, se implementó el variador de frecuencia y la carga. Para ello, se registraron datos durante dos minutos hasta que el motor se estabilice en su rango máximo de frecuencia. Estos datos recolectados con el analizador de redes son fundamentales para determinar la eficiencia del sistema con el variador de frecuencia, en la Figura 4. 22 se muestra el diagrama de la tercera prueba

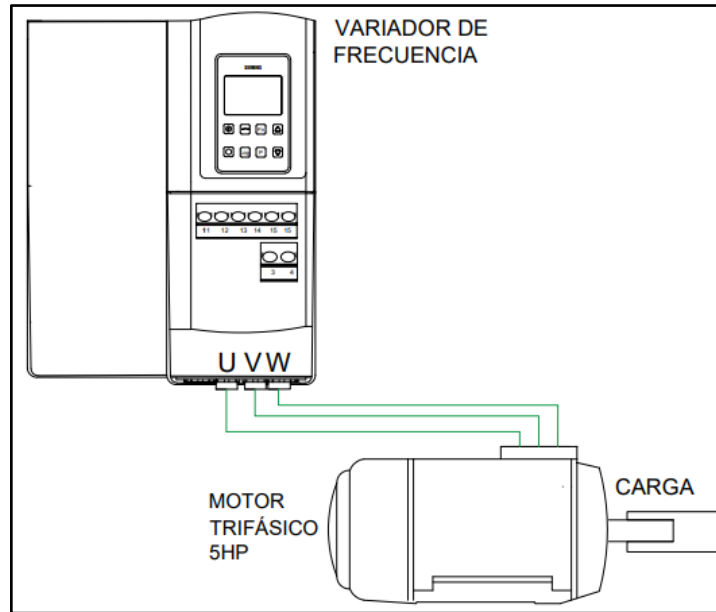


Figura 4. 22 Diagrama de la tercera prueba

4.11.4. Prueba 4:

En la cuarta prueba, se realizó el arranque estrella en el mismo motor, en esta prueba, se implementaron el control PID, el variador de frecuencia, y la aplicación de la carga. Además, se registraron datos durante dos minutos hasta que el motor alcanzó su rango de frecuencia máxima, en la Figura 4. 23 se muestra el diagrama de la cuarta prueba.

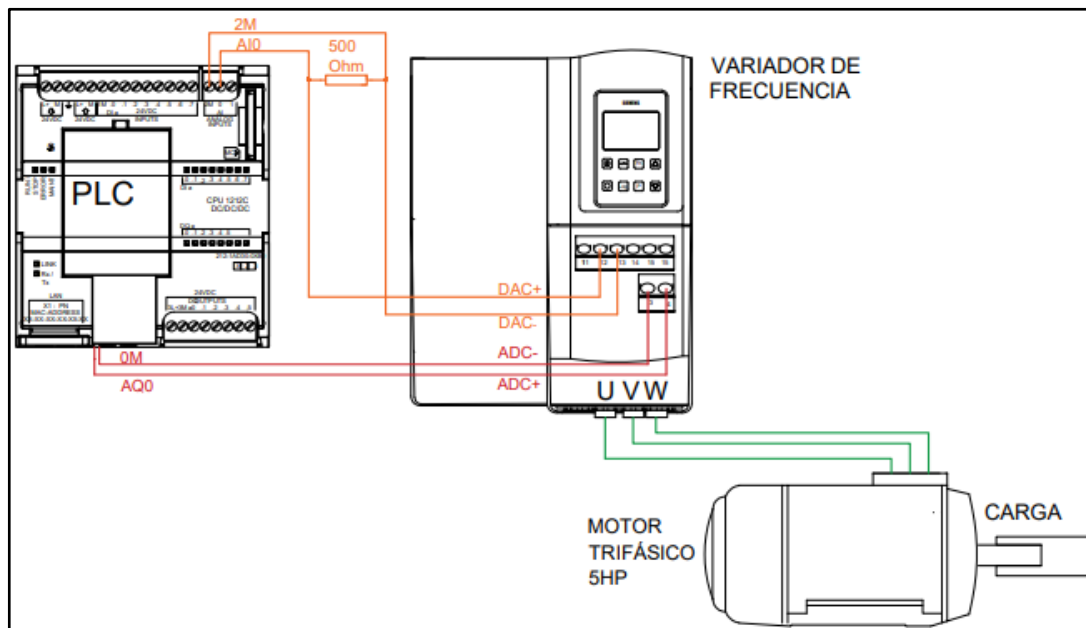


Figura 4. 23 Diagrama de la cuarta prueba

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. ANÁLISIS DE EFICIENCIA CON LOS DATOS RECOLECTADOS CON EL ANALIZADOR DE REDES

5.2. Análisis de la corriente pico del motor 2 HP

5.2.1. Cotel PID y variador

En el Gráfico 5. 1 muestra que, durante el arranque del motor de 2 HP, alcanzan picos altos alrededor de 18,6 A, pero disminuyen rápidamente y se estabilizan en 8 A en menos de 5 segundos. Con comportamientos muy similares, las corrientes de las tres fases muestran una distribución coordinada, un balance estable y una baja variabilidad de la corriente después de la estabilización entre ellas.

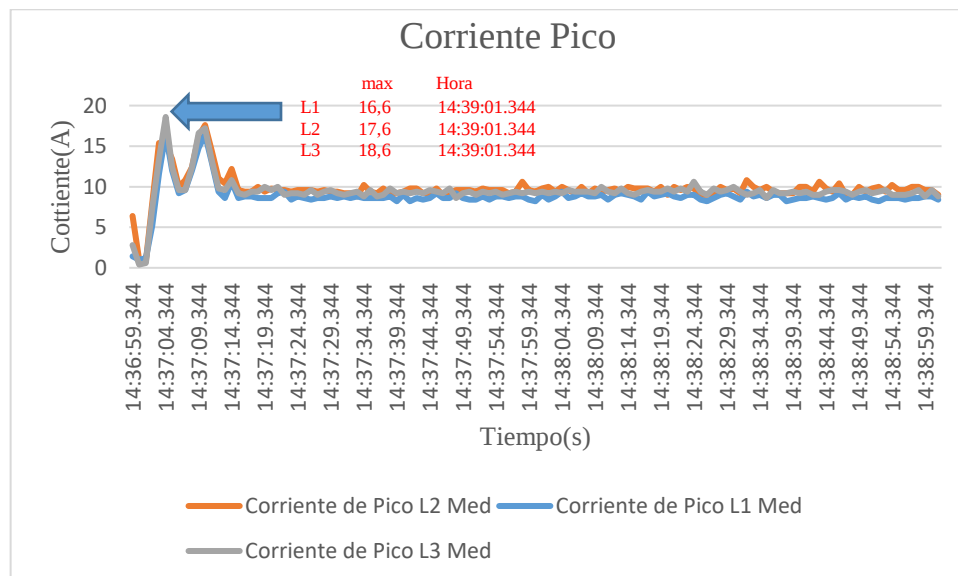


Gráfico 5. 1 Corriente pico de arranque con control PID

5.2.2. Control con el variador

El Gráfico 5. 2 muestra picos de corriente que alcanzan los 19,2 A durante el arranque del motor de 2 HP. Estos picos disminuyeron más lentamente y se estabilizaron por encima de los 10 A. La estabilización a un nivel más alto y una mayor corriente pico inicial, indican una mayor tensión sobre el sistema y una mayor demanda de energía. Las oscilaciones iniciales son más marcadas y la estabilización toma más tiempo, lo que puede causar un consumo de energía un poco más alto y un desgaste anticipado del motor.

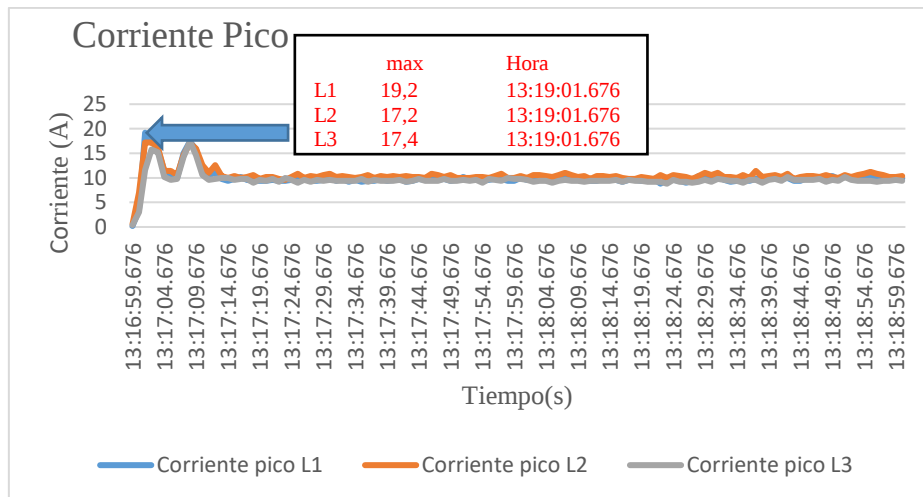


Gráfico 5. 2 Corriente pico arranque sin control PID

5.3. Análisis de la corriente pico del motor 5 HP

5.3.1. Control PID y variador

En el Gráfico 5. 3, se puede observar que todas las fases (L1, L2 y L3) tienen un pico considerable el cual se estabilizó rápidamente y permaneció entre 5 A y 7 A después de un pico inicial de 10,2 A. La ligera variabilidad en L1 no afecta la estabilidad general. Este comportamiento mostró una mejor fluctuación lo que reduce el peligro de sobrecargas y prolonga la vida útil del motor, la estabilización rápida, que demuestra una respuesta efectiva a los cambios de carga.

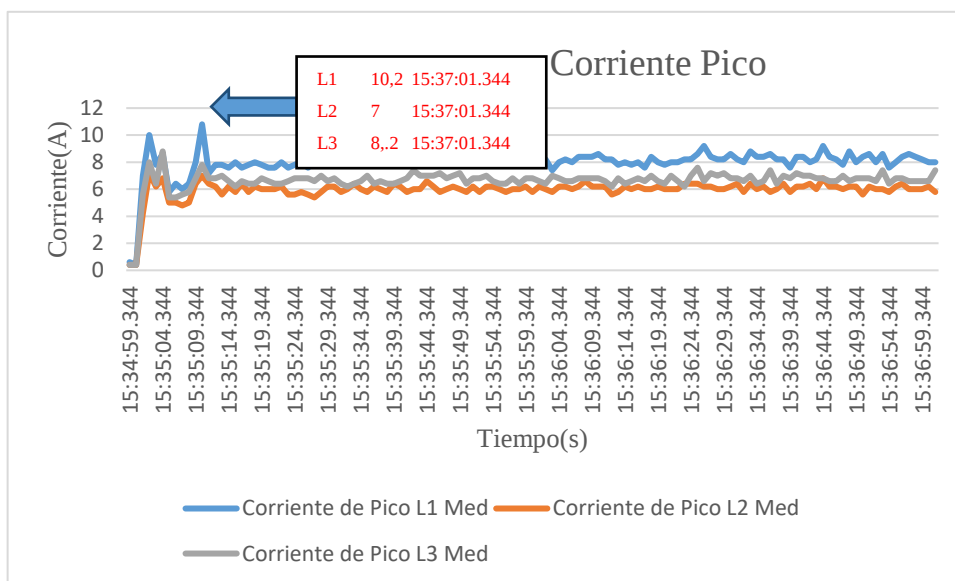


Gráfico 5. 3 Corriente pico de arranque con control PID

5.3.2. Control con variador

En el siguiente Gráfico 5. 4, las corrientes de pico en las fases L1, L2 y L3 tiene un pico inicial considerable, aunque en L1 tiene un pico de 10,8 y trató de estabilizarse en un corto tiempo. Con fluctuaciones más pronunciadas y extensas a lo largo del tiempo, las corrientes pico oscilan entre 9 A y 10,8 A. Estas variaciones muestran que el sistema tiene una menor estabilidad para manejar carga, lo que resulta picos en diferentes momentos, pero con un paso de corriente menor.

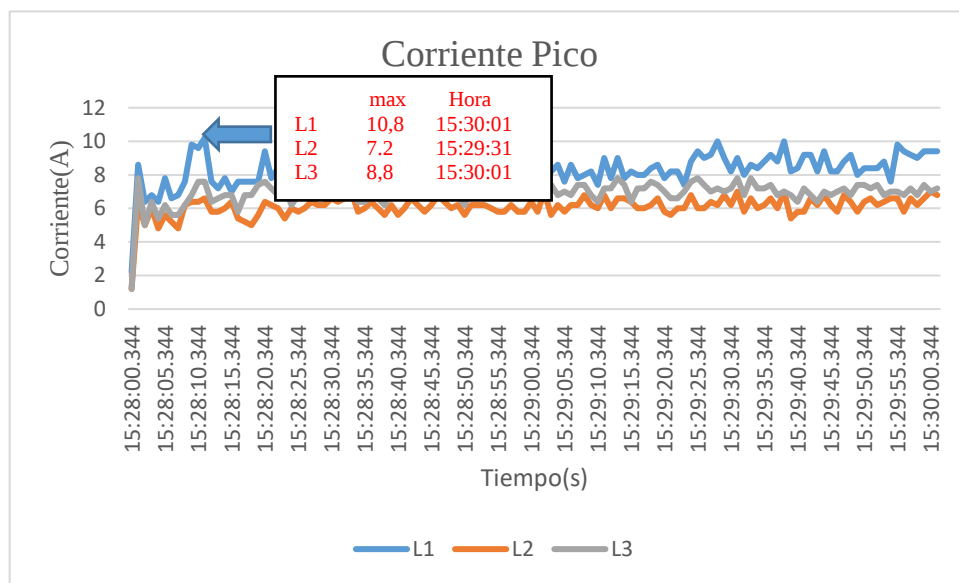


Gráfico 5. 4 Corriente pico arranque sin control PID

5.4. Análisis de la potencia Aparente del motor 2 HP

5.4.1. Control PID y variador

En el Gráfico 5. 5, muestra que la fase L3 alcanzó un máximo de 640 VA. Sin embargo, después de este punto máximo la potencia se estabilizó rápidamente. Este control garantiza un funcionamiento más estable del motor al reducir las oscilaciones y mantener la potencia aparente en un rango más constante. Este comportamiento es un signo de un sistema bien ajustado, que maximiza la eficiencia y reduce el riesgo de sobrecargas o fluctuaciones indeseadas.

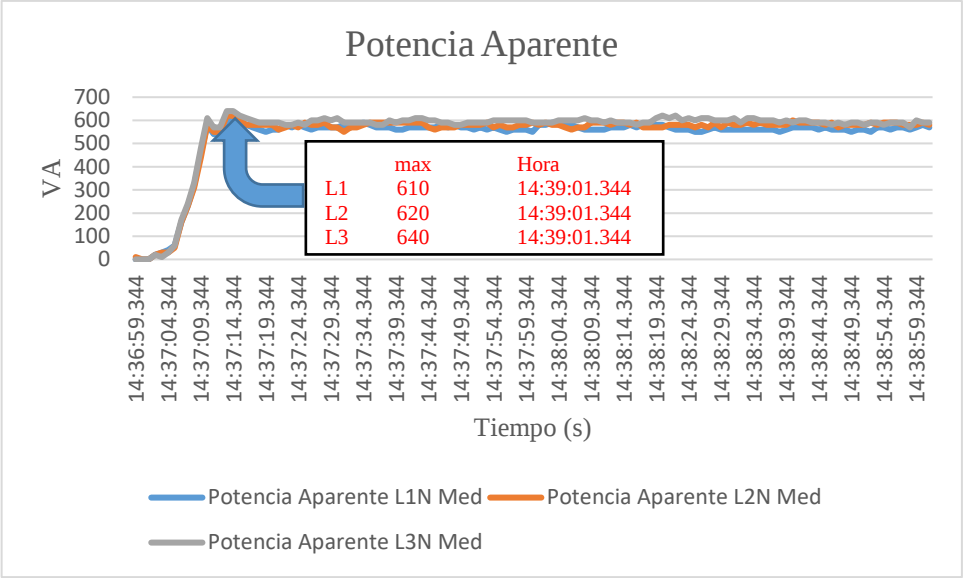


Gráfico 5. 5 Potencia aparente con control PID

5.4.2. Control con el variador

El Gráfico 5. 6, muestra un pico inicial significativo de 680 VA en la fase L3, lo que indica una mayor ineficiencia en el control de potencia aparente. Después de este punto máximo, la potencia tiende a estabilizarse, pero experimenta valores más altos y fluctuaciones más marcadas. Esto detalla que el variador de frecuencia consumio una mayor cantidad de energía y una mayor carga del motor con el tiempo provocando daños al motor.

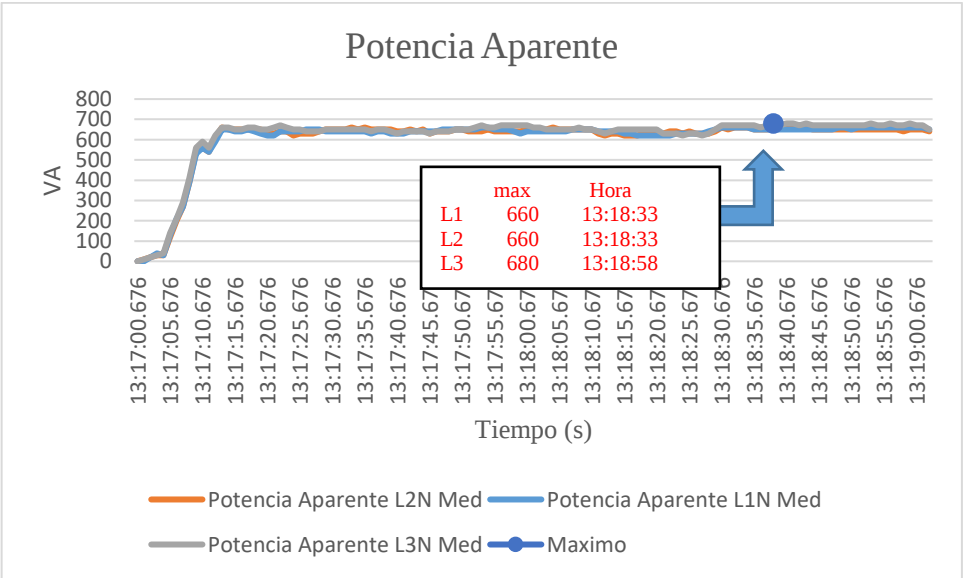


Gráfico 5. 6 Potencia aparente sin control PID

5.5. Análisis de la potencia Aparente del motor 5 HP

5.5.1. Control PID con variador

El Gráfico 5. 7, indica el máximo de 380 VA en la línea 1 donde la respuesta transitoria mostró un pico inicial no mayor al control con el variador, puesto que se estabilizo muy rápido tanto como la L1 y en los dos canales L2 y L3, lo que indica un control efectivo. Se observa que el control PID redujo las perturbaciones y estabilizo la potencia más rápido en comparación con el sistema controlado con el variador.

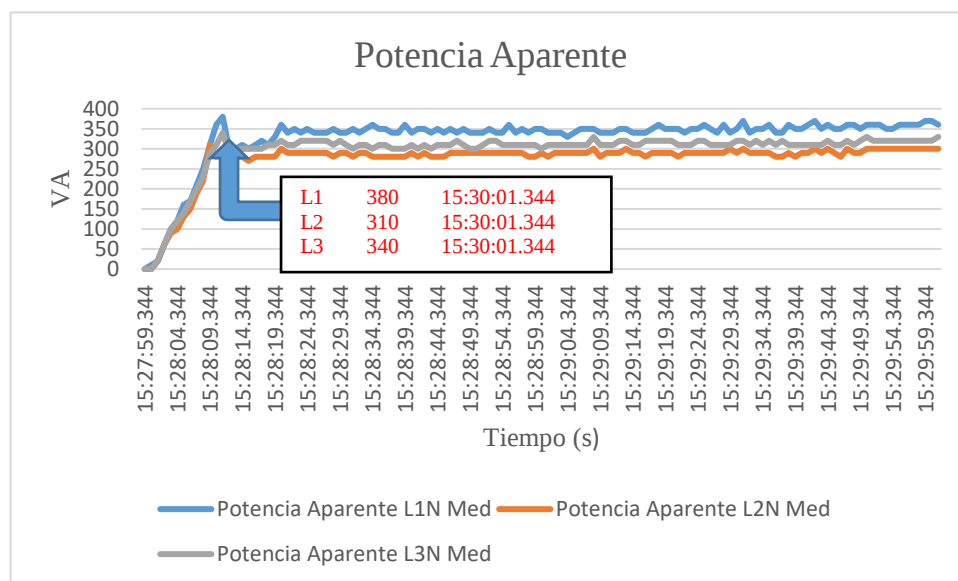


Gráfico 5. 7 Potencia aparente con control PID

5.5.2. Control con variador

El Gráfico 5. 8, muestra una potencia aparente máxima de 380 VA en la línea 1, lo que muestra una respuesta transitoria menos controlada ya que el variador de frecuencia solo controla la regulación del motor sin carga y cuando es aplicado una carga hace que la precisión del ajuste sea tardía. Dado que el variador no puede ajustarse tan rápidamente, esto resulta en mayores picos de potencia durante cambios de carga o perturbaciones.

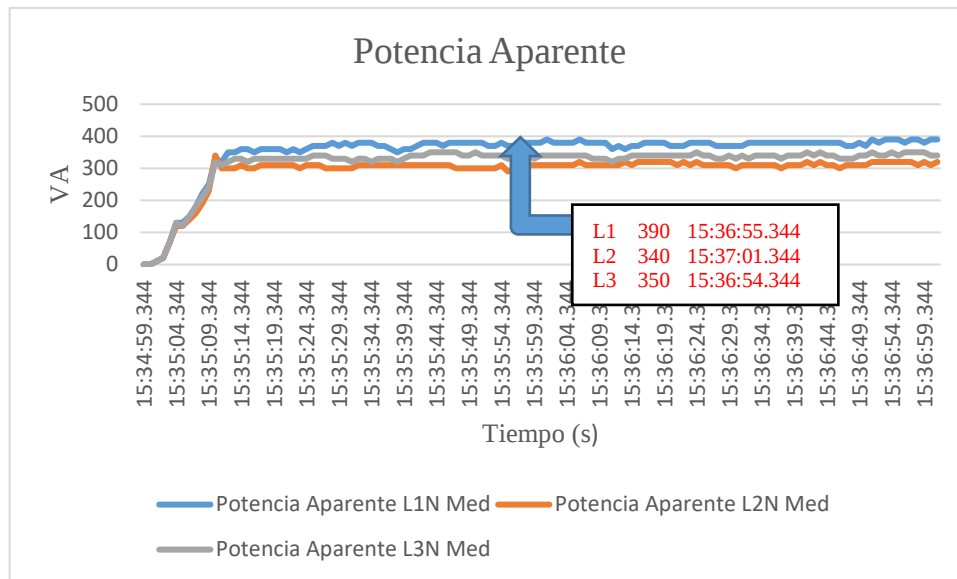


Gráfico 5. 8 Potencia aparente si control PID

5.6. Análisis de Armonicos 3 de corriente del motor 2 HP

5.6.1. Control PID y variador

El Gráfico 5. 9, muestra que a las 14:39:01 se registró los máximos armónicos de corriente de 51.14 en la L1, 69.88 en la L2 y 97.05 en L3, donde los armónicos tienen un pico alto al iniciar, pero segundos más adelante se estabilizaron a valores más bajos y constantes. Este comportamiento demostró que después del arranque el control PID reduce las fluctuaciones que hay en el sistema, lo que ayuda a que el motor funcione más estable y eficiente.

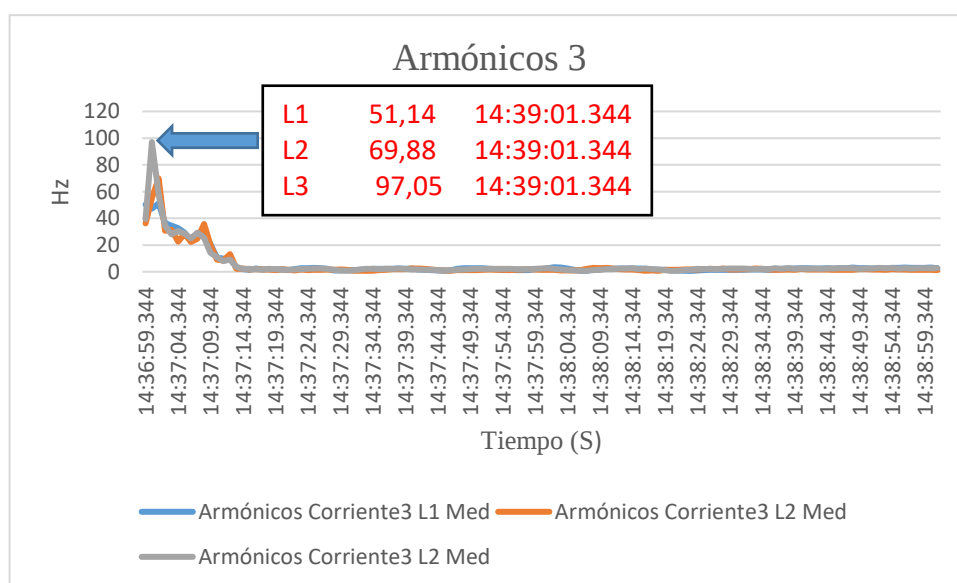


Gráfico 5. 9 Armónico 3 control PID

5.6.2. Control con el variador

El Gráfico 5. 10 muestra, que los armónicos experimentan valores máximos de 69.83 en la línea L1 mientras que las demás líneas presentan valores bajos de 50. Sin embargo, los armónicos se estabilizaron rápidamente con el pasar de los segundos. Los valores iniciales más altos y las diferencias entre las líneas sugieren que sin el control PID, la calidad de la corriente se ve afectada por una mayor variabilidad y menos uniformidad. Esto puede resultar en un funcionamiento del motor menos eficiente, lo que aumenta la probabilidad de distorsiones armónicas.

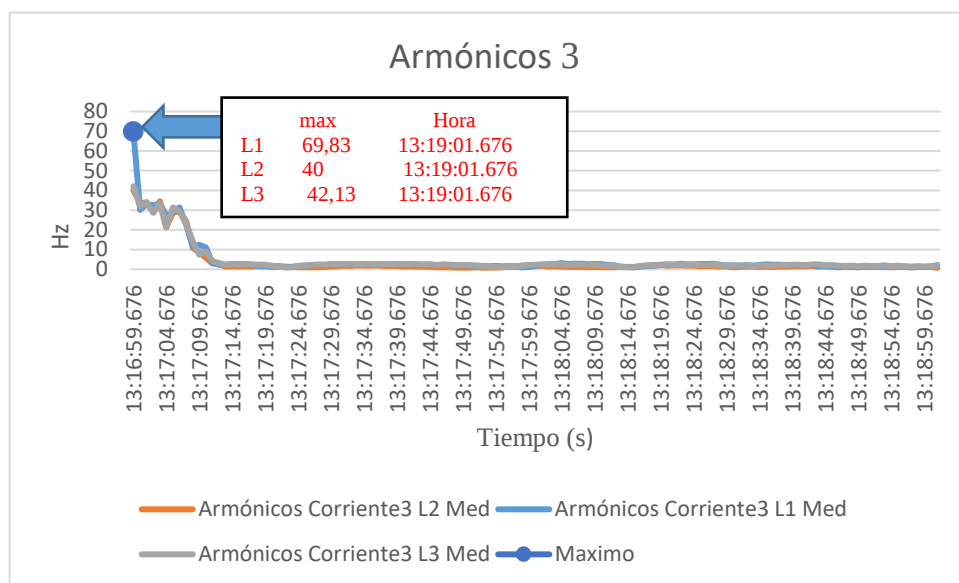


Gráfico 5. 10 Armónico 3

5.7. Análisis de Armónicos 5 de corriente del motor 2 HP

5.7.1. Control PID y variador

En el Gráfico 5. 11, se puede ver un pico en los niveles de armónicos con un máximo de 21,72 Hz, lo que indico una breve inestabilidad después de que el sistema comenzó a regularse. Sin embargo, el control PID corrige rápidamente esta inestabilidad reduciendo los niveles de armónicos a valores significativamente más bajos, esto demuestro que es posible reducir las fluctuaciones de corriente y mejorar la eficiencia del motor.

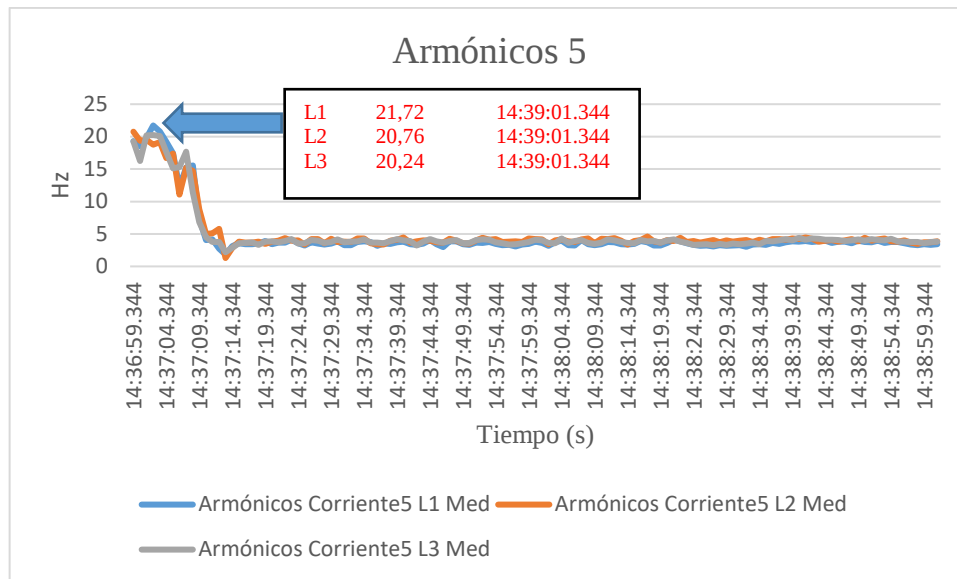


Gráfico 5. 11 Armónico 5 control PID

5.7.2. Control con variador

En el Gráfico 5. 12 muestra, un pico marcado en los niveles armónicos, en la fase L1, alcanzando un máximo de 30,23 Hz. Al arrancar el motor, estos picos indican una alta distorsión armónica, lo que causo sobrecalentamiento y vibraciones indeseables en el sistema. Después de este pico inicial, los armónicos se estabilizaron, pero en un nivel más alto que en un sistema con control PID. Esto indica que el variador de frecuencia por sí solo no es suficiente para disminuir las distorsiones armónicas. Este comportamiento puede reducir la eficiencia y la vida útil del motor, aumentar el consumo de energía y aumentar el desgaste de los componentes eléctricos.

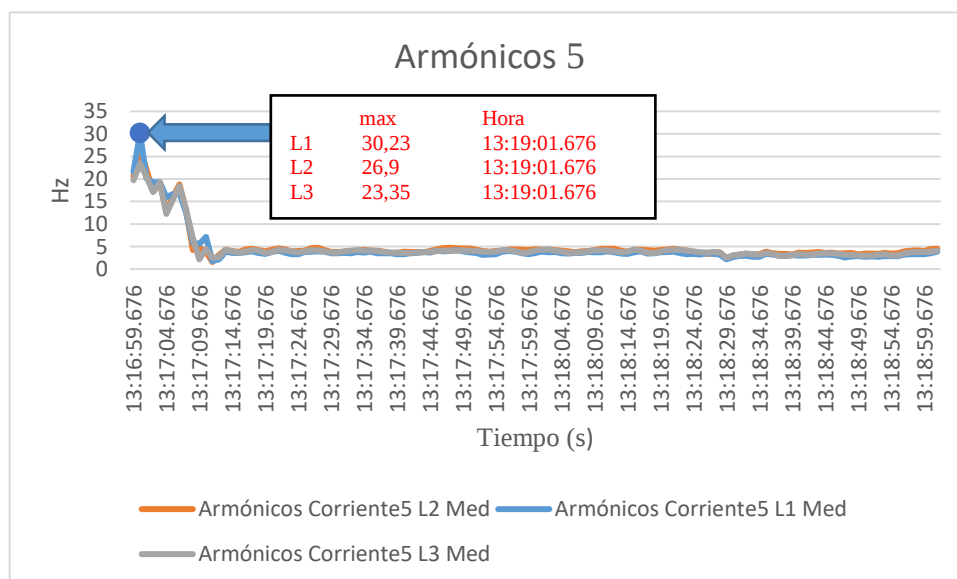


Gráfico 5. 12 Armónico 5

5.8. Análisis de Armonicos 3 de corriente del motor 5hp

5.8.1. Control PID y variador

El comportamiento del tercer armónico de corriente que se muestra en el Gráfico 5. 13, los armónicos comenzaron con valores relativamente altos, alcanzando un máximo de 116,16 Hz en la fase L1 por lo que el sistema se estabilizó rápidamente. Después del arranque, el PID reduce significativamente la magnitud de los armónicos, lo que resulto en una operación más estable y con menos fluctuaciones.

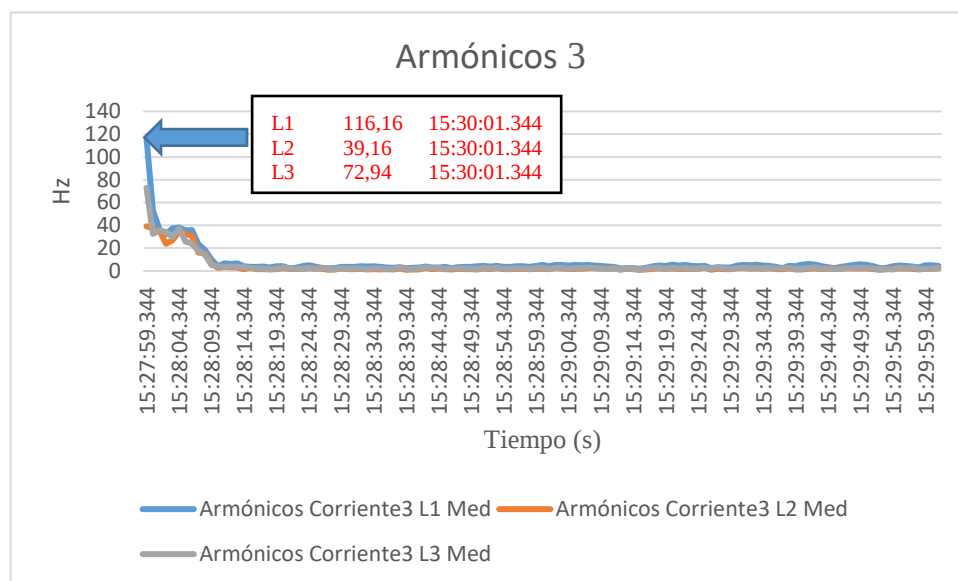


Gráfico 5. 13 Armónico 3 con control PID

5.8.2. Control con variador

Los armónicos de corriente son mucho más altos, con un pico de 181,51 Hz en la fase L1, como se muestra en el Gráfico 5. 14. Aunque también se estabilizaron, lo hacen a un nivel mucho más alto lo cual puede causar una mayor ineficiencia del motor como el desgaste prematuro y problemas de calidad de energía.

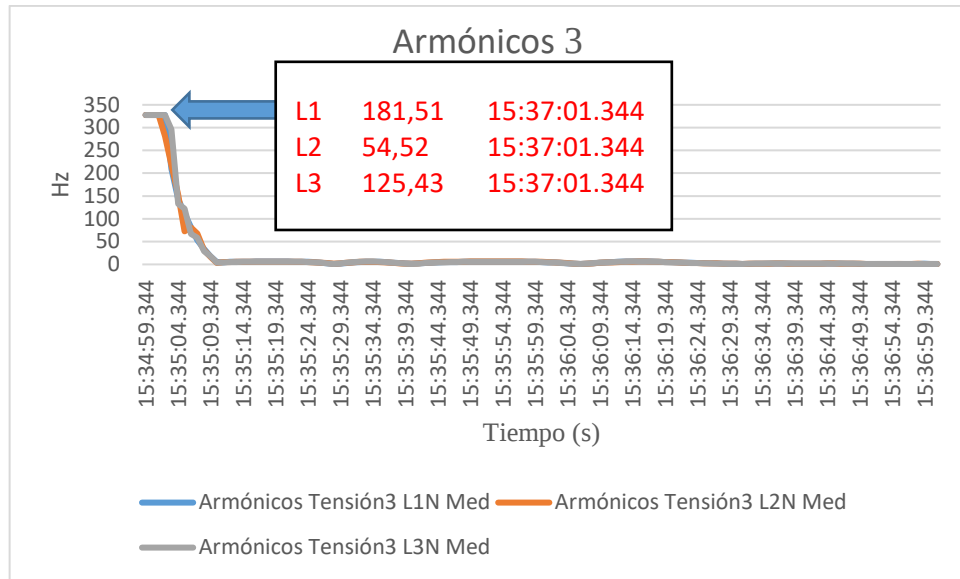


Gráfico 5. 14 Armónico 3

5.9. Análisis de Armonicos 5 de corriente del motor 5hp

5.9.1. Control PID y variador

En el Gráfico 5. 15, muestra los valores máximos son moderados, y L3 tiene el valor más alto (27,57). Sin embargo, las oscilaciones disminuyeron considerablemente rápido y se estabilizaron en poco tiempo a un nivel casi constante. Este control permite que los armónicos sean más bajos el cual mejora la estabilidad y la eficiencia del motor. El comportamiento estable que después de la rápida caída indica hace que el motor funcione más eficientemente.

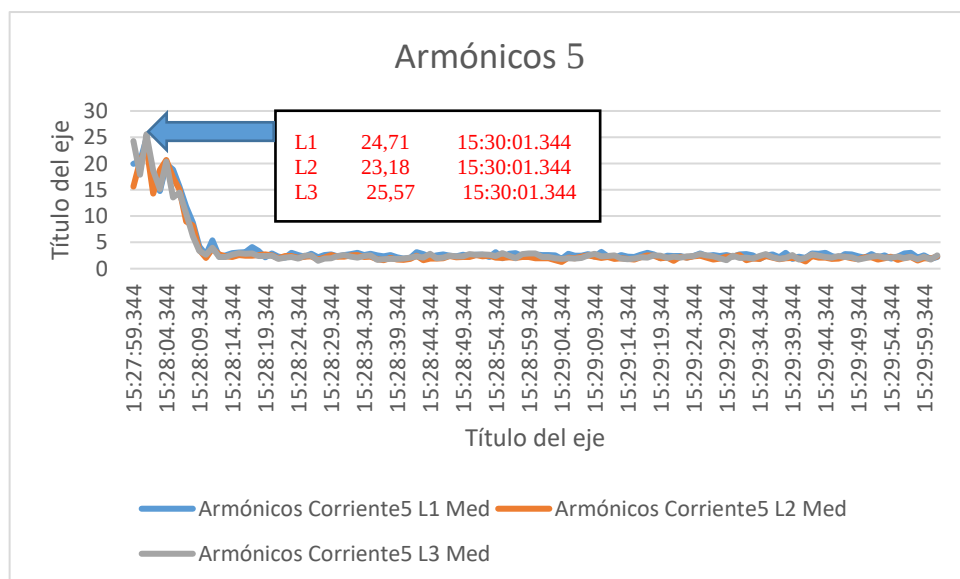


Gráfico 5. 15 Armónico 5 con control PID

5.9.2. Control con variador

En el Gráfico 5. 16, se muestra los valores más altos pero la L1 se muestra que alcanzó un 33,46 es decir un valor alto a comparación del control PID. Además, las demás líneas tardan más en reducirse y estabilizarse, lo que indico un menor control en la supresión de armónicos. A pesar de que las corrientes finalmente se estabilizaron, el proceso es menos eficiente y produce perturbaciones iniciales más graves. Esto implica que el comportamiento del motor será menos estable sin el control PID, lo que podría afectar negativamente su desempeño y durabilidad a largo plazo.

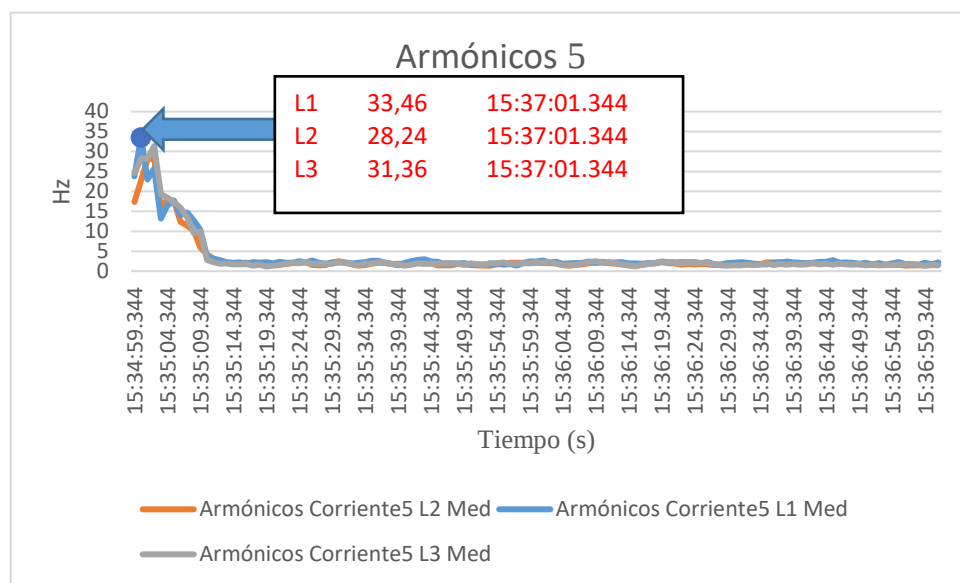


Gráfico 5. 16 Armónico 5

En este estudio se demuestra que un control como el PID permite mejorar el rendimiento y la vida útil del motor puesto que reducen perturbaciones y sobrecalentamientos de los mismos, los cuales fueron demostrados con el inicio del arranque

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- Con la revisión exhaustiva de la literatura se demostró que el control PID es ampliamente efectivo por su capacidad para mejorar la eficiencia de los motores eléctricos al proporcionar un control preciso en la corriente pico de la línea L1 con 16,6, L2 con 17,6 y L3 con 18,6 respectivamente, mientras que los valores con un control de VDF mostraron un alto consumo en la línea L1 con 19,2, L2 con 17,2 y en L3 con 17,4 mostrando una reducción del 10%, de esta forma ayudaron a confirmar que la implementación de un control PID mejora el rendimiento energético puesto que reduce el desgaste mecánico y sobrecalentamiento de los motores.
- En las pruebas experimentales se demostraron que los motores aplicados al estudio responden a las perturbaciones con mayor estabilidad y precisión en las potencias mostrando un consumo menor en la L1 con 380, L2 con 310 y L3 con 340 cuando se utilizan el control PID, mientras que un variador de frecuencia los consumos son mayores en la L1 390 con , L2 con 340 y L3 con 350, demostrando que el control reduce en un 15% de consumo y ayuda a ingresar al sistema más rápido cuando es aplicado una carga. Además, al tomar en cuenta los valores del motor de 2HP y 5HP sometidos a la misma carga del 50% de peso y a su máxima capacidad se comprueba que el motor de 5HP es más eficiente por su incorporación y mayor respuesta al ingreso de la carga el cual se tiene una ventaja considerable y ayuda a disminuir el consumo de energía y menorar el mantenimiento del mismo.
- Con el seguimiento del comportamiento del sistema se demostró que los armónicos también se reducen en un 10% o más puesto que los datos presentados en L1 es 116,16, L2 es 39,16 y L3 es 72,94 por lo que son menores a comparación del control con variador, ya que el comportamiento de este control es alto presentando en la L1 con 181,51, L2 con 54,52 y L3 con 125,43 lo cual produce mayor ingreso de armónicos al sistema haciendo que el motor no mejore significativamente en la eficiencia y el control de carga. Cuando es usado por el control PID los motores mostraron una eficiencia en la disminución del control, lo que facilitó la selección del control más adecuado para aplicaciones particulares.

6.2. RECOMENDACIONES

- Revisar en artículos los diferentes tipos de controles para mejorar la eficiencia en otros campos de estudio, porque a medida que crece la tecnología existirá más oportunidades de mejora continua
- Realizar la implementación de controladores PID en aplicaciones industriales especialmente en aquellas donde la precisión y la estabilidad son críticas puesto que el uso del control PID en combinación con variadores de frecuencia puede mejorar significativamente la eficiencia energética y la vida útil de los equipos.
- Analizar detalladamente las diferentes curvas con otros tipos de control, para así tener otra visión de control de eficiencia para motores y para que aplicaciones funciona

7.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

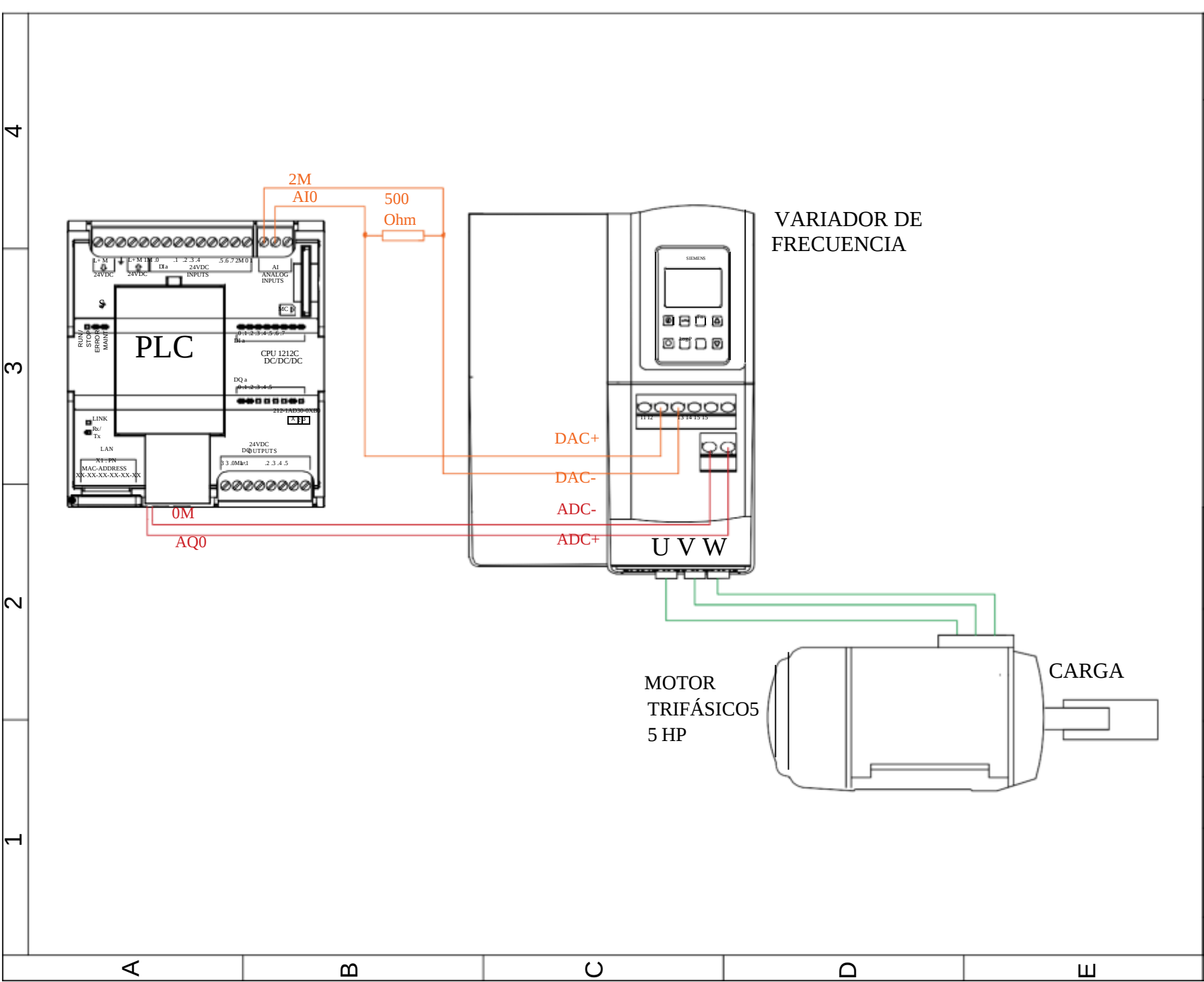
- [1] L. O. F. Martínez, J. N. C. Fiallos, L. A. F. Asimbaya, y A. G. A. Moreno, «Control de motores eléctricos», *Editor. Int. Alema*, jun. 2024, Accedido: 30 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://editorialalema.org/libros/index.php/alema/article/view/28>
- [2] «33 - Ciencias Tecnológicas | Revista Scientific». Accedido: 19 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.indteca.com/ojs/index.php/Revista_Scientific/technological_sciences
- [3] «VFD Energy Algorithms Optimize PID-Controlled Applications | Pumps & Systems». Accedido: 4 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.pumpsandsystems.com/vfd-energy-algorithms-optimize-pid-controlled-applications>
- [4] L. A. S. Peralta, «Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica».
- [5] «IFDCC-136114.pdf». Accedido: 4 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://ri-ng.uaq.mx/bitstream/123456789/9008/1/IFDCC-136114.pdf>
- [6] J. F. Gómez, «EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL SECTOR INDUSTRIAL».
- [7] «Eficiencia energética - POR UN PLANETA AZUL», Blog de tendencias de cuartos de baño by GRUP GAMMA. Accedido: 26 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.gamma.es/blog/por-un-planeta-azul/eficiencia-energetica-certificados/>
- [8] A. Z. D. Elizabeth y N. L. A. Melissa, «TUTOR: ING. CARLOS VILLAFUERTE VÉLEZ, M. SC.».
- [9] R. C. Ruiz, «TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE DOCTOR EN INGENIERÍA ELÉCTRICA».
- [10] C. A. D. Efraín y F. U. P. Iván, «FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO».
- [11] «Motores.pdf». Accedido: 26 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.bun-ca.org/wp-content/uploads/2019/02/Motores.pdf>
- [12] D. D. V. Rodríguez y A. I. Y. Torres, «SIMULACIÓN DE TIPOS DE ARRANQUE DE UN MOTOR TRIFÁSICO».

- [13] «8448173104.pdf». Accedido: 26 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448173104.pdf>
- [14] H. G. J. Giovanny, «ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DE LOS MOTORES DE INDUCCIÓN QUE OPERAN BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE FALLOS».
- [15] P. Iza y K. Roxana, «Banco de pruebas para un ascensor eléctrico.».
- [16] L. A. G. Garces y J. L. R. Gaviria, «CONTROL PID PARA EL CONTROL DE VELOCIDAD DE UN MOTOR DC», 2014.
- [17] «Controlador programable S7-1200».
- [18] «SIMATIC TIA Portal STEP 7 Basic V10.5».
- [19] I. Gútiez, «Escalado de una señal analógica en TIA Portal». Accedido: 11 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://programacionsiemens.com/escalado-de-una-senal-analogica-en-tia-portal/>
- [20] «250143084.pdf». Accedido: 15 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/250143084.pdf>
- [21] «F430-II_umspa0100.pdf». Accedido: 27 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://dam-assets.fluke.com/s3fs-public/F430-II_umspa0100.pdf
- [22] A. Lastre y C. Augusto, «Análisis de calidad de la energía orientado a distorsiones armonicas en el Bloque E de la Universidad Politécnica Salesiana».
- [23] «Tabla de Ampacidad de conductores según su calibre, aislante y máxima temperatura ambiente. | Conductores electricos, Cableado eléctrico, Imagenes de electricidad», Pinterest. Accedido: 18 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://ar.pinterest.com/pin/388717011571828856/>

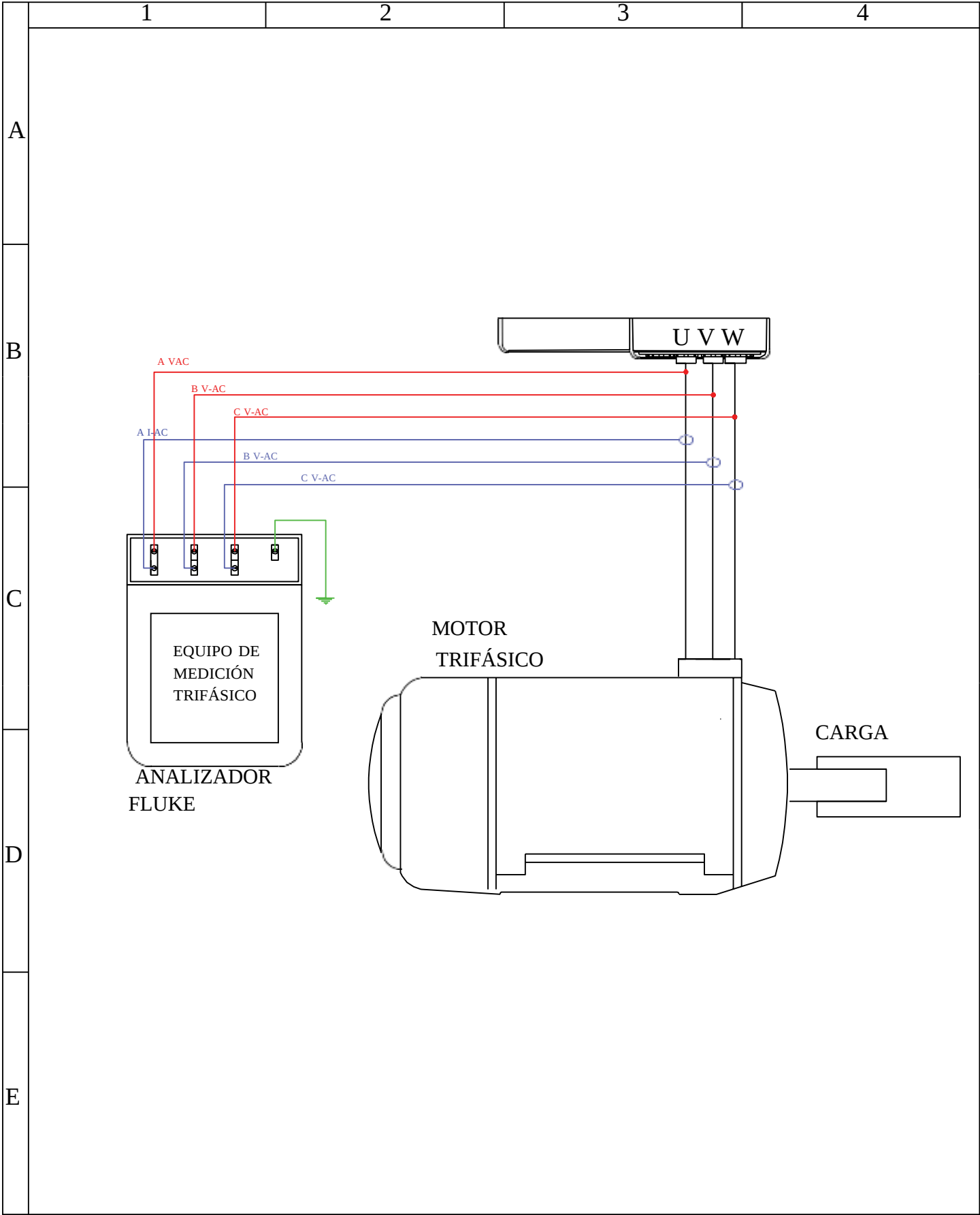
8.ANEXOS

ANEXO I

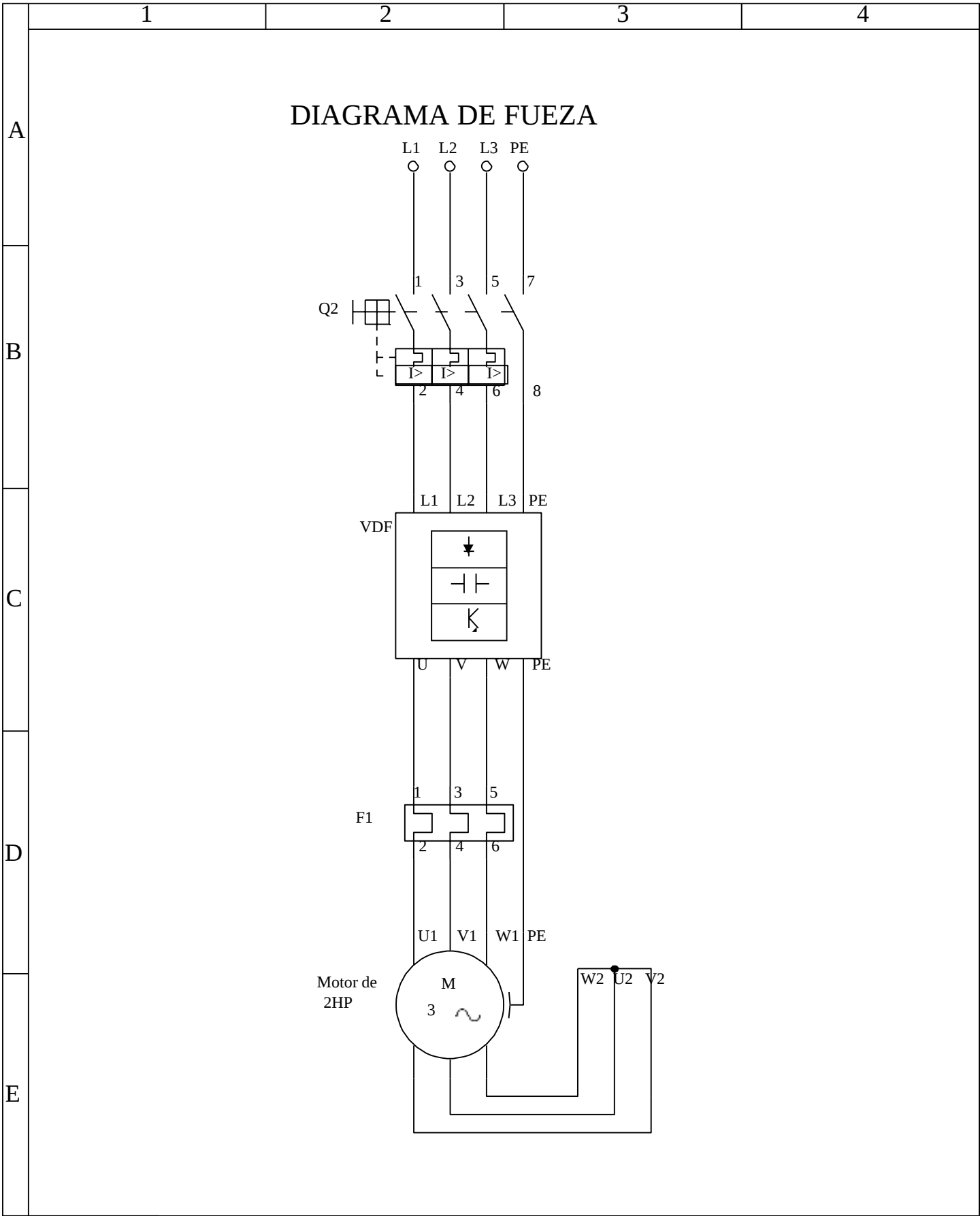
PLANOS ELECTRICOS



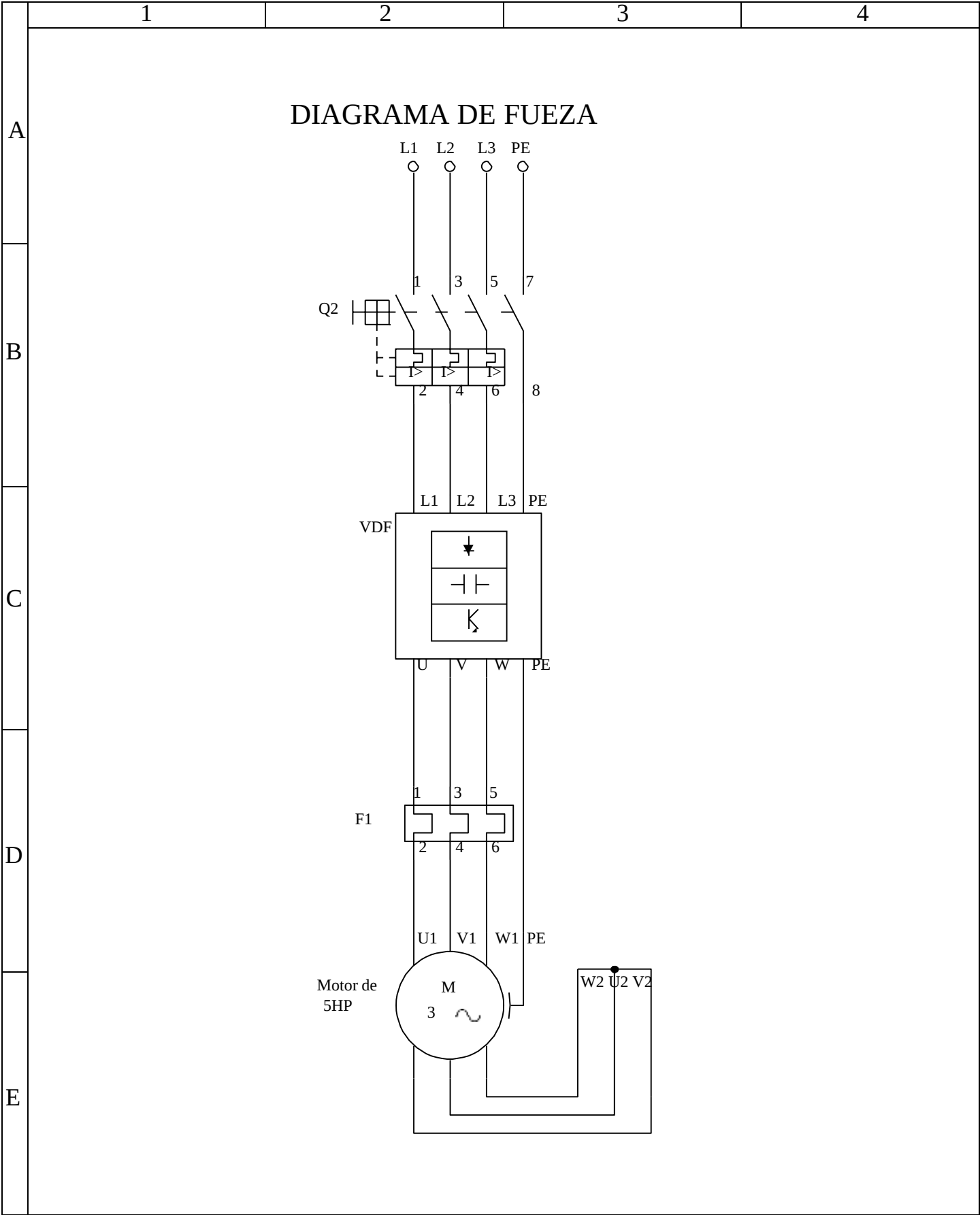
Tolerancia				Peso		Materiales			
				Fecha		Denominación		Escala	
				Nombre		Conexión de comunicación del PLC y VDF para el motor de 5 HP		1:5	
				Dib.		Ing. Luis Navarrete		Marca de registro	
				Rev.		Ing. Luis Navarrete		01	
				Aprv.				Número de Dibujo	
				Ing. Electromecánica		04		Sustitución	
				Nombre					
				Fecha					
				Modificación					
				Edición					
				1					



				Tolerancia	Peso	Materiales		
						CAdE_SIMU-4.2		
					Fecha	Nombre	Denominación	Escala
				Dib.			Conexión del analizador de redes a la salida del VDF	1:5
				Rev.		Ing. Luis Navarrete		
				Aprv.		Ing. Luis Navarrete		
						Número de Dibujo	05	Marca de registro
Edición 1	Modificación	Fecha	Nombre			Sustitución		
								



				Tolerancia	Peso	Materiales	CADE_SIMU-4.2	
				Fecha	Nombre	Denominación	Escala	1:5
				Dib.		Conexión del VDF		
				Rev.	Ing. Luis Navarrete			
				Aprv.	Ing. Luis Navarrete			
				 Ingeniería Electromecánica		Número de Dibujo	06	Marca de registro
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustitución		
1								



				Tolerancia	Peso	Materials	
						CADe_SIMU-4.2	
				Fecha	Nombre	Denominación	Escala
				Dib.			
				Rev.	Ing. Luis Navarrete	Conexión del VDF	1:5
				Aprv.	Ing. Luis Navarrete		
				 Ingeniería Electromecánica		Número de Dibujo	Marca de registro
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			07	
1						Sustitución	

Diagrama de conexión de un PLC Siemens 300 para un sistema de control de temperatura. El PLC incluye un CPU 1212C DC/DC/DC, una fuente de alimentación 24VDC, y módulos de entrada/salida analógicas y digitales. Se muestran las conexiones para la alimentación eléctrica (L, N, PE), la red de comunicación (RJ45), y los terminales de entrada/salida analógicas y digitales. Las salidas analógicas están conectadas a un actuador de válvula (VDF) a través de un resistor de 500 Ohm.

Diagrama de un motor de 2 HP conectado a una red trifásica de 220V. El sistema incluye un interruptor Q2, un cuadro de protección VDF y un fusible F1. Las líneas de alimentación son L1, L2, L3 y PE. El motor M está etiquetado como "Motor de 2 HP".

[illegible]

DIAGRAMA DE CONTROL

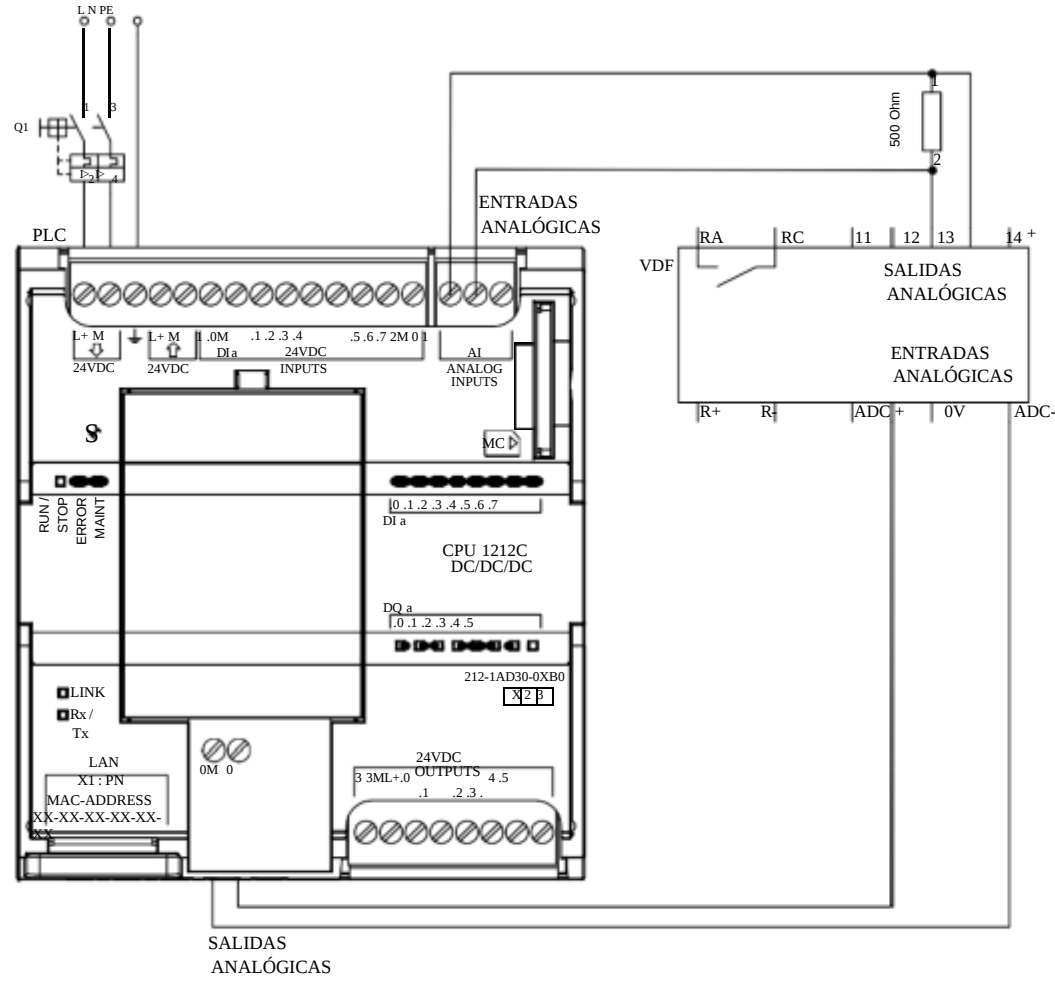
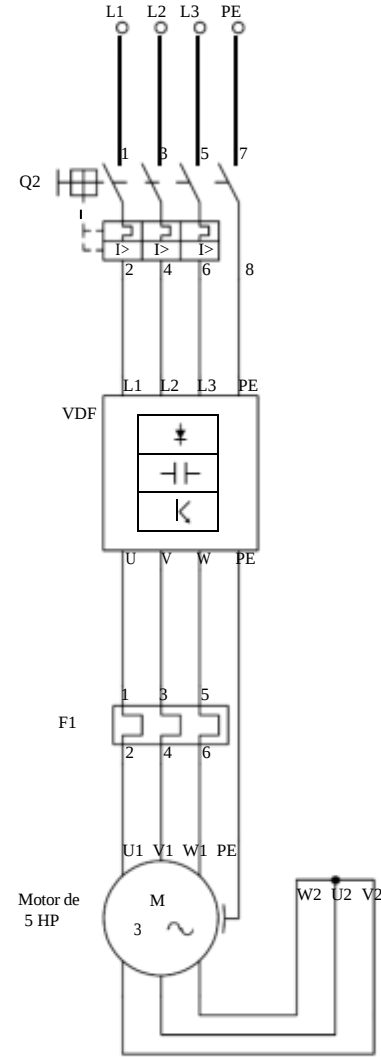


DIAGRAMA DE FUEZA



CADe_SIMU-4.2

Denominación
Diagrama de conexión del PLC y VDF

Número de Dibujo
0

Sustitución

Nombre
Ing. Luis Navarrete
Ing. Luis Navarrete



Nombre

Fecha

Modificación

Edición
1

01

1:5

Escala

Marca de registro



ANEXO II

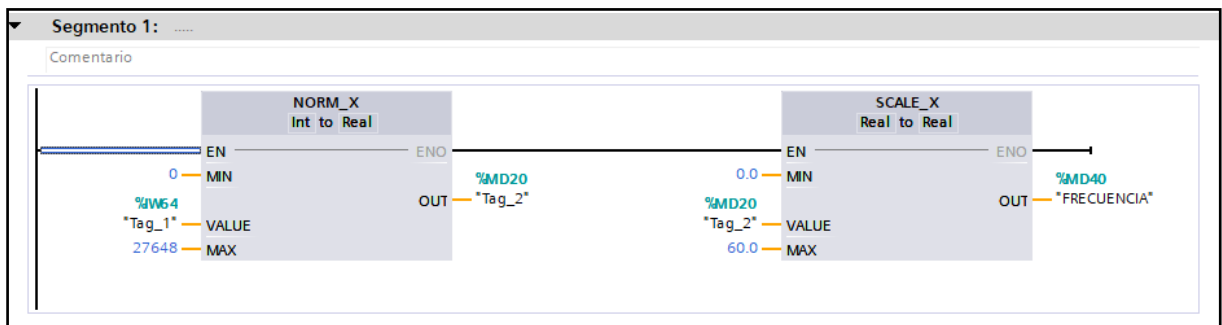
ALGORITMOS DE

PROGRAMACIÓN

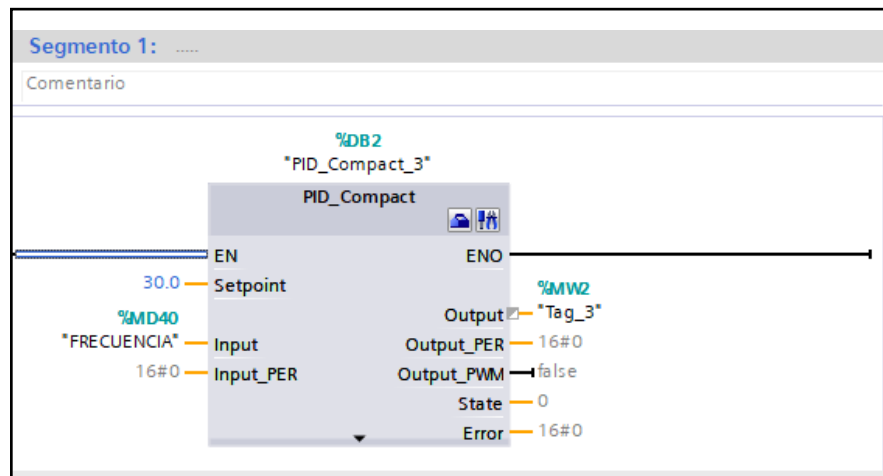
ANEXO A. Variables del PLC

Variables PLC								
	Nombre	Tabla de variables	Tipo de datos	Dirección	Rema...	Acces...	Escrib...	Visibl...
	Tag_1	Tabla de variabl...	Int	%IW64	☐	☒	☒	☒
	Tag_2	Tabla de variables e..	Real	%MD20	☐	☒	☒	☒
	FRECUENCIA	Tabla de variables e..	Real	%MD40	☐	☒	☒	☒
	Tag_3	Tabla de variables e..	Int	%MW2	☐	☒	☒	☒
	Tag_4	Tabla de variables e..	Real	%MD100	☐	☒	☒	☒
	Tag_5	Tabla de variables e..	Int	%QW80	☐	☒	☒	☒
	<Agregar>				☐	☒	☒	☒

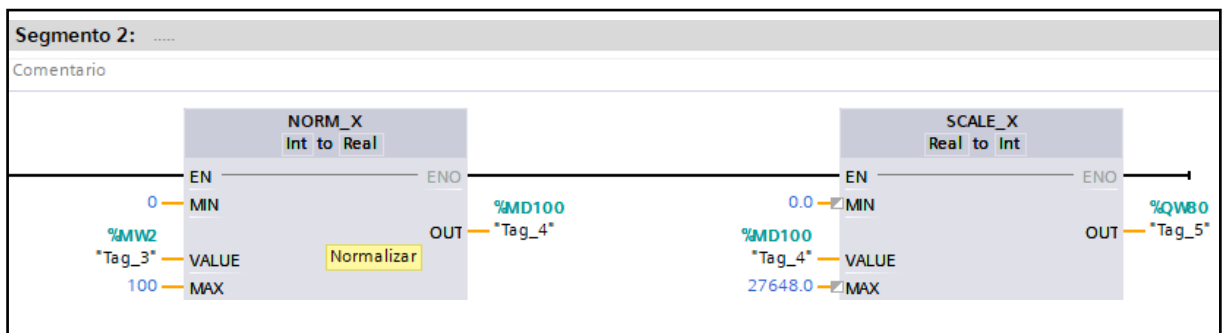
ANEXO B. Algoritmos de programación instrucción por instrucción



ANEXO C. PID COMPACT



ANEXO D. Algoritmo para evaluar la señal del PID COMPACT



ANEXO III

GUÍA PRACTICA

Anexo A		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI			
		PRÁCTICA DE LABORATORIO			
CARRERA		CÓDIGO DE LA ASIGNATURA		NOMBRE DE LA ASIGNATURA	
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA		ILM702M2		Automatización	
PRÁCTICA N°		LABORATORIO:		Control eléctrico industrial	
01		NOMBRE DE LA PRÁCTICA:		Sistema de control on /off del motor	
1.		OBJETIVOS			
Desarrollar una interfaz de programación de control PID utilizando el software TIA Portal V16, enfocada en optimizar el rendimiento de los motores eléctricos					
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA					

2.1 INTRODUCCIÓN

Debido a su capacidad para proporcionar un control preciso y estable, el control PID (Proporcional-Integral-Derivativo) es uno de los métodos más utilizados en la regulación y control de motores eléctricos. Tres términos fundamentales componen el control PID. la acción proporcional (P), que responde directamente a la magnitud del error actual; la acción integral (I), que se enfoca en la acumulación de errores pasados para corregir desajustes a largo plazo; y la acción derivativa (D), que anticipa la tendencia del error futuro y actúa para reducir los cambios bruscos. La combinación de estos tres componentes permite al controlador PID no solo corregir errores en tiempo real, sino también prever y ajustar ante posibles variaciones en la carga o en el comportamiento del sistema.

El control PID es particularmente adecuado para motores eléctricos en una variedad de aplicaciones, desde la automatización industrial hasta sistemas de control de precisión. Se puede mejorar la eficiencia, reducir el desgaste del motor y garantizar un rendimiento óptimo en diferentes condiciones operativas mediante su implementación.

2.2 EQUIPOS, INSTRUMENTO Y MATERIALES NECESARIOS

- Mandil
- Módulo de control PLC
- Variador de frecuencia
- Resistencia de 500 Ohm
- Cables bananas macho
- Cable ethernet
- Computador

2.3 Software

- Tía portal V16 o la versión que disponga

PLC S7- 1200 (Controlador Lógico Programable)

El PLC Siemens SIMATIC S7-1200 es un equipo sofisticado y versátil que ofrece soluciones de automatización eficientes para una amplia gama de aplicaciones industriales. Este controlador lógico programable potente se distingue por su robustez, flexibilidad y capacidad para abordar desafíos complejos en la automatización de procesos. Además, su escalabilidad excepcional permite adaptarse a una amplia gama de tareas y requisitos. Este PLC puede manejar una variedad de aplicaciones sin disminuir el rendimiento, desde pequeñas máquinas hasta sistemas de control de procesos más grandes.



Figura 2.1 PLC S1200 1

TIA PORTAL

TIA Portal es una herramienta vital para la planificación y operación de la automatización digitalizada eficiente y flexible. Gracias a su biblioteca de objetos integrada, este portal permite una configuración del sistema rápida y sencilla. Además, permite que se acrediten los cambios en el sistema, lo que aumenta la

transparencia y la seguridad del proceso de automatización. La posibilidad de sincronizar este portal con la nube facilita la gestión y el control de todo el proceso de automatización en tiempo real.



Figura 2.2 TIA portal V16

Variador de Frecuencia MICROMASTER 420

Es un convertidor de frecuencia más conveniente y económico. Su gran funcionalidad, ajustada a los deseos del cliente y facilidad de manejo son sus principales características. El amplio margen de las tensiones de alimentación permite su uso global.



Figura 2.3. VDF

Resistencia

La resistencia es una parte esencial de un circuito eléctrico. Está hecho de carbón u otros materiales resistentes a la electricidad, que actúan como obstáculos cuando pasa la corriente eléctrica. Para evitar sobrecargas en el sistema eléctrico, bloquea la corriente.



Figura 2.4. Resistencia

Conector banana macho

Los conectores banana macho son terminales eléctricos cilíndricos que se utilizan para conexiones seguras y rápidas en aplicaciones de laboratorio y equipos de medición, tienen una punta metálica que se inserta en un conector hembra o en un panel de instrumentos. Estos conectores son populares porque son fáciles de usar y pueden crear conexiones eléctricas estables y de baja resistencia.



Figura 2.5. Conector banana macho

El tipo de cable de red conocido como cable Ethernet permite la transferencia de datos entre dispositivos de red como computadoras, routers y otros dispositivos, lo que permite la comunicación y el intercambio de información en una red local (LAN). Este cable utiliza un protocolo de comunicación estándar para transferir datos de la computadora a otros dispositivos, como impresoras, servidores o cámaras de seguridad. Las categorías de cables Ethernet, como Cat5e o Cat6, determinan la velocidad y la calidad de la transmisión de datos.



Figura 2.6. Cable Ethernet

3. MEDIAS DE SEGURIDAD

En la primera práctica, los estudiantes y docentes deben asistir a la charla de inducción de seguridad facilitada por el laboratorista y firmar un registro de inducción.

- Leer varias veces y entender la guía de laboratorio.
- Evite usar el teléfono celular.
- Retire sus manos de los componentes móviles del equipo.
- No desconectar los cables de los dispositivos instalados en el laboratorio.
- Informar cualquier problema relacionado con cables sueltos, pelados, y enchufes mal instalados.
- No se debe actuar sin haber recibido capacitación o autorización.

4. METODOLOGÍA Y TÉCNICA EXPERIMENTAL

4.1 Control on-off

Los sistemas on/off son sistemas físicos que consideran solamente dos estados de operación, sin necesidad de utilizar un ejemplo en ambiente industrial, consideremos un switch de encendido de una habitación. Si está apagado, no hay luz en la habitación. Si está prendido, hay luz. Esta lógica corresponde más bien a un sistema de lazo cerrado, aunque, dependiendo de la lógica de control, puede ser también implementada dentro de un lazo cerrado.

4.2 ¿Qué es una señal analógica?

Una señal analógica es un tipo de señal que varía de manera continua en el tiempo y puede tener un número infinito de valores posibles dentro de un rango específico. Las señales analógicas pueden tomar cualquier valor dentro de su rango y son representadas generalmente como ondas suaves y continuas.

¿Qué salidas analógicas tiene el variador?

Los variadores disponen de uno o más relés que actúan como salidas analógicas y que abrirán o cerrarán sus contactos según programación. Podemos programar estos relés con diferentes funciones:

Fallo en variador

Referencia de velocidad o frecuencia alcanzada.

Variador bloqueado por seguridad Safe Torque Off.

Sobrecalentamiento del motor, etc.

Este control de proceso de datos se transmite de manera analógica los cuales son entregadas con un suministro de voltaje el sistema también es llamado sistema on/of con control PID

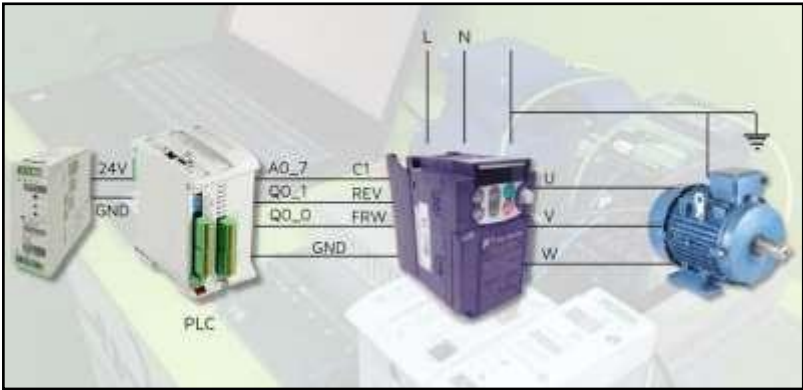


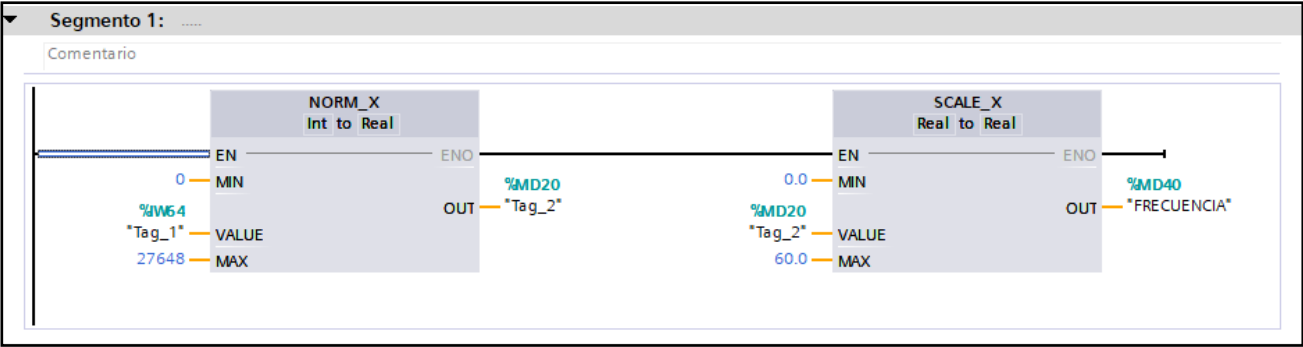
Figura 2.7. Diagrama de comunicación de PLC y variador de frecuencia

5. ACTIVIDADES A DESARROLLAR

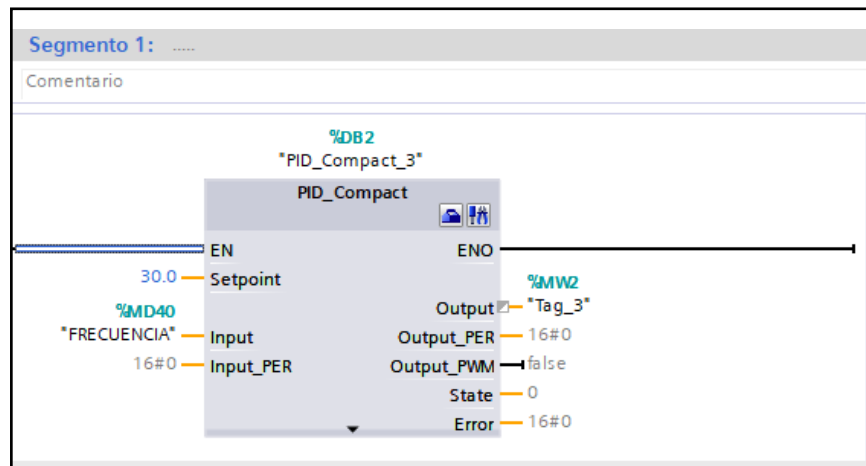
a) Determinación de las variables del PLC

Variables PLC									
	Nombre	Tabla de variables	Tipo de datos	Dirección	Rema...	Acces...	Escrib...	Visibl...	
DI	Tag_1	Tabla de variabl...	Int	%IW64		☒	☒	☒	
DI	Tag_2	Tabla de variables e...	Real	%MD20		☒	☒	☒	
DI	FRECUENCIA	Tabla de variables e...	Real	%MD40		☒	☒	☒	
DI	Tag_3	Tabla de variables e...	Int	%MW2		☒	☒	☒	
DI	Tag_4	Tabla de variables e...	Real	%MD100		☒	☒	☒	
DI	Tag_5	Tabla de variables e...	Int	%QW80		☒	☒	☒	
	<Agregar>					☒	☒	☒	

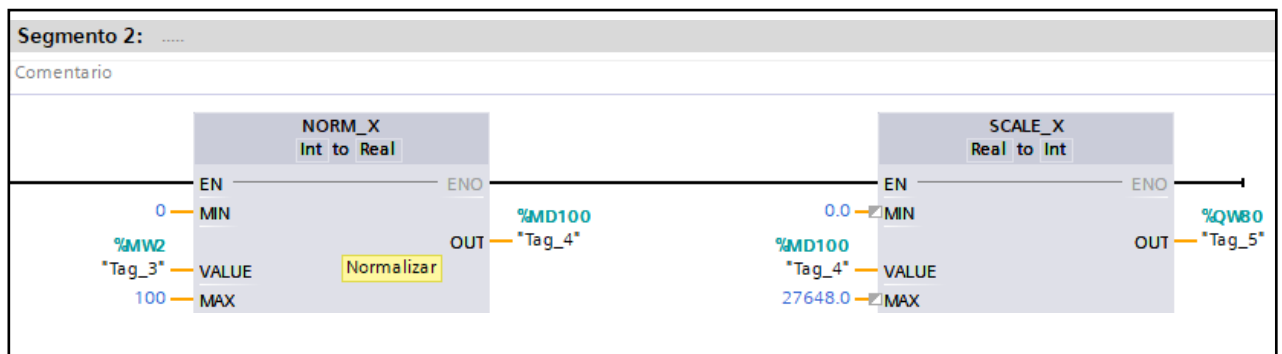
b) Se procede a crea los bloques de programación en el primer segmento, esta nos ayudara a leer la señal enviada por el variador de frecuencia



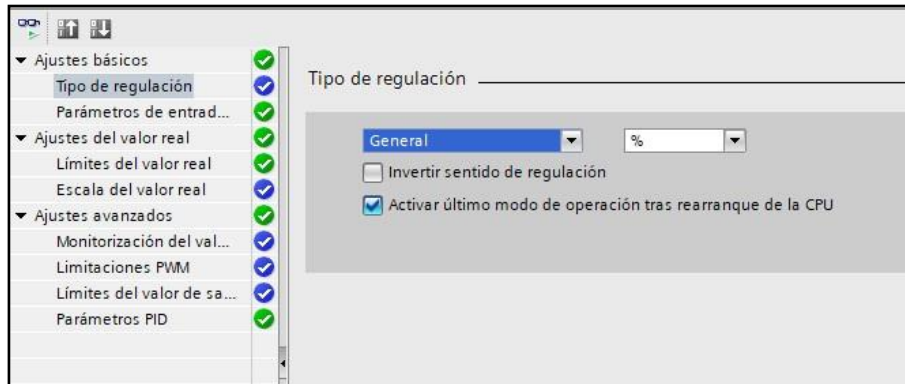
c) Se procede a crear el bloque de PID



- d) Se procede a crea los bloques de programación en el segundo segmento, esta nos ayudara a evaluar la señal del PID por la memoria %MW2

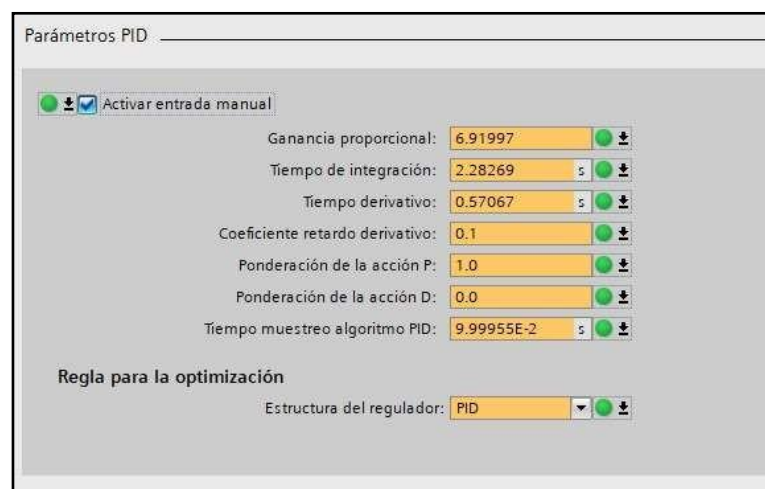


e) Se procede a configurar los ajustes básicos del control PID, según la tabla



Ajustes básicos	
Tipo de regulación	General
Parámetros de entrada/ Salida	Input - Output PER
Límite superior	60%

f) En la misma ventana se procede a ingresar los datos del control PID previamente calculado para tener un sistema estable



g) Se procede a configurar los parámetros del variador de frecuencia con los datos técnicos del motor, para iniciar el proceso

Parámetro	Función	Configuración
P003	Nivel de acceso de usuario	1 (nivel de acceso Básico)

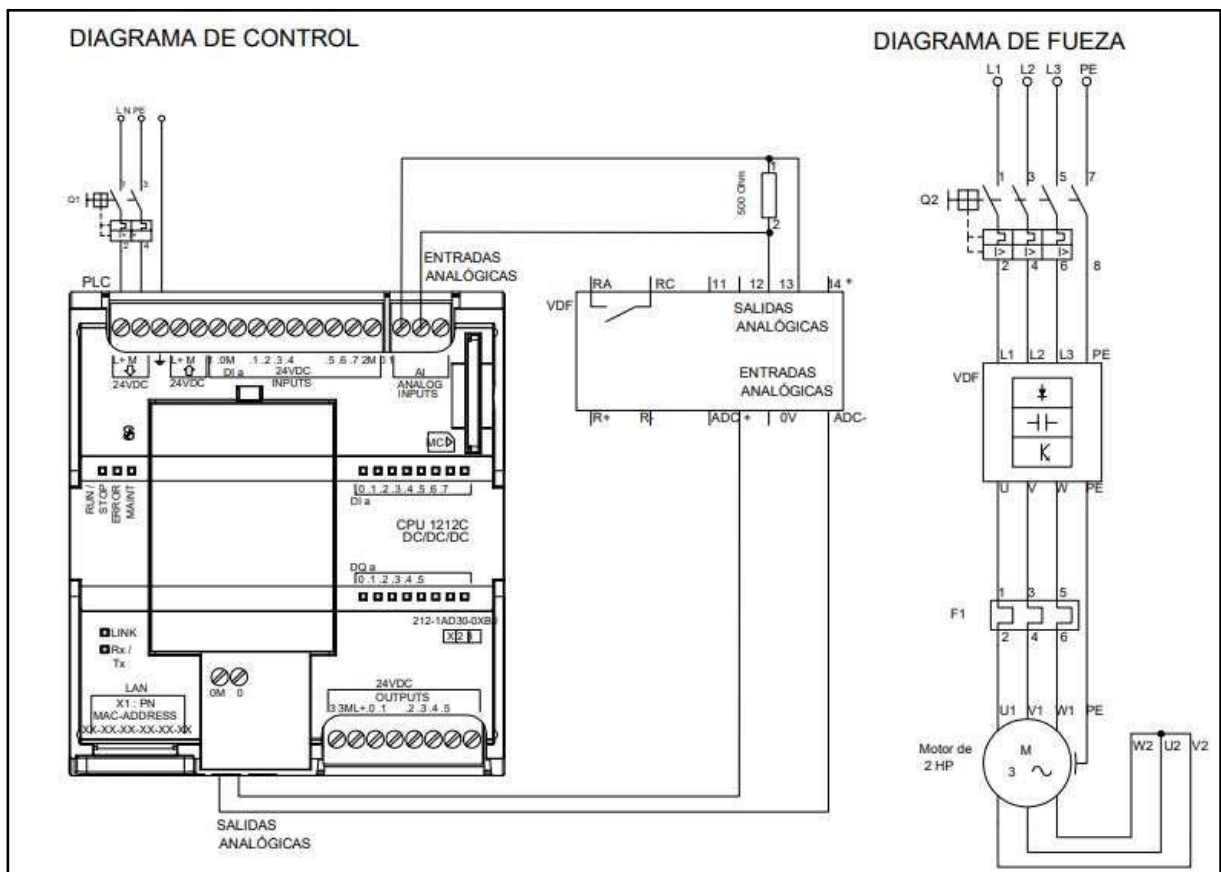
P0010	Parámetro de puesta en marcha	1 (puesta en marcha rápida)
P0100	Selección de 50/60 Hz	2: Norteamérica [kW], 60 Hz
P0304	Tensión nominal del motor [V]	220 V de 2 HP o 5 HP (depende del motor)
P0305	Corriente nominal del motor [A]	13.9 A para motor de 5 HP 4.9 A para motor de 2 HP
P0307	Potencia nominal del motor [kW/hp]	3.7 kW para el motor de 5 HP 1.5 kW para el motor de 2 HP
P0310	Frecuencia nominal del motor [Hz]	60 Hz
P0311	Velocidad nominal del motor [RPM]	1715 rpm para el motor de 5 HP 1525 rpm para el motor de 2 HP
P0700	Selección de la fuente de señales de mando	1 panel de mando (ajuste predeterminado de fábrica)
P1000	Selección de consigna de frecuencia	2: Consigna analógica
P1080	Frecuencia mínima [Hz]	0 Hz
P1082	Frecuencia máxima [Hz]	60 Hz
P1120	Tiempo de aceleración [s]	10 s
P1121	Tiempo de deceleración [s]	10s
P3900	Fin de la puesta en marcha rápida	1 fin de la puesta en marcha rápida

h) Datos técnicos del motor de 2 HP y 5 HP

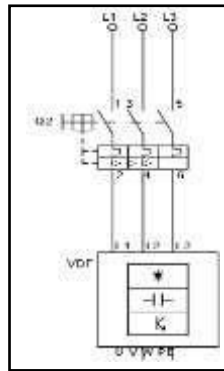
Datos del motor 5 HP
Modelo: Siemens
Potencia: 3.75kW/5 HP

Voltaje: 220/380 V
Frecuencia: 60 Hz
RPM: 1715
Corriente nominal: 13.9A/8.0 A
Datos del motor
Modelos: Siemens
Potencia: 1.5kW / 2 HP
Voltaje :220/380 V
Frecuencia: 60 HZ
RPM: 1725
Corriente nominal: 4.9 A

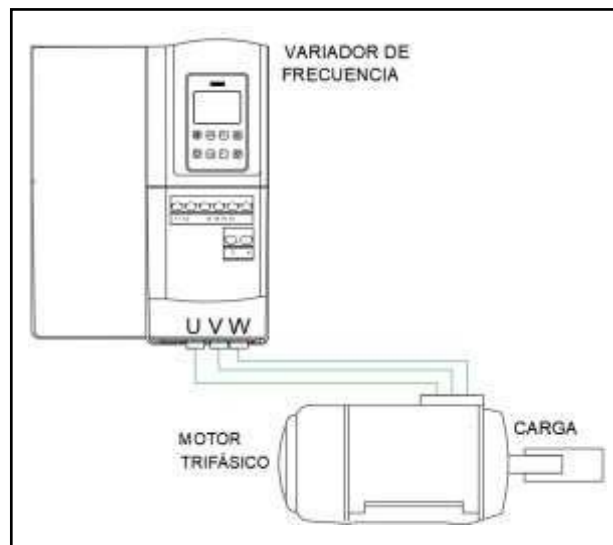
6. CONEXIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO



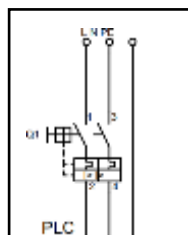
- a) Conexión del variador se lo hace conectando L1, L2 y L3 mediante una protección, para salvar el equipo y tener una salida trifásica del variador.



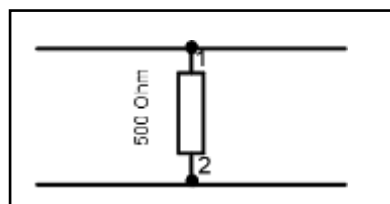
- b) Conexión del variador al motor esto se hace con las salidas del variador (U1, V1, W1) ya que con ello se va a realizar el control (el motor debe estar conectado en estrella)



- c) Conexión del PLC se lo hace conectando L1, N, mediante una protección, para salva guardar el equipo.

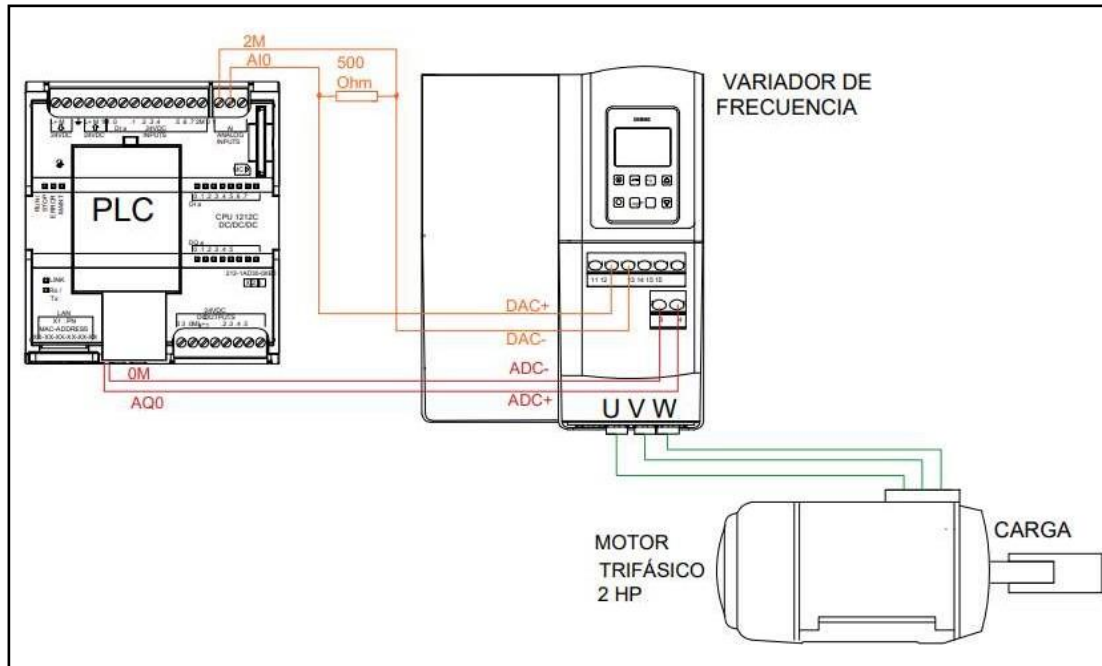


- d) Conexión de resistencia de 500 ohm a dos cables en paralelo



6.1 Conexión de entradas y salidas analógicas

- Conexión de salidas analógicas del variador de frecuencia, se le conecta a las entradas analógicas del PLC
- Conexión de salidas analógicas del PLC a las entradas analógicas del variador de frecuencia
- Conexión del cable en paralelo con la resistencia de las salidas analógicas del variador de frecuencia a las entradas analoguitas del PLC

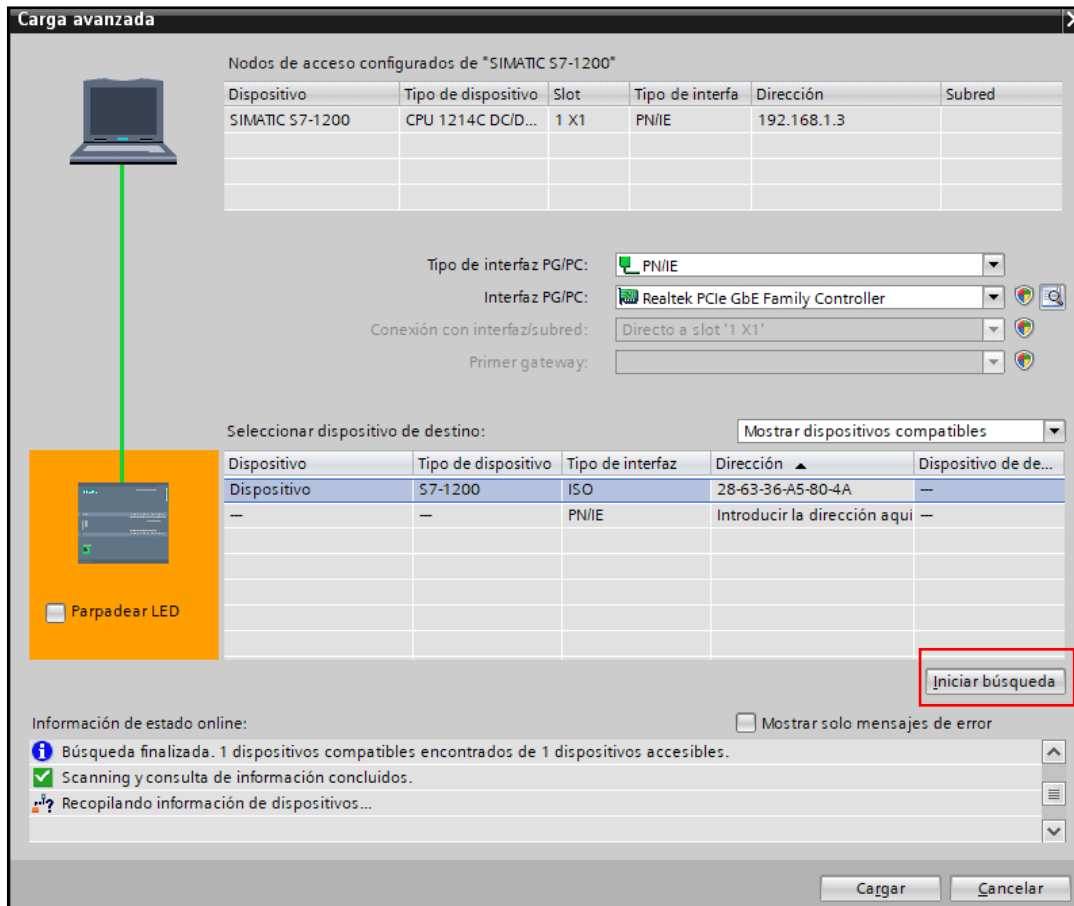


6.2 Carga de la programación al PLC

- Conectar el cable de ethernet a la computadora y al PLC
- Encender el PLC y el variador verificando la conexión y el funcionamiento de ambos equipos
- Una vez encendido y verificar el funcionamiento se procede a subir la programación en el tía portal al PLC



- Verificar la conexión del PLC a la computadora



- e) Una vez conectado se presiona en subir el programa (si existe un error de transferencia de datos cambiar ese error a detener el PLC)

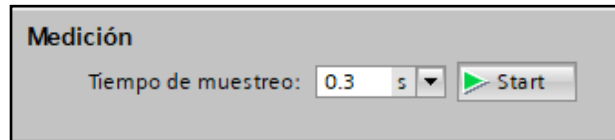


- f) Una vez cargada se procede a configurar el variador con los parámetros y presionar el botón de inicio de arranque del variador

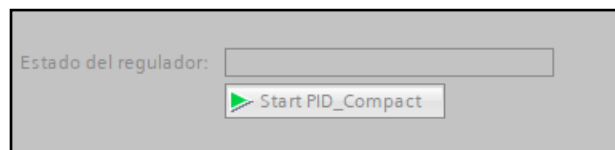


7. Funcionamiento

- a) Una vez realizado todos los procedimientos se procede a realizar el control con la computadora, se inicia la simulación presionando STAR el tiempo de muestreo para visualizar las señales



- b) Luego se presiona Star PId_Compact, para poder iniciar el proceso



3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN
3.1. ANALISIS DE RESULTADOS	
2 ANALISIS DE RESULTADOS	- Mediante la configuración por bloques se envía voltaje del PLC al variador en forma de escalonamiento donde los 60Hz es 10v y 30Hz 5v logrando el control del motor. - Variando los valores de Kp, Ki y Kd la estabilidad varía el sistema haciendo más eficiente en cuanto al control de integración. - Al ser un control PID con variador a simple vista no se nota la diferencia por el cual se necesita un analizador de redes para ver la eficiencia del control PID
4	CONCLUSIONES
	- En un sistema de control on –off el control es muy indefinido de la variable de proceso. - Al valor de la consigna de setpoint se activa (ON) si es mayor a la de referencia o setpoint y lo desactivan (OFF) cuando es menor (o igual) al setpoint.
5	RECOMENDACIONES
	- Tener conocimientos previos de sistemas de control y de programación - Conectar adecuadamente el módulo con la tarjeta de adquisición de datos - Verificar que las conexiones estén correctas antes de energizar el sistema

ANEXO IV

AVAL DE ENTREGA

ACTA DE ENTREGA

Latacunga 19 de agosto del 2024

Nosotros Coray Tomalo Steven Gabriel con CI: 1753785771 y Toalombo Agualongo Wilder Emerson con CI: 0202331286 en calidad de estudiantes de Octavo ciclo paralelo "A" de la carrera de INGENIERIA ELECTROMECÁNICA de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, realizamos la entrega del módulo de control industrial el mismo que está ubicado en el laboratorio de Control Eléctrico Industrial, contiene los siguientes elementos:

Ítem	Material	Cantidad	Marca	Modelo
1	Breaker (3P)	1	CHNT	NXB-63 C50
2	Breaker (3P)	1	CHNT	NXB-63 C16
3	Breaker (2P)	1	CHNT	NB1- C10
4	Breaker (1P)	3	CHNT	NXB-63 C10
5	Breaker (1P)	5	CHNT	NXB- 63H C2
6	Breaker (1P)	3	CHNT	NXB- 63H C4
6	Voltímetro Analógico (72x72)	2	CAMSCO	0-600 V
7	Amperímetro Analógico (72x72)	2	CAMSCO	0-400 A
8	Fuente Conmutada	1	S-120-24	24V DC-5A
9	Contactor de bobina a 110V	4	CHNT	NC1-9
10	Contactor de bobina a 220V	4	CHNT	NC1-9
11	Logo	1	SIEMENS	4C-E7-05-4C-6A-22
12	Variador de frecuencia	1	WHOLESALE	2 HP
13	Base para Temporizador de 8 pines	3	CHNT	CZFO8 A-E
14	Base para Relé auxiliar de bobina a 110V 14 pines	3	CHNT	PYF14A-E
15	Base para Relé auxiliar de bobina a 220V 14 pines	3	CHNT	PYF14A-E
16	Control de temperatura digital	1	CAMSCO	REX-C100
17	Relé de estado sólido	1	CAMSCO	SSR 40DA
18	Guardamotor	2	CHNT	NS2-25
19	Final de Carrera	2	CNC	ME-8108
20	Riel DIN (1m)	2	LEI	DIF-D1050
21	Luces piloto rojo	8	FATO	AD22-22DS AC220 V
22	Luces piloto verde	8	FATO	AD22-22DS AC220 V
23	Luces piloto amarillo	6	FATO	AD22-22DS AC220 V
24	Luces piloto azul	4	FATO	AD22-22DS AC220 V
25	Pulsadores Normalmente abiertos	5	CHNT	ZB2-BE102 N/A
26	Pulsadores Normalmente cerrados	5	CHNT	ZB2-BE102 N/C



UNIVERSIDAD
TÉCNICA DE
COTOPAXI



Ingeniería
Electromecánica

27	Selector de 2 posiciones	2	CHNT	BE101 (NO)
28	Selector de 3 posiciones	2	CHNT	ZB2-BE101
29	Paro de emergencia	1	CHNT	BE102 (N/C)
30	Mini voltímetro digital redondo (verde)	2	CHNT	AD16-22DV 0-500V
31	Mini amperímetro digital redondo (rojo)	3	CHNT	AD16-22 DAM 0-100 A
32	Barra repartidora tetrapolar	1	QBLOK4126	IpK 20 KA -125 A-40 °

Por la atención a la presente anticipamos nuestros agradecimientos

Atentamente:



Ing. Luis Eduardo Hinojosa

C.C. 0502564870

Coray Tomalo Steven Gabriel

C.C. 1753785771

Toalombo Agualongo Wilder Emerson

C.C. 0202331286