



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

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**IMPLEMENTACIÓN DE UN CENTRO DE CONTROL DE MOTORES  
PARA PROCESOS DE FABRICACIÓN.**

Proyecto de Titulación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico

**Autores:**

Jiménez Tonato Marco Antonio

Jimenez Loor Omar Andres

**Tutor Académico:**

Dr. Marrero Ramirez Secundino

**LATACUNGA – ECUADOR**

**2023**



## DECLARACION DE AUTORIA

Nosotros **JIMENEZ LOOR OMAR ANDRES Y JIMENEZ TONATO MARCO ANTONIO**, declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN CENTRO DE CONTROL DE MOTORES PARA PROCESOS DE FABRICACIÓN”**, siendo el Dr. Marrero Ramirez Secundino tutor del presente trabajo; eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

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

**Jimenez Loor Omar Andres**

**C.I. 172677825-9**

**Jimenez Tonato Marco Antonio**

**C.I. 050306961-9**



## AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo del proyecto tecnológico sobre el título:

“IMPLEMENTACIÓN DE UN CENTRO DE CONTROL DE MOTORES PARA PROCESOS DE FABRICACIÓN”, de los estudiantes **JIMENEZ LOOR OMAR ANDRES Y JIMENEZ TONATO MARCO ANTONIO**, de la carrera Ingeniería en Electricidad, considero que dicha propuesta tecnológica cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, agosto, 2023

.....  
**Tutor de Titulación**

**Dr. Marrero Ramirez Secundino**

CC: 175710790-7



## 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, al postulante con el título de Proyecto de titulación “**IMPLEMENTACIÓN DE UN CENTRO DE CONTROL DE MOTORES PARA PROCESOS DE FABRICACIÓN**”, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

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

Latacunga, agosto, 2023

Para constancia firman:

.....  
**Lector 1(presidente)**

Ing. MSc. Leon Segovia Marco Anibal  
CC: 050230540-2

.....  
**Lector 2**

Ing. Msc. Pacheco Mena Carlos Francisco  
CC: 050307290-2

.....  
**Lector 3**

Ing. MSc. León Segovia Manuel  
CC: 050204135-3

## AGRADECIMIENTO

*Agradezco de corazón, en primer lugar, a Dios, por permitirme y acompañarme en este maravilloso camino que me ha llevado hasta este momento. Su fuerza y guía han sido fundamentales en cada paso que he dado.*

*Quiero expresar mi profundo agradecimiento a mi madre, un pilar inquebrantable en mi vida, quien nunca dudó en brindarme su apoyo incondicional y levantarme en los momentos difíciles. También quiero recordar con amor a mi padre, desde el cielo, su presencia sigue siendo mi guía y ejemplo de valores.*

*Agradezco con cariño a mis queridos tíos Wilson y Maritza, segundos padres para mí, quienes me brindaron su guía y apoyo. Un agradecimiento especial a mi tío Israel, por su cariño y consejos invaluable. A mi abuelita Enma y mi difunto abuelito Luis, los cuales con su amor y aliento siempre me impulsaron a alcanzar este logro.*

*Quiero reconocer el apoyo fundamental de mi novia, quien estuvo presente en momentos cruciales de este camino, brindándome su aliento y comprensión. Al esposo de mi madre quien siempre me alienta a cumplir mis metas y sueños.*

*Asimismo, quiero expresar mi gratitud a la Universidad Técnica de Cotopaxi por abrirme sus puertas y brindarme la oportunidad de crecer como persona. A mis queridos profesores, les estoy agradecido por su dedicación y conocimiento, que me inspiraron a alcanzar mis metas y a descubrir nuevas posibilidades.*

**Marco Jiménez**

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco de antemano a Dios por darme salud y sabiduría, y por mostrarme el camino del bien. Gracias a Él he podido seguir adelante con este proyecto y alcanzar mis objetivos.*

*También quiero expresar mi agradecimiento a mis padres, quienes siempre han creído en mí y me han apoyado en todo lo que he hecho. Gracias a sus consejos, valores y principios he podido ser una mejor persona. Me han dado su confianza para demostrar que con esfuerzo y sacrificio se puede lograr todo lo propuesto. También quiero agradecerles su apoyo incondicional a lo largo de mi trayectoria estudiantil.*

*Quiero agradecer a mis maestros por su paciencia, dedicación y apoyo. Gracias a ellos he podido aprender y crecer como profesional.*

*Estoy muy agradecido a todos los que han formado parte de mi vida. Gracias por su amor, apoyo y aliento. Gracias por siempre estar ahí para mí.*

***Omar Jimenez.***

## **DEDICATORIA**

*Con todo mi amor y cariño, dedico este trabajo a la memoria de mi padre, José Antonio Jiménez, quien ahora se encuentra en el cielo. Agradezco profundamente el tiempo que estuvo a mi lado, guiándome con buenos sentimientos, modales y hábitos, lo cual ha sido fundamental para superar los momentos más difíciles. Su sacrificio y esfuerzo fueron la base para que este sueño se hiciera realidad, ya que siempre creyó en mi capacidad y me brindó un apoyo incondicional para llegar hasta este momento.*

*Además, quiero dedicar este triunfo de manera especial a mi madre, quien ha sido mi mayor apoyo y mi roca en todas las batallas que he enfrentado. Gracias a su creencia en mí y su constante comprensión, cariño y amor, he encontrado la fuerza para perseverar y alcanzar mis metas.*

*Por último, quiero dedicar este logro a mis familiares más cercanos, quienes me apoyaron y me impulsaron a alcanzar esta meta, creyendo en mí y en mis capacidades. Sus constantes alientos y apoyo fueron fundamentales para alcanzar esta meta, y les estaré eternamente agradecido/a por estar a mi lado en cada paso del camino.*

**Marco Jiménez**

## DEDICATORIO

*Dedico este trabajo a mi padre, Walter Jiménez, por su influencia en mi formación y por brindarme valores y apoyo en los momentos difíciles. Agradezco su sacrificio para hacer realidad este sueño y su confianza en mí. También dedico este trabajo a Maricela Aveiga, quien ha estado a mi lado como una madre y ha luchado por mi éxito.*

*Agradezco a mi madre Miriam Loor y a Elsa Jiménez por inculcarme valores de humildad, respeto y perseverancia. A pesar de mis tropiezos, siempre estuvieron orgullosas de mi progreso y me motivaron a enfrentar dificultades.*

*Mis amigos merecen reconocimiento por su apoyo a lo largo de los años. Agradezco su presencia en mi crecimiento personal y su apoyo constante en momentos difíciles.*

*A Melanie Yangari, mi novia, le agradezco su amor, apoyo y motivación en los momentos más desafiantes.*

*Al ingeniero Luis Inojosa, agradezco su respaldo y consejos durante mi etapa universitaria, que contribuyeron a mi crecimiento profesional.*

*Mi amigo Marco Jiménez merece reconocimiento por su incondicional amistad y apoyo constante.*

*A todos ustedes, dedico este trabajo con gratitud. Han moldeado mi vida y mi persona de manera invaluable.*

**Omar Jimenez**



## ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INFORMACIÓN GENERAL .....	1
2. INTRODUCCIÓN.....	2
EL PROBLEMA .....	2
2.1.1. Situación Problemática.....	2
2.1.2. Formulación del Problema.....	2
BENEFICIARIOS .....	3
JUSTIFICACIÓN.....	3
HIPÓTESIS .....	3
OBJETIVOS.....	4
2.1.3. General: .....	4
2.1.4. Específicos:.....	4
SISTEMA DE TAREAS .....	4
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA .....	6
ANTECEDENTES .....	6
MARCO CONCEPTUAL REFERENCIAL.....	8
3.1.1. CENTRO DE CONTROL DE MOTORES .....	8
3.1.2. CONTROL DE MOTORES.....	12
3.1.3. ARRANQUE DE MOTOR .....	14
3.1.4. VARIADOR DE VELOCIDAD .....	17
3.1.5. ARRANCADOR SUAVE.....	18
3.1.6. ARRANQUE DIRECTO.....	20
3.1.7. MOTORES.....	21
3.1.8. CONTROLADOR PROGRAMABLE LOGO 8.....	24
3.1.9. ELEMENTOS DE MANIOBRA .....	25
4. MATERIALES Y METODOS.....	29
MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN .....	29
4.1.1. Método Analítico.....	29
4.1.2. Método inductivo.....	29
4.2 MATERIALES .....	30
5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....	33
DISEÑAR UN SISTEMA DE CONTROL CON TÉCNICAS AVANZADAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA, CON EL PROPÓSITO DE REDUCIR COSTOS OPERATIVOS Y MEJORAR EL PROCESO DE FABRICACIÓN. ....	33

5.1.1.	Identificación de un proceso de fabricación.....	33
5.1.2.	Diagrama del recorrido del proceso de fabricación de papel higiénico .....	34
5.1.3.	Identificación de tiempos estándar que lleva la producción de 22 rollos de papel sin un centro de control de motores.....	36
5.1.4.	Flujograma de operación y control de los diferentes motores involucrados en el proceso de fabricación.....	40
5.1.6.	Planos de conexión de los diferentes motores a los controladores lógicos programables. ....	45
EVALUAR EL SISTEMA EN UN ENTORNO DE CONTROL PARA EL CASO DE FABRICACION DE PAPEL HIGENICO. ....		53
5.1.8.	Tiempos estándar y actividades realizadas con la incorporación de centro de control de motores .....	53
5.1.9.	Comparación de las energías totales consumida en el proceso de fabricación. .	55
5.1.11.	Comportamiento de los picos de corriente para los arranques de los motores de las bandas con una configuración estrella delta.....	58
5.1.12.	Comportamiento de los picos de corriente para los arranques de los motores de las bandas con uso de un variador de frecuencia .....	59
6.	EVALUACIÓN TÉCNICO, Y/O ECONÓMICA .....	61
6.1	IMPACTO TÉCNICO.....	61
6.2	IMPACTO ECONÓMICO .....	61
7.	CONCLUSIONES DEL PROYECTO .....	62
	CONCLUSIONES.....	62
	RECOMENDACIONES .....	63
8.	BIBLIOGRAFÍA .....	64
9.	ANEXOS .....	67

## INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Variables de Hipótesis .....	3
Tabla 2.2 Sistema de tareas .....	4
Tabla 4.3 Lista de materiales .....	30
Tabla 5.1 Áreas involucradas en el proceso. ....	33
Tabla 5.2 Subáreas.....	35
Tabla 5.3 Procesos para la fabricación de papel higiénico.....	37
Tabla 5.4 Etapas del proceso de almacenado .....	37
Tabla 5.5 Tiempo de fabricación para almacenamiento.....	38
Tabla 5.6 Tiempo total que lleva un proceso de 6 pacas.....	38
Tabla 5.7 Pacas totales producidas.....	38
Tabla 5.8 Eficiencia actual de producción.....	39
Tabla 5.9 Logo Maestro.....	43
Tabla 5.10 Logo Esclavo 1 .....	44
Tabla 5.11 Logo Esclavo 2 .....	44
Tabla 5.12 Logo Esclavo 3 .....	45
Tabla 5.13 Costo entre un solo variador para el arranque de cada banda .....	53
Tabla 5.14 Costo con un solo variador para arranque de las tres bandas .....	53
Tabla 5.15 Tiempo del proceso de producción.....	54
Tabla 5.16 Producción en una jornada normal .....	55
Tabla 5.17 Eficiencia de producción. ....	55
Tabla 5.18 Energía requerida para un día laboral sin centro de control.....	56
Tabla 5.19 Consumos de una jornada laboral normal. ....	56
Tabla 5.20 Costos energéticos de operación de los dos casos.....	57
Tabla 5.21 Ingreso económico de los dos casos.....	57

## INDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 Ejemplo de gavetas para ccm's inteligentes.....	10
Figura 3.2 Ejemplo de ccm inteligente con red device net [19].....	11
Figura 3.3 Ejemplo de ccm inteligente con red profibus [19].....	12
Figura 3.4 Sistema a lazo abierto [30].....	13
Figura 3.5 Sistema a lazo cerrado [30].....	13
Figura 3.6 Curva par motor vs. velocidad rotórica y ..... par resistente durante el arranque directo de un motor [12].....	14 14
Figura 3.7 Curva par motor vs. velocidad rotórica y ..... el par resistente durante el arranque estrella – triángulo [11].....	15 15
Figura 3.8 Curvas de corriente/velocidad y ..... par/velocidad del arranque por resistencia en el estator [12]. ....	15 15
Figura 3.9 Curvas de velocidad y par/ velocidad del ..... arranque por variación de frecuencia [11].....	16 16
Figura 3.10 Par de arranque reducido, motor asíncrono trifásico ..... con arranque suave SIRIUS 3RW44 [12]. ....	16 16
Figura 3.11 Estructura general de un variador de velocidad [14]. ....	17
Figura 3.12 Diagrama de bloques de arrancador suave [17].....	19
Figura 3.13 Clasificación de motores monofásicos [20]. ....	21
Figura 3.14 clasificación de motores de inducción [20].....	22
Figura 3.15 Clasificación de motores de conmutación [20].....	23
Figura 3.16 Clasificación de motores monofásico síncrono [20].....	23
Figura 3.17 logo 8 [22].....	25
Figura 5.18 Plano del área de producción ..... 34	34
Figura 5.1 Flujograma de arranque y control de motores para el proceso de elaboración de papel higiénico.....	40
Figura 5.2 Flujograma de arranque y control de motores para el proceso de elaboración de papel higiénico.....	41
Figura 5.3 Flujograma de arranque y control de motores para el proceso de elaboración de papel higiénico.....	42
Figura 5.4 Diagrama de control logo Maestro.....	46
Figura 5.6 Diagrama de fuerza sección jumbera .....	47
Figura 5.7 Diagrama de control Logo Esclavo 1 .....	48
Figura 5.8 Diagrama de control Logo Esclavo 2.....	49
Figura 5.9 Diagrama de fuerza de la sección de corte.....	50

Figura 5.10 Diagrama de control Logo Esclavo 3.....	51
Figura 5.11 Diagrama de fuerza sección horno.....	52
Figura 5.12 Corriente de arranque en estrella triangulo .....	58
Figura 5.13 Corriente de arranque con variador de frecuencia .....	60

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y APLICADAS

### Tema: “Implementación De Un Centro De Control De Motores Para Procesos De Fabricación”

#### Autores

Jimenez Tonato Marco Antonio

Jimenez Loor Omar Andres

#### RESUMEN

Este proyecto de investigación se ha centrado en desarrollar un sistema de control avanzado para optimizar el proceso de fabricación de papel higiénico, con especial enfoque en el uso eficiente de la energía eléctrica y la mejora de los tiempos y productividad, para lograr esto, se ha implementado un centro de control que utiliza cuatro controladores lógicos programables (PLC), uno de los cuales actúa como maestro y los otros tres como esclavos, se han realizado simulaciones en el software Factory IO para estimar los tiempos de transporte de la materia en los diferentes procesos involucrados en la fabricación, lo que ha permitido mejorar los tiempos y aumentar la eficiencia de productividad en un 24.05%. Esta mejora ha tenido un impacto positivo significativo en la producción, además, se han implementado medidas de eficiencia energética para garantizar una vida útil adecuada de los equipos y reducir el consumo de corriente excesiva en los motores utilizados en las bandas transportadoras, por ejemplo, para reducir elevados costos en adquirir varios equipos los cuales puedan reducir el estrés al arrancar las bandas de transporte se ha hecho uso de un solo variador de frecuencia encargado de reducir las corrientes de arranque de los motores en cada una de las bandas asegurando una vida útil más larga. Asimismo, se ha logrado un control adecuado de la secuencia de inicio de cada una de las máquinas, controladas por el PLC maestro, lo que permite obtener una visión más integral de todo el proceso de fabricación, con este enfoque centralizado en el control de todos los motores involucrados en cada máquina, se ha mejorado de manera significativa la eficiencia y eficacia del proceso de producción en su conjunto.

---

**Palabras clave:** Eficiencia, análisis, funcionamiento, Energía.

# COTOPAXI TECHNICAL UNIVERSITY

## ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES FACULTY

**TOPIC:** "Implementation of a Motor Control Center for Manufacturing Processes"

### Authors

Jimenez Tonato Marco Antonio

Jimenez Loor Omar Andres

### ABSTRACT

This research project has focused on developing an advanced control system for optimizing the toilet paper manufacturing process, with special approach on the electrical energy efficient use and the times and productivity improvement, to achieve this, it has been implemented a control center, what uses four programmable logic controllers (PLC), one of which acts as a master and the other three as slaves. They have been made simulations in the Factory IO software to estimate the material transport times in the different processes involved in the manufacturing, what has allowed improving times and increasing efficiency of productivity by 24.05%. This improvement has had a significant positive impact on production, further, it has been implemented energy efficiency measures to warranty an equipment adequate useful life and to reduce excessive current consumption in the used motors in conveyor belts, for example, to reduce high costs, acquiring several equipment, which can reduce the stress, when starting the conveyor sash, it has been done use a single frequency inverter for reducing the motors starting currents in each of belts, by ensuring a longer useful life long. Likewise, it has been achieved a starting sequence adequate control each one of machines, controlled by the master PLC, which allows getting an entire manufacturing process more comprehensive vision, with this centralized approach in the control all motors involved each machine, it has been significantly the production process efficiency and effectiveness as a whole.

**Keywords:** Efficiency, analysis, operation, energy.

## ***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 de investigación cuyo título versa: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN CENTRO DE CONTROL DE MOTORES PARA PROCESOS DE FABRICACIÓN”** presentado por: **Jimenez Tonato Marco Antonio** y **Jimenez Loor Omar Andres** egresados de la Carrera de: **Ingeniería Electricidad**, 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 2023.

Atentamente,



Mg. Marco Paúl Beltrán Semblantes



CENTRO  
DE IDIOMAS

**DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC**

CC: 0502666514



# 1. INFORMACIÓN GENERAL

**Título:** Implementación de un centro de control de motores para procesos de fabricación.

**Fecha de inicio:** abril 2023

**Fecha de finalización:** agosto 2023

**Lugar de ejecución:** Universidad Técnica De Cotopaxi.

**Facultad que auspicia:** Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas.

**Carrera que auspicia:** Carrera de Electricidad.

**Proyecto Macro Asociado:** Desarrollo de sistemas eléctricos eficientes a nivel residencial comercial e industrial.

**Equipo de Trabajo:**

**Tutor de Titulación:** Dr. Marrero Ramirez Secundino

**Estudiantes:**

Jimenez Tonato Marco Antonio

Jimenez Loor Omar Andres

**Área de Conocimiento:**

**Campo Amplio:** 07 Ingeniería, Industria y Construcción

**Campo Específico:** 071 Ingeniería y Profesiones Afines.

**Campo Detallado:** 0714 Electricidad y Energía.

**Línea de investigación:** Energías Alternativas y Renovables, Eficiencia Energética y Protección Ambiental.

**Sublíneas de investigación de la Carrera:** Control y optimización en el uso de la energía del sector industrial, comercial y residencial.

## **2. INTRODUCCIÓN**

### **EL PROBLEMA**

#### **2.1.1. Situación Problemática**

En una planta de producción la falta de un centro de control de motores en los procesos de fabricación ha generado problemas significativos en términos de eficiencia y control de calidad, la ausencia de un sistema centralizado para monitorear y controlar los motores utilizados en los equipos y maquinarias de la planta ha generado una serie de desafíos como la falta de coordinación entre los motores ha resultado en un uso ineficiente de la energía eléctrica, lo que se traduce en altos costos operativos, sin un centro de control que optimice la utilización de los motores y los ajuste según la demanda real, se producen situaciones en las que los motores funcionan de manera innecesaria o por debajo de su capacidad óptima [1].

Además, la carencia de un sistema de control centralizado dificulta la detección temprana de posibles fallas o problemas en los motores, la falta de supervisión adecuada impide identificar problemas hasta que se produzca una interrupción o una avería completa, generando períodos prolongados de inactividad y costosas reparaciones, a esto se suma la dificultad para implementar mejoras en los procesos de fabricación [2].

Por otra parte, la falta de un centro de control de motores en los procesos de fabricación ha tenido un impacto negativo en la capacidad de la planta para adaptarse rápidamente a cambios en la demanda y en los requisitos del mercado, la ausencia de un sistema centralizado de control dificulta la capacidad de la planta para ajustar la potencia y velocidad de los motores de manera eficiente según las necesidades cambiantes de producción. Esto puede resultar en tiempos de respuesta más lentos, falta de flexibilidad y una menor capacidad para cumplir con los plazos de entrega y las expectativas de los clientes [3].

#### **2.1.2. Formulación del Problema**

Los procesos productivos con cargas variables y accionamientos de motores presentan pérdidas de energías y afectaciones productivas, debido a la no automatización que garantice una gestión eficiente de la energía en la cadena productiva.

## **BENEFICIARIOS**

Los beneficiarios directos son los postulantes.

Los beneficiarios indirectos son estudiantes, docentes, profesionales y empresas eléctricas públicas y privadas.

## **JUSTIFICACIÓN**

El uso de un Centro de Control de Motores en los diferentes procesos de fabricación puede mejorar la eficiencia energética y la productividad de la planta. La implementación de un sistema de control automatizado permite programar los motores para trabajar en los niveles de potencia y velocidad para cada tarea del proceso productivo, lo que a su vez reduce el consumo de energía eléctrica y aumenta la eficiencia del proceso. Además, el monitoreo en tiempo real del estado de los motores permite detectar fallas tempranas y minimizar el impacto en la producción, lo que aumenta la confiabilidad del proceso.

## **HIPÓTESIS**

¿La implementación de un Centro de Control de Motores en los procesos de fabricación es factible y efectiva para mejorar la eficiencia y la productividad?

En la siguiente tabla 2.1 se presenta las variables de la hipótesis

Tabla 2.1 Variables de Hipótesis

<b>VARIABLES</b>	
<b>Variable dependiente</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Procesos de producción</li></ul>
<b>Variable Independiente</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Estandarización de tiempos</li></ul>

## OBJETIVOS

### 2.1.3. General:

Desarrollar un sistema de control avanzado en los procesos de fabricación para el uso eficiente de la energía eléctrica con el control eficaz en un conjunto de motores, mejorando los tiempos y la productividad.

### 2.1.4. Específicos:

- Investigar el estado del arte sobre control de motores y las principales características de funcionamientos de los diferentes dispositivos que lo conforman.
- Diseñar un sistema de control con técnicas avanzadas de eficiencia energética para reducir los costos operativos y mejorar el proceso de fabricación.
- Evaluar el sistema en un entorno de control para el caso de estudio en la fabricación de papel higiénico.

## SISTEMA DE TAREAS

En la tabla 2.2 se muestra el sistema de actividades a cumplir para la sustentación de los objetivos planteados y la obtención de resultados

Tabla 2.2 Sistema de tareas

<b>Objetivos específicos</b>	<b>Actividades (tareas)</b>	<b>Resultados Esperados</b>	<b>Técnicas, Medios e Instrumentos</b>
Investigar el estado del arte sobre control de motores y las principales características de funcionamientos de los diferentes dispositivos que lo conforman.	- Revisión de trabajos relacionados con CCM.	- Información acerca de los elementos que conforman los CCM.  - Cuadro comparativo de un control industrial óptimo y un convencional.	- Bibliografía relacionada al control industrial.  - Artículos científicos  - Tesis  - Informes

<p>Diseñar un sistema de control con técnicas avanzadas de eficiencia energética, con el propósito de reducir los costos operativos y mejorar el proceso de fabricación.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identificación detallada de un proceso de producción.</li> <li>- Selección de los componentes necesarios.</li> <li>- Diseño de la arquitectura del sistema.</li> <li>- Identificación de los costos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diagrama de conexión y configuración correcta de los equipos del laboratorio.</li> <li>- Tabla de los elementos necesarios.</li> <li>- Costos.</li> <li>- Anexo del sistema de control.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Software Cade Simu</li> <li>- ¡Software LOGO! Soft Comfort</li> <li>- Software Microsoft office</li> </ul>
<p>Evaluar el sistema en un entorno de control que tenga los equipos necesarios.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Construcción de los circuitos necesarios para la evaluación del sistema de control avanzado.</li> <li>- Ejecución de pruebas de comunicación en el sistema de control avanzado.</li> <li>- Evaluación de la eficiencia del sistema de control.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diagrama Unifilar de conexión.</li> <li>- Confirmación de que todos los componentes del sistema de control avanzado están funcionando correctamente y en sincronía.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ¡Software LOGO! Soft Comfort</li> <li>- Software Cade Simu</li> <li>- Software Factory Io</li> <li>- Microsoft Excel</li> </ul>

### **3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

#### **ANTECEDENTES**

##### **Datos históricos**

En agosto del 2017, Guanoquiza Changoluisa Segundo Nicolás [4], llevó a cabo un proyecto con el propósito de implementar y desarrollar una práctica de automatización utilizando un módulo didáctico con el Controlador Lógico Programable (PLC S7-1200). Con el objetivo de comprender el funcionamiento de los motores trifásicos, así como su automatización mediante programas controlados por un autómata programable. Durante el proyecto de automatización se estableció un valioso conocimiento sobre el funcionamiento de los motores trifásicos, los cuales son ampliamente utilizados en entornos laborales como fábricas, industrias y edificios. Estos actuadores son controlados mediante software, utilizando un PLC S7-1200 de última generación. El enfoque de la investigación se centró en la aplicación del PLC S7-1200, permitiendo la realización de prácticas de control industrial en el arranque e inversión de giros de motores trifásicos.

Por otra parte, en 2015, Gustavo Fabricio Negrete Izurieta [5], llevó a cabo la implementación del Centro de Control de Motores (CCM) en Guayaquil, Ecuador. Esta implementación permitió el control y monitoreo en tiempo real de las variables de operación de la maquinaria principal y auxiliar, brindando la capacidad de prevenir acciones correctivas ante posibles fallas y sirviendo como una herramienta útil para el almacenamiento de datos históricos de funcionamiento y tasas de falla, el (CCM) se basó en la tecnología de punta para supervisar y rastrear todas las principales y secundarias máquinas que se encontraban en las Corbetas Clase "Esmeraldas".. La arquitectura de la red implementada utilizó una topología mixta de estrella, anillo y bus, la implementación del (CCM) proporcionó un sistema integral de control y monitoreo, permitiendo una gestión eficiente de la maquinaria principal y auxiliar. Además, el almacenamiento de datos históricos y la capacidad de prevenir y responder rápidamente ante posibles fallas mejoraron la confiabilidad y el rendimiento de los equipos.

Partiendo de los favorables beneficios de la implementación de los (CCM) Rodríguez et al. en 2016, se llevó a cabo la implementación de un centro de control de motores en una planta de manufactura de productos electrónicos. El objetivo principal fue optimizar el rendimiento de los motores utilizados en los procesos de fabricación y mejorar la eficiencia energética. El centro de control permitió monitorear y controlar los motores en tiempo real, ajustando su funcionamiento de acuerdo con las demandas de producción. Como resultado, se logró una

reducción significativa en los costos operativos y un aumento en la productividad. Además, se mejoró la detección temprana de posibles fallas en los motores, lo que permitió realizar un mantenimiento preventivo y minimizar los tiempos de inactividad. Este proyecto destacó la importancia del centro de control de motores en la mejora de los procesos de fabricación y en la obtención de resultados más eficientes y rentables [6].

Tomando en cuenta los favorables resultados de la implantación, en el año 2016, Johnson et al. llevó a cabo la implementación de un (CCM) en una planta de producción de automóviles con el objetivo de mejorar la eficiencia y el rendimiento del proceso de fabricación. El enfoque utilizado consistió en la instalación de sensores y dispositivos de monitoreo en los motores de los equipos y maquinarias de la planta, así como la integración de un sistema centralizado para el control y supervisión de los motores, el proceso de implementación incluyó la configuración de un software de gestión y control, que permitió coordinar y optimizar el funcionamiento de los motores en función de las demandas específicas de producción. Además, se realizaron ajustes y optimizaciones en los parámetros de operación de los motores para mejorar su rendimiento y reducir el consumo de energía, los resultados obtenidos fueron significativos. Se observó una mejora sustancial en la eficiencia energética, con una reducción del consumo de energía eléctrica en un 20% en comparación con el sistema anterior. Además, se logró una mayor estabilidad en el proceso de fabricación, con una disminución en los tiempos de inactividad y una mayor confiabilidad en el funcionamiento de los motores rendimiento de los equipos [7].

Dada la relevancia de los (CCM) en la actualidad, Chang et al. en 2018. Realizó la implementación en una planta de producción de alimentos con el objetivo de mejorar la eficiencia y la calidad del proceso de fabricación, el centro de control se diseñó para monitorear y controlar los motores utilizados en los equipos y maquinarias de la planta, un sistema centralizado que permitió coordinar y optimizar el funcionamiento de los motores de acuerdo con la demanda real de la producción. Esto resultó en un uso más eficiente de la energía eléctrica y una reducción de los costos operativos.

Además, el centro de control de motores facilitó la detección temprana de posibles fallas o problemas en los motores. Mediante la supervisión adecuada, se pudo identificar y abordar los problemas antes de que se convirtieran en interrupciones o averías completas, lo que redujo los períodos de inactividad y los costos asociados a las reparaciones [8].

## **MARCO CONCEPTUAL REFERENCIAL**

### **3.1.1. CENTRO DE CONTROL DE MOTORES**

En el pasado, en una planta de producción, se enfrentaban desafíos significativos debido a la presencia de numerosos motores de diferentes capacidades distribuidos por toda el área. Cada motor requería atención y mantenimiento individualizado, lo que implicaba un considerable gasto de tiempo en las operaciones productivas. Conscientes de esta problemática, se tomó la decisión de centralizar el control y supervisión de los motores, buscando optimizar la eficiencia del sistema. Como resultado, se implementó la idea de crear Centros de Control de Motores (CCM), donde se consolidó el control y monitoreo de la maniobra eléctrica en un único lugar. Esto implicó la creación de tableros más grandes y robustos para albergar la infraestructura necesaria. Esta centralización permitió una gestión más eficiente de los motores, facilitando el mantenimiento preventivo y correctivo, y reduciendo significativamente los tiempos de operación [10].

Con el paso del tiempo, se ha observado una tendencia en la incorporación de sistemas electrónicos en una amplia gama de dispositivos y equipos, incluyendo los Centros de Control de Motores. En el pasado, estos centros solían contar con relés mecánicos o electromecánicos para su funcionamiento, los cuales han ido siendo reemplazados gradualmente por relés electrónicos. Este cambio ha permitido una transformación significativa en la supervisión de variables eléctricas y mecánicas, ya que ahora es posible controlar y monitorear de forma remota dichas variables a través de interfaces de comunicación presentes en los componentes electrónicos. Como resultado, los Centros de Control de Motores han experimentado una evolución considerable, siendo capaces de controlar, supervisar y comunicar los parámetros establecidos en su lógica. Además, se han desarrollado diversas formas constructivas para adaptarse a las distintas aplicaciones específicas en las que se requiere su implementación [9].

#### **3.1.1.1. CENTRO DE CONTROL DE MOTORES DE BAJA TENSION**

Un centro de control de motores de baja tensión (CCMBT) es un sistema utilizado para controlar y proteger motores eléctricos en aplicaciones industriales y comerciales. Proporciona una interfaz entre los operadores y los motores, permitiendo la operación, monitoreo y protección eficiente de los motores.

A continuación, se presenta una descripción mejorada de los componentes y características típicas de un CCMBT:



- **Gabinetes o armarios:** El CCMBT está contenido en un gabinete o armario eléctrico para proteger los componentes y facilitar la instalación y mantenimiento. Los gabinetes suelen ser de acero y están diseñados para cumplir con los estándares de seguridad eléctrica.
- **Interruptores de circuito:** Se utilizan interruptores de circuito para proteger los motores contra sobrecargas y cortocircuitos. Estos interruptores se clasifican en función de la corriente nominal que pueden manejar y se pueden accionar manualmente o mediante relés de protección.
- **Arrancadores de motor:** Los arrancadores de motor son dispositivos que proporcionan el arranque y parada controlados de los motores eléctricos. Los tipos comunes de arrancadores incluyen arrancadores directos, arrancadores estrella-delta y arrancadores de rotor bobinado.
- **Relés de protección:** Los relés de protección monitorean las condiciones de funcionamiento de los motores y activan la protección en caso de fallas o condiciones anormales, como sobrecargas, falta de fase, sobretensión o subtensión.
- **Controladores lógicos programables (PLC):** Los PLC se utilizan a menudo para automatizar y controlar los CCMBT. Estos dispositivos programables permiten la secuenciación y lógica compleja para el control y monitoreo de motores.
- **Indicadores y medidores:** Los CCMBT suelen tener indicadores y medidores para mostrar el estado y los parámetros de los motores, como la corriente, el voltaje, la potencia y las alarmas. Estos pueden ser indicadores digitales o analógicos.
- **Sistema de control y supervisión:** En algunas instalaciones, se utiliza un sistema de control y supervisión más avanzado para monitorear y controlar múltiples CCMBT. Estos sistemas pueden proporcionar visualización remota, análisis de datos, historial de eventos y capacidades de control centralizado.

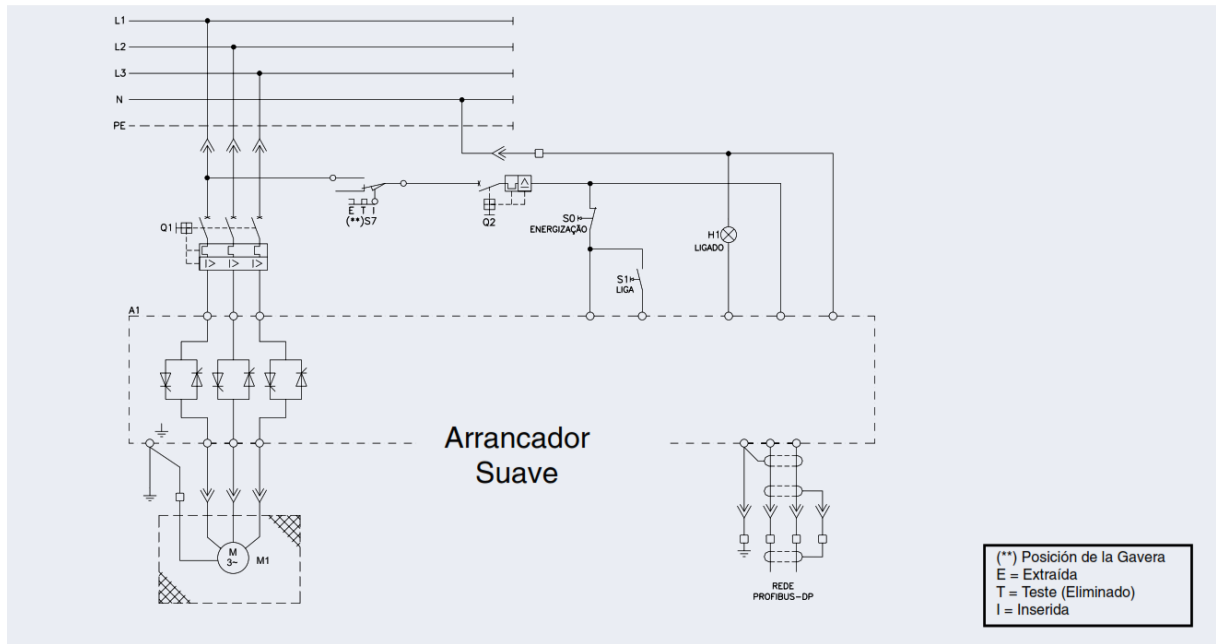


Figura 3.1 Ejemplo de gavetas para ccm's inteligentes

### 3.1.1.2. Sistemas de Comunicación de los CCM

Los sistemas de comunicación de los Centros de Control de Motores (CCM) son elementos fundamentales para la supervisión y control eficiente de los motores eléctricos en aplicaciones industriales y comerciales. Estos sistemas permiten la comunicación bidireccional entre el CCM y otros dispositivos o sistemas, lo que facilita la monitorización remota, la recopilación de datos y el intercambio de información en tiempo real. A continuación, se presentan algunos de los sistemas de comunicación comunes utilizados en los CCM:

- **Redes Ethernet:** Las redes Ethernet son ampliamente utilizadas para la comunicación en sistemas de automatización industrial. Los CCM pueden estar equipados con interfaces Ethernet que les permiten conectarse a una red local o a sistemas de control de nivel superior. Esto proporciona capacidades de comunicación en tiempo real y acceso remoto a los datos del CCM.

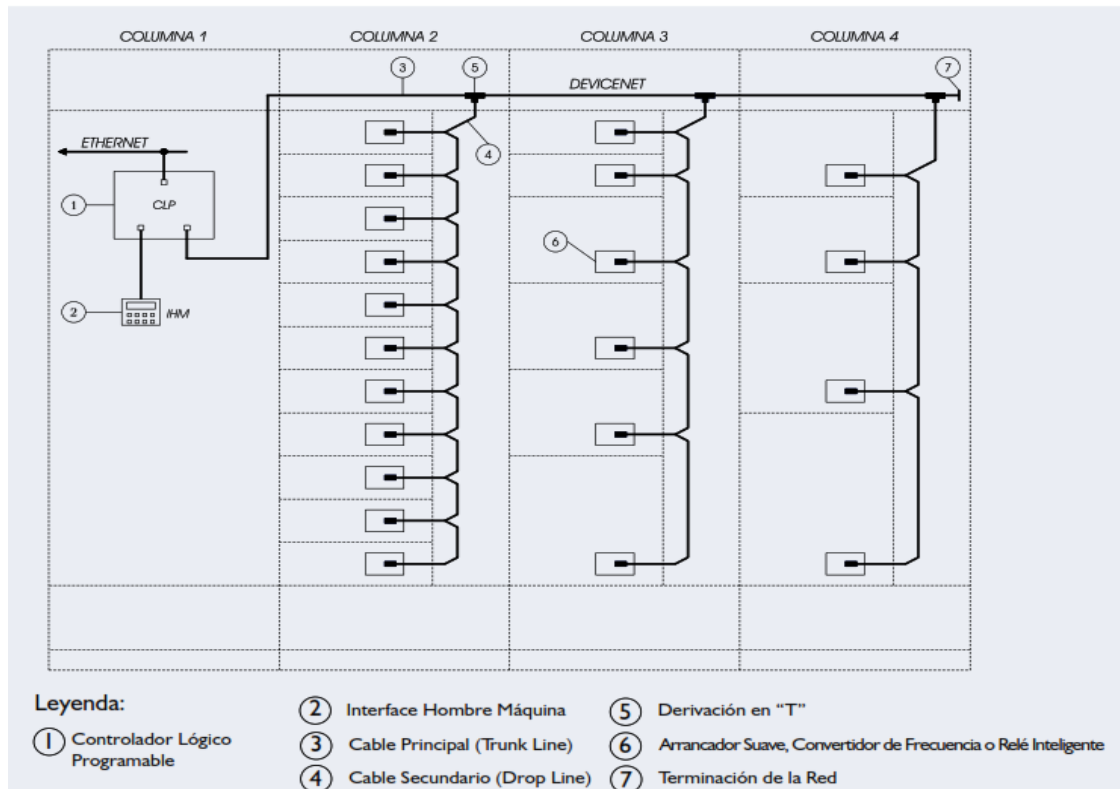


Figura 3.2 Ejemplo de ccm inteligente con red device net [19].

- **Protocolos de comunicación industrial:** Existen varios protocolos de comunicación industriales, como Profibus, DeviceNet o EtherNet/IP, que se utilizan para la interconexión de dispositivos en entornos industriales. Estos protocolos permiten la comunicación entre el CCM y otros dispositivos, como variadores de frecuencia, controladores o sistemas de supervisión y control, según el protocolo específico utilizado.
- **Interfaces de comunicación serial:** Los CCM también pueden tener interfaces de comunicación serial, como RS-232 o RS-485, para la conexión con dispositivos externos. Estas interfaces permiten la transmisión de datos serie y son utilizadas para la comunicación con dispositivos como PC, HMI (interfaces hombre-máquina) u otros sistemas de control.
- **Comunicación inalámbrica:** En algunos casos, los CCM pueden utilizar tecnologías de comunicación inalámbrica, como Wi-Fi o Bluetooth, para establecer conexiones con otros dispositivos o sistemas. Esto puede ser especialmente útil en situaciones en las que la instalación de cables es complicada o costosa.

- Protocolo Modbus:** El protocolo Modbus es un estándar de comunicación ampliamente utilizado en la industria. Permite la comunicación serial o Ethernet entre el CCM y otros dispositivos, como controladores lógicos programables (PLC) o sistemas de supervisión y control. El protocolo Modbus define una estructura de mensajes para el intercambio de datos, lo que facilita la integración de diferentes equipos y sistemas.

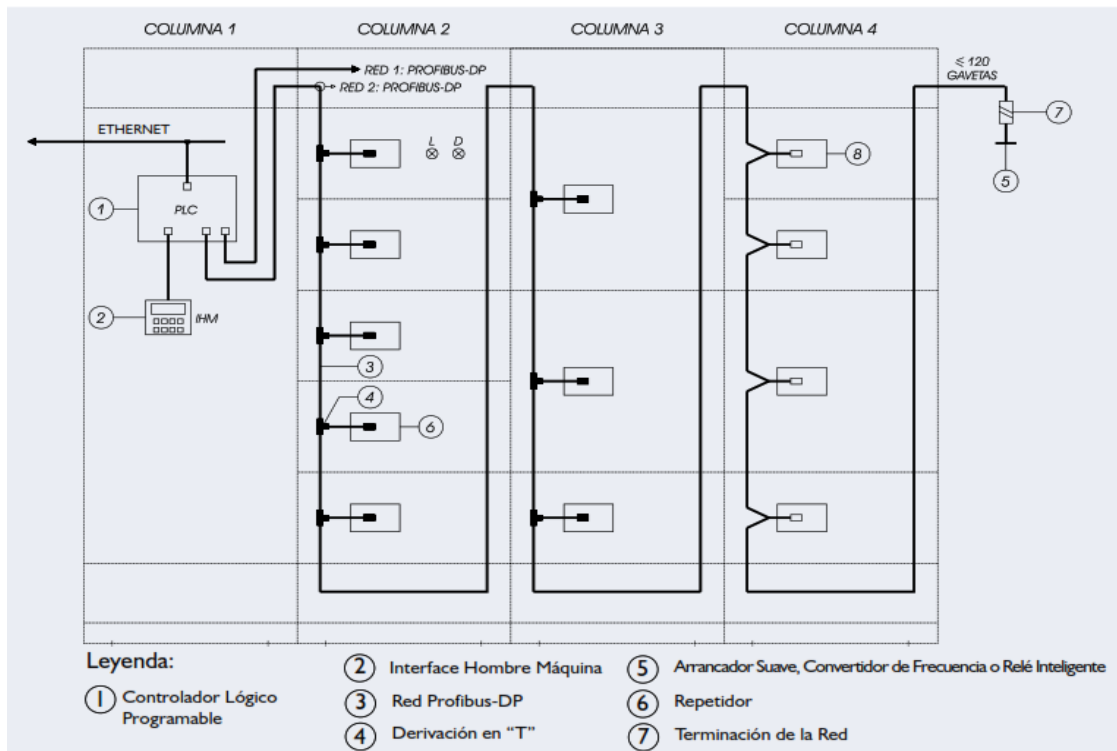


Figura 3.3 Ejemplo de ccm inteligente con red profibus [19].

### 3.1.2. CONTROL DE MOTORES

#### 3.1.2.1. Control de lazo abierto

El control de lazo abierto, al motor simplemente se le da una velocidad o par fijo y funciona a esa velocidad o par hasta que se le indica que haga otra cosa. Este es el tipo de control de motor más simple y económico, pero también es el menos eficiente. Esto se debe a que el motor no tiene retroalimentación que le diga cómo está funcionando, por lo que no puede ajustar su velocidad o par para compensar los cambios en la carga u otros factores.

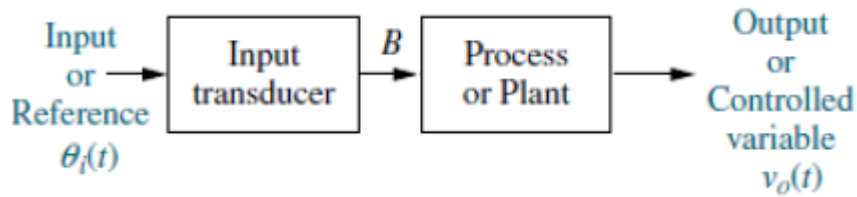


Figura 3.4 Sistema a lazo abierto [30].

### 3.1.2.2. Control de bucle cerrado

El control de bucle cerrado es un tipo de control de motor más sofisticado que utiliza señales de retroalimentación para ajustar la velocidad o el par del motor en tiempo real. Esto se hace usando sensores para medir la velocidad o el par del motor y luego usando un controlador para ajustar la velocidad o el par del motor en consecuencia, es más eficiente que el control de lazo abierto porque puede compensar los cambios en la carga y otros factores.

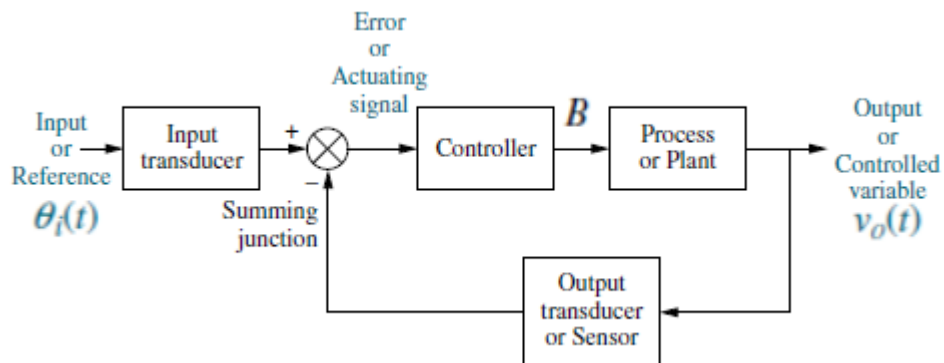


Figura 3.5 Sistema a lazo cerrado [30].

### 3.1.2.3. El control adaptativo

Es una técnica de control de bucle cerrado en la que los parámetros de control del motor se ajustan automáticamente para optimizar su rendimiento. Esto se hace usando un modelo del motor para predecir cómo funcionará bajo diferentes condiciones. Luego, el controlador usa este modelo para ajustar los parámetros de control del motor para garantizar que esté funcionando en su punto más eficiente. El control adaptativo es el tipo de control de motor más eficiente, pero también es el más complejo y costoso.

### 3.1.2.4. La necesidad de sensores precisos y fiables

Los sensores se utilizan para medir la velocidad o el par del motor y otros parámetros. Para que el control del motor sea efectivo, estos sensores deben ser precisos y confiables.

### 3.1.2.5. La necesidad de controladores potentes y eficientes

Los controladores se utilizan para ajustar la velocidad o el par del motor en tiempo real. Para que el control de motores sea efectivo, estos controladores deben ser potentes y eficientes.

### 3.1.2.6. La necesidad de integrar el control de motores con otros sistemas de fabricación

Los sistemas de control de motores deben poder comunicarse con otros sistemas de fabricación, como PLC y HMI. Esto es necesario para que el sistema de control del motor reciba información de otros sistemas y envíe comandos a otros sistemas. A pesar de estos desafíos, los autores del artículo argumentan que el control eficiente del motor es esencial para mejorar la eficiencia del proceso de fabricación. El control eficiente del motor puede conducir a mejoras significativas en la productividad, la calidad y la eficiencia energética [28].

### 3.1.3. ARRANQUE DE MOTOR

El arranque de un motor es el proceso mediante el cual se pone en funcionamiento un motor eléctrico, permitiendo que este adquiera la velocidad y el torque necesarios para realizar su tarea específica. Existen diferentes métodos de arranque, cada uno diseñado para satisfacer las necesidades particulares de cada aplicación. los métodos de arranque más populares son:

- **Arranque directo:** Este método implica conectar directamente el motor a la fuente de alimentación eléctrica, permitiendo que la corriente de arranque fluya sin restricciones. Es el método más simple y económico, pero puede generar picos de corriente y perturbaciones en el sistema eléctrico.

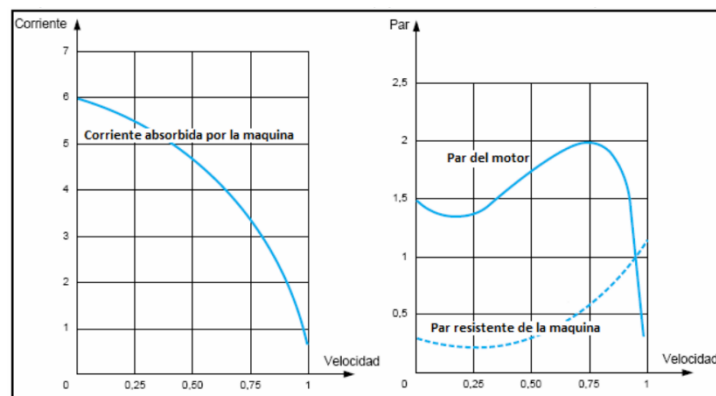


Figura 3.6 Curva par motor vs. velocidad rotórica y par resistente durante el arranque directo de un motor [12].

- **Arranque estrella-triángulo:** En este método, se utiliza un arrancador especial que conecta inicialmente el motor en configuración estrella para limitar la corriente de arranque y reducir el impacto en el sistema eléctrico. Luego, después de un tiempo de arranque establecido, se cambia la conexión a configuración triángulo para que el motor funcione a plena carga.

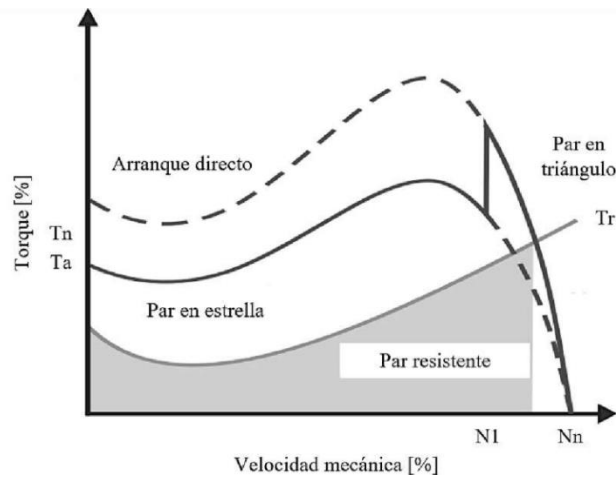


Figura 3.7 Curva par motor vs. velocidad rotórica y el par resistente durante el arranque estrella – triángulo [11].

- **Arranque mediante resistencias en serie:** Este método implica la utilización de resistencias en serie con el motor durante el arranque. Estas resistencias limitan la corriente de arranque y reducen el impacto en el sistema eléctrico. A medida que el motor adquiere velocidad, las resistencias se van desconectando gradualmente.

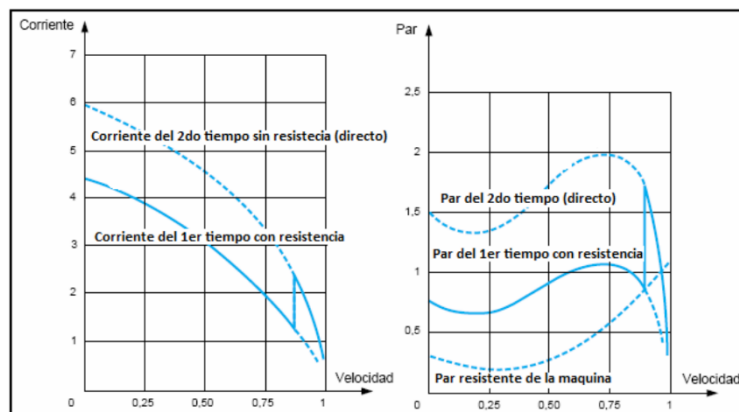


Figura 3.8 Curvas de corriente/velocidad y par/velocidad del arranque por resistencia en el estator [12].

- **Arranque mediante variador de frecuencia:** En este método, se utiliza un variador de frecuencia (VFD) o inversor de frecuencia para controlar la velocidad del motor durante el arranque. El VFD permite arrancar el motor suavemente, controlando la velocidad y el par motor de forma precisa.

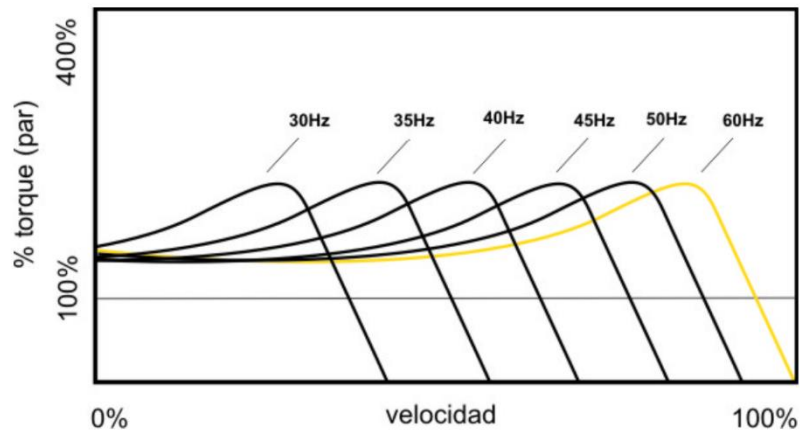


Figura 3.9 Curvas de velocidad y par/ velocidad del arranque por variación de frecuencia [11].

- **Arranque mediante arrancador suave:** Los arrancadores suaves son dispositivos electrónicos diseñados para controlar la tensión y la corriente aplicada al motor durante el arranque, permitiendo un arranque suave y controlado. Esto reduce el impacto mecánico y eléctrico en el motor y el sistema.

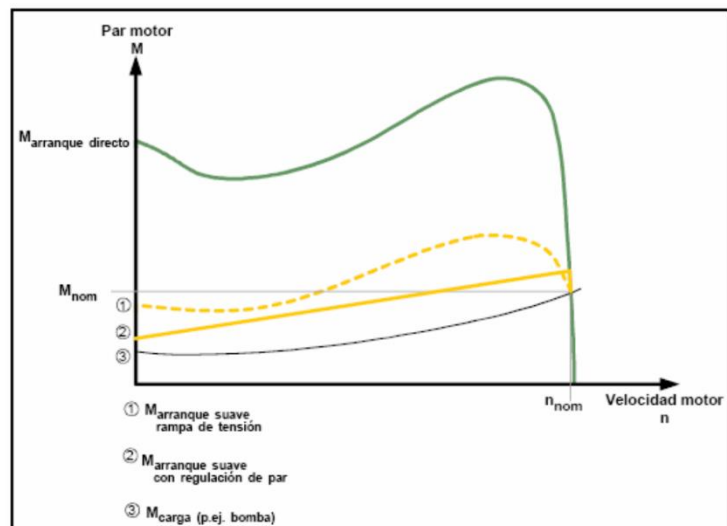


Figura 3.10 Par de arranque reducido, motor asíncrono trifásico con arranque suave SIRIUS 3RW44 [12].



Cada método de arranque tiene sus ventajas y desventajas, y la elección del método adecuado dependerá de factores como la carga del motor, la disponibilidad de energía eléctrica, las características del sistema y las necesidades de control. Es importante considerar estos factores y seguir las recomendaciones del fabricante del motor para asegurar un arranque eficiente y seguro [11].

### 3.1.4. VARIADOR DE VELOCIDAD

Un variador de velocidad es un aparato empleado con el propósito de regular la velocidad de operación de un motor eléctrico, también se le conoce como variador de frecuencia o inversor de frecuencia. Este dispositivo permite ajustar la frecuencia y la tensión suministrada al motor, lo que a su vez afecta la velocidad de rotación del mismo. Son ampliamente utilizado en diversas aplicaciones industriales donde se requiere un control preciso de la velocidad del motor. Algunos ejemplos de sectores donde se emplea son la industria manufacturera, la automatización industrial, la industria del transporte, la agricultura y la energía renovable [13].

El funcionamiento básico de un variador de velocidad consiste en convertir la energía eléctrica de corriente alterna (CA) suministrada por la red eléctrica en una corriente continua (CC) utilizando un rectificador. Luego, la corriente continua se convierte nuevamente en corriente alterna con una frecuencia y tensión ajustables mediante un inversor. Esto permite variar la velocidad del motor de forma controlada y precisa [14].

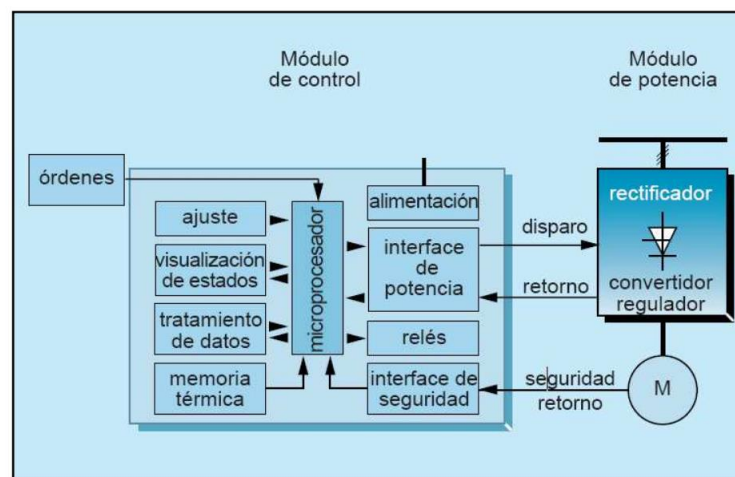


Figura 3.11 Estructura general de un variador de velocidad [14].

El módulo de control en los variadores y arrancadores modernos es controlado por un microprocesador que utiliza las instrucciones y ajustes enviados por un operador o una unidad de tratamiento, así como los resultados de las mediciones de velocidad, corriente, entre otros.

Con base en estos datos, el microprocesador administra el funcionamiento de los componentes de potencia, las rampas de aceleración y desaceleración, el seguimiento de la velocidad, la limitación de corriente y las medidas de protección y seguridad.

Dependiendo del tipo de producto, los ajustes (como la velocidad deseada, las rampas y la limitación de corriente) se pueden realizar mediante potenciómetros, teclados o a través de autómatas o PC mediante una conexión en serie, las instrucciones para operar (inicio, parada, frenado, etc.) pueden ser emitidas a través de interfaces de diálogo hombre/máquina, autómatas programables, PC, entre otros, en muchos casos, es posible configurar los relés para obtener información sobre fallos en la red, problemas térmicos, fallos en el producto, secuencia incorrecta, sobrecargas, entre otros.[15].

### **3.1.5. ARRANCADOR SUAVE.**

Un arrancador suave, también conocido como arrancador gradual o arrancador progresivo, es un dispositivo utilizado para iniciar de forma suave y controlada el funcionamiento de motores eléctricos de corriente alterna (CA). Su objetivo principal es evitar los picos de corriente y las altas demandas iniciales que se producen al arrancar un motor de manera directa, lo cual puede causar daños al motor y generar perturbaciones en el sistema eléctrico. Estos permiten un arranque gradual del motor, aumentando progresivamente la tensión y la frecuencia suministrada al motor durante un período de tiempo determinado. Esto se logra mediante la regulación electrónica de los parámetros eléctricos, utilizando técnicas como la modulación de ancho de pulso (PWM) o la variación de frecuencia.

Los arrancadores suaves se utilizan en una amplia gama de aplicaciones industriales donde se requiere un arranque suave y controlado de motores eléctricos, como compresores, bombas, ventiladores y transportadores. También se utilizan en aplicaciones donde se requiere un control preciso de la velocidad de arranque, como en sistemas de elevación y maquinaria de control de procesos [16].

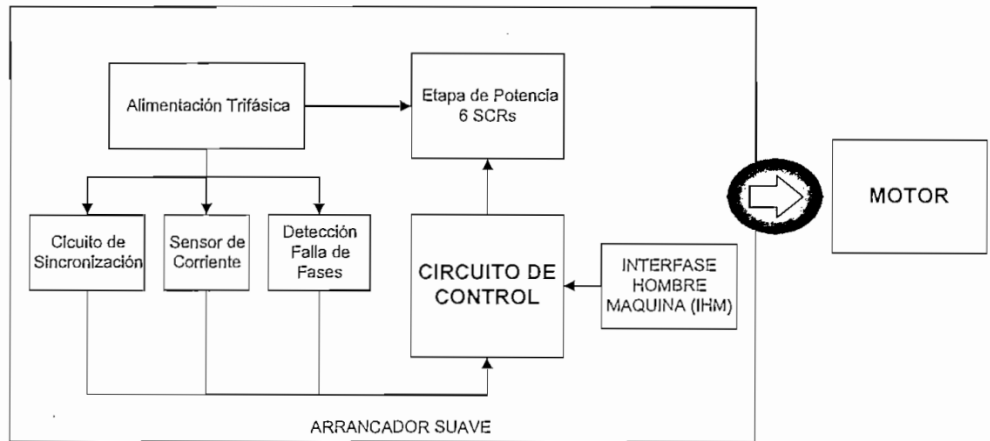


Figura 3.12 Diagrama de bloques de arrancador suave [17].

Como se observa en la Figura 3.12. El arrancador suave consta de tres etapas principales: la etapa de potencia, la etapa de control y la interfaz hombre-máquina (IHM).

### 3.1.5.1. LA ETAPA DE POTENCIA

Esta etapa se compone de un grupo de 6 SCR's (Rectificadores Controlados de Silicio) conectados en paralelo inverso. Esta etapa se encarga de variar el voltaje de alimentación al motor mediante la modulación del ángulo de conducción de los SCR's.

### 3.1.5.2. LA ETAPA DE CONTROL

En esta etapa por su parte, se encuentra en una tarjeta específica y contiene todos los circuitos encargados del comando, monitoreo y protección de los elementos de potencia. Esta tarjeta permite configurar y controlar el arrancador suave.

### 3.1.5.3. INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA.

Para interactuar con el arrancador suave, se utiliza una interfaz hombre-máquina (IHM). Esta IHM, también conocida como panel de control, es la interfaz gráfica que se utiliza para la configuración, puesta en marcha y visualización de errores del arrancador suave. Proporciona al usuario la posibilidad de interactuar de manera intuitiva y facilita el acceso a las diferentes funciones y ajustes del arrancador suave [18].

- **HMI con pantalla táctil**

Los HMI con pantalla táctil son el tipo más común de HMI. Son fáciles de usar y se pueden utilizar para controlar una amplia gama de dispositivos. Las HMI de pantalla táctil se utilizan

normalmente en la fabricación, la atención médica y otras industrias donde los operadores necesitan interactuar con máquinas y procesos de una manera rápida y fácil.

- **HMI de PLC**

Los HMI de PLC se utilizan para controlar controladores lógicos programables (PLC). Los PLC se utilizan para controlar máquinas y procesos industriales. Las HMI de PLC se utilizan normalmente en la fabricación y otras industrias donde los operadores necesitan monitorear y controlar máquinas y procesos en tiempo real.

- **SCADA HMI**

SCADA HMI se utiliza para monitorear y controlar sistemas industriales a gran escala. Los sistemas SCADA se utilizan para controlar cosas como plantas de energía, plantas de tratamiento de agua y plantas de fabricación. Las HMI SCADA suelen ser utilizadas por ingenieros y técnicos que necesitan monitorear y controlar sistemas a gran escala desde una ubicación central [29].

Estos son algunos de los beneficios de usar HMI en sistemas de automatización industrial:

- **Mayor eficiencia:** las HMI pueden ayudar a los operadores a trabajar de manera más eficiente brindándoles controles fáciles de usar e información en tiempo real sobre las máquinas y los procesos que están controlando.
- **Seguridad mejorada:** las HMI pueden ayudar a mejorar la seguridad al proporcionar a los operadores advertencias y alertas sobre posibles peligros.
- **Calidad mejorada:** las HMI pueden ayudar a mejorar la calidad al proporcionar a los operadores la capacidad de monitorear y controlar los procesos más de cerca.

### **3.1.6. ARRANQUE DIRECTO.**

El arranque directo es un método de arranque utilizado en motores eléctricos de corriente alterna (CA) que consiste en conectar directamente el motor a la fuente de alimentación eléctrica sin la utilización de dispositivos de control adicionales. En este tipo de arranque, la corriente de arranque es alta y puede generar picos de corriente que pueden afectar tanto al motor como al sistema eléctrico en general. Cuando se aplica la tensión de alimentación al motor, se produce un flujo de corriente inicial muy alto, lo que puede provocar un impacto mecánico en el motor y una sobrecarga en el sistema eléctrico. Esta corriente de arranque puede ser varias veces

mayor que la corriente nominal del motor, lo que puede generar problemas como caídas de voltaje en la red eléctrica, disparo de protecciones y un desgaste acelerado del motor.

El arranque directo se utiliza principalmente en aplicaciones donde la carga del motor es baja, la red eléctrica tiene capacidad suficiente para soportar la corriente de arranque y no se requiere un control preciso de la velocidad o el par motor durante el arranque. Algunos ejemplos de aplicaciones comunes incluyen motores pequeños, bombas de agua y ventiladores.

### 3.1.7. MOTORES.

El motor eléctrico es un dispositivo electromecánico que convierte la energía eléctrica en movimiento mecánico. Utiliza la interacción entre un campo magnético generado por corrientes eléctricas y componentes magnéticos para producir fuerza y movimiento rotativo. El motor eléctrico es ampliamente utilizado en una variedad de aplicaciones, desde electrodomésticos hasta maquinaria industrial y sistemas de transporte. Este dispositivo desempeña un papel fundamental en la automatización y el funcionamiento eficiente de numerosos sistemas [9].

#### 3.1.7.1. MOTORES MONOFÁSICOS

Los motores monofásicos operan con una sola fase y se clasifican en tres como se aprecia en la figura 3.13. estos son ampliamente utilizados en aplicaciones domésticas y pequeñas industrias, estos motores se caracterizan por su simplicidad de construcción y menor coste en comparación con los motores trifásicos, su funcionamiento se basa en la interacción entre un campo magnético y una corriente eléctrica monofásica que fluye por el devanado del motor. Sin embargo, los motores monofásicos presentan desafíos en términos de eficiencia energética y rendimiento, esto se debe a la asimetría de la corriente monofásica, lo que genera par de arranque reducido y un menor rendimiento en comparación con los motores trifásicos.

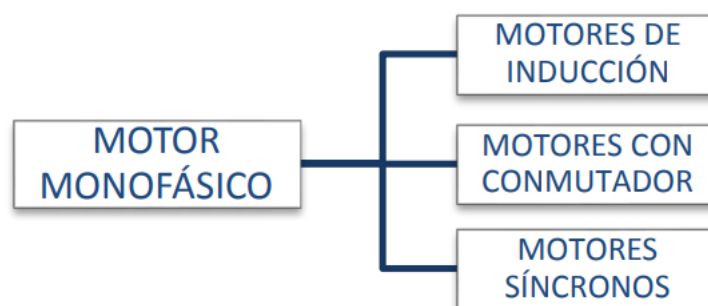


Figura 3.13 Clasificación de motores monofásicos [20].

- **Motor monofásico de inducción:** Los motores monofásicos de inducción o asíncrono, denominados inducción se caracterizan por no tener conexión física, entre la parte estática (estator) y la parte giratoria (rotor), pero si magnética y asíncrono porque la velocidad del rotor es menor que la velocidad del campo magnético del estator. En la figura 3.14. se puede apreciar la clasificación de este tipo de motor.

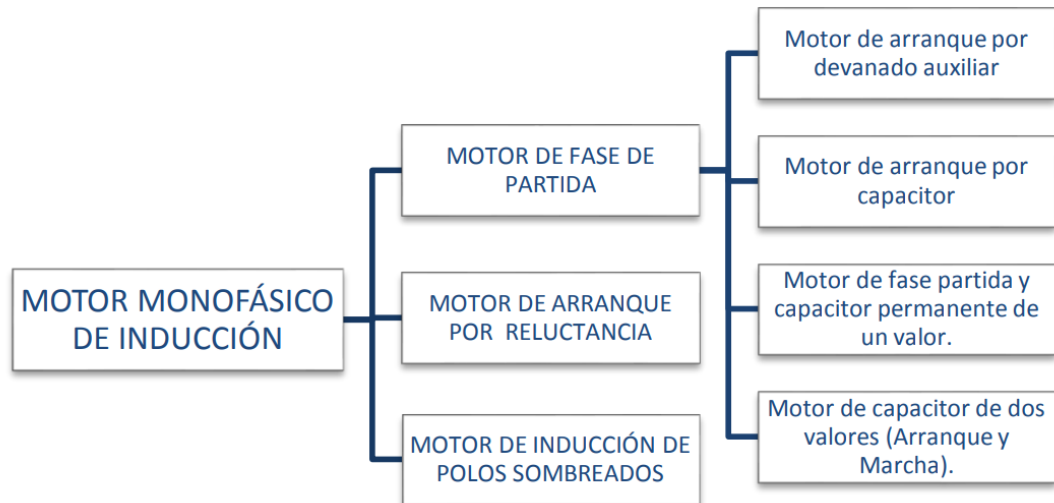


Figura 3.14 clasificación de motores de inducción [20].

- **Motor monofásico de conmutación:** Los motores monofásicos con conmutador se caracterizan por poseer un rotor bobinado equipado con un colector y escobillas, lo cual los distingue de otros tipos de motores. Su funcionamiento se puede clasificar en dos categorías principales. En primer lugar, encontramos aquellos que operan según el principio de repulsión, conocidos como motores de repulsión. En este tipo de motores, la energía se transfiere inductivamente desde el devanado de excitación estático hacia el rotor. Por otro lado, existen los motores que funcionan según el principio del motor serie. En este caso, la energía se transporta tanto al inducido rotorico como a la excitación estática monofásica conectada en serie, a través de conducción. En la figura 3.15., se puede apreciar la clasificación de este tipo de motor.

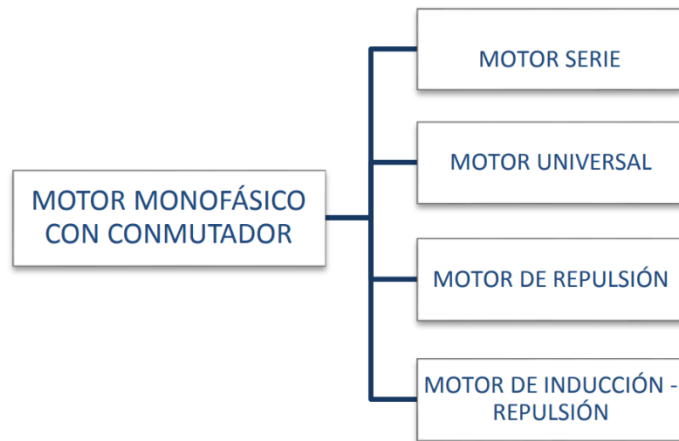


Figura 3.15 Clasificación de motores de conmutación [20].

- **Motor monofásico síncrono:** Los motores monofásicos síncronos se emplean en aplicaciones específicas en las que se necesita que la velocidad de rotación coincida con la del campo magnético. A diferencia de los motores de inducción, estos motores presentan una configuración distinta en el rotor, aunque utilizan los mismos diseños para el estator. En la figura 3.16., se puede apreciar la clasificación de este tipo de motor.



Figura 3.16 Clasificación de motores monofásico síncrono [20].

### 3.1.7.2. MOTORES TRIFÁSICOS

Los motores trifásicos son dispositivos electromecánicos de gran relevancia en el ámbito industrial debido a su eficiencia y capacidad para generar altos niveles de potencia. Estos motores se caracterizan por utilizar un sistema de alimentación trifásico, donde se suministran tres corrientes alternas, desfasadas en 120 grados eléctricos entre sí. Esta configuración trifásica permite un funcionamiento suave y continuo, ya que las corrientes combinadas generan un campo magnético giratorio en el estator, que interactúa con el rotor para generar el movimiento.

La construcción de un motor trifásico consta de tres partes principales: el estator, el rotor y el sistema de control. El estator, compuesto por un conjunto de bobinas y núcleos magnéticos, es responsable de crear el campo magnético giratorio. Por su parte, el rotor puede ser de diferentes tipos, como el rotor de jaula de ardilla o el rotor bobinado, y está diseñado para responder al campo magnético giratorio y producir el movimiento mecánico. El sistema de control, por otro lado, se encarga de gestionar y regular las corrientes suministradas al motor, asegurando un funcionamiento óptimo y controlado.

La versatilidad de los motores trifásicos es destacable, ya que pueden adaptarse a diferentes aplicaciones y condiciones de carga. Además, ofrecen un alto nivel de fiabilidad y durabilidad, lo que los convierte en una opción preferida en entornos industriales exigentes. Estos motores son capaces de soportar cargas pesadas y tienen un amplio rango de velocidades, lo que permite su utilización en una amplia variedad de sectores, desde la industria manufacturera y la construcción hasta la generación de energía y la automatización industrial [21].

### **3.1.8. CONTROLADOR PROGRAMABLE LOGO 8**

El controlador LOGO 8, desarrollado por Siemens, es un dispositivo de automatización programable que ofrece soluciones compactas y versátiles para aplicaciones de control y monitoreo de procesos en entornos industriales y residenciales. Con una interfaz intuitiva compuesta por pantalla integrada y teclado, el LOGO 8 facilita la programación y configuración del sistema. Además, cuenta con diversas entradas y salidas digitales y analógicas para la conexión y control de dispositivos externos. Su lenguaje de programación gráfico basado en bloques funcionales permite el desarrollo eficiente de lógicas de control, incluso para usuarios sin experiencia en programación, además el controlador LOGO 8 ofrece funciones avanzadas como temporizadores, contadores y comparadores, así como capacidades de comunicación en red para la integración con otros sistemas y el monitoreo remoto. Su diseño compacto, facilidad de uso y funcionalidad versátil lo convierten en una opción atractiva para la automatización en diferentes sectores [22].





Figura 3.17 logo 8 [22].

¡El controlador LOGO! 8 de Siemens es una opción adecuada para ser utilizado en un centro de control de motores debido a sus características y funcionalidades versátiles, puede ser programado para monitorear y controlar motores eléctricos, proporcionando un control preciso y confiable sobre su funcionamiento, en un centro de control de motores, el equipo puede configurar para recibir señales de entrada de diferentes sensores, como sensores de temperatura, presión o nivel, y utilizar esa información para tomar decisiones y activar acciones en los motores, puede ser programado para controlar diferentes parámetros de los motores, como la velocidad, el sentido de giro o la activación de sistemas de protección, también ofrece la capacidad de configurar alarmas y sistemas de seguridad para proteger los motores de condiciones anormales o peligrosas. Puede supervisar constantemente los motores y detectar fallos, sobrecargas o altas temperaturas, activando medidas preventivas o de apagado automático para evitar daños o accidentes [23].

### 3.1.9. ELEMENTOS DE MANIOBRA

Los elementos de maniobra desempeñan un papel fundamental en el control, operación y protección de los sistemas de energía. Estos componentes, que incluyen interruptores, seccionadores, contactores y relés, son elementos clave para garantizar la seguridad, la confiabilidad y el rendimiento de los equipos industriales, el diseño, selección y funcionamiento adecuados de los elementos de maniobra son aspectos críticos en la ingeniería, su comprensión en profundidad es esencial para el desarrollo de sistemas eléctricos eficientes y confiables. Además, los avances tecnológicos y las demandas crecientes en términos de eficiencia energética, gestión de la energía y seguridad eléctrica, hacen que la investigación en este campo sea de vital importancia [24].

### 3.1.9.1. INTERRUPTORES

Los interruptores son dispositivos electromecánicos utilizados en sistemas eléctricos para interrumpir o restablecer el flujo de corriente eléctrica, estos componentes desempeñan un papel fundamental en la protección y control de circuitos, permitiendo la apertura y cierre de circuitos eléctricos de manera segura y confiable.

- **Funcionamiento electromecánico:** Los interruptores utilizan principios electromagnéticos para su operación. Al aplicar una corriente eléctrica en la bobina del interruptor, se genera un campo magnético que actúa sobre los contactos, permitiendo su apertura o cierre.
- **Capacidad de interrupción:** Los interruptores están diseñados para soportar y controlar corrientes eléctricas de diferentes magnitudes. La capacidad de interrupción se refiere a la corriente máxima que el interruptor puede manejar sin sufrir daños.
- **Tipos de interruptores:** Existen diversos tipos de interruptores, como interruptores automáticos (como los interruptores termomagnéticos), interruptores de cuchilla, interruptores diferenciales e interruptores de tierra, entre otros. Cada tipo de interruptor tiene características específicas y aplicaciones particulares.
- **Mecanismos de operación:** Los interruptores pueden ser accionados manualmente o de forma automática. Los interruptores manuales se operan mediante palancas o botones, mientras que los interruptores automáticos se activan en respuesta a condiciones específicas, como sobrecargas eléctricas o cortocircuitos.
- **Protección y seguridad:** Los interruptores desempeñan un papel crucial en la protección de los circuitos eléctricos y los equipos conectados a ellos. Al detectar condiciones anormales, como corrientes excesivas, cortocircuitos o fugas de corriente, los interruptores se abren automáticamente para evitar daños y riesgos de seguridad.
- **Durabilidad y confiabilidad:** Los interruptores deben ser diseñados y construidos para soportar condiciones adversas, como altas corrientes, vibraciones y fluctuaciones de voltaje. Además, deben tener una vida útil prolongada y garantizar un funcionamiento confiable a lo largo del tiempo [25].

### 3.1.9.2. CONTACTORES

Los contactores son dispositivos electromecánicos utilizados en sistemas eléctricos para controlar y conmutar la corriente eléctrica de manera segura y confiable. Estos componentes desempeñan un papel fundamental en la automatización de sistemas y el control de motores eléctricos.

- **Diseño electromecánico:** Los contactores están diseñados con una combinación de elementos electromagnéticos y mecánicos. Utilizan una bobina de control para generar un campo magnético que atrae o libera los contactos eléctricos, permitiendo el paso o bloqueo de la corriente eléctrica.
- **Capacidad de conmutación:** Los contactores están diseñados para manejar altas corrientes y voltajes. Tienen una capacidad de conmutación que define el límite máximo de corriente y voltaje que pueden soportar y controlar de manera segura.
- **Contactos principales y auxiliares:** Los contactores suelen tener contactos principales que se utilizan para la conmutación de la corriente principal del circuito, así como contactos auxiliares que se utilizan para señalización, control y monitoreo de circuitos secundarios.
- **Mecanismos de operación:** Los contactores pueden ser accionados manualmente o de forma automática. Los contactores manuales se operan mediante palancas o botones, mientras que los contactores automáticos se activan en respuesta a señales de control, como pulsos eléctricos o señales provenientes de sistemas de control.
- **Protección y seguridad:** Los contactores están diseñados con sistemas de protección integrados para garantizar la seguridad y la fiabilidad de los circuitos eléctricos. Pueden incluir dispositivos de protección térmica y magnética para detectar y prevenir sobrecargas, cortocircuitos y fallas en el sistema.
- **Durabilidad y confiabilidad:** Los contactores deben ser robustos y confiables, capaces de soportar condiciones adversas como altas corrientes, fluctuaciones de voltaje y vibraciones. Además, deben tener una vida útil prolongada y garantizar un funcionamiento confiable en diversas aplicaciones industriales [26].

### 3.1.9.3. RELÉS

Los relés son dispositivos electromagnéticos utilizados en sistemas eléctricos para controlar la conmutación de corriente en respuesta a señales eléctricas. Actúan como interruptores controlados por corriente o voltaje, permitiendo el flujo de corriente o interrumpiéndolo en función de las condiciones predefinidas.

- Principio de funcionamiento electromagnético: Los relés utilizan una bobina electromagnética que, al ser energizada, crea un campo magnético que atrae un contacto móvil. Este movimiento del contacto permite establecer o interrumpir la conexión eléctrica en el circuito controlado.
- Tipos de relés: Existen diferentes tipos de relés, incluyendo relés electromagnéticos, relés de estado sólido y relés térmicos. Cada tipo tiene características específicas y se utiliza en aplicaciones particulares.
- Capacidad de conmutación: Los relés están diseñados para soportar corrientes y voltajes específicos. La capacidad de conmutación de un relé se refiere a la corriente máxima que puede controlar de manera segura y confiable.
- Contactos normalmente abiertos y normalmente cerrados: Los relés suelen tener contactos que pueden estar normalmente abiertos (NA) o normalmente cerrados (NC). En reposo, los contactos NA no tienen conexión eléctrica, mientras que los contactos NC sí están conectados. Cuando el relé se activa, los contactos se mueven para invertir su estado.
- Aplicaciones de control y protección: Los relés se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones para el control y la protección de sistemas eléctricos. Pueden ser utilizados para controlar motores, regular el flujo de corriente, activar alarmas, proteger circuitos contra sobrecargas o cortocircuitos, entre otras funciones.
- Sensibilidad y tiempo de respuesta: Los relés pueden ser sensibles a señales eléctricas de diferentes niveles, lo que permite su activación con corrientes o voltajes bajos. Además, tienen tiempos de respuesta rápidos, lo que los hace ideales para aplicaciones donde se requiere una conmutación rápida y precisa [27].

## **4. MATERIALES Y METODOS**

### **MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN**

#### **4.1.1. Método Analítico**

Dado que la investigación se centra en la implementación de un centro de control de motores, es crucial definir claramente la función de cada elemento que forma parte de este sistema. Para lograrlo, se emplea el método analítico.

Al aplicar el método analítico al sistema de control, es posible descomponerlo en etapas individuales que permiten su funcionamiento. Esta descomposición nos permite identificar de manera precisa las problemáticas presentes y establecer las interrelaciones correspondientes entre las diferentes etapas. Como resultado, obtenemos un desglose detallado de las partes y etapas que conforman el sistema de control de motores, lo cual facilita una comprensión más profunda de su funcionamiento.

Al entender las funciones y las interconexiones de las diversas etapas del sistema de control, se sientan las bases para una implementación más eficiente y efectiva. Con este enfoque analítico, se pueden abordar de manera individual los desafíos específicos asociados a cada etapa, lo que permite eficiencia en su rendimiento y minimizar posibles problemas. Además, el análisis detallado de cada componente también permite una mejor planificación de las tareas y recursos necesarios para la implementación exitosa del centro de control de motores.

#### **4.1.2. Método inductivo**

Este método se utiliza para identificar evidencias y recopilar datos en la línea de producción de papel higiénico a través de un análisis detallado. El registro de estos datos será un paso fundamental en este proyecto, ya que permitirá formular teorías e hipótesis.






El método inductivo se basa en la observación y recopilación de datos específicos en el contexto de la línea de producción de papel higiénico. Mediante la recopilación de información y la identificación de patrones y regularidades, se pueden extraer conclusiones generales y formular teorías que expliquen el funcionamiento del proceso, en este caso, el método inductivo será utilizado para analizar diferentes aspectos de la línea de producción de papel higiénico, como la velocidad de producción, la calidad del producto, los tiempos de procesamiento, entre otros. Se recopilarán datos detallados y se registrarán de manera sistemática para su posterior análisis.






## 4.2 MATERIALES

En la tabla 4.3 se presentan detalladamente las herramientas utilizadas tanto para el diseño como para la construcción y evaluación del sistema de control en el centro de motores. Estos softwares son indispensables para el desarrollo del proyecto, mientras que los equipos permiten una evaluación más completa del sistema. Cada una de estas herramientas desempeña un papel fundamental en el trabajo, con el objetivo primordial de lograr un sistema eficiente y de alta calidad.

Tabla 4.3 Lista de materiales

Herramienta	Imagen	Descripción
LOGO!Soft Comfort V8.3		Con esta herramienta se generó la el programa lógico de control que se carga al dispositivo programable.
CADe_SIMU V4.2	 <b>CADe SIMU</b>	Esta herramienta se utilizó para la creación de planos o diagramas de conexión de los equipos eléctricos.
Factory IO		Esta herramienta se utilizó para medir tiempos de operación de las bandas transportadoras.
Computadora		Es una máquina diseñada para el almacenamiento y procesamiento de información, mediante programas para efectuar cálculos y operaciones lógicas, además permite la búsqueda de información web.

<p>Paquete Office</p>		<p>Sirve para la creación de informes, cálculos y formatos;</p>
<p>AutoCAD</p>		<p>Se utilizó este software de diseño para la elaboración del plano que identifica la posición de las maquinas.</p>
<p>Motores</p>		<p>Este equipo sirve para convertir energía eléctrica en energía mecánica, lo que le permite generar movimiento y realizar tareas específicas</p>
<p>Logo 8</p>		<p>Este equipo se utilizó como controlador de los equipos de maniobra.</p>
<p>Maniobra</p>		<p>Estos instrumentos se utilizaron para para la parte accionamientos y control de potencia en el área de motores.</p>

<p>Brekers</p>		<p>Estos instrumentos se utilizaron para la protección contra sobre corrientes en los quipos del sistema.</p>
<p>Guarda motores</p>		<p>Estos instrumentos se utilizan para supervisar la corriente y la potencia de los motores eléctricos, asegurando un funcionamiento seguro y eficiente.</p>
<p>Variador de frecuencia</p>		<p>Estos instrumentos se utilizaron para controlar la velocidad y la potencia de motores eléctricos.</p>
<p>Dispositivos de medición</p>		<p>Estos instrumentos se utilizaron para obtener medidas como de corrientes y tensiones en los arranques y operación de motores.</p>
<p>Modem</p>		<p>Este instrumento se utilizó para la comunicación entre equipos lógicos programables (Logo 8).</p>
<p>Luz piloto</p>		<p>Estos dispositivos utilizados para señalar el estado de funcionamiento de diferentes equipos y sistemas</p>



Analizador de redes		Esta herramienta es utilizada para medir la energía utilizada en los procesos.
---------------------	---	--

## 5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Para poder sustentar el proyecto de investigación planteado se dio cumplimiento a los objetivos propuestos, realizando lo siguiente:

**DISEÑAR UN SISTEMA DE CONTROL CON TÉCNICAS AVANZADAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA, CON EL PROPÓSITO DE REDUCIR COSTOS OPERATIVOS Y MEJORAR EL PROCESO DE FABRICACIÓN.**

### 5.1.1. Identificación de un proceso de fabricación.

El presente estudio investigativo se realizó de un caso relacionado con las actividades del proceso de bobinado cortado y empacado de rollos de papel higiénico jumbo. El proceso de producción es la elaboración de rollos de papel higiénico de 10 cm de ancho, un diámetro de 21 cm y 200 m de largo contando con un peso de 400 gr, en la tabla 5.4 se muestra las áreas que se encuentran involucradas en dicho proceso.

Tabla 5.1 Áreas involucradas en el proceso.

<b>AREAS Y SUBAREAS</b>
<b>ÁREA DE MATERIA PRIMA</b>
<b>SUBÁREA DE IMPRESION DE RELIEVE</b>
<b>SUBÁREA DE CORTE</b>
<b>SUBÁREA DE ETIQUETADO SELLADO Y EMPAQUE</b>
<b>SUBÁREA DE ALMACENAMIENTO</b>

### 5.1.2. Diagrama del recorrido del proceso de fabricación de papel higiénico

En la figura 5.18 se muestra el plano con el diagrama de recorrido utilizado en la fabricación del papel higiénico.

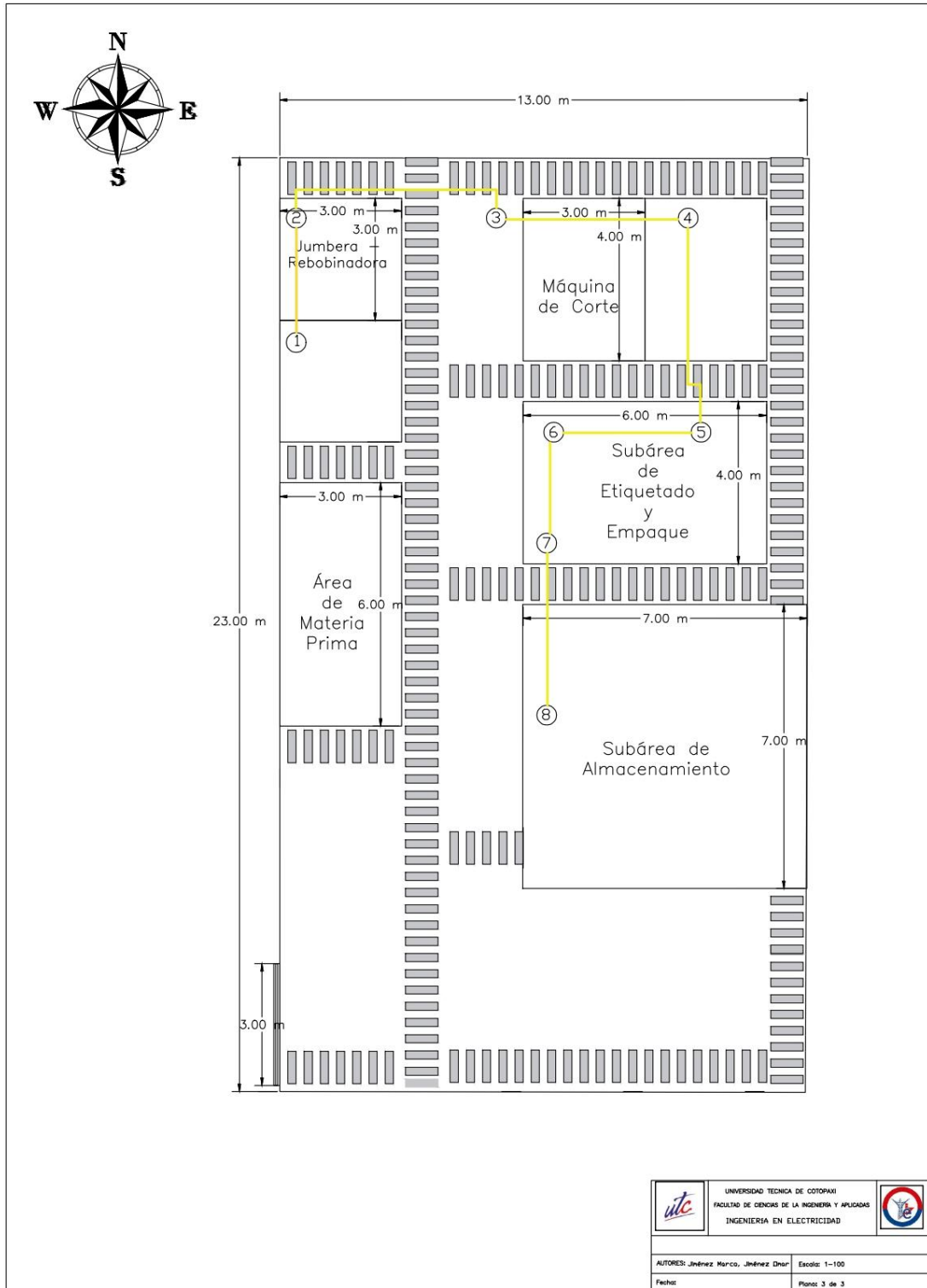


Figura 5.18 Plano del área de producción

En la tabla 5.5 se proporciona una descripción exhaustiva de las tareas realizadas por las máquinas en cada una de las subáreas. Esta información resulta fundamental para comprender de forma clara las responsabilidades y actividades específicas que se lleva a cabo cada una de las máquinas en cada subárea.

Tabla 5.2 Subáreas

SUBÁREAS	DESCRIPCIÓN
<p style="text-align: center;">SUBÁREA DE IMPRESIÓN DE RELIEVE</p>	<p>En esta área se encuentra la máquina jumbera rebobinadora, que desempeña dos funciones principales: el bobinado del papel higiénico y la impresión de relieve. El bobinado consiste en enrollar el papel mediante el uso de un motor trifásico de forma ordenada y controlada, creando rollos de papel higiénico, por otro lado, la máquina también realiza la impresión de relieve en el papel. Esta técnica aplica una presión controlada mediante un motor trifásico, permitiendo ajustar la velocidad según las necesidades del operario. A través de este proceso, se generan marcas o relieves en el papel, proporcionando una estética particular al producto final.</p>
<p style="text-align: center;">SUBÁREA DE CORTE</p>	<p>En esta área se encuentra la máquina de corte, la cual está compuesta por tres motores, cada uno con una tarea específica. Estos motores se encargan de controlar la sierra, la banda de transporte y la posición de corte, con el objetivo de realizar los cortes individuales en el rollo de papel higiénico obtenido previamente en el área de impresión de relieve. El rollo tiene un diámetro de 21 cm y una altura de 2,20 m. Para obtener los rollos individuales, se realizan cortes cada 10 cm.</p>

<p style="text-align: center;">SUBÁREA DE ETIQUETADO Y EMPAQUE</p>	<p>En esta área se encuentra una banda de sellado por unidad, compuesta por un motor y un horno. El objetivo de esta banda es el sellado de cada rollo de papel higiénico de forma parcial y completa, el proceso comienza con la etiquetación manual de cada rollo. Luego, los rollos son transportados por la banda transportadora hacia la zona de sellado. El motor de la banda asegura un movimiento constante y controlado de los rollos durante este proceso.</p>
<p style="text-align: center;">SUBÁREA DE ALMACENAMIENTO</p>	<p>En esta área, todos los rollos que han sido sellados son apilados para su posterior empaquetado. Utilizando una banda similar a la presente en la subárea de etiquetado y empaque, los rollos se agrupan en paquetes de unidades específicas. Estos paquetes son transportados y sellados nuevamente mediante el uso del horno</p>

### **5.1.3. Identificación de tiempos estándar que lleva la producción de 22 rollos de papel sin un centro de control de motores.**

La tabla 5.6 se detalla los tiempos estándar para cada etapa del proceso de fabricación de las pacas de papel, expresados en segundos. Estos tiempos representan el tiempo promedio necesario para llevar a cabo cada tarea cumpliendo con los estándares establecidos, asimismo se incluye el tiempo total estimado para fabricar una paca completa de papel, que consta de 22 rollos de papel higiénico. Este tiempo total se presenta en minutos, lo que brinda una visión más comprensible de la duración completa del proceso.

Tabla 5.3 Procesos para la fabricación de papel higiénico.

N°	ACTIVIDADES	TIEMPO ESTANDAR SIN CENTRO DE CONTROL, S
1	Enrollado del papel con paro automático de la máquina al alcanzar un diámetro de 21 cm máquina.	84.00
2	Transporte del tubo enrollado a la máquina de corte	222.88
3	Cortes en fragmentos de 10cm,	102.11
4	Inspección y peso de una muestra de los rollos de papel.	100.00
5	Transporte de los rollos a la sección de etiquetado.	34.56
6	Etiquetado con la marca e información del producto y ubicación en la banda transportadora para enfundado y sellado en horno, por paca	154.11
7	Enfundado y sellado de horno, 12s por unidad	264.00
8	Apilado en grupos de 22 rollos de papel.	44.22
9	Enfundado de las 22 unidades y ubicado en la selladora.	124.44
10	Proceso de sellado	7.00
11	Retiro de la selladora y almacenado montando sobre una mesa	5.33
<b>TIEMPO TOTAL</b>		<b>1142.65 (19.04 min)</b>

Por otra parte, en la tabla 5.7 se presenta de igual manera el tiempo de cada proceso que se lleva a cabo para el almacenado de las pacas de 22 rollos y su tiempo total de la actividad en minutos.

Tabla 5.4 Etapas del proceso de almacenado

N°	ACTIVIDADES	TIEMPO ESTANDAR SIN CONTROL (S)
1	Apilado de 6 pacas en a la carretilla de carga	61.33
2	Transporte a bodega.	32.22
3	Apilado de paca en bodega.	179.44
<b>TIEMPO TOTAL</b>		<b>267.99 (4.55 min)</b>

## Cálculo de la eficiencia

Para el cálculo de la eficiencia se tomará en cuenta la cantidad total de pacas de 22 unidades de papel higiénico que se puedan producir y almacenar en un día laboral de 8 horas:

Sabiendo que solo se almacenara una vez que el carrito de transporte se encuentre con seis pacas de 22 rollos se estima el tiempo que llevara la fabricación de los mismos.

Tabla 5.5 Tiempo de fabricación para almacenamiento.

Tiempo total en una paca (min).	Cantidad de pacas para almacenar.	Tiempo total de fabricación (min).
19.04	6	114.2658

En la tala 5.9 se ha considerado los datos previamente obtenidos sobre el tiempo necesario para fabricar 6 pacas de 22 unidades de papel higiénico, así como el tiempo requerido para el almacenamiento de las mismas, calcularemos cuántas pacas se pueden producir en un día completo de trabajo. En este análisis, asumiremos una jornada laboral de 8 horas sin paros ni descansos. Tomando en cuenta los tiempos estimados para fabricar cada paca y el tiempo de almacenamiento, podemos determinar la cantidad total de pacas que podrían ser producidas en un día de trabajo continuo al sumar los tiempos de fabricación de 6 pacas con el tiempo de almacenamiento.

Tabla 5.6 Tiempo total que lleva un proceso de 6 pacas.

Tiempo total de fabricación 6 pacas (min).	Tiempo total de almacenamiento 6 pacas (min).	Tiempo total del proceso (min).
114.2658	4.55	118.8158

por otra parte, en el tabal 5.10, las 8 horas laborales se dividen para el dato del tiempo total del proceso, este convertido en horas, posteriormente se debe multiplicarlo por 6, de tal manera que se obtenga el número de pacas diarias que se producen.

Tabla 5.7 Pacas totales producidas.

Tiempo total del proceso (min).	Tiempo total del proceso (h).	Total, de pacas.
118.8158	1.9803	24

Es decir, en un día laboral completo se producen 24 pacas que es equivalente a 528 rollos de papel higiénico, sin embargo, debido a que la capacidad de producción instalada es mucho mayor ya que una máquina rebobinadora jumbara la cual es principal en el proceso puede trabajar sin descanso realizando hasta 338 rebobinados en 8 horas, y en una fábrica con un número de trabajadores balanceado para cada parte del proceso el cual consta con una cantidad mayor de máquinas secundarias las cuales influyen en el proceso, llegan fabricar entre 652 y 714 unidades de papel higiénico, Para una mayor amplitud en nuestras proyecciones, hemos seleccionado 714 como nuestra estimación de producción diaria, entonces remplazamos y tenemos:

$$\% \textit{Eficiencia} = \frac{528}{714} * 100$$

**Resolviendo obtenemos:**

Tabla 5.8 Eficiencia actual de producción.

Eficiencia	73.95%
------------	--------

**Interpretación:**

Al realizar el cálculo de la eficiencia de producción diaria, se obtuvo un 73.95% es decir que no supera el 80% que es lo óptimo para generar confianza en una empresa.

**5.1.4. Flujograma de operación y control de los diferentes motores involucrados en el proceso de fabricación.**

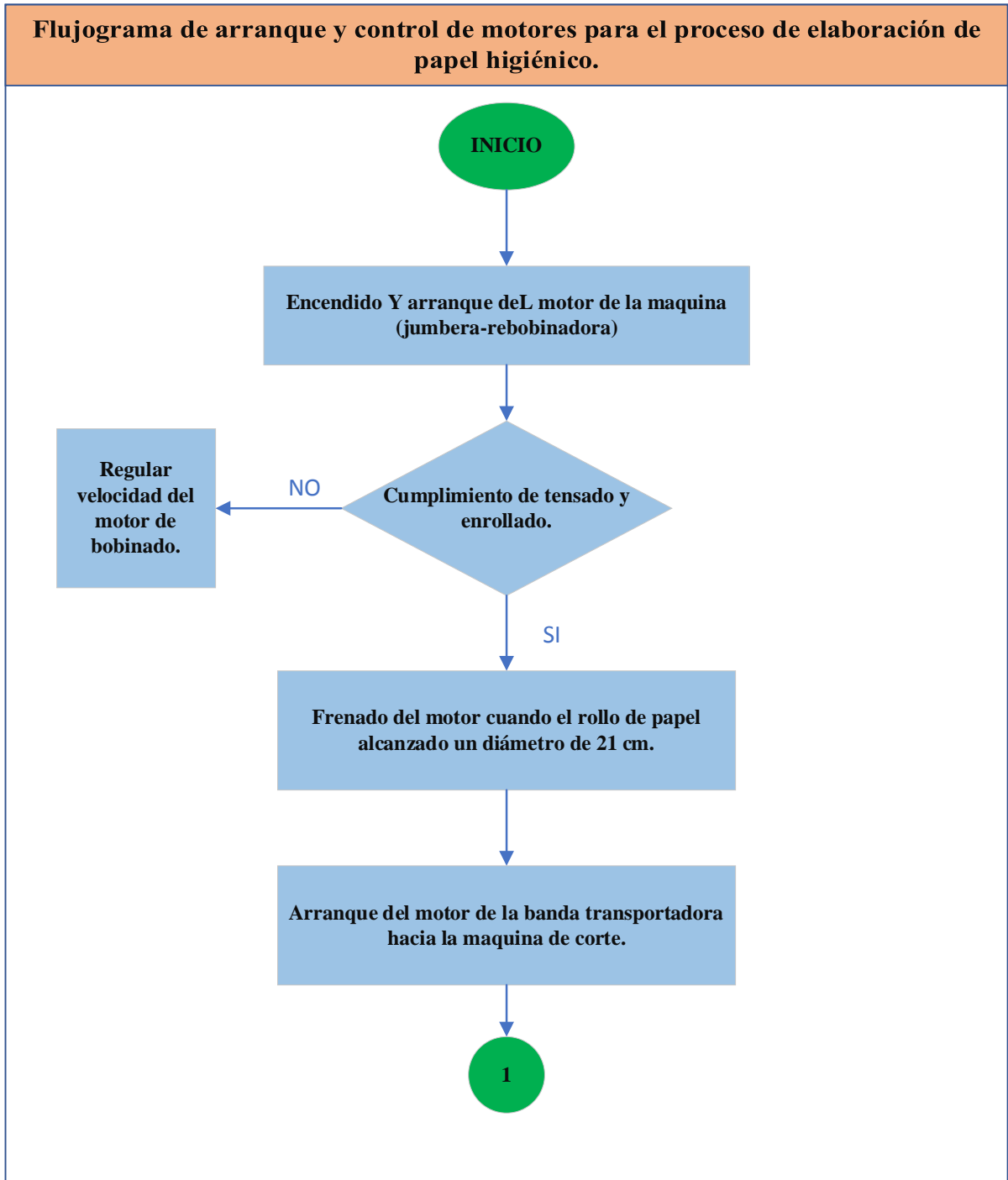


Figura 5.1 Flujograma de arranque y control de motores para el proceso de elaboración de papel higiénico.



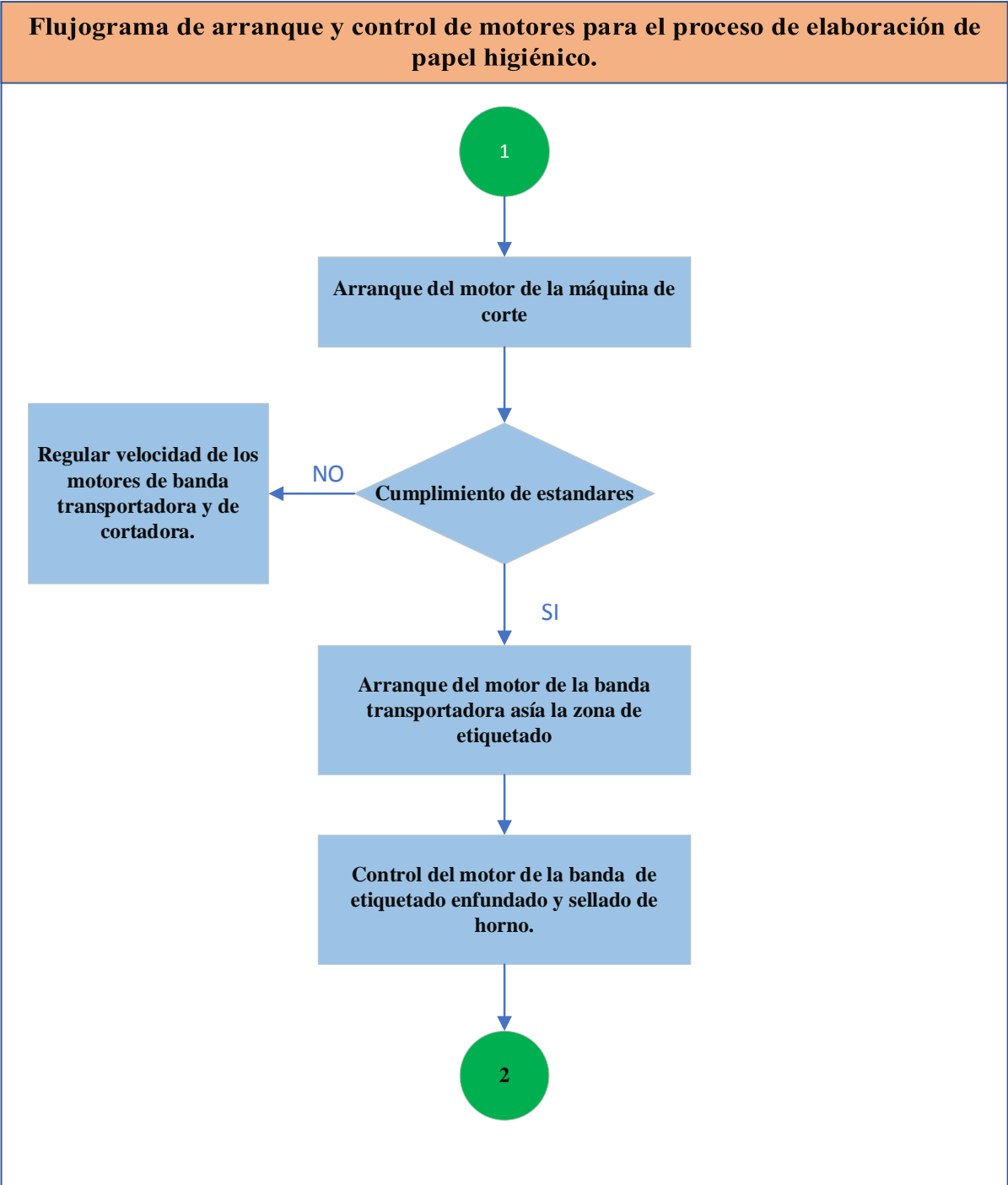


Figura 5.2 Flujograma de arranque y control de motores para el proceso de elaboración de papel higiénico

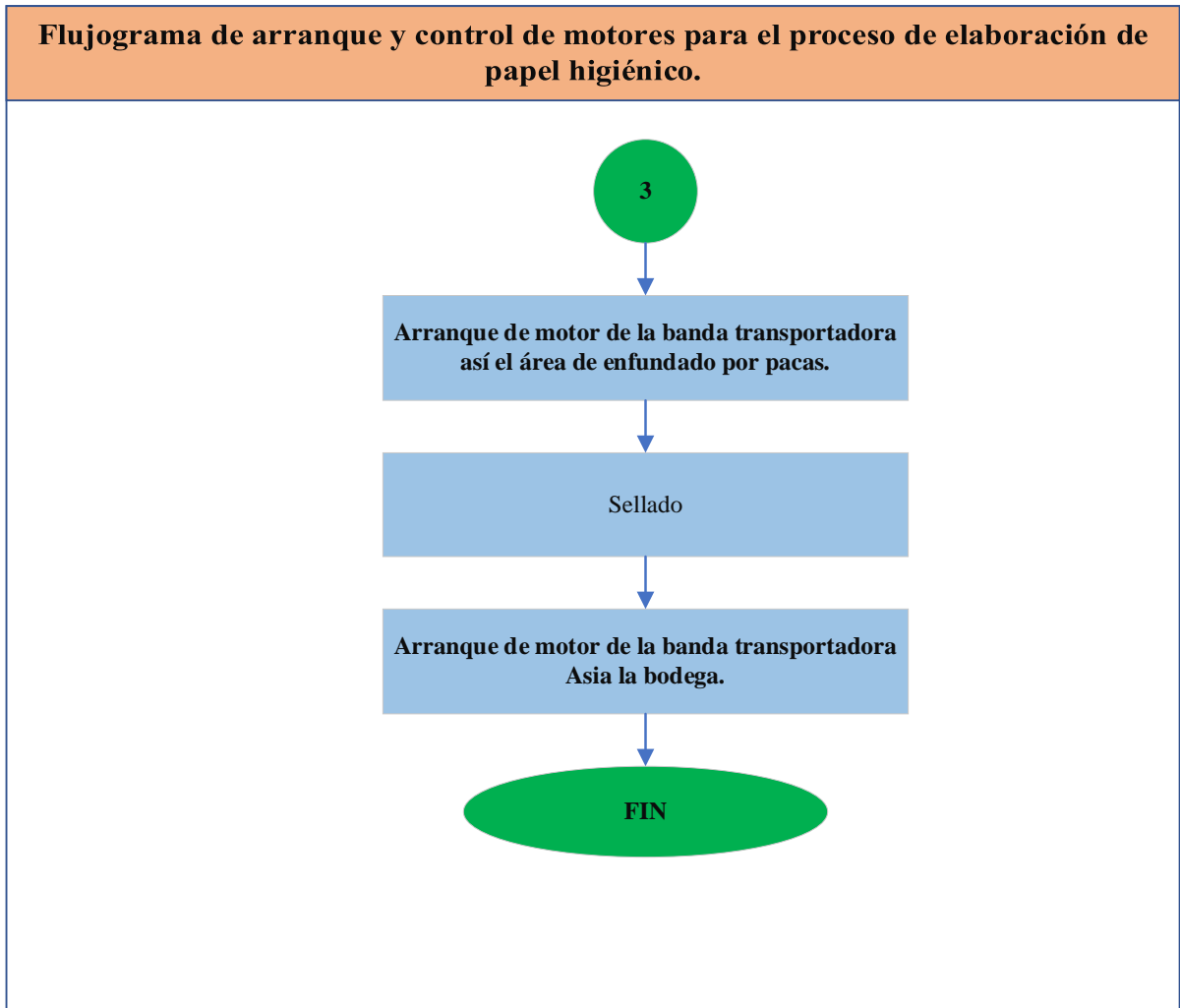


Figura 5.3 Flujograma de arranque y control de motores para el proceso de elaboración de papel higiénico

### 5.1.5. Identificación de entradas y salidas a usar en los lógicos programables (Logo).

Para lograr una automatización eficiente en la línea de producción, se implementará la ideología de control maestro-esclavo. Esta estrategia garantiza que todas las máquinas operen de manera coordinada y eficiente, como una colmena, para asegurar un funcionamiento eficiente y seguro, el control maestro, a cargo del controlador lógico programable Logo 8, supervisará y coordinará las actividades de las máquinas esclavas en la línea de producción. Esto permitirá que cada evento en el proceso de fabricación se realice de manera consecutiva y eficaz, evitando demoras o interrupciones innecesarias.

La comunicación entre el controlador maestro y las máquinas esclavas garantizará una sincronización adecuada de las operaciones, lo cual permitirá que las máquinas trabajen en conjunto, mejorando los tiempos de producción y minimizando los errores.

En la tabla 5.11 se proporciona un desglose detallado de las entradas y salidas utilizadas para el accionamiento de los motores en la subárea de impresión de relieve, estas señales son controladas por el controlador lógico programable maestro.

Tabla 5.9 Logo Maestro

Logo Maestro	I/O	Descripción
Entradas	I1	Pulsador z, paro de todo el sistema por emergencia.
	I2	Botón Na, para iniciar el proceso.
	I3	Entrada Na, fin de carrera cuando se enrolle completo el tubo de papel.
	I4	Entrada sensor de proximidad, activa la máquina de corte.
	I5	Entrada para el contacto auxiliar NA del relé térmico R1(Maquina jumbea).
Salidas	Q1	Salida para motor 1(Maquina jumbea).

En la subárea de corte, se encuentran dos controladores lógicos programables que trabajan de manera conjunta para coordinar y controlar las operaciones. La tabla 5.12 detalla las entradas y salidas utilizadas por el controlador esclavo 1, responsable del accionamiento de las bandas transportadoras coordinando el movimiento preciso y sincronizado. Por otro lado, la tabla 5.13 muestra las entradas y salidas utilizadas por el controlador esclavo 2, encargado de controlar la máquina de corte, Sus entradas reciben información relevante sobre la posición, velocidad y estado de las bandas, garantizando un flujo continuo y eficiente del material.

Tabla 5.10 Logo Esclavo 1

Logo Esclavo 1	I/O	Descripción
Entradas	I1	Pulsador z, paro de todo el sistema por emergencia.
	I2	Entrada para el contacto auxiliar NA del relé térmico R2(Banda transportadora 1).
	I3	Entrada para el contacto auxiliar NA del relé térmico R6(Banda transportadora 2).
Salidas	Q1	Salida para el arranque de motor 2 con el uso de arrancador suave (banda transportadora 1).
	Q2	Salida para conmutación de arrancador suave a conexión directa Motor 2 (banda transportadora 1).
	Q3	Salida para el arranque de motor 6 con el uso de arrancador suave (banda transportadora 2).
	Q4	Salida para conmutación de arrancador suave a conexión directa Motor 6 (banda transportadora 2).

Tabla 5.11 Logo Esclavo 2

Logo Esclavo 2	I/O	Descripción
Entradas	I1	Pulsador z, paro de todo el sistema por emergencia.
	I2	Entrada Na, sensor de posición cuando el tubo de papel está llegando a la máquina de corte.
	I3	Entrada Na, fin de carrera cuando se el tubo de papel haya legado hasta el final del cajón de corte.
	I4	Entrada Na, fin de carrera cuando el tubo de papel haya tenido el primer corte.
	I5	Entrada para el contacto auxiliar NA del relé térmico R3 (Banda transportadora máquina de corte).
	I6	Entrada para el contacto auxiliar NA del relé térmico R4 (Sierra de corte).
	I7	Entrada para el contacto auxiliar NA del relé térmico R5 (Dispositivo de alimentación y retorno).
Salidas	Q1	Salida para el arranque de motor 3 banda de la máquina de corte.
	Q2	Salida para motor 5 empuje para corte (Dispositivo de alimentación y retorno).
	Q3	Salida para motor 5 retorno después del corte (Dispositivo de alimentación y retorno).
	Q4	Salida para motor 4 (Sierra).

En la tabla 5.14 se detallan las entradas y salidas utilizadas en el controlador programable esclavo 3 en la subárea de empaque. Este controlador se encarga de supervisar y controlar diferentes aspectos relacionados con el empaque en el proceso de producción, está

específicamente involucrado en el accionamiento de las bandas que realizan el sellado tanto por unidad como por pacas, sus entradas reciben información relevante, como datos de posición, utilizando esta información, el controlador coordina el movimiento adecuado y sincronizado de las bandas de sellado, garantizando un sellado preciso y eficiente de los productos, además también se encarga del accionamiento de la banda transportadora que lleva los productos hacia la subárea de almacenamiento.

Tabla 5.12 Logo Esclavo 3

Logo Esclavo 3	I/O	Descripción
Entradas	I1	Pulsador z, paro de todo el sistema por emergencia.
	I2	Entrada sensor de proximidad, activa las máquinas de empaque.
	I3	Entrada sensor de proximidad, para la banda de sellado individual hasta que se selle.
	I4	Entrada sensor de proximidad, para la banda de sellado por pacas y a su vez activa la banda 3.
	I5	Entrada para el contacto auxiliar NA del relé térmico R6 (Banda transportadora horno1).
	I6	Entrada para el contacto auxiliar NA del relé térmico R7 (Banda transportadora horno2).
	I7	Entrada para el contacto auxiliar NA del relé térmico R8 (Banda transportadora almacenamiento).
Salidas	Q1	Salida para el arranque de motor 6 banda sellado por unidad.
	Q2	Salida para motor de la banda de sellado por pacas.
	Q3	Salida para motor 8 arranque en estrella (Banda de transporte, almacenamiento).
	Q4	Salida para motor 8 conmutación a triángulo (Banda de transporte almacenamiento).

#### 5.1.6. Planos de conexión de los diferentes motores a los controladores lógicos programables.

En la figura 5.4 se presenta el plano de conexión del controlador programable principal, que actúa como el maestro en el sistema, responsable de cargar y ejecutar el programa principal, así como de coordinar y comunicarse con los dispositivos esclavos en el sistema.

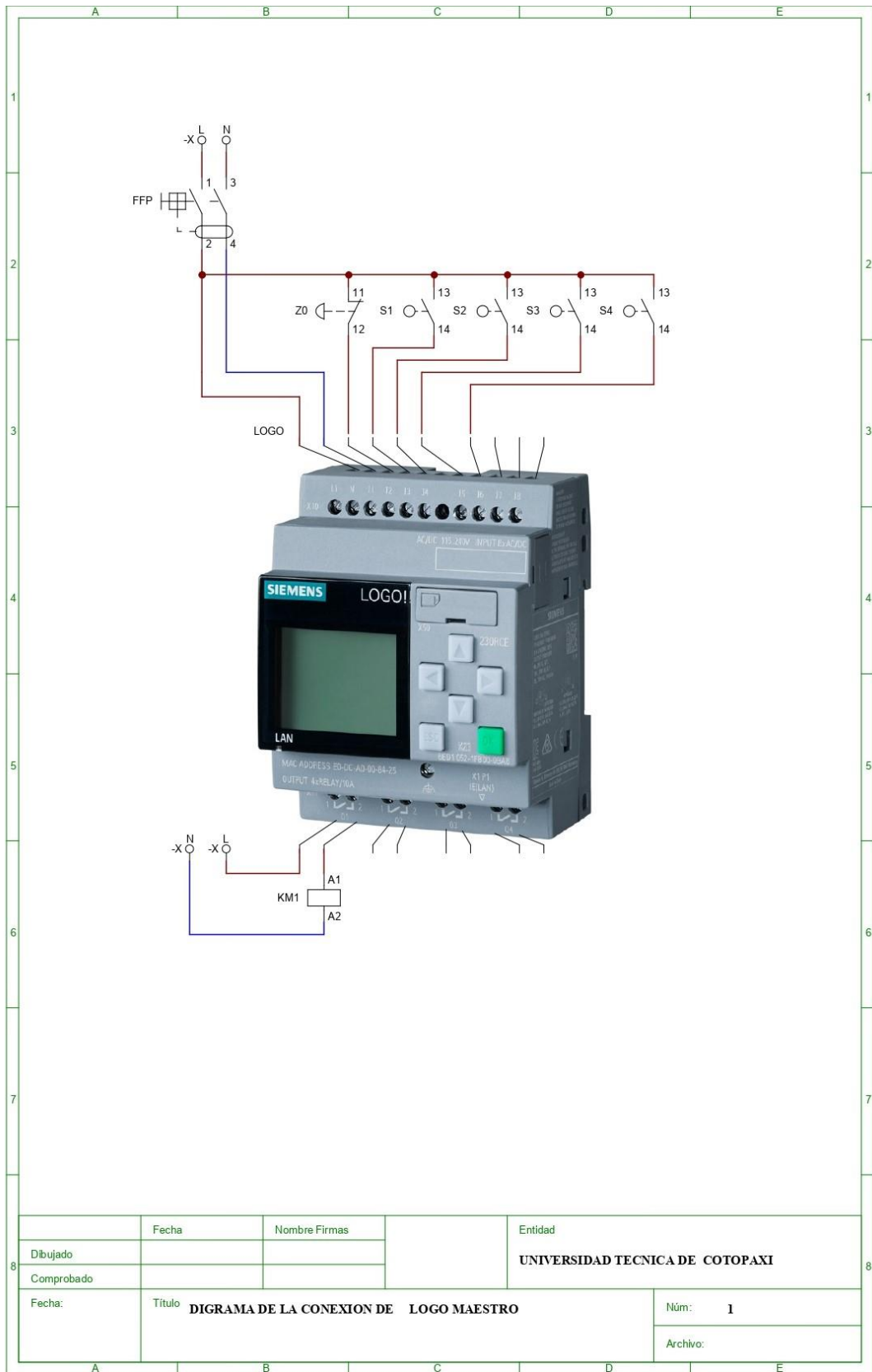


Figura 5.419 Diagrama de control logo Maestro

En la figura 5.6 se muestra el diagrama de potencia que ilustra las conexiones eléctricas en la máquina jumbera y las dos bandas transportadoras. Este diagrama proporciona una representación visual de cómo se distribuye y conecta la potencia eléctrica en este sistema.

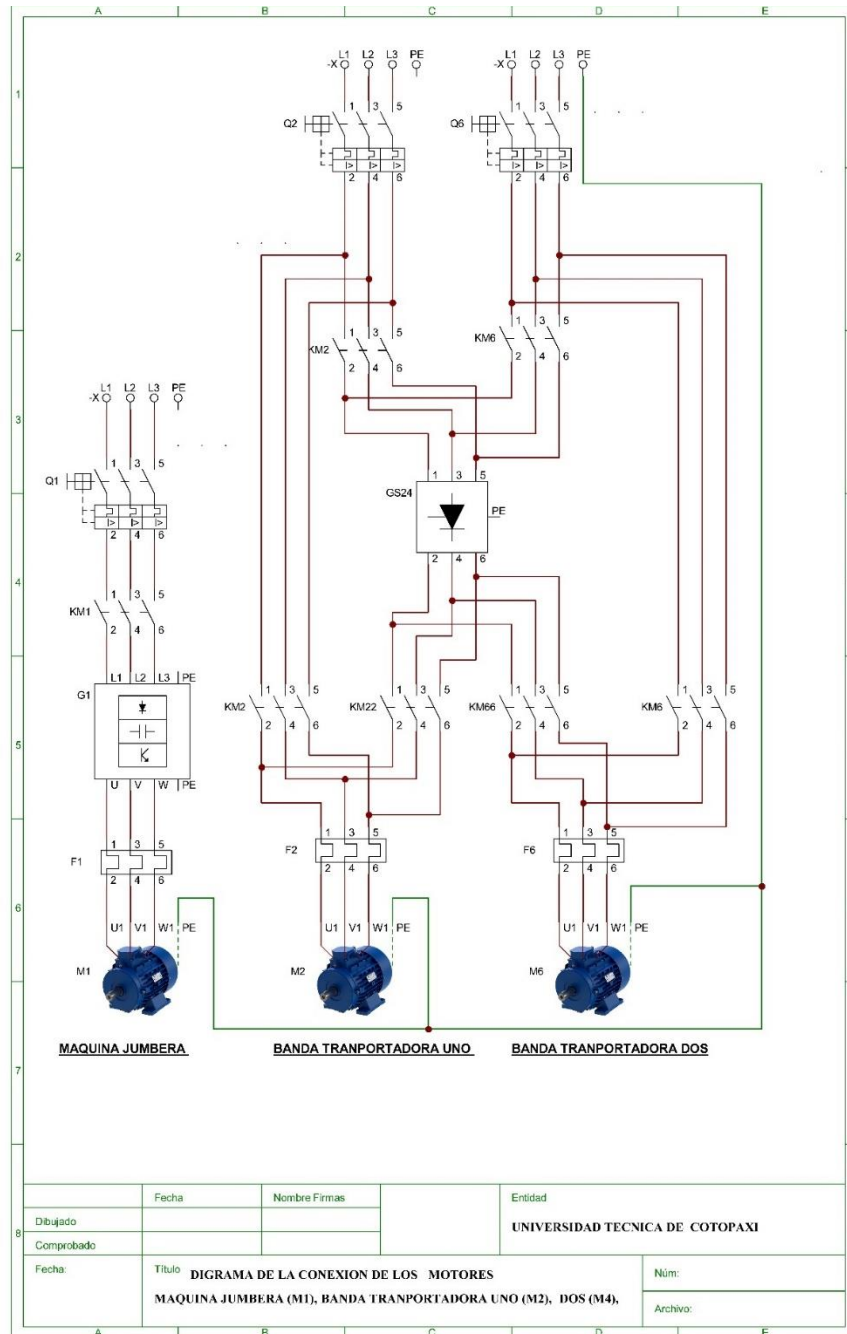


Figura 5.6 Diagrama de fuerza sección jumbera

En la figura 5.7 se presenta el esquema de conexión del controlador lógico programable esclavo 1, con los diferentes contactores utilizados para el control de las dos bandas transportadoras. En

este esquema, se destaca la utilización de un único arrancador suave para el arranque de los dos motores de las bandas, el controlador se encarga de enviar las señales de control necesarias a los contactores para activar y desactivar los motores de las bandas transportadoras. Estas señales permiten el control preciso de los motores, asegurando su arranque suave y controlado.

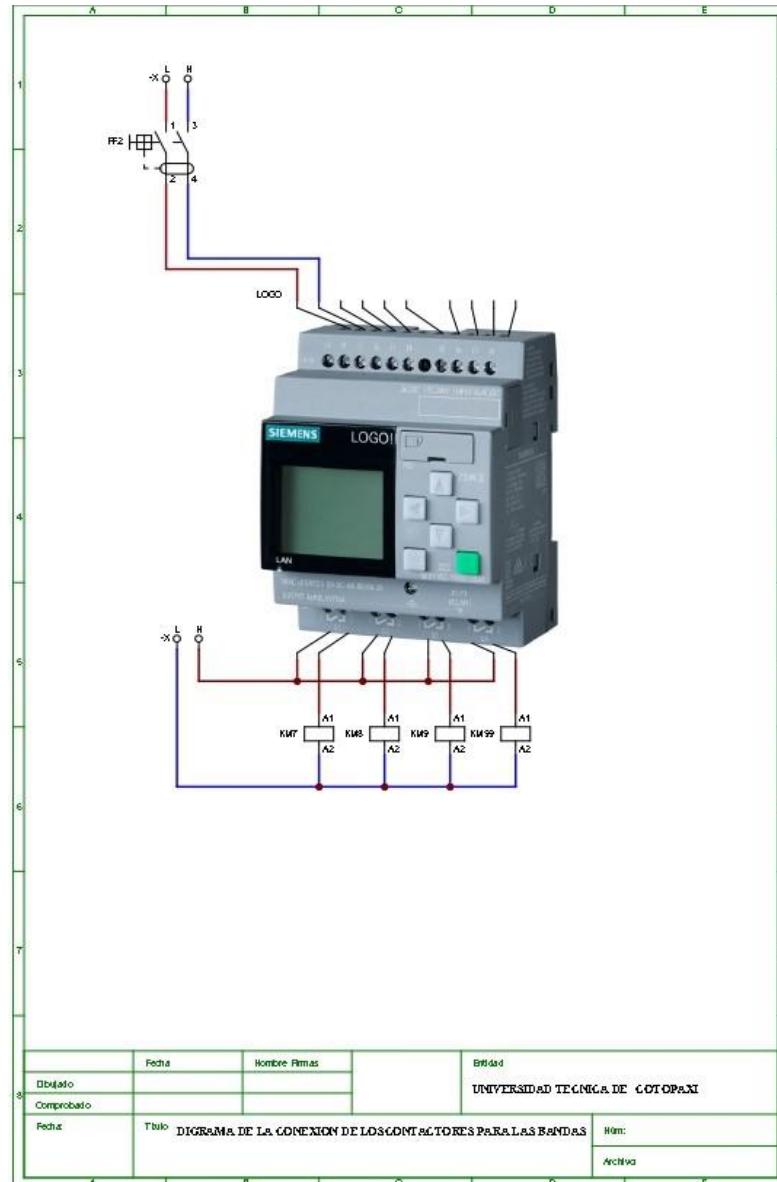


Figura 5.7 Diagrama de control Logo Esclavo 1

En la figura 5.8 se muestra el esquema de conexión del controlador lógico programable esclavo 2, encargado de enviar las señales de control necesarias a los contactores para activar y desactivar los motores de la máquina de corte. Estas señales permiten un control preciso y coordinado de los motores, asegurando un funcionamiento adecuado y seguro de la máquina.



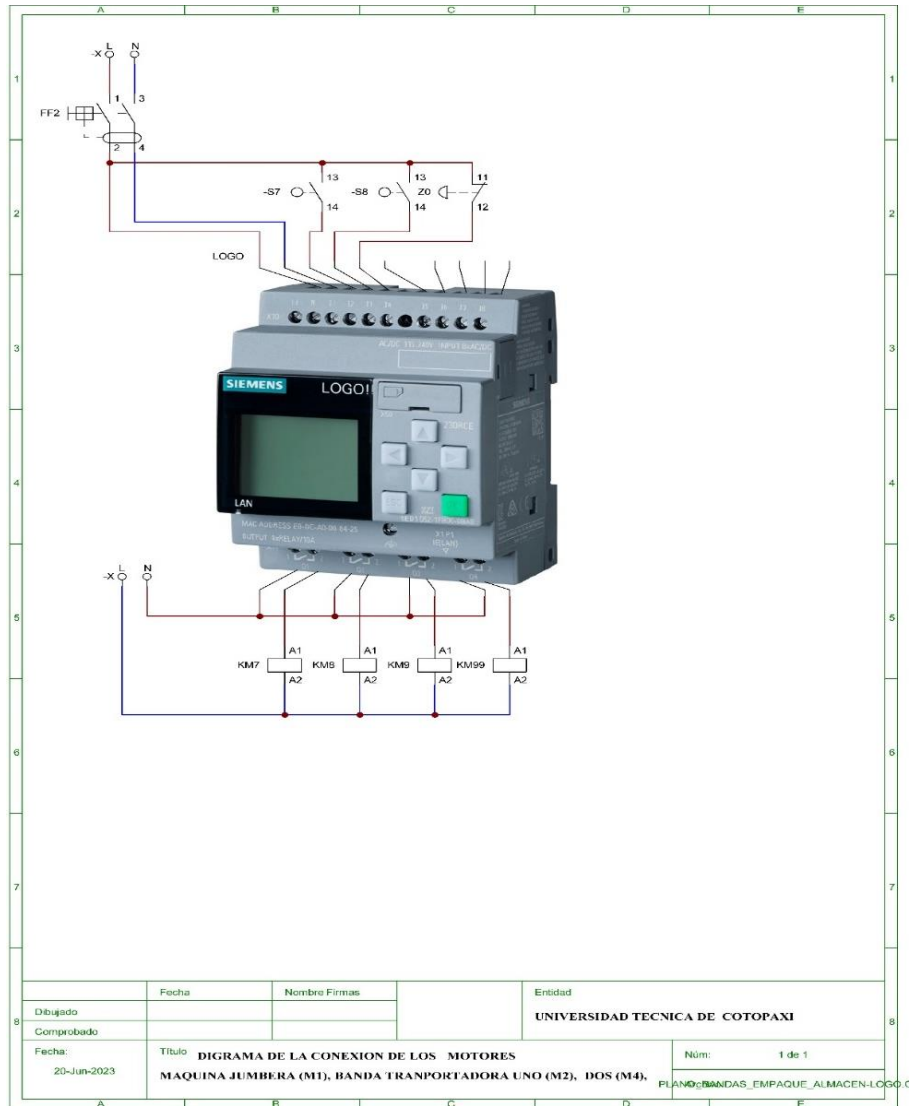


Figura 5.8 Diagrama de control Logo Esclavo 2

En la figura 5.8 se muestra el plano de conexión, se representan las diferentes conexiones eléctricas, que permiten alimentar y controlar los motores presentes en la máquina de corte. Estas conexiones aseguran que los motores reciban la energía eléctrica necesaria para su funcionamiento adecuado.

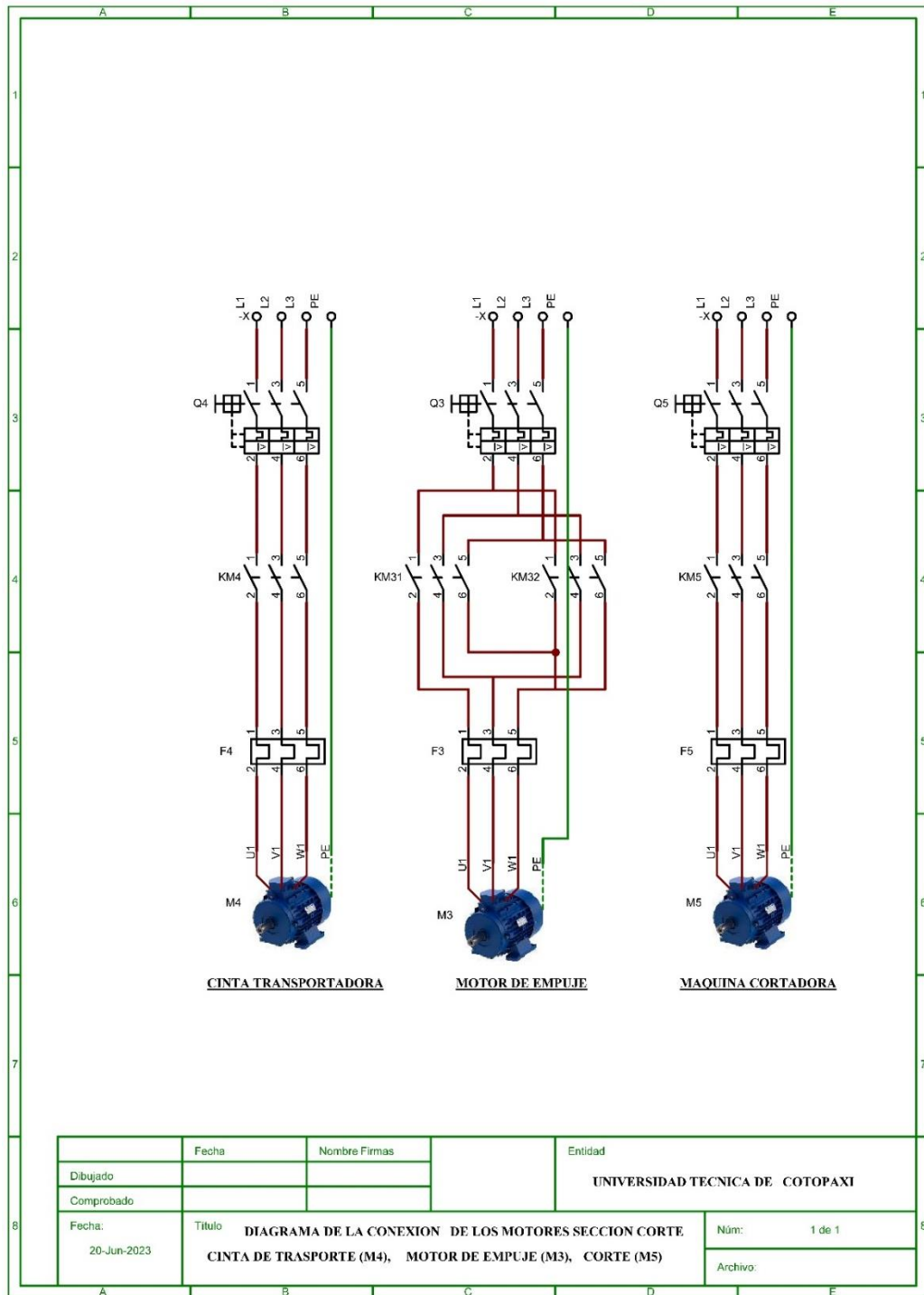


Figura 5.9 Diagrama de fuerza de la sección de corte

En la figura 5.9 se presenta el esquema de conexión del controlador lógico programable esclavo 3, el cual envía las señales de control adecuadas a los contactores, permitiendo un control preciso y coordinado de los motores.

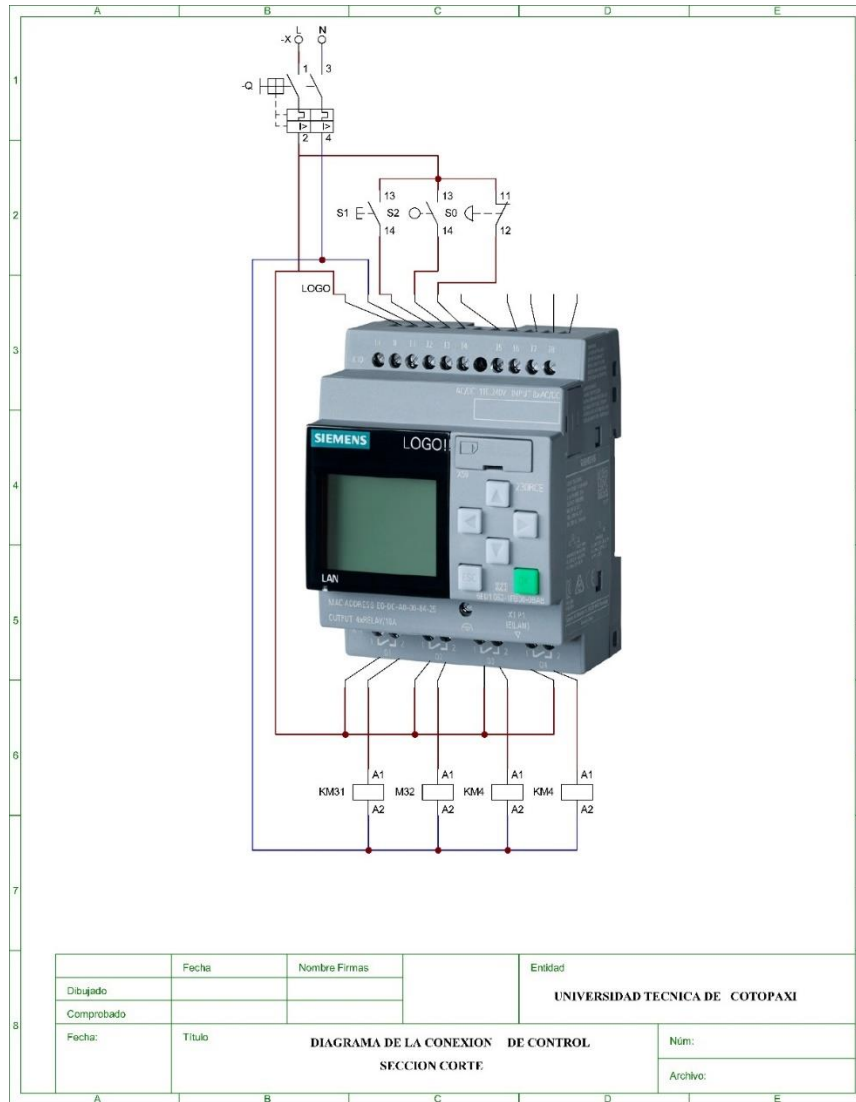


Figura 5.10 Diagrama de control Logo Esclavo 3

En la figura 5.10 se presenta el plano de conexión de potencia para los motores en el área de empaque, incluyendo la banda de transporte hacia el almacenamiento, el plano muestra las líneas de alimentación eléctrica que suministran la energía a los motores, así como los componentes de protección y control asociados a cada motor. Estos componentes pueden incluir contactores, interruptores y otros dispositivos de protección.

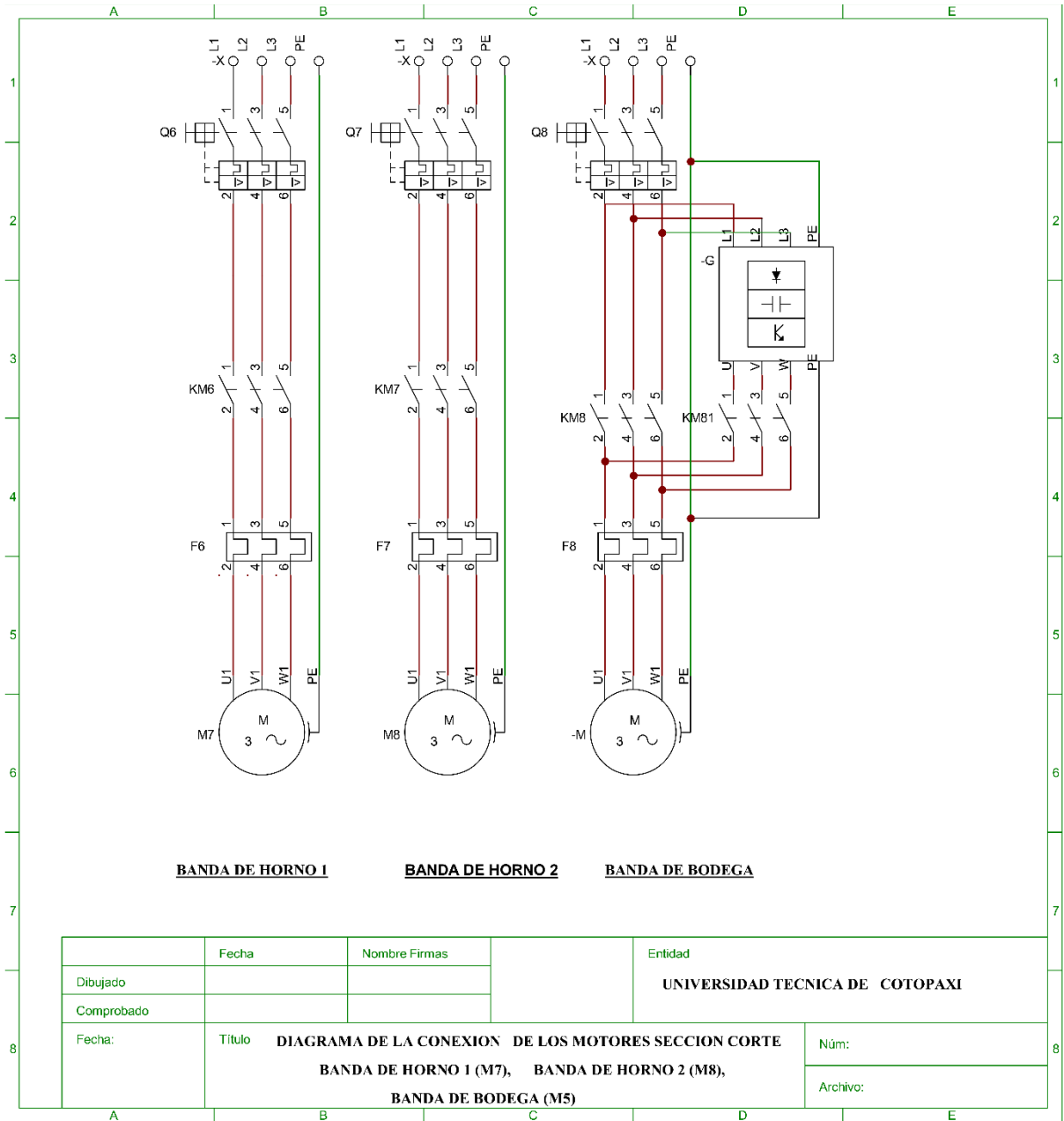


Figura 5.11 Diagrama de fuerza sección horno

**5.1.7. Comparación costo entre un solo variador para arrancar tres bandas y uno para cada banda.**

En la tabla 5.13 que se presenta a continuación, se detallan los costos asociados a la posesión de un variador de frecuencia para cada banda transportadora

Tabla 5.13 Costo entre un solo variador para el arranque de cada banda

Costo con un variador para el arranque de cada banda			
	Cantidad	Precio (\$)	Total (\$)
Variador INVT	3	132.42	397.26
Rollo AWG (American Wire Gauge) #12	1	48.5	48.5
Costo total de implementación			445.76

A continuación, en la tabla 5.14, se detallan los costos asociados al uso de un solo variador de frecuencia para el arranque de las tres bandas transportadoras.

Tabla 5.14 Costo con un solo variador para arranque de las tres bandas

Costo con un solo variador para el arranque de las tres bandas			
	Cantidad	Precio (\$)	Total (\$)
Variador INVT	1	132.42	132.42
CONTACTOR CHINT	6	14	84
Rollo AWG (American Wire Gauge) #12	1	48.5	48.5
Costo total de implementación			264.92

Al hacer uso de un solo variador de frecuencia para arrancar las tres bandas transportadoras, se logra una reducción significativa del 68.24% en comparación con el costo de usar un variador de frecuencia en cada banda por separado, esto significa que el uso de un único variador de frecuencia para las tres bandas es mucho más económico, con una diferencia de \$180.84 en costos.

## **EVALUAR EL SISTEMA EN UN ENTORNO DE CONTROL PARA EL CASO DE FABRICACION DE PAPEL HIGENICO.**

### **5.1.8. Tiempos estándar y actividades realizadas con la incorporación de centro de control de motores**

Con la implementación del centro de control de motores y bandas transportadoras en la línea de producción, se han realizado mejoras significativas en el flujo del proceso. En la Tabla 5.15 adjunta se detallan las actividades en la línea de producción y los respectivos tiempos de ejecución de cada tarea, para obtener una estimación precisa del tiempo que tarda en transportarse un producto a través de la banda transportadora, se ha realizado una simulación que se muestra en el Anexo C. la simulación proporciona información valiosa sobre los tiempos de transporte de los productos a lo largo de la línea de producción. Se han tenido en cuenta factores como la distancia recorrida y las condiciones operativas. Con base en los resultados de

la simulación, se puede calcular el tiempo promedio que tarda en transportarse un producto desde el punto de inicio hasta el punto final de la línea de producción.

El Anexo C, que muestra la simulación y los resultados detallados, proporcionará una visión más clara de los tiempos involucrados en el transporte de los productos a lo largo de la línea de producción.

Tabla 5.15 Tiempo del proceso de producción.

N°	ACTIVIDADES	TIEMPO ESTANDAR SIN CONTROL (S)
1	Enrollado del papel con paro automático de la máquina al alcanzar un diámetro de 21 cm máquina.	84.00
2	Transporte del tubo en la banda de transportadora del tubo, a la máquina de corte.	26.00
3	Cortes en fragmentos de 10cm.	102.00
4	Transporte en la banda a la sección de etiquetado.	35.00
5	Inspección y peso de una muestra de los rollos de papel.	100.00
6	Etiquetado con la marca e información del producto y ubicación en la banda transportadora para enfundado y sellado en horno.	120.00
7	Enfundado y sellado de horno, 12s por unidad	264.00
8	Enfundado de las 22 unidades y ubicado en la selladora.	124.44
9	Proceso de sellado.	7.00
10	Transporte a la bodega.	37.00
<b>TIEMPO TOTAL</b>		<b>899 (14.99 min)</b>

En este caso para realizar una estimación de cuántas pacas de 22 rollos de papel higiénico se pueden fabricar en un día laboral, se ha considerado el tiempo que se tardaría en producir una paca, teniendo en cuenta el tiempo laboral disponible y dado que la línea de producción es consecutiva y que se han incorporado bandas transportadoras con un control de motores en áreas clave del proceso, la línea de fabricación es continua y que los tiempos muertos se han reducido significativamente. Con esta información, como se muestra en la tabla 5.16 se ha calculado el tiempo requerido para producir una paca y luego determinar cuántas pacas se pueden fabricar en el tiempo laboral disponible.

Tabla 5.16 Producción en una jornada normal

Tiempo de crear y empacar 1 pack de 22 rollos (min)	Minutos laborales en un día (min)	Total, de pacas
14.91	480	32

En este escenario debido a la fluidez y eficiencia alcanzada en la línea de producción, el tiempo requerido para producir una paca de 22 rollos de papel higiénico es de aproximadamente 17.3 minutos. Esta estimación se basa en la suposición de que no hay interrupciones o paros en la línea de producción, al dividir el tiempo total de trabajo en un día laboral por este tiempo de producción, obtenemos 32 pacas de 22 rollos (para un total de 704) de papel higiénico fabricadas en un día, con una eficiencia:

**Resolviendo obtenemos:**

$$\% \textit{Eficiencia} = \frac{704}{714} * 100$$

Tabla 5.17 Eficiencia de producción.

Eficiencia (%)	98%
----------------	-----

**Interpretación:**

Al realizar el cálculo de la eficiencia de producción diaria, se obtuvo un 98% el cual supera el 80% que es lo óptimo para generar confianza en una empresa.

### **5.1.9. Comparación de las energías totales consumida en el proceso de fabricación.**

En la tabla 5.18, a continuación, se muestra detalladamente la cantidad de energía eléctrica consumida en vatios-hora (w.h), antes de la implementación del centro de control, esta energía presentada es la energía consumida en la fabricación de 24 pacas de rollos de papel higiénico, durante el proceso de fabricación, este consumo se deriva de la multiplicación de la energía utilizada en cada máquina durante un proceso completo por las horas operativas requeridas para fabricar los mencionados paquetes a lo largo de las 8 horas laborales, en las cuales se asume un trabajo constante y sin paros.

Tabla 5.18 Energía requerida para un día laboral sin centro de control

<b>Energía total consumida</b>			
	Potencia (w)	Tiempo de trabajo (h)	Energía total (w.h)
Maquina			
Máquina Jumbera	1119	0.56	626.6400
Máquina de corte	1119	0.680733333	761.7406
Horno 1	1000	1.76	1760.0000
Horno 1	1200	0.046666667	56.0000
<b>Total, energía utilizada en 24 pacas</b>			<b>3204.3806</b>

Por otra parte, en la tabla 5.19 se muestra los datos el consumo energético con la implementación del centro de control de motores durante una jornada laboral, correspondiente a la producción de 32 paquetes de papel higiénico.

Tabla 5.4 Consumos de una jornada laboral normal.

<b>Energía total consumida</b>			
	Potencia (w)	Tiempo de trabajo (h)	Energía total (w.h)
Maquina			
Máquina Jumbera	1119	0.7467	835.5573
Banda transportadora 1	1492	8	11936.0000
Máquina de corte	1119	0.9067	1014.5973
Banda trasportadora 2	1492	8	11936.0000
Horno 1	1000	2.3467	2346.7000
Horno 1	1200	0.0622	74.6400
Banda Transportadora 3	1492	8	11936.0000
<b>Total, energía utilizada en 32 pacas</b>			<b>40079.4946</b>

Como se puede notar evidentemente, la incorporación de bandas transportadoras en el proceso implica un aumento significativo en el consumo de energía debido a que son equipos industriales que requieren una considerable cantidad de electricidad, sin embargo, es importante considerar el gran aumento en la eficiencia de producción que se obtiene al utilizarlas, esto las convierte en una vía aceptable y aplicable para mejorar la eficiencia general del proceso, en términos de productividad hacen que la implementación de bandas transportadoras sea una elección ventajosa y rentable en la industria.



### 5.1.10. Análisis de costos

En la tabla 5.20 se muestra los costos eléctricos en una jornada de producción completa en los dos casos en primer lugar sin el centro de control y en segundo lugar con el centro de control, para el cálculo en dólares se utilizó el costo de medidor comercial sin costo por demanda en el año 2023 el cual es de \$0,103, en el futuro para realizar un nuevo análisis se recomienda consultar la tarifa eléctrica actual.

Tabla 5.20 Costos energéticos de operación de los dos casos

Costos energéticos de operación			
	Energía (Kw.h)	Costo por Kw.h (\$)	Total (\$)
24 pacas	3.2044	0.103	0.3300512
32 pacas	40.0795	0.103	4.1281879

En la tabla 5.21 se muestra en dólares la cantidad de ingreso que se tiene para los dos casos el primero sin el centro de control y el segundo con el centro de control implantado.

Tabla 5.21 Ingreso económico de los dos casos

Comparación de ingresos		
Total, papeles	Costo de venta (\$)	Total, de ingreso (\$)
528	2.25	1188
704	2.25	1584

Por otro lado, en la siguiente tabla se presenta la comparación entre la liquidez de ingresos de la empresa en los dos escenarios, el primero sin el centro de control y segundo con el centro de control, para este análisis se tendrá la consideración que la empresa tiene una operación mensual de 20 días.

Tabla 5.22 ingresos mensuales

Pacas	Ingresos (\$)	costos energéticos (\$)	Días	Total (\$)
24	1188	0.330051202	20	7842.0166
32	1584	4.128187944	20	130780.99

Los resultados obtenidos indican que, a pesar de un incremento en el costo energético mensual, la implementación del centro de control se da como resultado un ingreso adicional de 122,938

dólares con 98 centavos, esta ventaja es altamente beneficiosa para la empresa, ya que le permite generar mayores ingresos en comparación con la situación sin el control.

### 5.1.11. Comportamiento de los picos de corriente para los arranques de los motores de las bandas con una configuración estrella delta

A continuación, en la figura 5.12 se presentan datos relevantes obtenidos de ensayos realizados para evaluar el funcionamiento de las bandas de transporte, debido a que estas son las que mayor consumo energético tienen y ejercen un impacto significativo en la línea de producción, el ensayo se centra en el arranque de las bandas una vez que el motor ha alcanzado la velocidad de régimen, donde se aprecia un cambio de configuración de estrella a triángulo. Durante este cambio, se registra un pico de corriente cuyo valor puede ser considerable, llegando a alcanzar 6.6 amperios, pero luego se estabiliza en 2.2 amperios, la magnitud de este pico de corriente está influenciada por diversos parámetros, incluida la inercia de la carga a la que se aplicó durante el ensayo, la duración de este pico de corriente es de aproximadamente un semiciclo, es decir, alrededor de 10 milisegundos, la corriente máxima registrada de 6.6 amperios se considera el 100 %, mientras que la estabilidad se alcanza a 2.2 amperios, lo que representa una variación del 33.33 %, la presencia de dicha corriente elevada en el arranque puede generar un considerable estrés en los componentes eléctricos y mecánicos de las bandas, esta sobrecarga inicial puede reducir la vida útil de los equipos y provocar daños a largo plazo, el alto consumo de corriente al arrancar puede ocasionar caídas de tensión en el sistema eléctrico de la fábrica, afectando a otros dispositivos conectados y resultando en pérdidas significativas de energía.

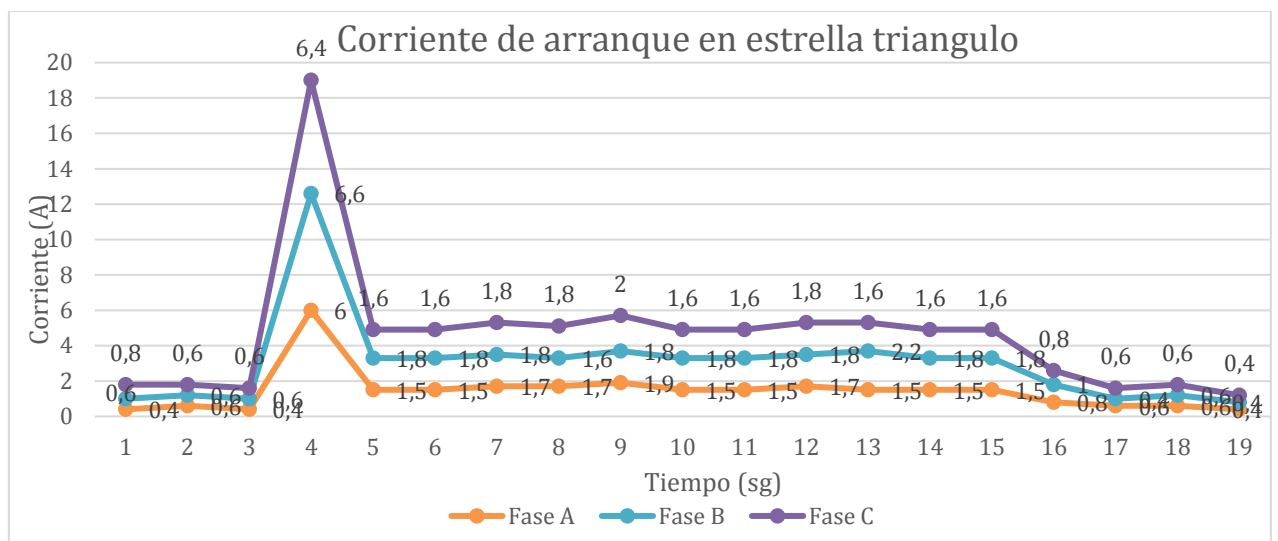


Figura 5.12 Corriente de arranque en estrella triángulo

#### **5.1.12. Comportamiento de los picos de corriente para los arranques de los motores de las bandas con uso de un variador de frecuencia**

Por otra parte, en la figura 5.13 se presentan los datos del ensayo para el arranque de las bandas haciendo uso de un variador de frecuencia, este equipo proporciona una solución a los problemas presentados durante el arranque, como posibles daños mecánicos y caídas de tensión, en el ensayo realizado, se observa que la corriente aumenta gradualmente en forma de una rampa continua, lo que permite reducir los picos de corriente de arranque, el análisis de los datos, se destaca que los picos de corriente alcanzan 3.62 amperios en la fase A, 2.4 amperios en la fase B y 2.82 amperios en la fase C. Con el objetivo de obtener costos bajos, se utilizó el mismo variador para las tres bandas, utilizando contactores para la conmutación, una vez el motor está arrancado, las corrientes disminuyen a valores que van desde 1.8 a 2.7 amperios.

Durante la conmutación, se observaron corrientes de 3.64 amperios en la fase A, 3.39 amperios en la fase B y 3.69 amperios en la fase C. Estas corrientes son considerablemente menores que las corrientes de arranque, gracias a la implementación de la rampa en el variador, como resultado, las bandas experimentan cambios suaves y desgaste mecánico reducido, asegurando una mayor vida útil de las mismas.

# Corriente de arranque con variador de frecuencia

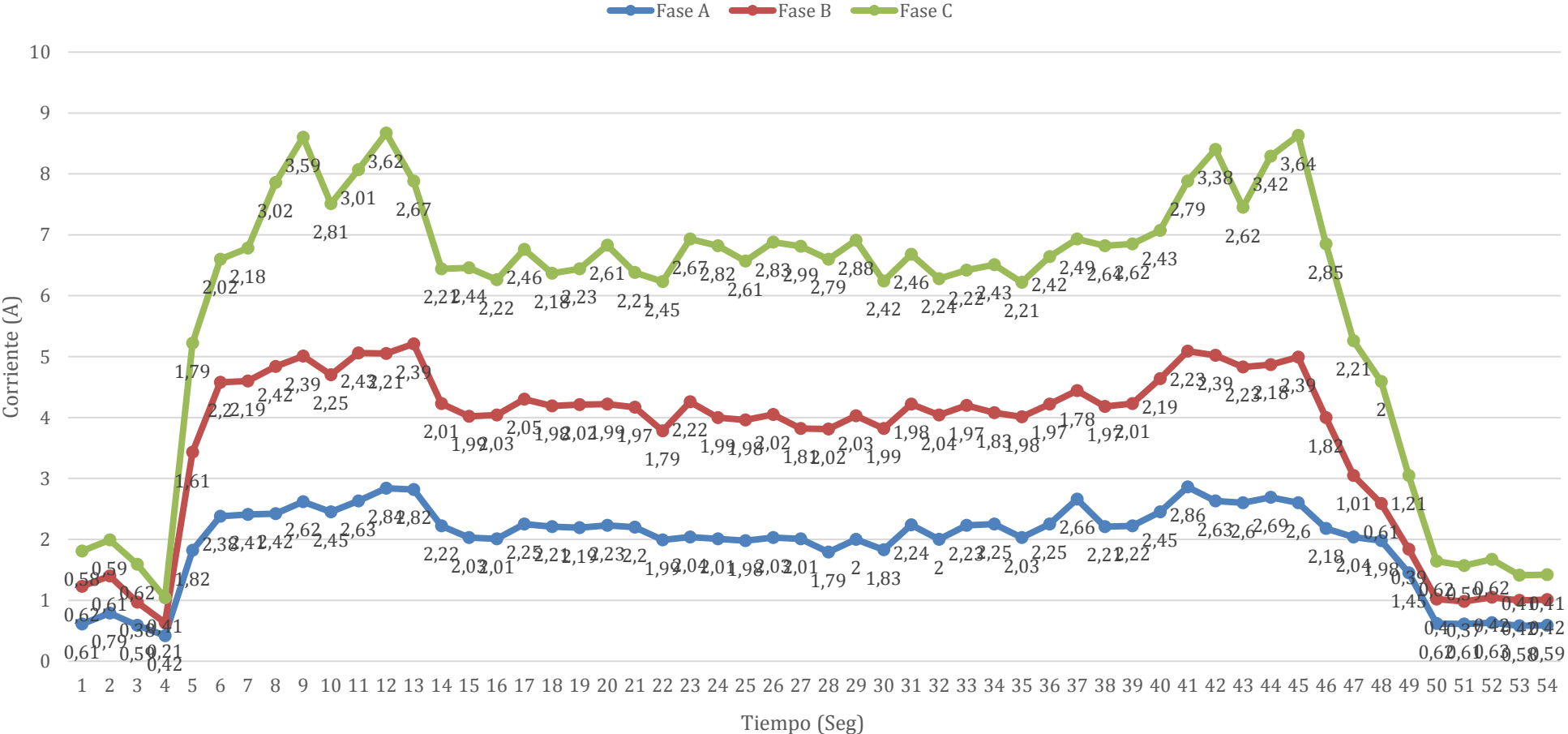


Figura 5.13 Corriente de arranque con variador de frecuencia

## **6. EVALUACIÓN TÉCNICO, Y/O ECONÓMICA**

### **6.1 IMPACTO TÉCNICO**

En términos técnicos, se observó una mejora significativa en el rendimiento general del sistema de producción, los nuevos sistemas de arranque permitieron una operación más suave y controlada de los motores, lo que puede llevar a una reducción de las fallas y averías, así como en un aumento de la vida útil de los equipos. Además, la automatización de ciertos procesos brindó una mayor precisión y confiabilidad en la operación, optimizando la producción y minimizando los tiempos de inactividad.

Como resultado de estas mejoras, la eficiencia general del sistema con el aumento de productividad en un 24,05%. Sin embargo, este incremento tuvo un impacto significativo en el consumo energético, el cual aumentó de 3.2044 Kwh a consumir 40.0795 Kwh. Estos cambios se reflejaron en las ganancias mensuales de la empresa, mostrando una mejora notable en su rendimiento económico. Al pasar de operaciones manuales a la actividad automatizado

### **6.2 IMPACTO ECONÓMICO**

Por último, el análisis económico reveló que la inversión en estos nuevos sistemas de arranque resultó rentable a largo plazo, los ahorros en costos de energía, mantenimiento y reparaciones, junto con el aumento en la productividad y la reducción de tiempos de inactividad, permitieron recuperar la inversión inicial y generar beneficios económicos sostenibles para la organización. El costo por consumo energético en un día laboral aumentó significativamente, pasando de 0.3300512\$ a 4.1281879\$, pero esto se tradujo en un incremento en la producción y, como resultado, las ganancias diarias aumentaron de 1188\$ a 1584\$. Esta mejora en la eficiencia y las ganancias diarias también se reflejó a nivel mensual, con las ganancias que pasaron de 7842.0166\$ a 130780.99\$.

A pesar de los mayores costos por consumo energético, el incremento en la producción y las ganancias justifican esta inversión, ya que se logró un significativo aumento en la rentabilidad del negocio.

## 7. CONCLUSIONES DEL PROYECTO

### CONCLUSIONES

- En la indagación sobre los centros de control se ha comprobado que la incorporación de del mismo en cualquier proceso de fabricación conlleva beneficios significativos en términos de eficiencia energética y reducción de costos de mantenimiento en los equipos presentes, no obstante, es crucial destacar que los efectos positivos de estas mejoras se ven reflejadas también en la eficiencia de producción ya que con la utilización más adecuada de los recursos desencadena un incremento sustancial en la capacidad productiva.
- El diseño de un sistema de control con técnicas de eficiencia energética brinda una valiosa oportunidad para reducir los costos operativos y potenciar el proceso de fabricación, con la implementación de estas técnicas se puede lograr un consumo más efectivo que resulta en una producción más rentable y eficiente, en ello se destaca que el costo de implementación se puede reducir significativamente, alcanzando un 68,24%, esta disminución en los costos de implementación hace de estas prácticas más atractiva para las empresas, ya que el análisis a demostrados que los beneficios económicos se pueden volver más evidentes, la mejor utilización de los recursos conlleva una mejora significativa en la productividad y la competitividad de las empresas en el mercado.
- La evaluación del sistema permitió obtener una visión práctica de su funcionamiento, al someter el sistema a pruebas y análisis para el proceso de fabricación, se pudo determinar su eficacia y eficiencia en la gestión de la energía y su impacto en los costos asociados. La inclusión de un sistema de control en los procesos de producción ha demostrado resultados alentadores durante la evaluación, ha destacado la alta capacidad que posee para elevar la producción puesto que esta se ha elevado en un 24.05%, lo que a su vez se traduce en un aumento significativo en los ingresos de la empresa, y ha demostrado ser una estrategia efectiva para mejorar la rentabilidad del proceso de producción de una empresa.

## RECOMENDACIONES

- Se sugiere buscar información en fuentes relacionadas con el centro de control de motores las cuales usen técnicas avanzadas de optimización y aseguren una operación y uso eficiente de la energía, esto resulta crucial para asegurar la durabilidad de los componentes mecánicos y eléctricos involucrados en cualquier proceso de producción, los cuales poseen un impacto significativo en los aspectos técnicos, económicos y ambientales.
- En el caso de requerir utilizar mayor cantidad de bandas de transporte que requieren precisión en el control de motores, se sugiere optar por arrancadores electrónicos, estos dispositivos deben estar de acuerdo con las características técnicas de los motores por lo que si las bandas de transporte constan con diferentes características se recomienda usar un variador para cada banda.
- Para aumentar la eficiencia en un proceso de producción que demande el uso de motores, se recomienda la implementación de un centro de control de motores mediante controladores lógicos programables (PLC). El cual se encargue de la automatización y confiabilidad en todo el proceso de fabricación, con una evaluación continua del sistema para garantizar su funcionamiento y fiabilidad.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Smith and A. Johnson, "Significant challenges caused by the absence of motor control center in manufacturing processes," presented at the IEEE International Conference on Industrial Technology, Los Angeles, CA, USA, 2020, pp. 345-350.
- [2] A. Rodriguez and M. Garcia, "Challenges arising from the absence of a centralized control system for motor monitoring and fault detection," presented at the IEEE International Symposium on Industrial Electronics, Barcelona, Spain, 2019, pp. 112-117.
- [3] J. Smith and L. Johnson, "Impact of the absence of a motor control center on manufacturing processes and responsiveness," presented at the IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, New York, NY, USA, 2020, pp. 245-250
- [4] S. N. Guanoquiza Changoluisa, "Implementación y desarrollo de una práctica de automatización con PLC S7-1200 para el control de motores trifásicos en el laboratorio de investigación de la Carrera de Electromecánica," La Maná, Ecuador, agosto 2017.
- [5] G. F. Negrete Izurieta, "Implementación del Centro de Control de Motores (CCM) para el control y monitoreo de la maquinaria principal y auxiliar," Guayaquil, Ecuador, 2015, pp. [6-7]. Disponible en: [<https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/ba561769-c160-4396-8358-3df1cdf5ac03/D-CD106570.pdf>].
- [6] Rodríguez, et al., "Implementación de un centro de control de motores para optimizar la eficiencia energética en una planta de manufactura de productos electrónicos," 2016.
- [7] J. Johnson, A. Smith, and R. Davis, "Implementation of motor control center for improved efficiency and performance in automobile production," in Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Automation, 2016, pp. 123-128.
- [8] Chang et al., "Implementation of Motor Control Centers (MCC) in a Food Production Plant for Improved Efficiency and Manufacturing Process Quality," 2018.
- [9] R. García, "El motor eléctrico: principios y aplicaciones", Revista de Ingeniería Eléctrica, vol. 25, no. 2, pp. 45-52, 2022.
- [10] J. A. Polanía Puentes, "Control de Motores Eléctricos", 1st ed. Medellín, Colombia: Editorial Universidad de Antioquia, 2006.
- [11] E. D. Saca Llamba y A. I. Núñez Estrella, "Diseño e Implementación del Sistema de Control para un Motor Trifásico de 1HP, como parte del Banco de Pruebas para Montaje de Elementos y Diagnóstico de Fallas", en Proc. de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2021.
- [12] D. R. Echeverría Bohórquez y J. A. Villanueva Rueda, "Diseño y Construcción de un Arrancador Suave Aplicado a un Motor de Inducción Trifásico", Universidad Pontificia



Bolivariana, Facultad de Ingeniería y Administración, Escuela de Ingeniería Electrónica, Bucaramanga, 2008.

- [13] L. X. Arana Suarez, "Variadores de Frecuencia para el Control de Velocidad de Motores Asincrónicos Jaula de Ardilla", Universidad Central del Ecuador, Quito, 3 de agosto de 2017
- [14] X. O. Gaguancela Vargas y G. G. Sáez Layedra, "Dotación y Aplicación de un Módulo con Variador de Velocidad para Simulación de Control de Arranque y Velocidad del Motor de una Grúa para el Laboratorio de Control Industrial", Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2011.
- [15] A. A. Pesántez Erazo, "Design and Construction of a Laboratory Module with Frequency Converter for the Control of a Pumping System and Determination of Energy Savings," in Proceedings of the IEEE International Conference on Electrical Engineering, Riobamba, Ecuador, 2012
- [16] J. H. Chévez Acevedo and M. J. Urbina Leiva, "Study of the Implementation of Solid-State Soft Starters in Three-Phase Squirrel Cage Induction Motors for the Nicaraguan Industry," in Proceedings of the National Engineering University Simon Bolivar, Managua, Nicaragua, October 31, 2006.
- [17] C. A. Bolaños López y A. J. Portilla Estévez, "Arrancador Suave para Motores Trifásicos de Inducción", Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, julio de 2002.
- [18] D. R. Echeverría Bohórquez y J. A. Villanueva Rueda, "Diseño y Construcción de un Arrancador Suave Aplicado a un Motor de Inducción Trifásico", Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, Colombia, 2008.
- [19] WEG, "Centro de Control de Motores de Baja Tensión". [https://www.disai.net/wp-content/uploads/catalogos\\_pdf/WEG%20CCM%20781.pdf](https://www.disai.net/wp-content/uploads/catalogos_pdf/WEG%20CCM%20781.pdf).
- [20] E. A. Cornejo Ponce and J. O. Tinajero Guerra, "Diseño y Construcción de un Banco Didáctico para Pruebas de Motores Monofásicos", Universidad Politécnica Salesiana, sede Guayaquil, Guayaquil, Ecuador, mayo de 2015.
- [21] E. M. Coronel Valdivieso and D. R. Guevara Alba, "Diseño y Construcción de un Banco de Pruebas para Obtener las Características de Motores Eléctricos", Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador, enero de 2010
- [22] Siemens, "Documentación y Manual para LOGO", 22 de septiembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://support.industry.siemens.com/cs/mdm/109741041?c=58110343307&lc=es-BO>
- [23] S. H. Tibanquiza Guato, "Automatización del Sistema de Riego en la Florícola Los Ángeles Roses", Universidad Tecnológica Israel, Quito, Ecuador, 2020.
- [24] Spong, Mark W., Seth Hutchinson, and Michael Vidyasagar. "Elements of maneuver: theory, examples, and applications." Springer Science & Business Media, 2006.
- [25] Kumar, Akash, and Sankar Dasgupta. "Switches: A survey." IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems 27.1 (2019): 1-16.

- [26] Grainger, John. "Contactors." In *Electrical Machines, Drives, and Power Systems*, 9th ed., 1019-1034. Cengage Learning, 2018.
- [27] Brown, James Robert. *Protection of Power Systems: Relaying, Transformer Protection, and Control*. CRC Press, 2017.
- [28] S. Zhang, X. Liu, and H. Yang, "Human-Machine Interface Design for Industrial Automation Systems," in *2018 International Conference on Automation, Control and Robotics Engineering*.
- [29] Larry Francis Obando, «Sistema de control a lazo abierto – Electromecánico. – dademuchconnection». <https://dademuch.com/2020/01/21/sistema-de-control-a-lazo-abierto/>
- [30] Jena, M. K., Jena, R. K., & Jena, K. (2017). Efficient motor control techniques for improving manufacturing process efficiency. In *International Conference on Control, Power, Communication and Informatics Technologies* (pp. 1-6).



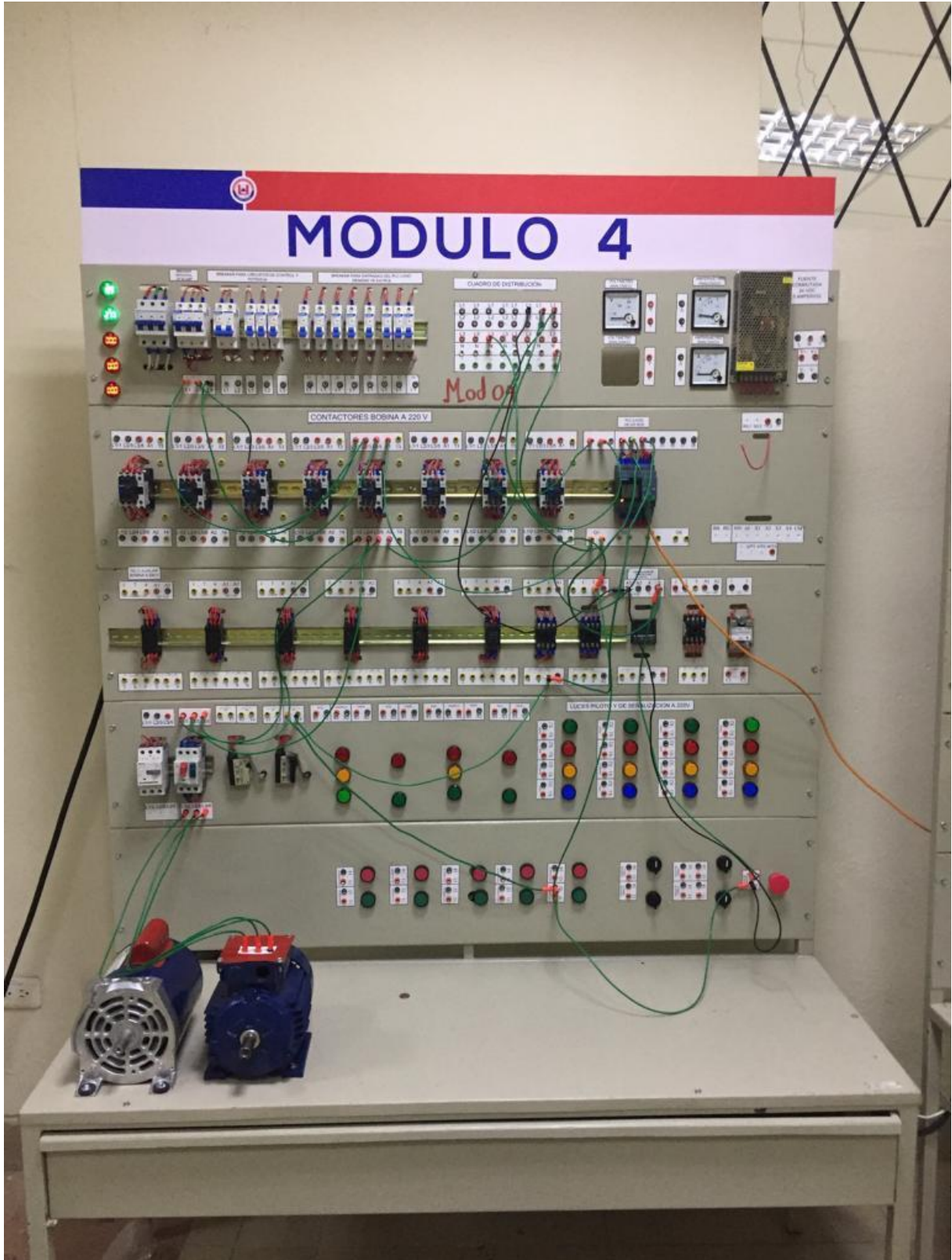
**ANEXO 1. INFORME ANTI PLAGIO PROYECTO DE TITULACIÓN**

<b>Facultad:</b>	Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas
<b>Carrera:</b>	Ingeniería en Electricidad
<b>Nombre del docente evaluador que emite el informe:</b>	Dr. Marrero Ramirez Secundino
<b>Documento evaluado:</b>	Proyecto investigativo presentada previo a la obtención del Título de ingeniero eléctrico.
<b>Autores del documento:</b>	Jimenez Loor Omar Andres Jimenez Tonato Marco
<b>Programa de similitud utilizado:</b>	Sistema COMPILATION
<b>Porcentaje de similitud según el programa utilizado:</b>	1%
<b>Observaciones:</b> Calificación de originalidad atendiendo a los siguientes criterios: <ul style="list-style-type: none"> <li>• El documento cumple criterios de originalidad, sin observaciones.</li> <li>• El documento cumple criterios de originalidad, con observaciones.</li> <li>• El documento no cumple criterios de originalidad.</li> </ul>	-- x -- ----- -----
<b>Fecha de realización del informe:</b>	14/08/2023
<b>Captura de pantalla del documento analizado:</b>	
 ..... Dr. Marrero Ramirez Secundino Director de la Proyecto Investigativo	

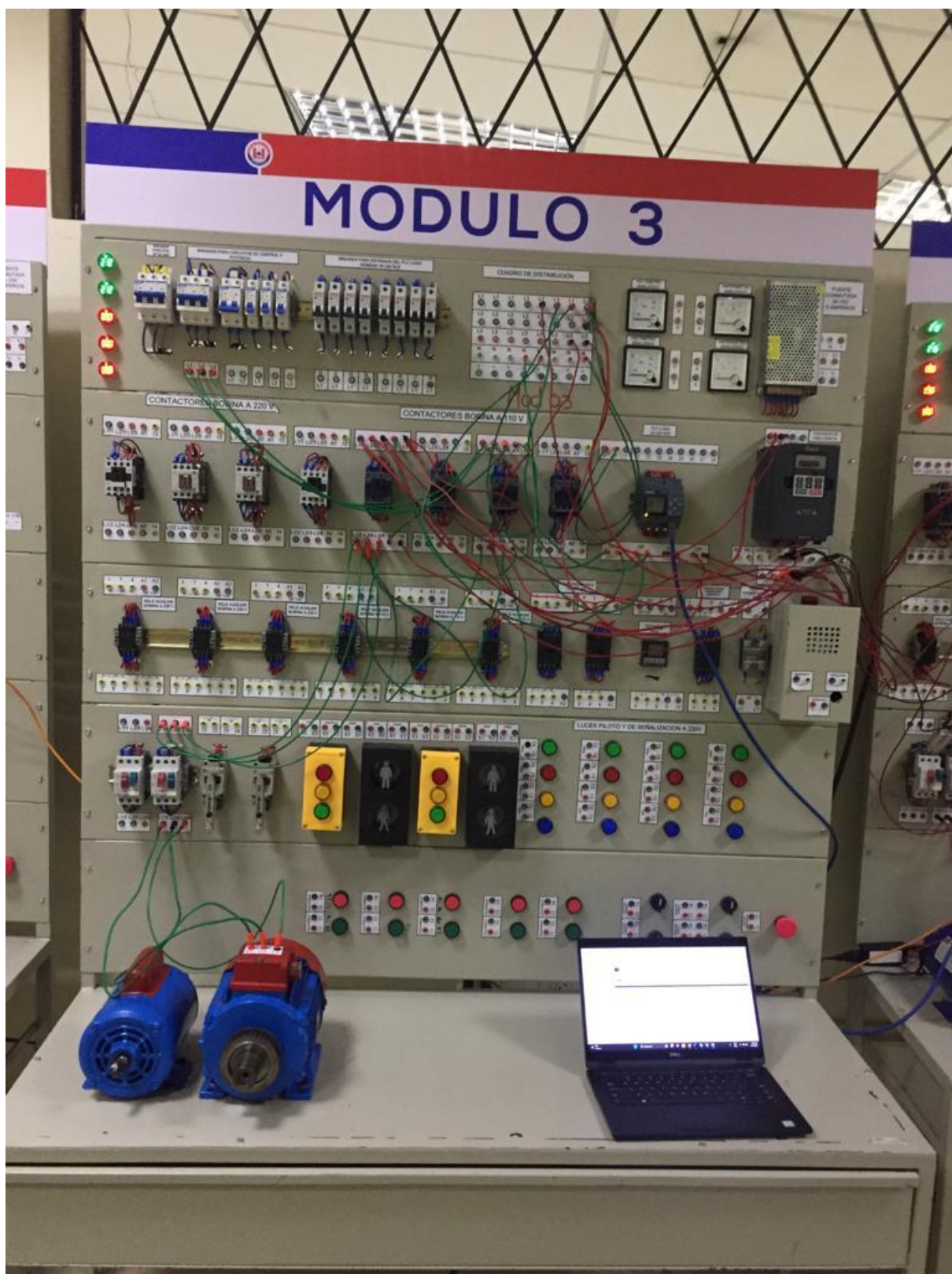
Anexo A. Tablero de automatización usado para el centro de control de motores.



Anexo A.1 Tablero 4 representativo de la sección de la jumbera.



Anexo A.2 Tablero 3 Centro de control de motores.



Anexo A3. Tablero 2 representativo de la sección de corte.

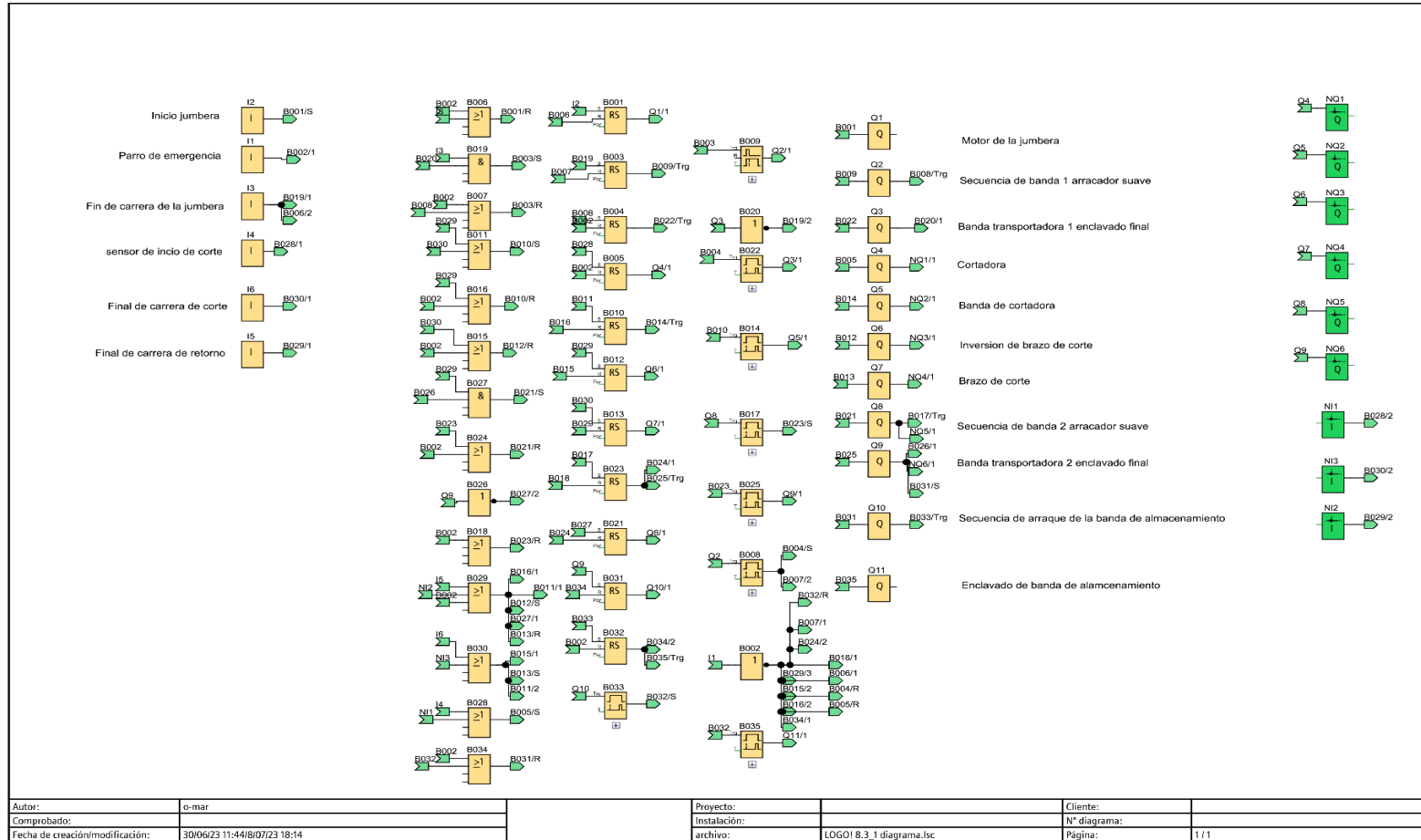


Anexo A4. Tablero 1 representativo de la sección del horno.

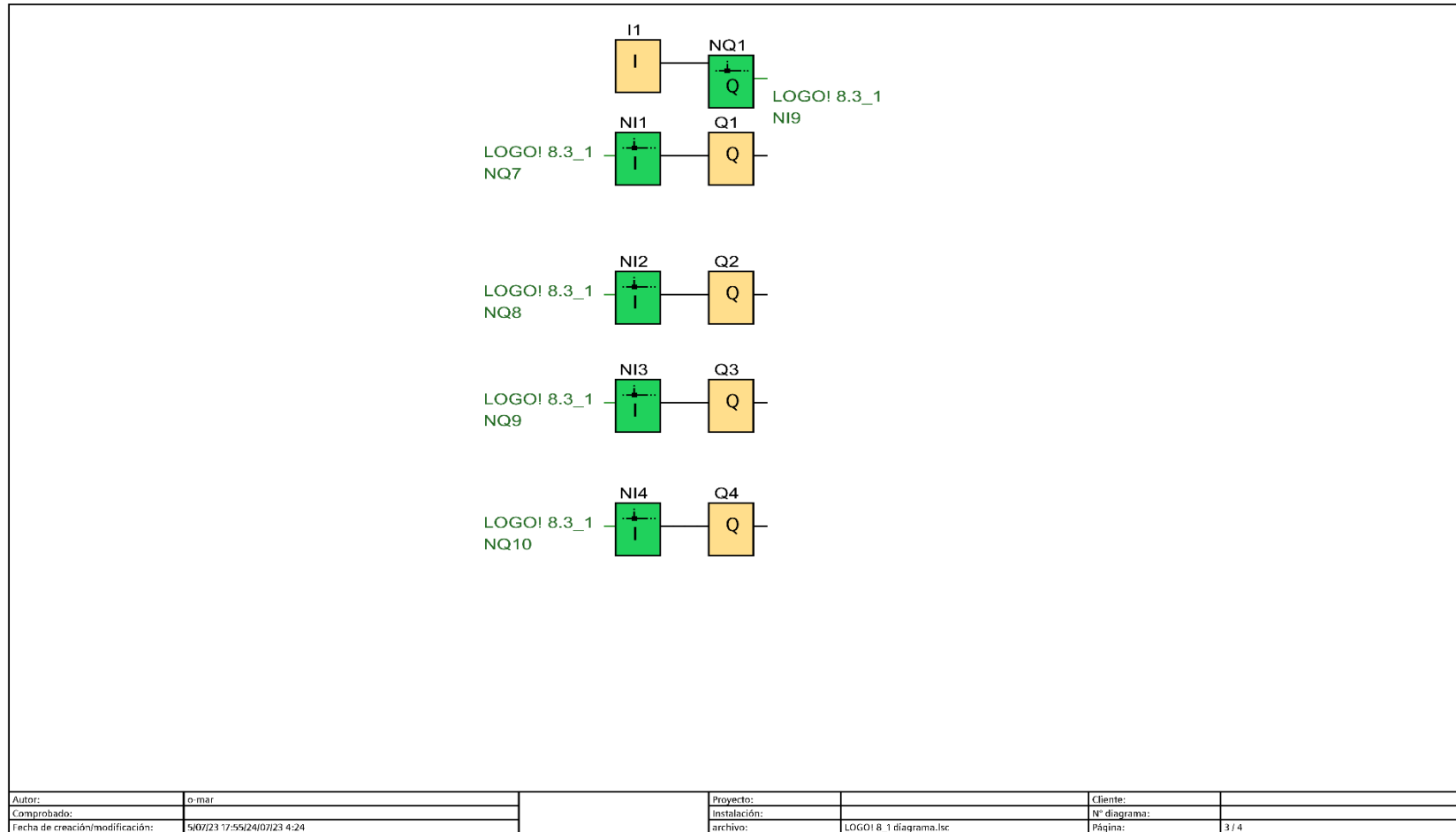




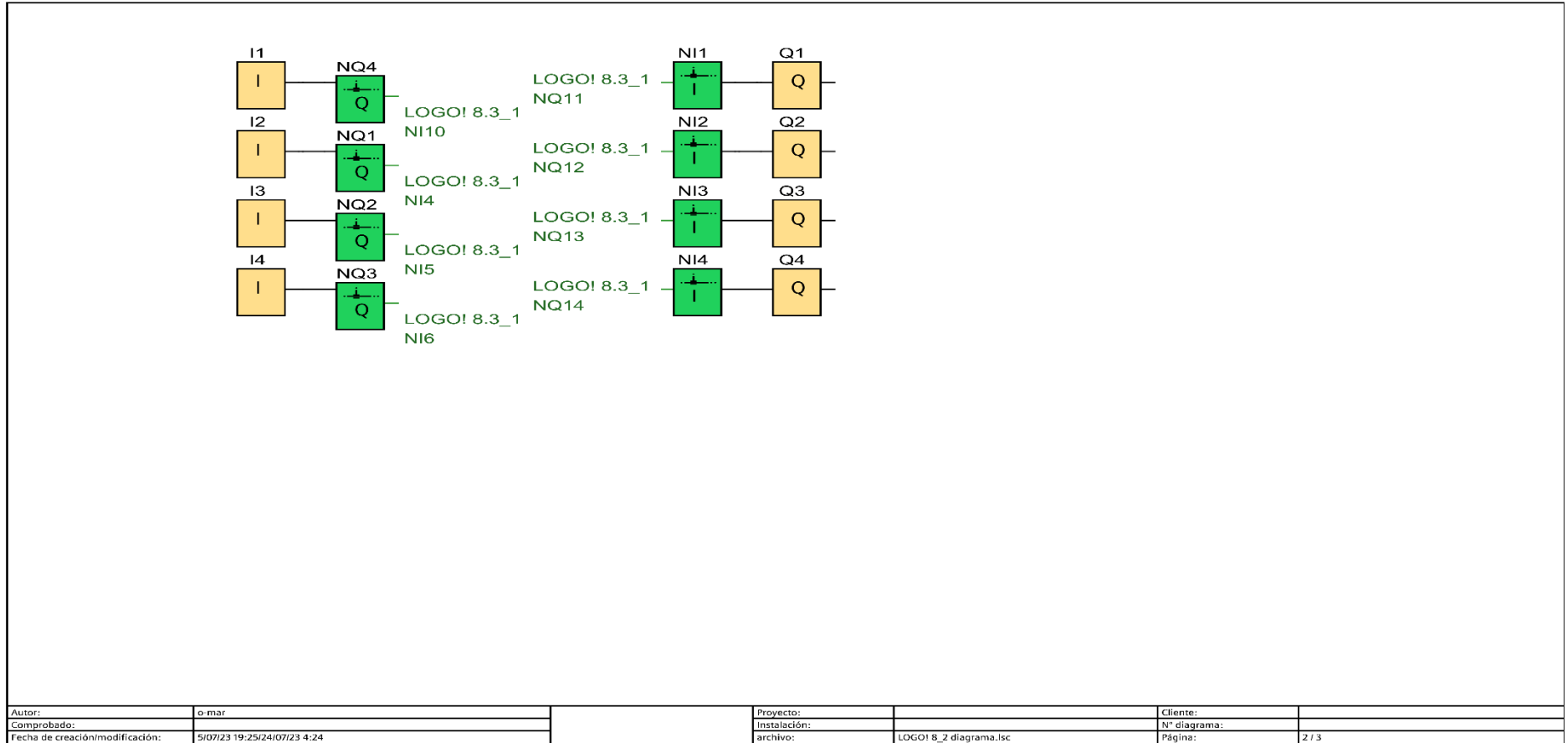
Anexo B Programa en LOGO Soft Comfort V8.0 centro de control de motores logo maestro .



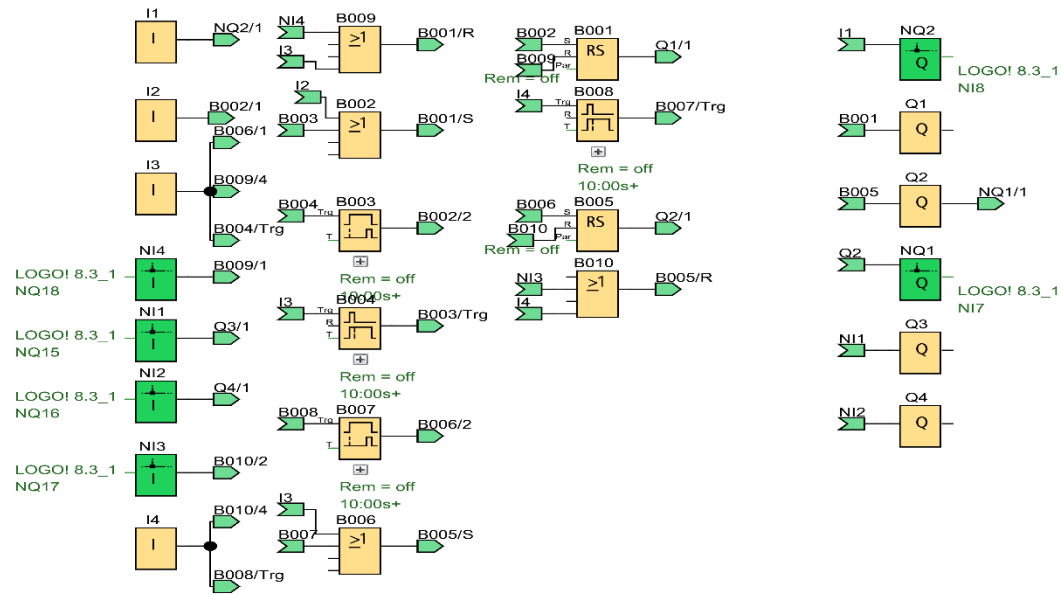
Anexo B.1 Programa logo esclavo 1 arranque de bandas de transportes.



Anexo B.2 Programa logo esclavo 2 sección de corte.

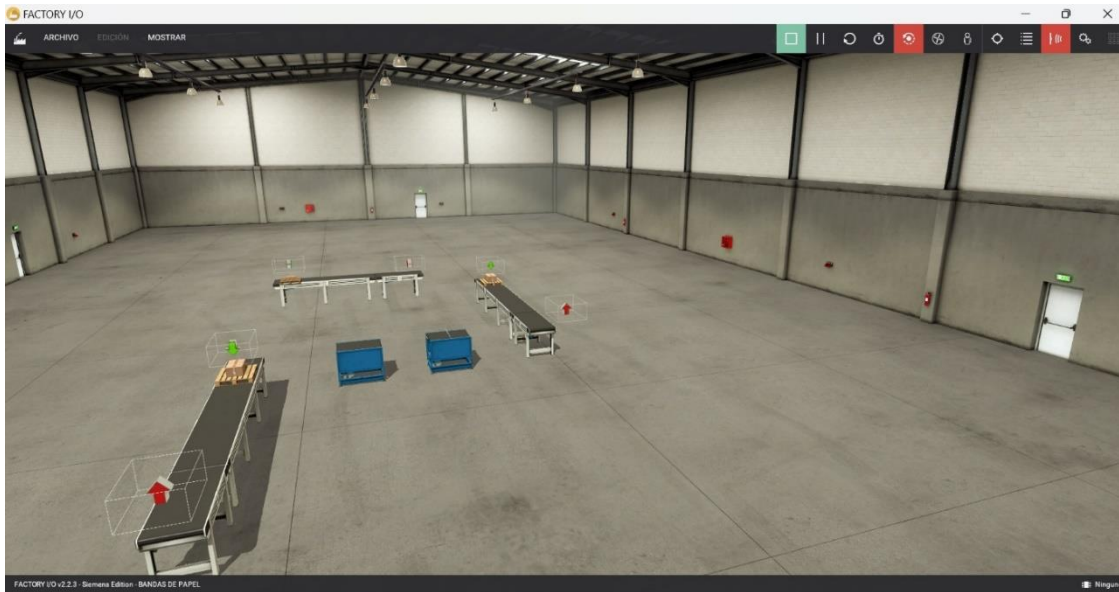


Anexos B.3 logo esclavo 3 sección del horno.

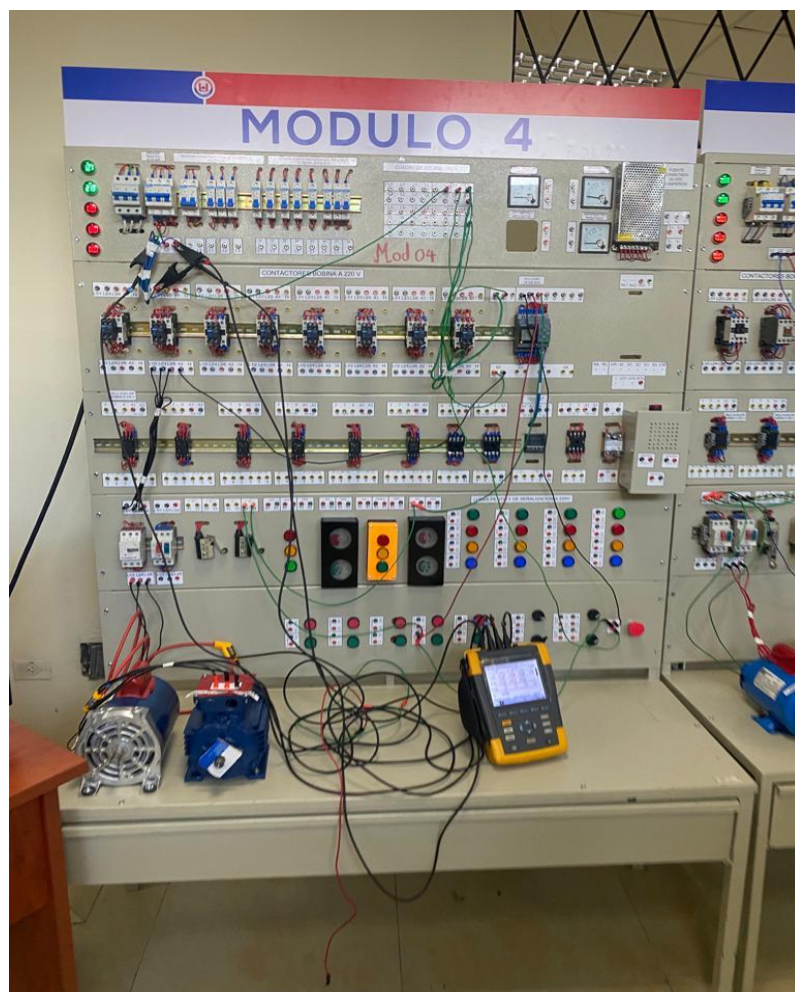


Autor:	o mar	Proyecto:		Cliente:	
Comprobado:		Instalación:		Nº diagrama:	
Fecha de creación/modificación:	10/07/23 18:47:24/10/23 4:41	archivo:	LOGO! 8.3_2 diagrama.lsc	Página:	2 / 4

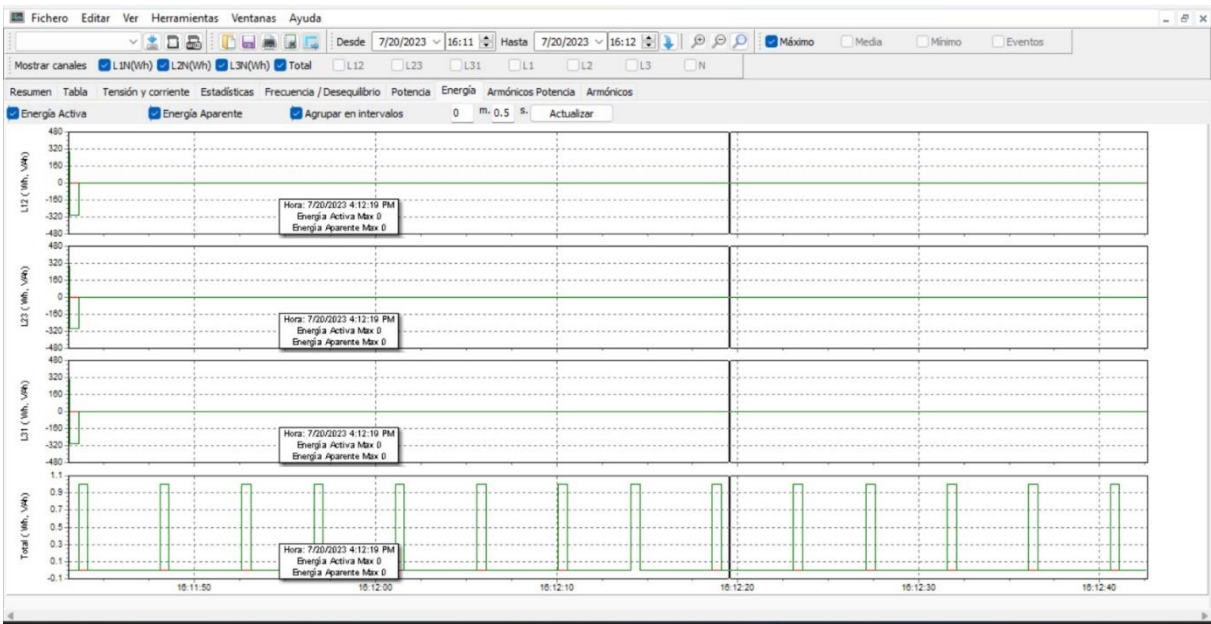
## Anexo C simulación en Factory io Bandas de transporte



## Anexo D recompilacion de datos con el analizador de redes.



### Anexo D.1 Corrientes de arranque estrella triángulo.



Anexo D.2 Corrientes de arranque con variador de frecuencia.

