



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

PROPUESTA TECNOLÓGICA

**REPOTENCIACIÓN DE UNA ENCOLADORA DE LIBROS AL
CALOR POR MEDIO DE CONTROL DE TEMPERATURA**

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

AUTORES:

Santiago Salvador Robalino Gruezo

Cesar Rivaldo Zambrano Bravo

TUTOR:

Msc. Ing. Luis Miguel Navarrete Lopez

LATACUNGA – ECUADOR
AGOSTO 2024

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros Santiago Salvador Robalino Gruezo con CI: 1725276032 y Cesar Rivaldo Zambrano Bravo con CI: 2300006307; declaramos ser autores del presente Proyecto de Investigación: “**REPONTENCIACIÓN DE UNA ENCOLADORA DE LIBROS AL CALOR POR MEDIO DE CONTROL DE TEMPERATURA**”, siendo el Msc.Ing. Luis Miguel Navarrete Lopez, tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

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

Latacunga, 19 Agosto del 2024



Santiago Salvador Robalino Gruezo

CI: 1725276032



Cesar Rivaldo Zambrano Bravo

CI: 2300006307

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título: **“REPONTENCIACIÓN DE UNA ENCOLADORA DE LIBROS AL CALOR POR MEDIO DE CONTROL DE TEMPERATURA”**, de Robalino Gruezo Santiago Salvador y Zambrano Bravo Cesar Rivaldo, de la carrera de Electromecánica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, 19 Agosto del 2024



ING. Navarrete Lopez Luis Miguel

CI: 1803747284

TUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, los postulantes: Santiago Salvador Robalino Gruezo y Cesar Rivaldo Zambrano Bravo con el título de Proyecto de titulación: “**REPONTENCIACIÓN DE UNA ENCOLADORA DE LIBROS AL CALOR POR MEDIO DE CONTROL DE TEMPERATURA**” 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, 19 Agosto del 2024

Para constancia firman:



Lector 1

Msc.Ing Jefferson Alberto Porras
CI:0704400449



Lector 2

Msc.Ing Carlos Francisco
Pacheco Mena
CI: 0503072902



Lector 3

Ms.C. Cristian Gallardo Molina
CI:0502847692

AGRADECIMIENTO

*Quiero agradecer con todo el corazon a Dios por darme salud, vida y por bendecirme con la exelente madre que me crio, agradezco a mi madre, **Maria Antonieta Gruezo Quintero**, cuyo amor y apoyo incondicional han sido fundamentales en cada paso de este viaje académico, desde mis primeros días en la escuela hasta este momento culminante, ella ha sido mi mayor motivadora y mi guía. Su dedicación y sacrificio han hecho posible que persiga mis sueños y me convierta en la persona que soy hoy, Gracias por enseñarme la importancia de la perseverancia y el trabajo duro, y por estar siempre a mi lado, incluso en los momentos más desafiantes, tu fe en Dios me ha impulsado a superar obstáculos y a nunca rendirme este logro es tan tuyo como mío. Te agradezco de corazón por ser mi inspiración y mi apoyo constante **Te amo Madre.***

Santiago

DEDICATORIA

*A mi madre, **Maria Antonienta Gruezo Quintero**, por su amor incondicional, su apoyo constante y su fe inquebrantable en mí. Gracias por ser mi roca, mi guía y mi mayor inspiración. Este logro es tan tuyo como mío.*

*A mi padre, **Renato Elicio Robalino Villacis**, por enseñarme el valor del trabajo duro, la perseverancia y la integridad. Gracias por tus consejos sabios, tu apoyo y por siempre creer en mí.*

A mi familia, por estar siempre a mi lado, celebrando mis triunfos y sosteniéndome en los momentos difíciles. Gracias por el amor, la risa y los recuerdos que atesoro en mi corazón.

A todos ustedes, dedico este trabajo, fruto de mi esfuerzo y el apoyo de una familia extraordinaria. Sin su amor y guía, nada de esto habría sido posible.

Santiago

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TITULO: “REPOTENCIACIÓN DE UNA ENCOLADORA DE LIBROS AL CALOR POR MEDIO DE CONTROL DE TEMPERATURA”

Autores:

Santiago Salvador Robalino Gruezo

Cesar Rivaldo Zambrano Bravo

RESUMEN

La presente propuesta tecnológica se abordó la repotenciación de una encoladora de libros al calor, con el propósito de optimizar el tiempo de proceso de encuadernación mediante la implementación de un sistema de control térmico. El proyecto se enfrentó al desafío de reacondicionamiento integral del equipo, incluyendo la corrección de deficiencias operativas, la automatización de procesos y el control de temperatura. Durante el desarrollo del proyecto se abarcó una evaluación sobre el estado inicial de la máquina, seguido del diseño e implementación de un sistema de control basado en PLC, y la integración de componentes de vanguardia, como sensores de temperatura RTD Pt100, y una interfaz HMI, implementando un algoritmo de control ON/OFF para la regulación precisa de la temperatura del adhesivo. Adicionalmente, se realizó una selección y dimensionamiento de los componentes eléctricos. La encoladora repotenciada se le implemento un control térmico, logrando mantener el adhesivo dentro su rango óptimo de operación, lo que resultó en una mayor consistencia la calidad de encuadernación. Además, la implementación de la interfaz HMI perfeccionó la interacción entre el operador y la máquina, facilitando ajustes en tiempo real y un monitoreo eficaz del proceso, permitiendo así su adaptación a diversas tipologías de papel y adhesivos. Esta innovación tecnológica optimizó el proceso, a la par, estableció una base sólida para futuras mejoras y adaptaciones, en respuesta a las dinámicas cambiantes de la industria de la encuadernación.

Palabras clave: Repotenciación, Temperatura, PLC, Control ON/OFF

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

THEME: “ENHANCEMENT OF A HEAT-BASED BOOKS BINDING MACHINE THROUGH TEMPERATURE CONTROL”

Authors:

Santiago Salvador Robalino Gruezo

Cesar Rivaldo Zambrano Bravo

ABSTRACT

This technological proposal addresses the refurbishment of a heat-based books binding machine, with the aim to optimize binding process time through the implementation of a thermal control system. The project faced the challenge of comprehensive equipment reconditioning, including the correction of operational deficiencies, automation process, and temperature control. During the project development, an evaluation of the machines initial state was conducted, followed by the design and implementation of a PLC-based control system. This included the integration of cutting-edge components such as RTD Pt100 temperature sensors and an HMI interface, implementing an ON/OFF control algorithm for precise adhesive temperature regulation. Additionally, electrical components were carefully selected and sized. The refurbished binding machine was equipped with thermal control, maintaining the adhesive within its optimal operating range, which resulted in greater consistency in binding quality. Furthermore, the implementation of the HMI interface enhanced the interaction between the operator and the machine, facilitating real-time adjustments and effective process monitoring, thus allowing adaptation to various types of paper and adhesives. This technological innovation optimizes the process, also establishes it a solid foundation for future improvements and adaptations in response to the changing dynamics of the bookbinding industry.

Keywords: Upgrading, Temperature, PLC, ON/OFF Control

ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	I
AVAL DEL TUTOR DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA	II
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN	III
AGRADECIMIENTO	IV
DEDICATORIA	V
RESUMEN	VI
ABSTRACT	VII
1. INFORMACIÓN GENERAL	1
2. INTRODUCCIÓN	2
2.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA	2
2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
2.2.1 Diagrama ISHIKAWA	3
2.3. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN	5
2.3.1. Objeto de Investigación	5
2.3.2. Campo de Acción	5
2.4. BENEFICIARIOS	5
2.4.1. Directo	5
2.4.2. Indirecto:	5
2.5. JUSTIFICACIÓN	5
2.6. OJETIVOS	5
2.6.1. General	5
2.6.2. Específicos	5
2.6.3. Sistemas de tareas	6
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	8
3.1. ANTECEDENTES	8
3.2. MARCO CONCEPTUAL REFERENCIAL	10
3.2.1. Encolado en Libros	10
3.2.2. Tipos de encolado en libros	10
3.2.2.1. Encolado Lateral	10
3.2.2.2. Encolado por cosido	11
3.2.2.3. Encolado perfecto o sin costura	12
3.2.3. Encoladoras de libros al calor	14
3.2.4. Tipos de encoladoras a calor	15
3.2.4.1. Encoladoras de rodillo	15
3.2.4.2. Encoladoras de boquilla	15
3.2.4.3. Encoladoras de pistola	16

3.2.4.4.	Encoladoras de spray	16
3.2.5.	Tipos de adhesivos utilizados en encoladoras al calor	17
3.2.5.1.	Adhesivos termoplásticos	17
A)	Adhesivos EVA (Etileno Vinil Acetato)	17
B)	Adhesivos de poliolefina	18
3.2.5.2.	Adhesivos reactivos	18
A)	Adhesivos de poliuretano reactivo (PUR)	18
3.2.6.	Tipos de materiales para el encolado al calor	19
3.2.6.1.	Papel offset	19
3.2.6.2.	Papel estucado	19
3.2.6.3.	Papel micróporo	19
3.2.6.4.	Papel de fibra sintética	19
3.2.7.	Control de temperatura en el proceso de encolado	20
3.2.7.1.	Tipos de control de temperatura en el proceso de encolado al calor	20
A)	Control de temperatura por resistencia eléctrica	20
B)	Control de temperatura por inducción electromagnética	21
C)	Control de temperatura por radiación infrarroja	21
D)	Control de temperatura por convección forzada	21
E)	Control de temperatura por contacto directo	22
3.2.8.	Controlador ON/OFF	22
3.2.9.	Programación ladder	22
3.2.10.	Controlador lógico programable	23
4.	MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS	23
4.1.	METODOLOGÍA	24
4.1.1.	Declaración de variables	24
4.1.2.	Diagnóstico de la maquina	25
4.1.2.1.	Inspección visual	25
4.1.2.2.	Diagnóstico eléctrico	26
4.1.2.3.	Evaluación mecánica	28
4.1.3.	Reemplazo de componentes deteriorados	28
4.2.	DISEÑO DE LA REPOTENCIACIÓN	30
4.2.1.	Descripción de los subprocesos	30
4.2.1.1.	Semi-automatización el proceso de encuadernación	30
Definición de requisitos	31
4.2.1.2.	Sistema de control de temperatura	32
A)	Requisitos para sistema de control	32
B)	Elemento de medición de temperatura	33

C)	Ecuación de la recta para calibrar el sensor de temperatura.....	33
4.2.2.	Desarrollo de la programación.....	34
4.2.2.1.	Elementos de programación.....	35
4.2.2.2.	Controlador de la programación.....	37
4.2.2.3.	Dispositivo para la programación.....	37
	Elección de PLC.....	38
4.2.3.	Dimensionamiento de los componentes eléctricos.....	38
4.2.3.1.	Dimensionamiento de conductor eléctrico.....	38
4.2.3.2.	Dimensionamiento del braker.....	38
5.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	39
5.1.	ELECCIÓN DE DISPOSITIVOS.....	39
5.1.1.	Dispositivos dimensionados.....	39
5.1.1.1.	Breaker.....	39
5.1.1.2.	Controlador lógico programable (PLC).....	40
5.1.2.	Dispositivos para la repotenciación de la encoladora.....	40
5.1.2.1.	Relé de estado solido.....	40
5.1.2.2.	Relé electromagnético.....	41
5.1.2.3.	Pantalla táctil.....	41
5.1.2.4.	Sensor de Temperatura.....	42
5.1.2.5.	Transmisor Pt100.....	42
5.1.2.6.	Fuente de voltaje conmutada.....	43
5.1.2.7.	Sensor Final de Carrera.....	43
5.1.2.8.	Resistencia térmica tipo cartucho.....	44
5.2.	ESQUEMA ELÉCTRICO.....	44
5.3.	PROGRAMACIÓN.....	46
5.4.	PRUEBAS DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA.....	48
5.5.	INTERACCIÓN DE LA PANTALLA HMI.....	48
5.6.	ANÁLISIS DE ENCOLADO.....	49
5.6.1.	Encolado en papel bond.....	49
5.6.2.	Encolado en papel couché.....	51
5.6.3.	Encolado en papel LWC.....	52
5.7.	ANÁLISIS DE COSTOS.....	53
5.7.1.	Costos directos.....	53
5.7.2.	Costos indirectos.....	54
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	54
6.1.	CONCLUSIONES.....	54
6.2.	RECOMENDACIONES.....	55

7. REFERENCIAS	56
8. ANEXOS	58

Tabla .2.1 Sistemas de tareas.....	6
Tabla 2.4.2. Lista de materiales de reemplazo	29
Tabla 3. 5.1. Breaker de 20A 2Polos	40
Tabla 4.5.2. PLC Siemens S7-1200 CPU 1212c AC/DC/RELAY	40
Tabla 5.5.3. Relé de estado solido.....	41
Tabla 6.5.4. Relé electromagnético	41
Tabla 7. 5.5. Pantalla Samkoon SK-043QE de 4.3 pulgadas	42
Tabla 8. 5.a. Sensor de temperatura RTD Pt100.....	42
Tabla 9 5.b. Transmisor Pt100	43
Tabla 10.5.c. Fuente de voltaje conmutada	43
Tabla 11.5.d. Sensor Final de Carrera	44
Tabla 12.5.e. Resistencia tipo cartucho.....	44
Tabla 13.5.f. Tiempo de refrigeración para encolado en papel bond	50
Tabla 14.5.g. Tiempo de refrigeración en encolado para papel couché	51
Tabla 15.5.h. Tiempo de refrigeración en encolado para papel LWC	52
Tabla 16.5.i Costos directos	53
Tabla 17.5.j Costos indirectos de la repotenciacion de la encoladora	54
Tabla 18.5.k costo total invertido en la repotenciacion de la encoladora.....	54

Figura 4. 1 Metodología para el desarrollo del proyecto tecnológico	24
Figura 4. 2 Metodología para el desarrollo del proyecto tecnológico	25
Figura 4. 3 Inspección visual de la encoladora de libros.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 4. 4 Multímetro digital 0670 TRMS función VFD HT-INSTRUMENTS HT22D26	
Figura 4. 5 Análisis eléctrico de la encoladora.....	27
Figura 4. 6 Evaluación mecánica	28
Figura 4. 7 termómetro infrarrojo Oeg HT818	33
Figura 4. 8 Variables del sistema de control	34
Figura 4. 9 Entradas.....	35
Figura 4. 10 Salidas	35
Figura 4. 11 Bloques de organización	35
Figura 4. 12 Bloque NORM_X	36
Figura 4. 13 Bloque SCALE_X	36
Figura 4. 14 Bloque TIME	36
Figura 4. 15 CALCULATE	36
Figura 4. 16 Control ON/OFF de Temperatura [1].....	37
Figura 5. 1 Esquema eléctrico de la repotenciación de la encoladora	45
Figura 5. 2 Esquema eléctrico de la repotenciación de la encoladora	48
Figura 5. 3 Interacción de la pantalla HMI	49

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título: Repotenciación de una encoladora de libros al calor por medio de control de temperatura

Modalidad de Titulación: Propuestas Tecnológicas

Fecha de inicio: abril 2024

Fecha de finalización: agosto 2024

Lugar de ejecución: Universidad Técnica de Cotopaxi

Facultad que auspicia: Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas (CIYA)

Carrera que auspicia: Ingeniería Electromecánica

Proyecto de investigación vinculado: Repotenciación de una encoladora de libros al calor por medio de control de temperatura.

Equipo de Trabajo: Msc. Ing. Luis Miguel Navarrete Lopez

Santiago Salvador Robalino Gruezo

Cesar Rivaldo Zambrano Bravo

Área de Conocimiento: 06 Información y Comunicación (TIC) / 061 Información y Comunicación (TIC) / 0611 El uso del Ordenador / 0613 Software y desarrollo y análisis de aplicativos.

Línea de investigación: Tecnología de la información y las comunicaciones, robótica, automatización y optimización de sistemas.

Sub líneas de investigación de la Carrera: Automatización, control y protecciones de sistema electromecánico

2. INTRODUCCIÓN

La encuadernación de libros es un proceso fundamental en la industria editorial, ya que no solo garantiza la durabilidad y presentación del producto final, sino que también influye en la experiencia del lector. En este contexto, el uso de encoladoras al calor se ha convertido en una práctica común debido a su eficacia en la unión de páginas y cubiertas. Sin embargo, la inhabilitación de una encoladora al calor que no cuenta con un control de temperatura adecuado plantea una serie de desafíos que pueden afectar tanto la calidad del producto como el aumento del proceso de producción.

La falta de un sistema de control de temperatura y sus componentes averiados en una encoladora al calor puede resultar en una serie de problemas técnicos y de calidad. En primer lugar, la temperatura del adhesivo es crucial para su correcta aplicación. Un adhesivo que se aplica a una temperatura inadecuada puede no adherirse correctamente, lo que puede llevar a deslaminados o a una unión débil entre las páginas y la cubierta. Esto no solo compromete la integridad del libro, sino que también puede generar un aumento en los costos de producción debido a la necesidad de reencuadernar o reparar libros defectuosos.

Sin embargo, ha sido utilizada durante muchos años para la encuadernación de materiales sin su control de temperatura mencionado y con equipos eléctricos, mecánicos antiguos que debido a su desgaste y obsolescencia se ha ido deteriorado esto ha llevado a su inhabilitación y sobre todo han dejado de ser funcionales y eficientes afectando la capacidad operativa

Este trabajo se propone abordar la problemática de la encoladora de libros al calor inhabilitada sin un sistema de control de temperatura. A través de un análisis exhaustivo de las implicaciones de esta deficiencia, se explorarán soluciones tecnológicas que permitan implementar un control de temperatura efectivo. Se considerarán tanto las mejoras en la calidad del producto final como los beneficios operativos y de seguridad que se derivarían de la implementación de un sistema de control adecuado. Al final, se espera que esta investigación contribuya a la optimización de los procesos de encuadernación, promoviendo un enfoque más eficiente y sostenible en la industria editorial.

2.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

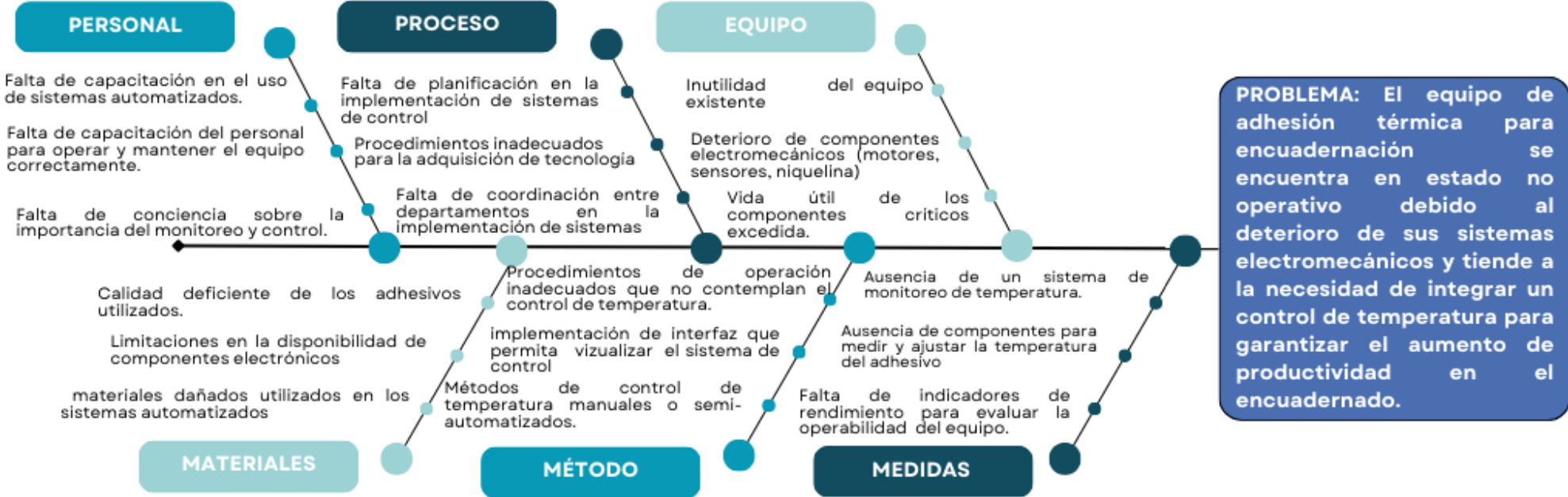
La encoladora de libros al calor que ha sido utilizada durante mucho tiempo, la cual se dejó de utilizar porque los elementos eléctricos y mecánicos se fueran deteriorando dejando a la máquina inhabilitada; antes del desarrollo de esta propuesta tecnológica la máquina todavía

almacenada sin darle ningún uso. Actualmente necesita que vuelva a ser puesta en marcha para la utilización de la misma. Debido a su antigüedad, la maquina presenta fallos frecuentes y requiere un proceso manual intensivo, lo que afecta la calidad del trabajo, puesto que sus componentes se encuentran desgastados y su tecnología es obsoleta, por este motivo, es que la labor esta propenso a errores. Además, no cuenta con el control de temperatura el cual presenta variaciones de calor que afectan la calidad del producto final, ante esta dificultad la propuesta tecnológica es repotenciarla para corregir todas las insolencias de la máquina dichas anteriormente.

2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El equipo de adhesión térmica para encuadernación se encuentra en estado no operativo debido al deterioro de sus sistemas electromecánicos, por lo que requiere una intervención de reacondicionamiento integral que incluya la rectificación de anomalías funcionales, la implementación de procesos automatizados e integrar un control de temperatura para garantizar el aumento de productividad en el encuadernado

2.2.1 Diagrama ISHIKAWA



2.3.OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN

2.3.1. Objeto de Investigación

- Encoladora de libros al calor

2.3.2. Campo de Acción

- Repotenciación de una encoladora de libros al calor por medio de control de temperatura.

2.4. BENEFICIARIOS

2.4.1. Directo

- Personal operario de la encoladora

2.4.2. Indirecto:

- Biblioteca, estudiantes, profesores, trabajadores.

2.5. JUSTIFICACIÓN

La optimización del sistema de encolado abordará deficiencias técnicas y operativas mediante la implementación de principios teóricos y metodologías adquiridas en el ámbito académico, tales como la regulación termostática y la automatización de procesos, en un contexto de aplicación práctica. Adicionalmente, la actualización tecnológica del equipo mitigará la carga laboral manual del personal operativo, incrementando la precisión en la ejecución de las tareas. Esta mejora no solo elevará los estándares cualitativos de la operación, sino que también permitirá una mayor producción en menos tiempo, optimizando los tiempos de procesamiento.

2.6. OJETIVOS

2.6.1. General

Repotenciar la encoladora de libros al calor mediante control de temperatura para mejorar la calidad del proceso de encuadernación.

2.6.2. Específicos

- Diagnosticar el estado actual de los componentes eléctricos y mecánicos de la encoladora para identificar las áreas que requieren intervención.

- Reemplazar los componentes mecánicos y eléctricos desgastados por piezas nuevas para asegurar el funcionamiento de la máquina.
- Implementar un sistema de control de temperatura utilizando sensores para garantizar una temperatura constante durante el proceso de encuadernación.
- Automatizar parcialmente el proceso de encuadernación mediante la integración de actuadores y controladores que reduzcan la necesidad de intervención manual.

2.6.3. Sistemas de tareas

Estas actividades permitirán cumplir con los objetivos específicos planteados, asegurando la repotenciación exitosa de la encoladora de libros al calor.

Tabla .2.1 Sistemas de tareas

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultados esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
Diagnosticar el estado actual de los componentes eléctricos y mecánicos de la encoladora para identificar las áreas que requieren intervención.	Realización una inspección visual detallada de todos los componentes eléctricos y mecánicos.	Identificación de componentes visibles desgastados o dañados.	Uso de listas de verificación, linternas, lupas y cámaras para documentar el estado de los componentes.
	Ejecución pruebas de funcionamiento de los sistemas eléctricos y mecánicos.	Determinación de fallos operativos y rendimiento de la máquina.	Uso de multímetros, osciloscopios y herramientas de diagnóstico mecánico.

<p>Reemplazar los componentes mecánicos y eléctricos desgastados por piezas nuevas para asegurar el funcionamiento de la máquina.</p>	<p>Compra de componentes necesarios para el reemplazo.</p>	<p>Disponibilidad de todas las piezas necesarias para la repotenciación.</p>	<p>Uso de catálogos de proveedores, presupuestos y órdenes de compra.</p>
	<p>Sustitución de componentes desgastados por los nuevos.</p>	<p>Funcionamiento óptimo de la encoladora con componentes nuevos.</p>	<p>Uso de herramientas de montaje, manuales de instalación y equipos de protección personal.</p>
<p>Implementar un sistema de control de temperatura preciso utilizando sensores para garantizar una temperatura constante durante el proceso de encuadernación.</p>	<p>Colocación sensores de temperatura en puntos críticos de la encoladora.</p>	<p>Monitoreo preciso de la temperatura en tiempo real.</p>	<p>Uso de sensores de temperatura, cables de conexión y software de monitoreo.</p>
	<p>Programación del controlador ON/OFF para mantener la temperatura deseada.</p>	<p>Control de temperatura estable y preciso durante el proceso de encuadernación.</p>	<p>Uso de controladores ON/OFF, software de configuración y manuales técnicos.</p>

Automatizar parcialmente el proceso de encuadernación mediante la integración de actuadores y controladores que reduzcan la necesidad de intervención manual.	Instalación de actuadores en las partes del proceso que requieren automatización.	Reducción de la intervención manual en el proceso de encuadernación.	Uso de actuadores, controladores lógicos programables (PLC) y software de automatización.
	Programación de controladores para coordinar el funcionamiento de los actuadores.	Coordinación eficiente y precisa de los actuadores durante el proceso de encuadernación.	Uso de software de programación, manuales técnicos y herramientas de prueba.

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1. ANTECEDENTES

Acorde a la investigación realizada del proyecto tecnológico “Automatización de una máquina encoladora de libros Sulby 7 Clamp Perfect Binder para la empresa Briuve Servicios Gráficos”, se centra en el diseño e implementación de un sistema de control eléctrico-electrónico para la máquina SULBY 7 de la empresa “BRIUVE”, ubicada en Quito en el año 2016, que se utiliza en el proceso de encolado de libros. Este sistema de control se basa en una tarjeta Arduino y una placa electrónica diseñada específicamente para este propósito. El sistema incluye una placa electrónica que protege la tarjeta Arduino y una interfaz gráfica desarrollada en Android Studio 1.3.2, que permite al operador monitorear y controlar el proceso de encolado de libros en tiempo real a través de cualquier dispositivo móvil con sistema operativo Android. El sistema de control ha sido probado y documentado detalladamente, incluyendo un manual de usuario y planos de fuerza y control. Con este sistema, la máquina puede trabajar de manera eficaz y segura en el ambiente industrial, cumpliendo con las expectativas requeridas para su funcionamiento [1].

Según el proyecto de estudio de “Diseño y construcción de una engomadora para el taller artesanal “Top Ballon” en la parroquia santa rosa de la ciudad de Ambato”, describe el diseño y construcción de una máquina engomadora para el Taller Artesanal “TOP BALLON” situada en Ambato en el año 2018. Se recopiló información detallada sobre el proceso de engomado y se observaron diferentes tipos de máquinas engomadoras a nivel industrial. Se realizaron cálculos para determinar los parámetros básicos de la máquina, como la presión de contacto del rodillo sobre el cuero y la velocidad necesaria del rodillo y la banda transportadora de cueros. Se utilizó el Método de Árbol de Decisiones para seleccionar las mejores alternativas para la construcción de la máquina. Los materiales se seleccionaron a través de los cálculos y se adquirieron en el mercado local. Las pruebas realizadas mostraron una considerable disminución de los tiempos de engomado con la máquina en comparación con el proceso manual. Durante la construcción de la máquina, se modificaron varios componentes para reducir el peso y el costo de la máquina. Los componentes de la máquina se fabricaron con materiales de fácil adquisición, como acero ASTM A36 para los ángulos estructurales y AISI 304 para los ejes y algunos componentes inoxidable. Las pruebas de engomado a diferentes velocidades mostraron buenos resultados a 60 RPM, pero no a 100 RPM debido al exceso de velocidad del rodillo. La construcción de la máquina se complicó debido a la dependencia de algunos componentes o sistemas, lo que amplió el tiempo de construcción en un 30% [2].

En base a la indagación ejecutada del análisis de “Control y monitoreo del nivel de temperatura de la estación de nivel usando un PLC TWIDO”, se enfoca en la adquisición de un PLC Twido TWDLCAA24DRF, que se analizó y estudió para entender su funcionamiento y aplicaciones, y cómo puede mejorar el aprendizaje de los estudiantes de Electrónica Mención Instrumentación y Aviónica del Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico la ciudad de Latacunga en el año 2013. Se realizó una simulación de un proceso industrial utilizando el PLC, que implicó el precalentamiento del agua y la adición de aditivos antes de ingresar a un caldero, en donde se adquirieron señales de sensores de temperatura y nivel en tiempo real, y se acondicionaron las señales analógicas. Además, se desarrolló un programa para controlar y monitorear una estación de nivel utilizando el PLC en el laboratorio de Instrumentación Virtual del Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico. Durante las pruebas de funcionamiento, se encontró una variación entre los datos visualizados en LabVIEW y los datos reales, y se realizó un proceso aritmético para corregir esta variación, por lo tanto, se discute la importancia de la interfaz hombre-máquina (HMI) y la necesidad de tener en cuenta el entorno físico en el que los humanos interactuarán con los ordenadores [3].

3.2. MARCO CONCEPTUAL REFERENCIAL

3.2.1. Encolado en Libros

El mundo de los libros va más allá de las páginas llenas de historias y conocimiento. Detrás de cada ejemplar existe un proceso meticuloso que asegura su integridad y perdurabilidad. En este contexto, el encolado en libros se posiciona como una técnica fundamental, otorgando consistencia y unidad a la obra. Este proceso es fundamental en la encuadernación y producción de libros, ya que consiste en la aplicación de adhesivos para unir las hojas o cuadernillos que conforman el cuerpo del libro. Este método ha evolucionado significativamente a lo largo de la historia de la imprenta y la encuadernación, adaptándose a las necesidades cambiantes de la industria editorial y a los avances tecnológicos en materiales adhesivos.

El encolado como técnica de encuadernación tiene sus raíces en la antigüedad. Los primeros adhesivos utilizados para este propósito eran de origen natural, como las colas animales derivadas del colágeno, estos adhesivos se obtenían principalmente de pieles, huesos y cartílagos de animales, siendo la cola de pescado una de las más utilizadas por su alta resistencia y flexibilidad [4].

Este proceso se basa en principios químicos de adhesión y cohesión. La adhesión se refiere a la capacidad del adhesivo para unirse a las superficies del papel, mientras que la cohesión es la fuerza interna del adhesivo que mantiene unidas sus moléculas. La eficacia del encolado depende de varios factores, incluyendo la composición química del adhesivo, la porosidad del papel y las condiciones ambientales durante el proceso de aplicación y secado [5].

3.2.2. Tipos de encolado en libros

3.2.2.1. Encolado Lateral

También conocido como encolado de borde o de canto, es una técnica esencial en la producción de libros modernos. Este método, que se ha convertido en un pilar de la industria editorial desde principios del siglo XX, implica la aplicación de un adhesivo especializado a lo largo del lomo del libro para unir las hojas individuales en un bloque cohesivo.

La evolución del mismo ha sido paralela al desarrollo de adhesivos más avanzados y a la modernización de los procesos de producción de libros. Esta técnica ha ganado prominencia debido a su eficiencia en la fabricación y la durabilidad que proporciona al producto final. Es particularmente relevante en la producción de libros de tapa blanda, aunque también se utiliza en ciertos tipos de encuadernación de tapa dura [6].

Proceso y Aspectos Técnicos

- **Preparación del Bloque de Libro:** El proceso comienza con la cuidadosa alineación de las hojas del libro para formar un bloque uniforme. La precisión en esta etapa es crucial, ya que afecta directamente la calidad de la unión final. Un bloque bien alineado permite una penetración uniforme del adhesivo, lo que resulta en una unión más sólida y duradera.
- **Tratamiento del Lomo:** Antes de aplicar el adhesivo, el lomo del bloque de libro suele someterse a un proceso de fresado. Esta técnica crea una superficie rugosa en el borde de las hojas, lo que aumenta significativamente el área de contacto entre el papel y el adhesivo. El fresado es un paso crucial para mejorar la adhesión y garantizar una unión más resistente.
- **Selección y Aplicación del Adhesivo:** La elección del adhesivo es un factor crítico en el encolado lateral. Los tipos más comunes incluyen: a) Adhesivos termofusibles (hot melt): Se aplican en estado líquido caliente y se solidifican rápidamente al enfriarse. b) Adhesivos de emulsión de polivinilacetato (PVA): Ofrecen una buena flexibilidad y resistencia. c) Adhesivos de poliuretano (PUR): Proporcionan una unión muy fuerte y son resistentes a condiciones ambientales extremas [6].

La aplicación del adhesivo se realiza mediante sistemas de rodillos o boquillas de precisión. La cantidad y uniformidad de la aplicación son fundamentales para lograr una unión óptima. Una aplicación inadecuada puede resultar en una unión débil o en la penetración excesiva del adhesivo entre las páginas, lo que afectaría la calidad del libro.

- **Secado y Curado:** El proceso de secado varía según el tipo de adhesivo utilizado. Los adhesivos termofusibles se enfrían y solidifican rápidamente, mientras que los PVA y PUR requieren un tiempo de curado más prolongado. En el caso de los adhesivos PUR, se recomienda un período de curado de 24 a 48 horas para alcanzar la máxima resistencia de unión [7].

3.2.2.2. Encolado por cosido

Se basa en la combinación de cohesión mecánica y adhesión química. El proceso de cosido establece una red interconectada de hilos que distribuye las fuerzas de tensión a lo largo del lomo del libro. El pegado posterior añade una capa adicional de cohesión, creando una estructura compuesta que aumenta la resistencia general del libro.

Esta combinación permite un equilibrio entre la rigidez necesaria para la estabilidad estructural y la flexibilidad requerida para un uso cómodo. La distribución uniforme de las tensiones a lo largo del lomo reduce la concentración de estrés en puntos específicos, lo que contribuye a la longevidad del libro [7].

Etapas fundamentales:

- Preparación de los pliegos: Los cuadernillos se pliegan y ordenan secuencialmente, prestando especial atención a la alineación correcta. La selección del papel es crucial, ya que su calidad y gramaje influirán en la resistencia final del libro.
- Proceso de cosido: Se marcan los puntos de costura en el lomo de los cuadernillos. Según Clements (2018) "el cosido se realiza con hilo resistente, generalmente de lino o algodón, siguiendo patrones específicos como la costura española o francesa". Es fundamental mantener una tensión uniforme durante todo el proceso para evitar daños al papel y asegurar una estructura sólida [8].
- Preparación para el encolado: Los cuadernillos cosidos se prensan para compactar el lomo. En muchos casos, se redondea ligeramente el lomo para mejorar la apertura del libro y distribuir el estrés de manera más uniforme.
- Proceso de encolado: La elección del adhesivo es crucial y depende de factores como la durabilidad requerida, las condiciones ambientales y el tipo de papel. El adhesivo se aplica en varias capas finas, permitiendo un secado parcial entre cada aplicación para asegurar una penetración uniforme y una unión fuerte.
- Secado y acabado: Es esencial permitir un tiempo de secado adecuado para que el adhesivo alcance su máxima resistencia. Posteriormente, se realizan pruebas de apertura y flexibilidad para asegurar que el libro funcione correctamente [7].

3.2.2.3. Encolado perfecto o sin costura

Del mismo modo conocido como encuadernación sin costura, es una técnica moderna y eficiente en la producción de libros que ha revolucionado la industria editorial. Este procedimiento se caracteriza por la unión de las hojas individuales mediante adhesivos especializados, eliminando la necesidad de coser los pliegos como en los métodos tradicionales.

Este proceso inicia con la preparación del lomo del libro. Las hojas se apilan cuidadosamente y se sujetan firmemente en una prensa especializada. El lomo se somete a un fresado, creando una superficie rugosa que aumenta la superficie de contacto para el adhesivo. Esta etapa es crucial para garantizar una adhesión óptima y duradera.

Una vez preparado el lomo, se aplica el adhesivo. Los adhesivos utilizados en el encolado perfecto son generalmente termofusibles o de base acuosa, diseñados específicamente para esta aplicación. Estos adhesivos se caracterizan por su rápido secado, flexibilidad y resistencia a la fatiga, factores esenciales para la durabilidad del libro [9].

Proceso de Producción

- Preparación de los pliegos: El proceso comienza con la impresión y el plegado de las hojas del libro. Estas hojas se agrupan en secciones llamadas "pliegos". En el caso del encolado perfecto, estos pliegos se cortan para separar las hojas individuales, a diferencia de la encuadernación tradicional donde los pliegos se mantienen intactos [10].
- Apilado y alineación: Las hojas cortadas se apilan cuidadosamente, asegurando una alineación perfecta. Esta etapa es crucial para garantizar que el lomo del libro sea uniforme y que todas las páginas queden correctamente posicionadas en el producto final.
- Fresado del lomo: Una vez apiladas y alineadas, las hojas se sujetan firmemente en una máquina especializada. El lomo del libro se somete a un proceso de fresado, que consiste en crear pequeños surcos o ranuras en el borde de las hojas. Este proceso aumenta la superficie de contacto para el adhesivo, mejorando significativamente la fuerza de unión [11].
- Aplicación del adhesivo: Después del fresado, se aplica el adhesivo al lomo del libro. Los adhesivos utilizados son generalmente termofusibles o de base acuosa, diseñados específicamente para esta aplicación. La elección del adhesivo depende de varios factores, incluyendo el tipo de papel, el grosor del libro y las condiciones de uso previstas.
- Colocación de la cubierta: Mientras el adhesivo aún está caliente y maleable, se coloca la cubierta del libro. Esta se adhiere al lomo y se extiende ligeramente sobre las primeras y últimas páginas, creando lo que se conoce como "media caña". Este paso es crucial para asegurar una unión fuerte entre el bloque de texto y la cubierta.
- Prensado y secado: El libro se somete a un proceso de prensado para asegurar una adhesión uniforme y eliminar cualquier burbuja de aire que pueda haberse formado. El tiempo de prensado varía según el tipo de adhesivo utilizado, pero generalmente dura entre 15 y 30 minutos.
- Recorte y acabado: Una vez que el adhesivo se ha secado completamente, el libro pasa por una guillotina industrial para recortar los bordes y darle su tamaño final. Este paso

asegura que todas las páginas estén perfectamente alineadas y que el libro tenga un aspecto profesional y uniforme.

3.2.3. Encoladoras de libros al calor

Conocidas habitualmente como encuadernadoras térmicas, son dispositivos fundamentales en la industria editorial y de impresión. Estos equipos utilizan adhesivos termoplásticos para unir las páginas de un libro o documento, creando una encuadernación duradera y profesional. El proceso se basa en la aplicación de calor para fundir el adhesivo, que luego se solidifica al enfriarse, asegurando una unión firme entre las hojas y la cubierta.

El funcionamiento de estas máquinas implica varios pasos clave. Inicialmente, se coloca el lomo del bloque de páginas en contacto con una tira de adhesivo termoplástico. Luego, se aplica calor mediante una placa calefactora, que funde el adhesivo. La temperatura óptima varía según el tipo de adhesivo utilizado, pero generalmente oscila entre 150°C y 200°C. Una vez fundido, el adhesivo penetra entre las fibras del papel, creando una unión mecánica además de la adhesiva. Finalmente, se ejerce presión sobre el lomo para garantizar una distribución uniforme del adhesivo, y se permite que el conjunto se enfríe para que el adhesivo se solidifique.

La eficacia de la encuadernación térmica depende de varios factores críticos. La calidad del adhesivo es primordial, ya que determina la resistencia y durabilidad de la unión. Los adhesivos más comunes son los de base EVA (Etileno-Acetato de Vinilo) y los poliuretanos, cada uno con características específicas en cuanto a flexibilidad, resistencia a la temperatura y durabilidad. Otro factor crucial es el control preciso de la temperatura, pues una temperatura inadecuada puede resultar en una unión débil o en daños al papel.

En el ámbito industrial, existen encoladoras de libros al calor de diversos tamaños y capacidades. Mientras las máquinas más pequeñas, diseñadas para oficinas o pequeñas imprentas, pueden procesar unos cientos de libros por hora, los sistemas industriales de gran escala pueden alcanzar velocidades de producción de varios miles de unidades por hora, integrándose en líneas de producción automatizadas [12].

La evolución tecnológica ha traído mejoras significativas a estos equipos. Los modelos más avanzados incorporan sistemas de control computarizados que permiten ajustar con precisión parámetros como la temperatura, el tiempo de calentamiento y la presión aplicada. Algunos incluso cuentan con sensores que detectan el grosor del documento y ajustan automáticamente los parámetros de encuadernación, optimizando el proceso y reduciendo el desperdicio de materiales.

En cuanto a la sostenibilidad, la industria está avanzando hacia el uso de adhesivos más ecológicos y procesos más eficientes energéticamente. El desarrollo de adhesivos biodegradables o derivados de fuentes renovables, que mantienen la calidad de unión, pero reducen el impacto ambiental. Los mismos autores también señalan la implementación de sistemas de recuperación de calor para mejorar la eficiencia energética de las máquinas [13].

3.2.4. Tipos de encoladoras a calor

Existen varios tipos de encoladoras a calor, cada uno diseñado para satisfacer necesidades específicas en diferentes sectores industriales. Entre los principales tipos se encuentran:

3.2.4.1. Encoladoras de rodillo

Las encoladoras de rodillo son sistemas robustos diseñados para aplicaciones de gran escala. Estos dispositivos utilizan un rodillo cilíndrico calentado, generalmente fabricado de acero inoxidable o aluminio, que gira en contacto con un depósito de adhesivo fundido. El adhesivo se adhiere a la superficie del rodillo y se transfiere al sustrato a medida que este pasa por debajo [12].

Una característica clave de las encoladoras de rodillo es su capacidad para aplicar una capa uniforme de adhesivo en superficies amplias. La presión entre el rodillo y el sustrato, junto con la velocidad de rotación, determinan el grosor de la capa de adhesivo aplicada. Esto permite un control preciso sobre la cantidad de adhesivo utilizado, lo que es crucial para optimizar el consumo de material y garantizar la calidad de la unión [13].

Las encoladoras de rodillo son particularmente eficaces en la industria del embalaje, donde se utilizan para aplicar adhesivo en grandes hojas de cartón corrugado. También son comunes en la producción de materiales laminados, como en la fabricación de paneles sándwich para la construcción.

3.2.4.2. Encoladoras de boquilla

Las encoladoras de boquilla ofrecen un nivel de precisión superior en la aplicación de adhesivos. Estos sistemas utilizan boquillas precalentadas que pueden ajustarse para controlar el flujo, el patrón y la distribución del adhesivo con gran exactitud. Esta característica las hace ideales para aplicaciones que requieren un alto grado de control y repetitividad [12].

Un aspecto destacado de las encoladoras de boquilla es su versatilidad. Pueden configurarse para aplicar adhesivo en patrones lineales, en espiral, o en puntos discretos, adaptándose a una

amplia gama de necesidades. La flexibilidad de las encoladoras de boquilla las convierte en la opción preferida para industrias como la electrónica, donde la precisión en la colocación del adhesivo es crítica [13].

Estas encoladoras son ampliamente utilizadas en el ensamblaje de componentes electrónicos, en la fabricación de dispositivos médicos, y en el sellado de envases en la industria alimentaria. Su capacidad para aplicar adhesivo en áreas específicas con gran precisión las hace invaluableles en procesos de producción automatizados.

3.2.4.3. Encoladoras de pistola

Las encoladoras de pistola, también conocidas como pistolas de cola caliente, son herramientas manuales diseñadas para aplicaciones a pequeña escala o trabajos de precisión. Estos dispositivos portátiles funden pequeñas cantidades de adhesivo en forma de barras o gránulos, y lo aplican mediante presión manual [12].

La principal ventaja de las encoladoras de pistola es su portabilidad y facilidad de uso. Su diseño ergonómico y la capacidad de calentar rápidamente el adhesivo las hacen ideales para trabajos que requieren movilidad o para aplicaciones intermitentes. Esto las convierte en herramientas populares en sectores como la artesanía, la reparación de muebles, y en general, para trabajos de bricolaje [13].

Aunque son menos comunes en entornos industriales de gran escala, las encoladoras de pistola encuentran su nicho en la producción de prototipos, en trabajos de reparación en líneas de producción, y en la fabricación de productos artesanales.

3.2.4.4. Encoladoras de spray

Las encoladoras de spray representan una solución innovadora para la aplicación de adhesivos en forma de neblina fina. Estos sistemas utilizan aire comprimido para atomizar el adhesivo fundido, creando una capa fina y uniforme sobre la superficie del sustrato [12].

Una de las principales ventajas de las encoladoras de spray es su capacidad para cubrir grandes áreas rápidamente con una cantidad mínima de adhesivo. La aplicación en forma de spray es particularmente eficaz para adherir materiales ligeros o porosos, como espumas, telas, y materiales aislantes [13].

Estas encoladoras son ampliamente utilizadas en la industria automotriz para la adhesión de materiales de insonorización y revestimientos interiores. También encuentran aplicación en la

industria del mueble para la adhesión de espumas y telas en tapicería, y en la industria textil para la laminación de telas.

La selección del tipo adecuado de encoladora a calor depende de factores como el volumen de producción, la naturaleza de los materiales a unir y la precisión requerida en la aplicación del adhesivo. Es crucial considerar aspectos como la temperatura de fusión del adhesivo, la velocidad de aplicación y la compatibilidad con los sustratos para optimizar el proceso de encolado.

3.2.5. Tipos de adhesivos utilizados en encoladoras al calor

Las encoladoras al calor son dispositivos que utilizan adhesivos termofusibles para unir materiales de manera rápida y eficiente. La selección del adhesivo adecuado es crucial para garantizar la calidad y durabilidad de las uniones.

3.2.5.1. Adhesivos termoplásticos

Los adhesivos termoplásticos, también conocidos como "hot melts", son los más comúnmente utilizados en encoladoras al calor. Estos materiales se caracterizan por su capacidad de fundirse cuando se calientan y solidificarse rápidamente al enfriarse, formando uniones fuertes y duraderas [14].

A) Adhesivos EVA (Etileno Vinil Acetato)

Los adhesivos EVA son ampliamente utilizados debido a su versatilidad y bajo costo. Se componen principalmente de copolímeros de etileno y acetato de vinilo, junto con resinas y ceras que modifican sus propiedades. Estos adhesivos ofrecen una buena adhesión a una variedad de sustratos y se caracterizan por su rápido tiempo de fraguado [15].

Propiedades principales:

- Temperatura de aplicación: 150-180°C
- Tiempo de fraguado: 2-5 segundos
- Resistencia térmica: Moderada (hasta 60°C)

Aplicaciones comunes:

- Encuadernación de libros de tapa blanda
- Embalaje de cajas de cartón
- Etiquetado de botellas

B) Adhesivos de poliolefina

Los adhesivos de poliolefina, basados en polímeros de polietileno o polipropileno, ofrecen una mayor resistencia térmica y química en comparación con los EVA. Estos adhesivos son particularmente útiles en aplicaciones que requieren una mayor durabilidad y resistencia a condiciones ambientales adversas.

Propiedades principales:

- Temperatura de aplicación: 180-210°C
- Tiempo de fraguado: 3-7 segundos
- Resistencia térmica: Alta (hasta 120°C)

Aplicaciones comunes:

- Encuadernación de libros de tapa dura
- Embalaje de productos alimenticios
- Unión de materiales plásticos

3.2.5.2. Adhesivos reactivos

Los adhesivos reactivos se distinguen por su capacidad de formar enlaces químicos adicionales después de la aplicación inicial, lo que resulta en uniones extremadamente fuertes y resistentes [14].

A) Adhesivos de poliuretano reactivo (PUR)

Los adhesivos PUR combinan las ventajas de los adhesivos termofusibles tradicionales con la formación de enlaces químicos adicionales. Estos adhesivos se aplican en estado fundido y, posteriormente, reaccionan con la humedad del aire para formar una red tridimensional de enlaces [15].

Propiedades principales:

- Temperatura de aplicación: 120-140°C
- Tiempo de fraguado inicial: 3-5 segundos
- Tiempo de curado completo: 24-72 horas
- Resistencia térmica: Muy alta (superior a 150°C)

Aplicaciones comunes:

- Encuadernación de libros de alta calidad

- Unión de materiales difíciles de adherir
- Aplicaciones que requieren resistencia a temperaturas extremas

La selección del adhesivo adecuado para una aplicación específica depende de varios factores, incluyendo los materiales a unir, las condiciones ambientales y los requisitos de rendimiento. Es fundamental considerar aspectos como la resistencia térmica, la velocidad de fraguado y la flexibilidad del adhesivo para garantizar resultados óptimos en el proceso de encolado al calor.

Cabe destacar que la industria de los adhesivos está en constante evolución, con nuevas formulaciones y tecnologías emergentes que buscan mejorar el rendimiento y la sostenibilidad de estos productos. La investigación continua en este campo promete el desarrollo de adhesivos aún más eficientes y respetuosos con el medio ambiente en el futuro [15].

3.2.6. Tipos de materiales para el encolado al calor

3.2.6.1.Papel offset

Este es uno de los papeles más comúnmente utilizados para la encuadernación con calor. Se trata de un papel con una superficie suave y uniforme, que puede absorber eficazmente los adhesivos termofusibles. Según el informe técnico publicado por la Asociación Española de Fabricantes de Pasta, Papel y Cartón (ASPAPPEL), el papel offset se caracteriza por su resistencia a la rotura y su buena adherencia al lomo del libro [16].

3.2.6.2.Papel estucado

El papel estucado, también conocido como papel couché, es un tipo de papel recubierto con una capa de material de acabado, generalmente a base de caolín o carbonato de calcio. Este recubrimiento le confiere una superficie más lisa y brillante, lo que lo hace adecuado para la impresión de imágenes y gráficos de alta calidad. El papel estucado también es compatible con los adhesivos termofusibles utilizados en la encuadernación con calor [17].

3.2.6.3.Papel micróporo

El papel micróporo es un tipo de papel con una estructura interna porosa, lo que le confiere una mayor capacidad de absorción de los adhesivos termofusibles. Este tipo de papel es especialmente adecuado para la encuadernación con calor, ya que permite una unión más resistente y duradera entre las páginas [18].

3.2.6.4.Papel de fibra sintética

Los papeles de fibra sintética, como el poliéster o el polipropileno, también se utilizan en la encuadernación con calor. Estos papeles se caracterizan por su alta resistencia a la tracción y a la deformación, lo que los hace ideales para soportar las altas temperaturas y presiones del proceso de encuadernación [16].

3.2.7. Control de temperatura en el proceso de encolado

Un aspecto crítico en el proceso de encolado es el control preciso de la temperatura, el cual influye significativamente en la calidad del producto final y la eficiencia de la producción, es por ello que la temperatura desempeña un papel crucial en la viscosidad y el comportamiento reológico de los adhesivos utilizados en el engomado. Cuando la temperatura se mantiene dentro del rango óptimo, se garantiza que el adhesivo fluya adecuadamente y se distribuya de manera uniforme sobre la superficie del sustrato. Esto resulta en una mejor adherencia y una unión más fuerte entre las fibras del papel o las capas del cartón [19].

El control preciso de la temperatura durante el encolado también afecta la velocidad de curado del adhesivo. Un curado demasiado rápido puede resultar en una unión débil, mientras que un curado demasiado lento puede reducir la eficiencia de la producción. Al mantener la temperatura en el nivel adecuado, se optimiza el tiempo de curado, lo que permite una producción más rápida sin comprometer la calidad del producto.

Además, la temperatura influye en la penetración del adhesivo en el sustrato. Una temperatura demasiado baja puede resultar en una penetración insuficiente, lo que conduce a una unión débil. Por otro lado, una temperatura excesivamente alta puede causar una penetración excesiva, lo que podría afectar las propiedades del papel o cartón. El control preciso de la temperatura permite ajustar la penetración del adhesivo para lograr un equilibrio óptimo entre la fuerza de unión y la integridad del sustrato.

3.2.7.1. Tipos de control de temperatura en el proceso de encolado al calor

A) Control de temperatura por resistencia eléctrica

Este método utiliza elementos calefactores eléctricos para generar y mantener la temperatura deseada. Los sistemas de control por resistencia eléctrica suelen emplear termopares o termistores para medir la temperatura y ajustarla mediante circuitos de retroalimentación [20].

- Ventajas:
 - Alta precisión en el control de temperatura
 - Rápida respuesta a cambios en la demanda de calor

- Fácil integración en sistemas automatizados
- Desventajas:
 - Consumo energético relativamente alto
 - Posible desgaste de los elementos calefactores con el tiempo

B) Control de temperatura por inducción electromagnética

Este sistema utiliza campos electromagnéticos para generar calor directamente en el material conductor. Es particularmente eficaz en aplicaciones que involucran metales [20].

- Ventajas:
 - Calentamiento rápido y localizado
 - Alta eficiencia energética
 - No hay contacto directo con la fuente de calor
- Desventajas:
 - Limitado a materiales conductores
 - Equipos más complejos y costosos

C) Control de temperatura por radiación infrarroja

Los sistemas de radiación infrarroja utilizan emisores que generan ondas electromagnéticas en el espectro infrarrojo para calentar directamente la superficie del material [21].

- Ventajas:
 - Calentamiento uniforme de grandes superficies
 - No requiere contacto directo con el material
 - Ideal para materiales sensibles a la presión
- Desventajas:
 - Puede ser menos preciso en materiales con diferentes absorciones de radiación infrarroja
 - Posible pérdida de eficiencia en ambientes abiertos

D) Control de temperatura por convección forzada

Este método utiliza aire caliente forzado para transferir calor al material. Se emplea comúnmente en hornos de convección y sistemas de curado [20].

- Ventajas:
 - Distribución uniforme del calor en piezas con geometrías complejas
 - Adecuado para procesos continuos

- Puede combinarse con otros métodos de calentamiento
- Desventajas:
 - Menor eficiencia energética en comparación con métodos de calentamiento directo
 - Posible variación de temperatura debido a fluctuaciones en el flujo de aire

E) Control de temperatura por contacto directo

Este método implica el uso de planchas o rodillos calefactados que entran en contacto directo con el material a encolar [21].

- Ventajas:
 - Transferencia de calor eficiente
 - Control preciso de la temperatura en la superficie de contacto
 - Ideal para materiales planos o flexibles
- Desventajas:
 - Limitado a geometrías simples
 - Posible desgaste de las superficies de contacto

3.2.8. Controlador ON/OFF

El control on/off, también conocido como control todo-nada o control de dos posiciones, es una estrategia fundamental en el campo de los sistemas de control automático. Este método se caracteriza por su simplicidad y eficacia en situaciones donde se requiere una regulación básica de procesos. El principio de funcionamiento del control on/off se basa en la conmutación entre dos estados discretos: encendido (on) y apagado (off), en respuesta a las variaciones de una variable controlada con respecto a un punto de referencia establecido. Según Ogata (2010) el controlador on/off actúa de la siguiente manera:

- Cuando la variable controlada está por debajo del setpoint, el controlador activa la salida (estado "on").
- Cuando la variable controlada supera el setpoint, el controlador desactiva la salida (estado "off") [22].

3.2.9. Programación ladder

La programación ladder, también conocida como programación en diagrama de escalera o simplemente ladder, es un lenguaje de programación gráfico ampliamente utilizado en la automatización industrial para programar controladores lógicos programables (PLCs),

ofreciendo un enfoque intuitivo y visual ya que su capacidad para traducir lógica de control en un formato fácilmente comprensible para técnicos e ingenieros la convierte en una opción preferida en muchos entornos industriales [23].

3.2.10. Controlador lógico programable

Un PLC es, en esencia, un sistema de control basado en un microprocesador que utiliza una memoria programable para almacenar instrucciones e implementar funciones específicas. Estas funciones pueden incluir operaciones lógicas, secuencias, temporizaciones, conteos y cálculos aritméticos, con el propósito de controlar máquinas y procesos a través de módulos de entrada/salida digitales o analógicos [24].

La arquitectura típica de un PLC consta de varios componentes clave:

- **Unidad Central de Procesamiento (CPU):** es el "cerebro" del PLC, responsable de ejecutar el programa de control y tomar decisiones basadas en la lógica programada.
- **Memoria:** se divide en memoria de programa (para almacenar el programa de control) y memoria de datos (para almacenar variables y estados del proceso).
- **Módulos de Entrada/Salida (I/O):** permiten la conexión del PLC con sensores, actuadores y otros dispositivos del proceso.
- **Fuente de Alimentación:** proporciona la energía necesaria para el funcionamiento del PLC y sus componentes.
- **Interfaz de Comunicación:** facilita la conexión del PLC con otros dispositivos, como computadoras para programación y monitoreo.

Las principales ventajas de los PLCs incluyen su flexibilidad, robustez, facilidad de programación y capacidad para operar en entornos industriales adversos. Además, su naturaleza modular permite una fácil expansión y modificación de los sistemas de control.

4. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

En esta sección se describen cada uno de los procedimientos, métodos, técnicas y conocimientos que establecen el desarrollo del proyecto, es por ello que el propósito principal es lograr que la encoladora de libros funcione de manera correcta, con un control de temperatura preciso que garantice la calidad del trabajo de encuadernación.

4.1. METODOLOGÍA

En base al proyecto, se llevará a cabo una combinación de métodos, desde el enfoque cualitativo, se realizará entrevistas con los operarios de la encoladora y observaciones directas del proceso actual y así ejecutar un diagnóstico exhaustivo del equipo para identificar los componentes deteriorados y las áreas que requieren mejora. En cuanto a los métodos cuantitativos, se verificará mediciones precisas de temperatura en diferentes puntos del proceso de encolado, se registrará tiempos de operación, y se ejecutará pruebas de resistencia y durabilidad de las encuadernaciones resultantes. Esta combinación de métodos permitirá obtener una comprensión integral del problema y desarrollar soluciones efectivas basadas tanto en datos objetivos como en la experiencia práctica.

Posteriormente, se especifica la metodología a seguir en este proyecto, Figura 4.1.

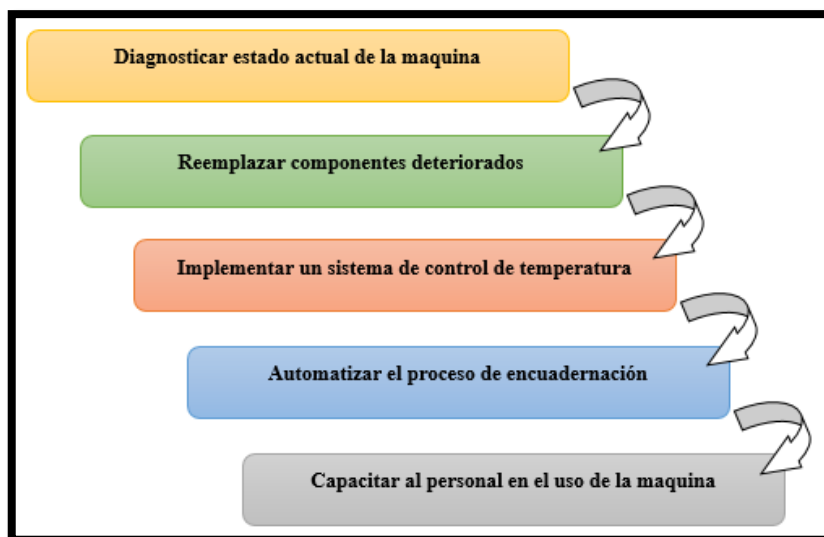


Figura 4. 1 Metodología para el desarrollo del proyecto tecnológico

4.1.1. Declaración de variables

- **Variable dependiente**

Temperatura de operación del adhesivo.

- **Variable independiente**

Calidad del trabajo de encolado, tiempo de curado del adhesivo.

Aplicación práctica de Variables. En la Figura 4.2 se obtiene las variables de entrada y salida.

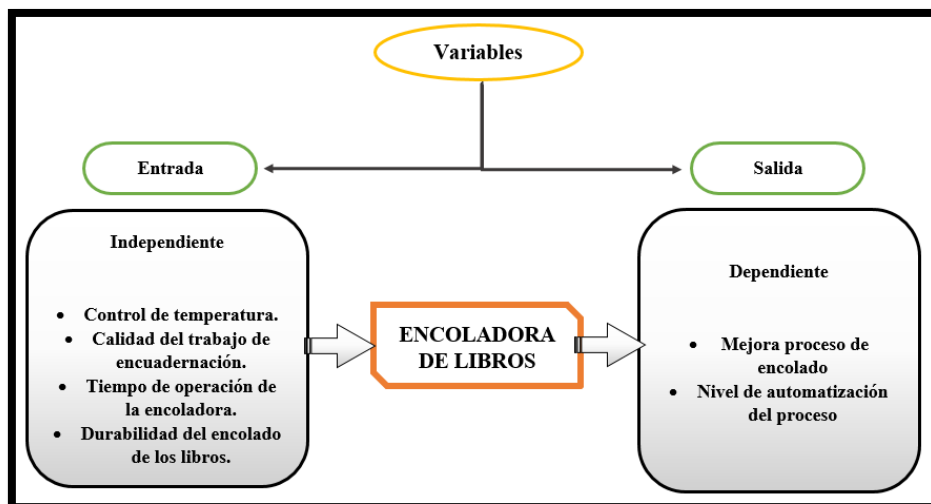


Figura 4. 2 Metodología para el desarrollo del proyecto tecnológico

4.1.2. Diagnóstico de la maquina

Partiendo de la premisa de que la encoladora de libros se encuentra inoperativa y en estado de deterioro significativo, es fundamental realizar un diagnóstico exhaustivo para determinar su condición actual y planificar adecuadamente su repotenciación. A continuación, se describen los componentes e instrumentos necesarios para este diagnóstico, así como los métodos para su utilización:

4.1.2.1. Inspección visual

Se requiere una linterna y una cámara digital para documentar el estado físico de la máquina. El método consiste en examinar meticulosamente cada componente, registrando signos de desgaste, corrosión o daños estructurales. Se debe prestar especial atención a las conexiones eléctricas, elementos mecánicos y el sistema de calentamiento.

Método: este proceso debe seguir un orden lógico, comenzando por una evaluación general del exterior de la encoladora y progresando hacia un examen más detallado de cada componente como se muestra en la Figura 4.3. Es por ello que se dividió la máquina en secciones o subsistemas para un análisis más organizado. Se empezó con el chasis y la estructura, avanzando luego hacia el sistema de alimentación, el mecanismo de aplicación de adhesivo, sistema de calentamiento, mecanismo para el encolado de los libros y, finalmente, los controles y componentes eléctricos.



Figura 4.3. Inspección visual de la encoladora de libros

4.1.2.2. Diagnóstico eléctrico

El procedimiento implica desconectar la alimentación principal y medir la continuidad y resistencia de los circuitos eléctricos mediante la utilización de un multímetro digital. Es crucial verificar el aislamiento de los cables, especialmente en el sistema de calentamiento.

- Multímetro digital: instrumento de medición eléctrica con capacidad para medir voltaje AC/DC, corriente, resistencia, capacitancia y frecuencia. Debe tener una precisión de al menos $\pm 0.5\%$ en mediciones de voltaje y corriente, y contar con categoría de seguridad CAT III 600V o superior.



Figura 4. 3 Multímetro digital 0670 TRMS función VFD HT-INSTRUMENTS HT22D

Método: este procedimiento implica realizar mediciones de continuidad en los circuitos principales. Se comienza por los conductores de alimentación, seguido de los circuitos de control y, finalmente, los elementos de potencia como motores y resistencias calefactoras. Es fundamental registrar cada medición y en caso de detectar discontinuidades, se debe marcar claramente el punto de falla para su posterior reparación o reemplazo, Figura 4.5.

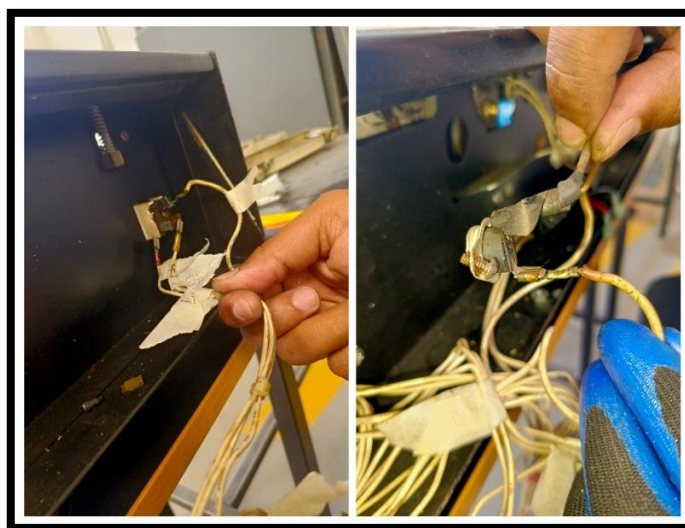
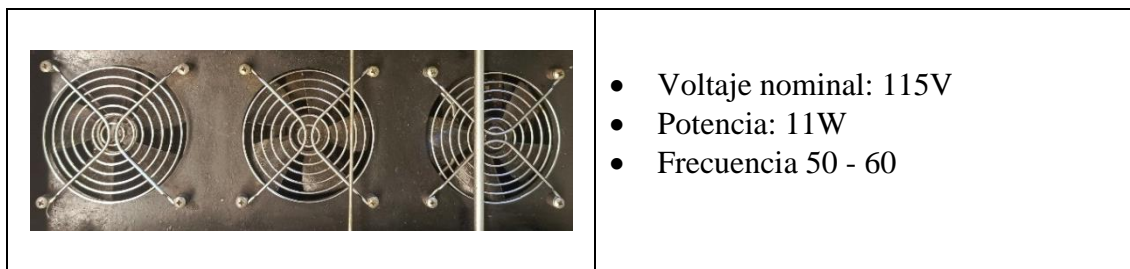


Figura 4. 4 Análisis eléctrico de la encoladora

Durante todo el proceso, se documentó el estado de algunos elementos del sistema eléctrico como; un Motor RAE CORPORATION que se encontraba parcialmente operativo, por lo que se hizo su debido mantenimiento para la incorporación del mismo, y así poner en funcionamiento el mecanismo que se utiliza para el encolado de los libros. También se examinó tres ventiladores que se encontraban en óptimas condiciones. En la Tabla 4.1 se puede observar las características de dichos elementos

Tabla 4.1. Dispositivos de la encoladora

DISPOSITIVO	CARACTERISTICAS
	<ul style="list-style-type: none"> • Torque: 30 in. lb • Voltaje nominal: 90V DC • Corriente de conmutación: 0.43A • Revoluciones: 42rpm



4.1.2.3. Evaluación mecánica

El método consiste en medir la alineación y desgaste de los componentes móviles, como ejes, rodamientos y engranajes. Se debe verificar la integridad de las superficies de contacto y la presencia de juego excesivo en las articulaciones. Por ende, se realizó una inspección visual detallada de todos los elementos mecánicos accesibles como se muestra en la Figura 4.6. Se debe prestar especial atención a signos de desgaste, corrosión, grietas o deformaciones en piezas como ejes, engranajes, rodamientos y cadenas.



Figura 4. 5 Evaluación mecánica





Este enfoque sistemático proporcionará una evaluación completa del estado de la encoladora, permitiendo desarrollar un plan de repotenciación precisa, adaptado a las necesidades específicas identificadas durante el diagnóstico.

4.1.3. Reemplazo de componentes deteriorados

Tras la exhaustiva evaluación mecánica y eléctrica de la encoladora de libros, el siguiente paso crítico en el proceso de repotenciación es el reemplazo de los componentes deteriorados. Así que se elaboró una lista detallada de todos los componentes que requieren reemplazo como se visualiza en la Tabla 4.2, basándonos en los resultados del diagnóstico previo.

Tabla 2.4.2. Lista de materiales de reemplazo

Estado actual		Reemplazo	
<p>Switch Balacin Rojo</p> 	<p>Características</p> <p>2 Pines</p> <p>2 Posiciones</p> <p>Mediano</p>	<p>Selector Camsco</p> 	<p>Características:</p> <p>Diámetro del cabezal: \varnothing 22mm</p> <p>Posiciones: 2</p> <p>Contactos auxiliares: 1NA</p> <p>Grado de protección: IP54</p> <p>AC: 250V 3A</p>
<p>Switch Balacin Blanco</p> 	<p>Características</p> <p>2 Pines</p> <p>2 Posiciones</p> <p>Mediano</p>		
<p>Piloto Indicador Led verde</p> 	<p>Características</p> <p>Voltaje: 127 V</p> <p>Corriente: 20mA</p>	<p>Piloto Indicador Led verde</p> 	<p>Características:</p> <p>Corriente: 20mA</p> <p>Voltaje: 12~48VDC</p> <p>Dimensiones: Base 22mm, alto 52mm</p>
<p>Botón pulsador rojo</p>	<p>Características</p> <p>:</p> <p>4 pines</p> <p>Corriente: 10 A</p>	<p>Un Interruptor de botón momentáneo</p>	<p>Características:</p> <p>Voltaje 0 – 440V</p> <p>Corriente 3A max.</p>

	<p>Voltaje:0 – 250 V</p>		<p>Contactos 1 NA Accionamiento momentáneo Diámetro de orificio 22mm</p>
<p>Resistencia térmica redonda</p> 	<p>Características : Voltaje:0 – 250 V Temperatura: 0 – 140°C Corriente: 5 A</p>	<p>Sensor de Temperatura RTD Pt100</p> 	<p>Características: Cable: material PFA, 6.6 pies Diámetro de la sonda: 0.55 "de ancho x 1.1" (4x30 mm) Temperatura: -50 a 400 °C</p>

4.2. DISEÑO DE LA REPOTENCIACIÓN

La metodología se basa en los principios de ingeniería y diseño, integrando aspectos mecánicos, eléctricos, electrónicos y de control en una solución cohesiva.

4.2.1. Descripción de los subprocesos

La estructura de la metodología de diseño se divide en una serie de subprocesos interconectados, cada uno crucial para el éxito del proyecto.

4.2.1.1.Semi-automatización el proceso de encuadernación

Este proceso semi-automatico implica la integración de tecnologías que optimizan y controlan de manera eficiente las etapas críticas del proceso, específicamente el control de temperatura y la aplicación del adhesivo. Este enfoque busca mejorar la calidad del producto final, aumentar la productividad y reducir la intervención manual, manteniendo un equilibrio entre la automatización y el control humano.

El control de temperatura es un aspecto esencial en el proceso de encuadernación, ya que influye directamente en la eficacia del adhesivo utilizado. Para lograr una semi-automatización efectiva, se implementará un sistema de control de temperatura que utilice sensores de alta precisión. Estos sensores estarán ubicados estratégicamente para monitorear la temperatura del adhesivo y de las superficies a encolar en tiempo real. La información recopilada será procesada por un controlador lógico programable (PLC), que ajustará automáticamente la temperatura del sistema de calentamiento, garantizando que se mantenga dentro del rango óptimo establecido. Este control automatizado no solo asegura una temperatura constante, sino que también minimiza el riesgo de sobrecalentamiento, lo que podría dañar los materiales o afectar la calidad del pegado.

Definición de requisitos

Este proceso implica la identificación y especificación de las características técnicas y operativas que la máquina debe cumplir para garantizar su funcionalidad, calidad en el proceso de encuadernación. A continuación, se detallan los requisitos más relevantes que deben considerarse.

- **Control de temperatura:** este aspecto es fundamental para el proceso de encolado, ya que la temperatura adecuada garantiza una adhesión óptima del material. Se debe definir un rango de temperatura específico, que generalmente oscila entre 120 °C y 200 °C, dependiendo del tipo de adhesivo utilizado. Además, se requiere que el sistema de control de temperatura sea capaz de mantener esta temperatura constante, minimizando las fluctuaciones que podrían afectar la calidad del encuadernado. Para ello, se integrarán sensores de temperatura de alta precisión que permitirán una monitorización continua y ajustes automáticos en tiempo real.
- **Sistema de encolado:** esto incluye la definición del tipo de adhesivo a utilizar y la forma en que se aplicará. Se debe considerar un sistema que permita una distribución uniforme del adhesivo, evitando la sobreaplicación o la falta de este, lo que podría resultar en un encuadernado deficiente. Además, se debe contemplar la posibilidad de ajustar la cantidad de adhesivo aplicado según el tipo de material de las cubiertas y las páginas, lo que requiere un diseño flexible y adaptable.
- **Seguridad operativa:** todos los componentes del sistema deben cumplir con las normativas de seguridad vigentes, garantizando un entorno de trabajo seguro para los operarios. Esto implica la inclusión de dispositivos de seguridad, como paradas de

emergencia y protecciones físicas alrededor de las partes móviles de la máquina, así como la capacitación del personal en el uso seguro de la encoladora.

4.2.1.2.Sistema de control de temperatura

Para la implementación del sistema de control de temperatura se estableció utilizar un sensor de temperatura y aplicar un modo de control ON/OFF ya que así con este método proporcionará a la encoladora de libros una capacidad significativamente mejorada para mantener condiciones térmicas precisas y estables, crucial para la calidad y consistencia del proceso de encolado. Este enfoque, aunque relativamente simple en su concepto, ofrece una solución robusta y efectiva para la repotenciación de la máquina, mejorando su funcionalidad operativa.

A) Requisitos para sistema de control

Los requisitos para el control de temperatura que se considero son técnicos, funcionales y de rendimiento ya que son fundamentales para asegurar que el sistema no solo cumpla con las necesidades inmediatas del proceso de encolado, sino que también proporcione una solución robusta y escalable a largo plazo.

Requisitos Técnicos:

- **Sensor:** Se requiere un sensor con un rango de medición de 0°C a 400°C, y una precisión de $\pm 0.15^\circ\text{C}$ a 0°C. El sensor debe tener una vaina de protección adecuada para el entorno industrial y ser compatible con la instalación en la superficie de aplicación del adhesivo.
- **Controlador:** Se necesita un controlador compatible capaz de implementar control ON/OFF con histéresis ajustable. Debe tener una resolución mínima de 0.1°C y una precisión de $\pm 0.5\%$ del rango completo.
- **Sistema de potencia:** Se requiere un relé de estado sólido o contactor dimensionado para manejar la carga eléctrica del sistema de calefacción.
- **Interfaz de usuario:** El sistema debe incluir una pantalla para mostrar la temperatura actual y la de consigna, así como botones o una interfaz táctil para la configuración de parámetros.

Requisitos Funcionales:

- **Control de temperatura:** El sistema debe mantener la temperatura del adhesivo dentro de un rango especificado, típicamente $\pm 2^\circ\text{C}$ del punto de consigna.
- **Ajuste de parámetros:** Debe permitir la configuración fácil del punto de consigna, histéresis, y límites de temperatura alta y baja.

- Modos de operación: El sistema debe contar con modos de operación manual y automático, permitiendo el control directo para fines de mantenimiento y pruebas.

Requisitos de Rendimiento:

- Tiempo de respuesta: El sistema debe ser capaz de detectar cambios de temperatura de 1°C en menos de 5 segundos y responder activando o desactivando el calentamiento en menos de 2 segundos.
- Estabilidad térmica: Una vez alcanzada la temperatura de consigna, el sistema debe mantener la temperatura dentro de $\pm 2^{\circ}\text{C}$ durante al menos 30 minutos en condiciones normales de operación.
- Tiempo de calentamiento: El sistema debe ser capaz de elevar la temperatura del adhesivo desde temperatura ambiente (20°C) hasta la temperatura de operación típica en no más de 15 minutos.

B) Elemento de medición de temperatura

Termometro infrarrojo:

Dispositivo que facilita la medición de la temperatura superficial de metales, madera, hielo y otros materiales de manera sencilla y sin contacto. Este dispositivo no solo presenta un tiempo de respuesta breve (1 segundo), sino que también cuenta con un nivel de emisión ajustable, lo que lo hace apto tanto para aplicaciones profesionales como para uso personal. Además, es ideal para medir componentes móviles o aquellos que se encuentran bajo tensión eléctrica. En este caso se utilizó un termómetro infrarrojo de la marca Oeg HT818 como se puede observar en la Figura 4.7.



Figura 4. 6 termómetro infrarrojo Oeg HT818

C) Ecuación de la recta para calibrar el sensor de temperatura

Para la calibración y control preciso del sensor térmico en el sistema de adhesión, se implementará un método de linealización basado en la ecuación de la recta. Este proceso toma en consideración la implementación de una resistencia de 500mA como elemento de referencia. La aplicación de estos cálculos al sistema adhesivo permitirá la obtención de mediciones térmicas con alto grado de precisión en la encoladora de libros. La derivación de la ecuación característica se realizará mediante la siguiente formulación matemática, que establece la relación lineal entre los parámetros térmicos y eléctricos del sistema:

$$m = \left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \right) \quad (4.1)$$

Esta ecuación servirá como base para la conversión de las señales eléctricas del sensor en valores térmicos precisos, facilitando así un control óptimo de la temperatura del adhesivo durante el proceso de encuadernación.

4.2.2. Desarrollo de la programación

La programación se estructurará en diferentes secciones, cada una enfocada en un aspecto específico del control de temperatura. En primer lugar, se definirán las variables del sistema de control como se muestra en la Figura 4.8, incluyendo la temperatura deseada, los límites de tolerancia y los tiempos de respuesta. Estas variables serán asignadas a las entradas y salidas del PLC, estableciendo una interfaz de comunicación con los sensores y actuadores del sistema.

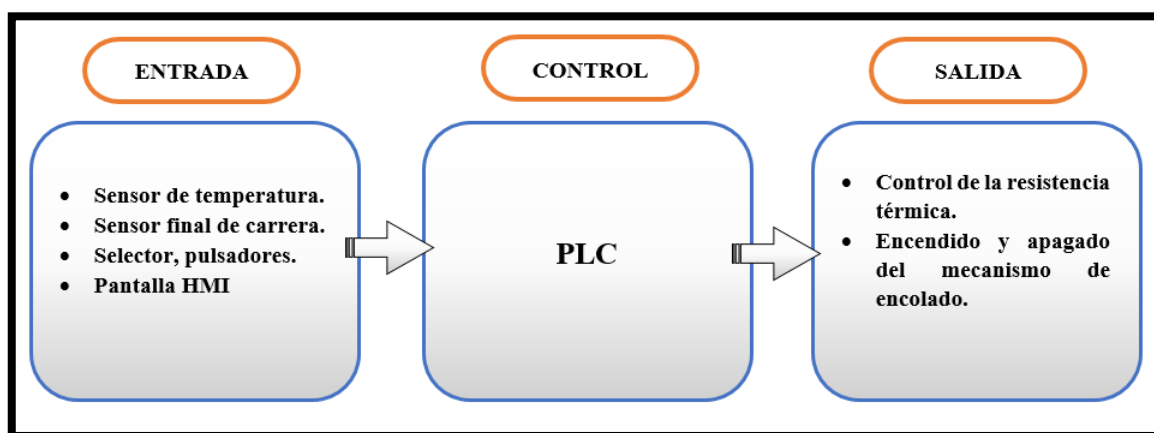


Figura 4. 7 Variables del sistema de control

A continuación, se desarrollará la lógica de control. Esta sección del programa se encargará de procesar la información proveniente del sensor de temperatura, que proporcionará lecturas precisas de la temperatura del adhesivo. El PLC comparará estas lecturas con el valor de

temperatura deseado, previamente establecido en los requisitos del sistema. En caso de detectar una desviación, el programa activará los actuadores necesarios para corregir la temperatura.

4.2.2.1.Elementos de programación

A continuación, se describen algunos elementos para la programación.

- **Entradas:** permite un punto de conexión con un (Controlador Lógico Programable) que recibe señales provenientes de dispositivos externos, como sensores, interruptores o botones Hay 2 tipos de entradas que son digital y analógica. Figura 4.9.



Figura 4. 8 Entradas

- **Salidas:** permite un punto de conexión en un (Controlador Lógico Programable) que permite enviar señales a dispositivos externos, como actuadores, motores, válvulas o luces. Figura 4.10.

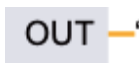


Figura 4. 9 Salidas

- **Bloques de organización (OB):** permite estructurar y gestionar la ejecución del programa, este bloque se ejecuta continuamente mientras el PLC está en modo RUN, permitiendo que las instrucciones dentro de él se procesen repetidamente. Figura 4.11.

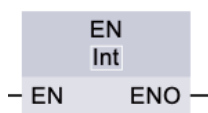


Figura 4. 10 Bloques de organización

- **Bloque NORM_X:** se utiliza para la normalización de señales analógicas, convierte un valor de entrada en un número en coma flotante que representa la posición del valor dentro de un rango definido por los parámetros de entrada MIN y MAX. Figura 4.12.

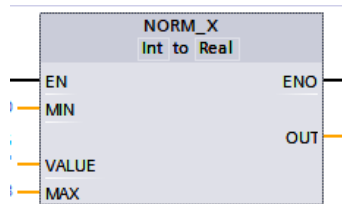


Figura 4. 11 Bloque NORM_X

- **Bloque SCALE_X:** se utilizada para escalar valores analógicos a un rango específico, permitiendo la conversión de señales transformando un valor de entrada en un rango diferente, Figura 4.13.

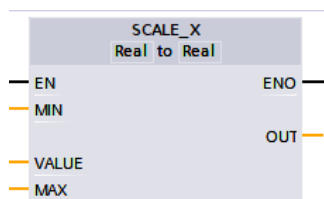


Figura 4. 12 Bloque SCALE_X

- **Bloque TIME:** se utiliza para la gestión y manipulación de datos temporales en aplicaciones de automatización implementa temporizadores y maneja valores de tiempo en los controladores lógicos programables, Figura 4.14.

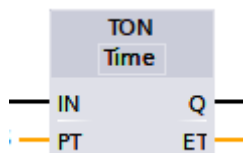


Figura 4. 13 Bloque TIME

- **Bloque CALCULATE:** es una función matemática que permite realizar múltiples operaciones aritméticas en una sola instrucción, simplifica el código y mejorar la legibilidad al combinar varias operaciones en una única línea de programación. Figura 4.15.

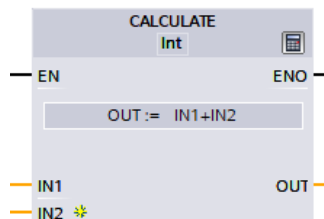


Figura 4. 14 CALCULATE

4.2.2.2. Controlador de la programación

Para garantizar una respuesta rápida y precisa del sistema, se implementará un algoritmo de control ON/OFF, el sistema funcionará de manera binaria: si la temperatura está por debajo del nivel deseado, las resistencias se activarán; si la temperatura alcanza el nivel deseado, las resistencias se desactivarán, como se puede mostrar en la Figura 4.16. Además del control de temperatura, el programa también se encargará de la gestión de la interfaz hombre-máquina (HMI). A través de la pantalla táctil seleccionada, los operadores podrán visualizar en tiempo real la temperatura del adhesivo, así como establecer y modificar los parámetros de operación.

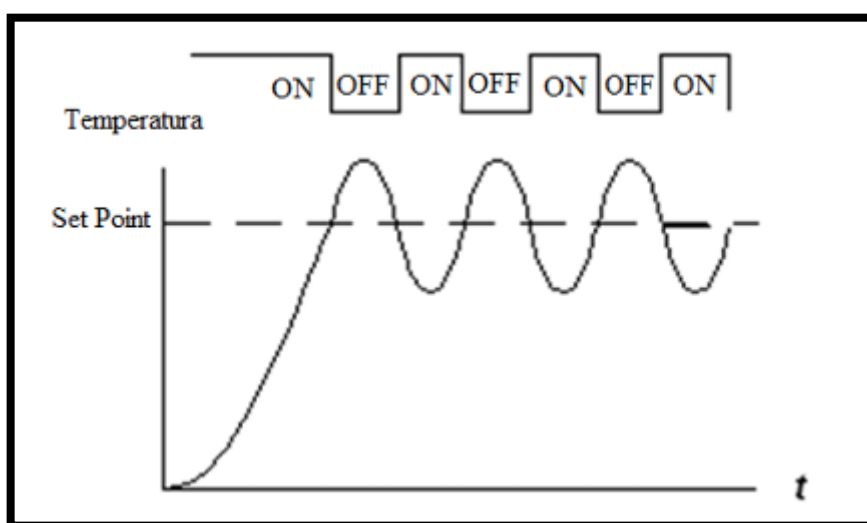


Figura 4. 15 Control ON/OFF de Temperatura [1]

La programación también contemplará la función de habilitar y controlar el mecanismo de encolado con la integración de sensores de final de carrera. Estos sensores, conectados al PLC, están diseñados para detectar la posición de las partes móviles de la máquina, como el cabezal de encolado o la plataforma de sujeción de los libros. Cuando el cabezal de encolado se desplaza a su posición de trabajo, el sensor de final de carrera correspondiente se activa, enviando una señal, el PLC recibe la señal y ejecuta la lógica de control programada. Después de que se completa la aplicación del adhesivo, el cabezal de encolado debe regresar a su posición inicial para permitir la carga de un nuevo libro. Aquí es donde los sensores de final de carrera también juegan un papel fundamental. Una vez que el cabezal se desplaza hacia atrás y alcanza su posición de reposo, el sensor de final de carrera correspondiente se activa nuevamente. Esta señal de retorno es crucial, ya que indica al PLC que el mecanismo de encolado ha finalizado su ciclo y está listo para el siguiente libro.

4.2.2.3. Dispositivo para la programación

La meta de esta reseña es identificar y seleccionar el dispositivo apropiado con el fin de garantizar el éxito del proyecto en su totalidad.

Elección de PLC

Para hacer la elección de un PLC adecuado se debe tener en cuenta los siguientes pasos

- **Identificación del tamaño del proceso:** se evaluó la magnitud del procedimiento que se va a automatizar y se tuvo en cuenta que tipo de control se realizará en la máquina, esto incluye determinar cuántos procesos están involucrados, en este caso se identificó dos procesos; control de temperatura y automatización del mecanismo de encolado.
- **Cantidad de entradas y salidas:** para esto se consideró el número de señales que el PLC deberá manejar, tanto entradas como salidas, esto incluye identificar cuantos componentes eléctricos y mecánicos se requieren utilizar en entradas digitales, analógicas o una combinación de ambas
- **Voltaje disponible en campo:** es importante adaptar el PLC al voltaje nominal que debe recibir en el entorno de trabajo. Esto garantiza la seguridad y la fiabilidad del funcionamiento.
- **Manejabilidad del software de programación:** analizar la facilidad de uso del software de programación asociado al PLC

4.2.3. Dimensionamiento de los componentes eléctricos

Para poder realizar el dimensionamiento de los componentes eléctricos, se llevó a cabo un análisis utilizando los equipos requeridos, para la protección y el control de la máquina.

4.2.3.1. Dimensionamiento de conductor eléctrico

Para realizar el respectivo dimensionamiento del conductor se debe tener en cuenta el Reglamento Técnico Ecuatoriano (RTE INEN), que establece los parámetros y requisitos para la instalación de sistemas eléctricos, por lo tanto, se utilizó las siguientes formulas.

$$N_{\text{cable}} = I_{\text{nominal}} \quad (4.2)$$

$$I_{\text{dimensionada}} = I_{\text{nominal}} * \text{Factor de seguridad} \quad (4.3)$$

4.2.3.2. Dimensionamiento del breaker

Para el dimensionamiento de un breaker es necesario considerar el reglamento RTE INEN 021, el cual incluye especificaciones sobre la protección de circuitos eléctricos, por ende, se usó la siguiente formula.

$$I_{Braker} = I_{nominal} \times 125\% \quad (4.4)$$

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En este apartado se analiza los datos obtenidos para el desarrollo del proyecto, además se evaluará que la encoladora de libros funcione de manera correcta, con el control de temperatura preciso que garantice la calidad del trabajo de encuadernación.

5.1. ELECCIÓN DE DISPOSITIVOS

En este apartado, se detallará las características esenciales de los dispositivos utilizados en la repotenciación de la encoladora. El objetivo de esta descripción es identificar y seleccionar los equipos más adecuados, con el fin de garantizar el éxito del proyecto en su totalidad. Se busca optimizar su uso y contribuir de manera efectiva al desarrollo del sistema, asegurando así que se cumplan los estándares de calidad y requeridos.

5.1.1. Dispositivos dimensionados

Equipos requeridos para la protección y el control de la máquina.

5.1.1.1. Breaker


Mediante la fórmula para el dimensionamiento del breaker (4.3), se obtuvo la respectiva elección del dispositivo

$$I_{Braker} = 8.5 * 125\%$$

$$I_{Braker} = 10,62 A$$

Según el reglamento RTE INEN 021 y datos obtenidos se eligió un Breaker de 20A 2Polos como se puede observar en la Tabla 5.1. Puesto que es un dispositivo de protección eléctrica diseñado para interrumpir el flujo de corriente en un circuito cuando se detecta una sobrecarga o un cortocircuito. Este tipo de interruptor automático es fundamental en la seguridad de las instalaciones eléctricas, ya que previene daños a los equipos conectados y reduce el riesgo de cualquier anomalía en el flujo de corriente.

Tabla 3. 5.1. Breaker de 20A 2Polos

DISPOSITIVO	CARACTERISTICAS
	<ul style="list-style-type: none"> • Termomagnético 2X20A • Tensión nominal 120V~/220V~/230V~/240V ~ (1P), 380V~/400V • Frecuencia: 50Hz; • Tipo montaje: Riel Din • Número de polos: 2P

5.1.1.2. Controlador lógico programable (PLC)

En base al análisis del proceso a automatizar se consideró los pasos para la selección del PLC, se implementó el uso de un PLC Siemens S7-1200 CPU 1212c AC/DC/RELAY. En la Tabla 5.2 se encuentran las especificaciones.

Tabla 4.5.2. PLC Siemens S7-1200 CPU 1212c AC/DC/RELAY

DISPOSITIVO	CARACTERISTICAS
	<ul style="list-style-type: none"> • Tensión nominal 120V-240V AC, 24V DC • Configuraciones variadas de I/O digitales y analógicas. • 8 entradas digitales, 6 salidas digitales. • Comunicaciones: Ethernet • Expansión por módulos

5.1.2. Dispositivos para la repotenciación de la encoladora


Se utilizarán diversos dispositivos que son fundamentales para mejorar su funcionamiento y automatizar el proceso de encuadernación. A continuación, se describen los principales dispositivos que se implementarán en este proyecto.

5.1.2.1. Relé de estado sólido

Herramienta electrónica utilizada para controlar la carga eléctrica mediante un principio de conmutación sin partes móviles. En este caso se utilizó esta herramienta para el control de la

resistencia térmica y de los ventiladores que actúan para el secado instantáneo del encolado. Dejando en claro que el control esta conjuntamente conectado con el controlador lógico programable. Las características se pueden visualizar en la Tabla 5.3.


Tabla 5.5.3. Relé de estado solido

DISPOSITIVO	CARACTERISTICAS
	<ul style="list-style-type: none"> • Corriente de conmutación: 40A • Tipo de relevador: DA (control DC - carga AC) • Voltaje de Entrada: DC 3-32V • Voltaje de control: AC 24-380V

5.1.2.2. Relé electromagnético

Instrumento electro-mecánico que actúa con en el principio del electromagnetismo, donde una corriente eléctrica genera un campo magnético que, a su vez, activa el mecanismo de conmutación del relé. Este dispositivo fue implementado para el control de giro del motor. En la Tabla 5.4 se contemplan sus propiedades.


Tabla 6.5.4. Relé electromagnético

DISPOSITIVO	CARACTERISTICAS
	<ul style="list-style-type: none"> • Relé Electromagnético • Voltaje de Entrada: 120V AC • Voltaje de control: 24V DC • Contacto de 2 Polos • Corriente Nominal: 10A

5.1.2.3. Pantalla táctil

Es un Panel de Control HMI (Interfaz Hombre-Máquina), diseñada para facilitar la interacción entre los operadores y las máquinas en entornos industriales. Este dispositivo es conocido por su alta calidad y versatilidad en aplicaciones de automatización. En este caso se implementó una pantalla Samkoon SK-043QE de 4.3 pulgadas. En la Tabla 5.5 se observan las características.

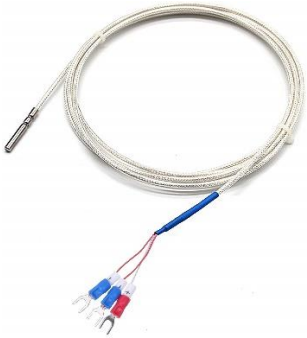
Tabla 7. 5.5. Pantalla Samkoon SK-043QE de 4.3 pulgadas

DISPOSITIVO	CARACTERISTICAS
 <p>The image shows the Samkoon SK-043QE HMI display from two perspectives. On the left is the front view, showing a 4.3-inch color touchscreen with a blue background. On the right is the back view, showing the mounting bracket, a DC 24V power input, and various communication ports (RS-485, Ethernet, and RS-232). A label with technical specifications and a QR code is visible on the back panel.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tamaño de pantalla: 4,3 pulgadas • Pantalla táctil • Comunicación: DC 24V • Tipo: HMI incorporado • Tipo conexión C • Tipo conexión ethernet

5.1.2.4.Sensor de Temperatura

También conocido como RTD (Resistance Temperature Detectors) es un dispositivo de medición que utiliza la variación de la resistencia eléctrica de un material conductor, en este caso, para el control de temperatura se utilizó un RTD Pt100 por su precisión y estabilidad. Según la Tabla 5.6 se obtiene sus cualidades.

Tabla 8. 5.a. Sensor de temperatura RTD Pt100


DISPOSITIVO	CARACTERISTICAS
 <p>The image shows a white PFA cable for an RTD Pt100 sensor. The cable is coiled and has a metal probe at one end. At the other end, there are three colored wires (red, blue, and white) with terminal blocks for electrical connection.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Cable: material PFA, 6.6 pies • Diámetro de la sonda: 0.55 "de ancho x 1.1" (4x30 mm) • Temperatura: -50 a 400 °C

5.1.2.5.Transmisor Pt100

Fue de mucha importancia instalar este transmisor ya que es utilizado para convertir la señal de un sensor de temperatura RTD de tipo Pt100 en una señal estandarizada que puede ser fácilmente interpretada para el sistema de control y monitoreo, puesto que permite la

transmisión precisa y confiable de datos de temperatura. Las características se presentan en la Tabla 5.7.


Tabla 9 5.b. Transmisor Pt100

DISPOSITIVO	CARACTERISTICAS
	<ul style="list-style-type: none"> • Sensor: Pt100 • Rango de medición: 0 a 400 °C • Salida: 4-20mA • Tensión nominal: 24V/DC

5.1.2.6.Fuente de voltaje conmutada

Se instaló este tipo de Componente electrónico diseñado para convertir una fuente de energía eléctrica en un voltaje específico y regulado, para este caso, es utilizado para la alimentación del Motor RAE CORPORATION y así proporcionar una solución para la conversión de energía eléctrica. En este caso se utilizó una fuente como se muestra en la Tabla 5.8.


Tabla 10.5.c. Fuente de voltaje conmutada

DISPOSITIVO	CARACTERISTICAS
	<ul style="list-style-type: none"> • Voltaje de entrada 120V AC • Voltaje de salida 90V DC

5.1.2.7.Sensor Final de Carrera

También conocido como interruptor de límite o switch de fin de carrera, instalado con el propósito de detectar la posición de un objeto móvil en un sistema automatizado, que en este caso es el mecanismo de encolado. En la Tabla 5.9 se puede identificar sus características.


Tabla 11.5.d. Sensor Final de Carrera

DISPOSITIVO	CARACTERÍSTICAS
	<ul style="list-style-type: none"> • Un polo doble tiro • Voltaje nominal: 110V AC, 24V DC • Corriente de conmutación: 5^a • Consumo de corriente: 10-20 mA

5.1.2.8. Resistencia térmica tipo cartucho

Utilizado para la generación de calor, y así, calentar el adhesivo para su respectiva aplicación, este tipo de resistencia se caracteriza por su diseño compacto y su capacidad para proporcionar calor de manera eficiente y uniforme. Se observa las especificaciones de la resistencia en la Tabla 5.10.

Tabla 12.5.e. Resistencia tipo cartucho

DISPOSITIVO	CARACTERÍSTICAS
	<ul style="list-style-type: none"> • 6,5cm x 1.1cm • Voltaje nominal: 110V AC • Potencia: 300W • Consumo de corriente: 2.5 - 5 A

5.2. ESQUEMA ELÉCTRICO

Para la representación de la conexión eléctrica de la encoladora es necesario integrar todos los componentes mencionados anteriormente. Se comenzó con la alimentación principal, protegida por el breaker de 20A y 2 polos, desde aquí, la alimentación se distribuirá a los diferentes componentes del sistema. Posteriormente se implementó las entradas del PLC

incluirán la señal del sensor de temperatura RTD Pt100 (a través del transmisor Pt100) y los sensores de final de carrera. Las salidas del PLC controlarán el relé de estado sólido para las resistencias tipo cartucho y los ventiladores, y el relé electromagnético para el control del motor como se puede observar en la Figura 5.1.

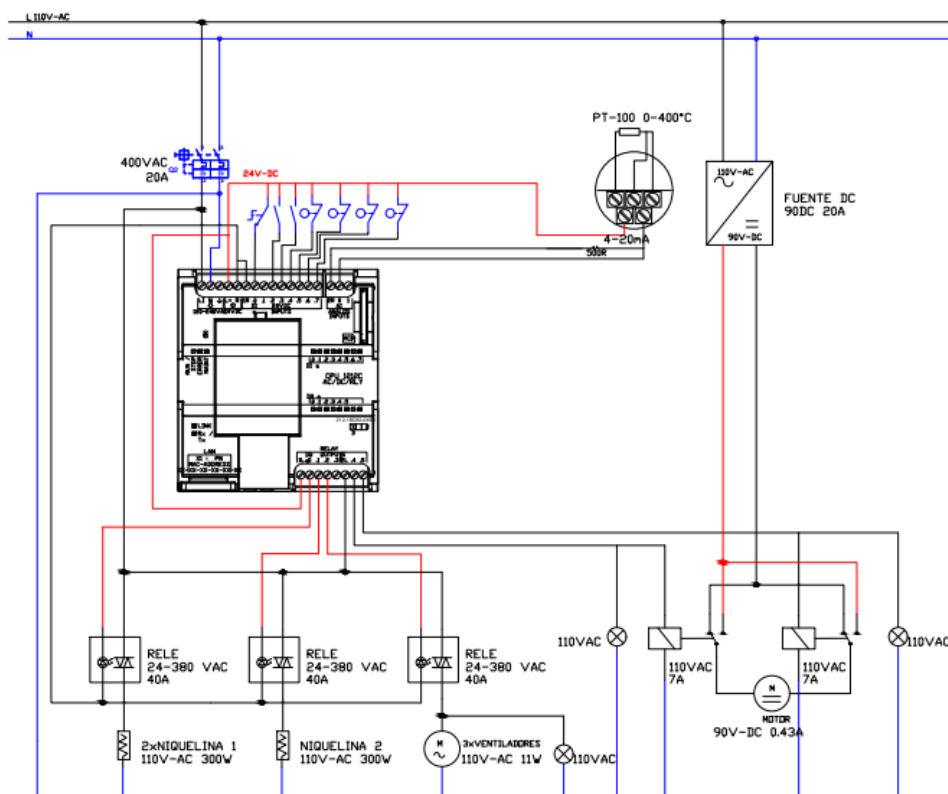


Figura 5. 1 Esquema eléctrico de la repotenciación de la encoladora

Para realizar el cableado respectivo de cada uno de los elementos eléctricos se tuvo en cuenta el dimensionamiento del conductor aplicando la formula (4.2) y sustituyendo los datos nominales de la maquina (110V y 8.5A) se obtiene los siguientes resultados:

$$I_{dimensionada} = 8.5 * 125\%$$

$$I_{dimensionada} = 10,625 A$$

Considerando estos datos, podemos seleccionar un conductor AWG (American Wire Gauge) adecuado. Según la tabla 310.16 del National Electrical Code (NEC), un conductor de cobre AWG 14 tiene una capacidad de corriente de 20 A a 60°C en instalaciones residenciales, lo cual es suficiente para nuestra aplicación.

Sin embargo, para garantizar un margen de seguridad adicional y considerando posibles expansiones futuras, se utilizó un conductor **AWG 12**, que tiene una capacidad de corriente de 25 A.

5.3. PROGRAMACIÓN

En el desarrollo de la programación del sistema de control de la encoladora de libros repotenciada, se centró en la implementación de un algoritmo de control ON/OFF para la regulación térmica, utilizando el PLC como núcleo del sistema. La programación se estructuró en segmentos específicos, cada uno con una función crucial en el proceso de control.

El primer segmento se enfoca en la normalización y escalamiento de la señal proveniente del sensor de temperatura. Se establecieron parámetros MIN y MAX para la normalización, seguido de un escalamiento a un rango específico correspondiente a la lectura de temperatura, como se ilustra en el Anexo 6.1.

Subsecuentemente, se definieron los parámetros para la inicialización del control térmico (Anexo 6.2). Este segmento incorpora la lógica de conmutación para la activación y desactivación de la resistencia térmica, garantizando así un control preciso de la temperatura deseada.

La calibración del sensor térmico se abordó en el siguiente segmento (Anexo 6.3), con el objetivo de optimizar la precisión de los datos adquiridos. Esta etapa es fundamental para asegurar un proceso de encuadernación preciso. Esto se llevó a cabo utilizando datos de las salidas del transmisor a las entradas del controlador lógico que entran con un valor de (0 – 10) ; (10,250) V(DC) y direcciona señal estándar aplicando la formula (4.1)

$$m = \left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \right)$$

$$m = \left(\frac{250 - 0}{10 - 2} \right)$$

$$m = \left(\frac{250}{8} \right)$$

$$m = 31,25$$

Usando el punto (2, 0)

$$y = 31.25(x - 2)$$

$$y = 31.25x - 62.5$$

Esta ecuación nos permite calcular la temperatura que necesita el adhesivo como se observa en la Figura 5.2.

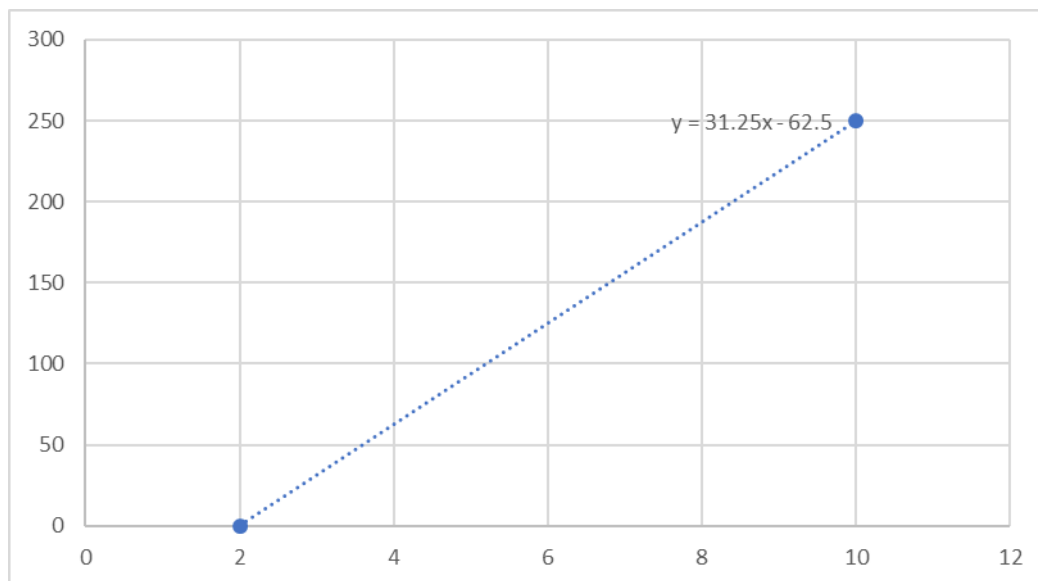


Figura 5.2. Ecuacion para calcular la temoeratura

$$y = 31.25x - 62.5$$

Donde

y es la salida de la temperatura

x es la entrada de controlador

$$y = 31.25x - 62.5$$

$$y = 31.25(7.5) - 62.5$$

$$y = 171$$

Analizando que con un voltaje de 7.5 que arroja el transmisor es necesario que caliente 170 grados centígrados el adhesivo y es lo que se va a utilizar en la maquina

La implementación del control de temperatura se finalizó con la integración de estos parámetros calibrados, como se detalla en el Anexo 6.4.

Se procedió entonces a la implementación de la lógica de control para el sistema motriz y de ventilación (Anexo 6.5). Este segmento incorpora las entradas de los sensores de final de carrera para la determinación precisa del estado del mecanismo de encolado.

La implementación de esta programación no solo moderniza la encoladora de libros, sino que también aborda de manera integral las exigencias del proceso de encuadernación. Este factor es de vital importancia en el contexto de la repotenciación del equipo, elevando significativamente su funcionalidad operativa.

5.4. PRUEBAS DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA

Tras la implementación del algoritmo de control térmico, se procedió a la verificación y validación de la calibración del sensor de temperatura. Este proceso se llevó a cabo mediante la realización de pruebas comparativas utilizando un termómetro infrarrojo de precisión (Figura 4.7). Los resultados obtenidos, demostraron una correlación satisfactoria entre las mediciones del sensor integrado y el instrumento de referencia, confirmando así la fiabilidad y exactitud del sistema de medición térmica implementado, como se puede ver en la Figura 5.3.



Figura 5. 3 Esquema eléctrico de la repotenciación de la encoladora

5.5. INTERACCIÓN DE LA PANTALLA HMI

La Figura 5.4 ilustra la interfaz de usuario final implementada en la pantalla HMI. Esta interfaz permite al operador configurar la temperatura deseada y controlar la activación de los elementos calefactores para el proceso de encuadernación. La pantalla proporciona una visualización integral del proceso, incluyendo indicadores para la temperatura ambiente, el valor de consigna (setpoint) introducido, el estado de activación del motor y los ventiladores, así como un indicador que señala el momento óptimo para iniciar la operación de la encoladora. Es importante destacar que el sistema incorpora medidas de seguridad programadas. Específicamente, si la máquina no ha alcanzado la temperatura deseada, se implementa un bloqueo de los pulsadores de inicio, impidiendo así el comienzo prematuro del proceso de encuadernación. Esta característica garantiza que la operación solo pueda iniciarse cuando se hayan alcanzado las condiciones térmicas óptimas, asegurando así la calidad y eficiencia del proceso de encuadernación.



Figura 5. 4 Interacción de la pantalla HMI

5.6. ANÁLISIS DE ENCOLADO

Se realizó pruebas de encolado mediante el cual se obtuvo tablas de datos teniendo en cuenta tres parámetros fundamentales utilizados para dicho proceso. Como primer punto es el tipo de material a encolar con su respectiva temperatura, posteriormente el tipo de adhesivo y por último la duración de refrigeración para la adhesión del pegamento en el material encolado.

Es imprescindible mencionar que gracias a la implementación del control de temperatura se puede operar la maquina con parámetros específicos que necesita cada material, en gracias a esto que se puede introducir la temperatura ideal de trabajo de cada material para obtener mejores resultados en el proceso de encuadernación.

Para el análisis se utilizó el adhesivo “Pega base EVA RY26006” por sus características, su formulación, tiempo de secado y versatilidad. Además, hay que tener en cuenta que en este proceso se introdujo la temperatura ideal del material y se utiliza tres ventiladores ya implementados en la máquina para optimizar el tiempo de secado de la encuadernación.

5.6.1. Encolado en papel bond

Al realizar el encolado del papel bond con la temperatura de trabajo de 140°C a 180°C de adhesión, en este caso se utilizó una temperatura ideal de 170 °C, en base a esto se adquirieron diferentes respuestas como se muestra en la Tabla 5.11, estos fueron resultado de tiempo de refrigeración para la fijación del encolado.

Tabla 13.5.f. Tiempo de refrigeración para encolado en papel bond

Material	Temperatura	Tiempo de refrigeración	Características
Bond	170°	20s	Se observa que el encolado permanece fresco y pega con regularidad las hojas del libro y está frágil
		40s	Se identificó que el encolado aún permanece fresco con una diferencia que cambia la regularidad del pegado en el libro a menos frágil
		60s	Se obtiene mejoras en el enfriamiento del adhesivo y encola con mayor normalidad las hojas del libro y no tiende a cuartearse por la mitad del libro
		80s	Se logró la visualización que durante este tiempo de enfriamiento el encolado permanece sólido y sus hojas se mantienen pegadas
		120s	Se identificó que ha este tiempo de enfriamiento el encolado está completamente sólido y con una precisión adecuada en el pegado de sus hojas

Después de elaborar el ensayo de encolado con el pegamento de base EVA RY26006 en el papel bound, se puede concluir que el tiempo de secado es fundamental para asegurar la adhesión del papel y que se forme una unión fuerte sin dañar el papel. Estas características son fundamentales para garantizar la calidad del encolado y la durabilidad del producto final.

Según la Tabla 5.11 el tiempo ideal para una combinación de resistencia y calidad de acabado, se establece que a partir de los 120 segundos es esencial el manipulo del resultado de encolado.

5.6.2. Encolado en papel couché

Para las pruebas realizadas en el encolado del papel couché con un rango de temperatura de 130°C a 170°C, utilizando una temperatura de trabajo de 160 °C, se recopiló datos con respecto al de tiempo de secado y manipulación del encuadernado como se muestra en la Tabla 5.12.

Tabla 14.5.g. Tiempo de refrigeración en encolado para papel couché

Material	Temperatura	Tiempo de refrigeración	Características
Couché	160°	30s	Se ha observado que el encolado se mantiene fresco y adhiere de manera consistente las hojas del libro; sin embargo, presenta cierta fragilidad.
		60s	Visualmente, aun luce fresco y no están pegadas adecuadamente las hojas y su lomo se nota cuarteado
		120s	Se producen mejoras del adhesivo se nota dureza en el encolado aunque aún tiene problemas con la adherencia, ya que las paginas no se mantienen unidas
		150s	Se logró la visualización que el adhesivo está seco , lo que es un buen indicador de su calidad sin embargo, se ha observado que la adherencia de las hojas del libro podría mejorarse
		180s	Se observa que el adhesivo está completamente solido asegurando que las páginas se mantengan unidas, podemos garantizar una unión aún más duradera y resistente en el lomo del libro

El tiempo de secado del adhesivo fue primordial para permitir que el adhesivo se adhiera sin saturar el papel. En los resultados recopilados en la Tabla 5.11 se recomienda un tiempo de secado de al menos 180 segundos antes de manipular el material encuadernado ya que permite un secado completo en condiciones adecuadas y asegura una adhesión efectiva y duradera.

5.6.3. Encolado en papel LWC

Para los ensayos elaborados en el encolado de papel LWC con la temperatura de 150°C a 180°C, utilizando una temperatura de 170 °C para la recolección de datos como se muestra en la Tabla 5.13, estos fueron resultado obtenidos.

Tabla 15.5.h. Tiempo de refrigeración en encolado para papel LWC

Material	Temperatura	Tiempo de refrigeración	Características
LWC	170°	30s	Se ha observado que el encolado tiene un aspecto fresco y no logra adherir las hojas del libro de manera que presenta cierta fragilidad.
		60s	Se ha identificado que el encolado aún mantiene un aspecto fresco, pero con una diferencia notable ya que la regularidad del pegado en el libro ha mejorado, volviéndose menos frágil.
		120s	Se han observado mejoras en el adhesivo, evidenciándose una mayor dureza en el encolado. Sin embargo, persisten algunos problemas con la adherencia, ya que las páginas no logran mantenerse unidas de manera efectiva.
		180s	Se logra la observación que el encolado permanece sólido y las hojas pegadas durante este tiempo enfriamiento, que valida el proceso de encuadernación y asegura un producto final de gran calidad y durabilidad.
		210s	En este tiempo de refrigeración el encolado ha alcanzado un estado sólido y preciso en el pegado de las hojas, lo que refleja la efectividad del proceso de encolado

Con respecto a los resultados conseguidos en la Tabla 5.13 se identificó que el tiempo ideal para la posterior manipulación de la encuadernación es de mínimo 210 segundos antes de manipular el material encuadernado.

Para los tres tipos de papel, se establece un tiempo de secado que oscila entre 180 y 210 segundos antes de manipular el material encuadernado. Este tiempo es esencial para permitir que el RY26006 se adhiera correctamente a las superficies, formando una unión robusta que es fundamental para la integridad del producto final. Ignorar este tiempo de secado puede resultar en despegado o deslaminación, comprometiendo la calidad del trabajo.

5.7. ANÁLISIS DE COSTOS

Se realizó un análisis de costos directos e indirectos asociados con el repotenciación e implementación del sistema de control.

5.7.1. Costos directos

En la Tabla 5.14 se muestra a detalle el costo utilizado en los materiales empleados en la repotenciación e implementación del sistema de control.

Tabla 16.5.i Costos directos

Repotenciación e implementación del sistema de control				
Nº	CANTIDA	ELEMENTOS	PRECIO UNIT	TOTAL
1	1	Transmisor	\$ 30.00	\$ 30.00
2	1	HMI Samkoon	\$ 160.00	\$ 160.00
3	1	Breakes	\$ 6.00	\$ 6.00
4	1	Selector 2 posiciones	\$ 3.00	\$ 3.00
5	2	Sensor Temperatura	\$ 20.00	\$ 40.00
6	3	Resistencia tipo cartucho	\$15.00	\$ 45.00
7	1	Fuente voltaje AC a DC	\$ 130.00	\$ 130.00
8	3	Luz piloto	\$ 2.50	\$ 7.50
9	1	Ethernet switch	\$ 12.00	\$ 12.00
10	3	Relé solido	\$ 12.00	\$ 36.00
11	2	Relé mecánico	\$10.00	\$ 20.00
12	1	PLC	\$ 160.00	\$ 160.00
13	2	Pulsador	\$ 2.50	\$ 5.00
14	3	Finales de carrera	\$ 2.50	\$ 7.50

Total	\$ 661.5
--------------	-----------------

5.7.2. Costos indirectos

En la Tabla 5.15 se muestra el número de horas y los días que se trabajó durante el acondicionamiento de la máquina y se obtiene precios de los costos indirectos.

Tabla 17.5.j Costos indirectos de la repotenciacion de la encoladora

DIAS DE TRABAJO	ACTIVIDAD	PRECIO UNI	TOTAL
25	Programación ON~OFF	\$30	\$ 750.00
15	Armado del circuito	\$20	\$ 300.00
15	Pruebas de funcionamiento	\$20	\$ 300.00
Total			\$ 1,350.00

A continuación, en la Tabla 5.16 se indicara el costo total invertidito en este proyecto realizado.

Tabla 18.5.k costo total invertido en la repotenciacion de la encoladora

COSTO DIRECTO	COSTO INDIRECTO	TOTAL
\$ 661.5	\$1.350.00	\$2.011.5

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- La implementación de mejoras basadas en el diagnóstico de la encoladora de libros reveló la presencia de 11 componentes eléctricos críticos que presentaban desgaste avanzado. Entre estos elementos se identificaron la unidad de control, sensores de temperatura, resistencias térmicas, los dispositivos de accionamiento manual, los interruptores de conmutación y los indicadores luminoso, los cuales fueron reemplazados para el óptimo funcionamiento de la máquina. La actualización de estos componentes permitió una mayor precisión en el control térmico, una respuesta más rápida a las variaciones de temperatura y una interfaz de usuario más intuitiva y confiable.
- La sustitución de los elementos obsoletos permitió alcanzar el control de temperatura, como mejorar el proceso de encuadernación, sustituyendo 3 resistencias térmicas, 1 sensor de temperatura de alta precisión, 2 dispositivos de accionamiento manual, 1

interruptor de conmutación, 2 indicadores luminoso, y la implementación de un sistema de control digital de las condiciones térmicas del proceso. Ya que con esto se logró la reducción significativa del tiempo de precalentamiento del equipo de 40 minutos a 20 minutos. Lo cual representa una mejora esencial respecto a la variabilidad térmica y el mejoramiento operativo de la máquina observada con anterioridad.

- El sistema de control de temperatura logró mantener una estabilidad térmica excepcional durante todo el proceso de encuadernación. Registrando una variación máxima de $\pm 5^{\circ}\text{C}$ respecto al valor objetivo, lo cual representa una mejora significativa, ya que con anterioridad no presentaba con un control de temperatura. La implementación del sistema permite un monitoreo en tiempo real y un ajuste preciso de las condiciones térmicas durante todo el ciclo de producción. Gracias a este sistema ahora se puede trabajar con 4 nuevos tipos de adhesivos y 5 diferentes tipos de papel, lo que representa un ahorro sustancial en materiales y costos operativos, expandiendo así la versatilidad del equipo y permitiendo abordar una gama más amplia de proyectos de encuadernación.
- La integración de actuadores y controladores logró una semi-automatización del proceso de encuadernación, reduciendo sustancialmente la necesidad de intervención manual. Es por esto que esta reducción tuvo un impacto considerable en la eficacia del proceso. El tiempo total de encolado por libro ha disminuido de 6 minutos a 2 minutos, lo que representa una optimización significativa en el flujo de trabajo. Como consecuencia, la capacidad productiva de la máquina aumentó de manera notable a una producción diaria, dando como resultado el incremento de 30 libros a 90 libros durante un turno estándar de 3 horas. Este aumento en la capacidad productiva permitió a la imprenta abordar volúmenes de trabajo más elevados y cumplir con plazos de entrega más ajustados.

6.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda integrar un sistema de monitoreo que permita visualizar y registrar en tiempo real los parámetros críticos del proceso de encolado, como temperatura, presión y velocidad de aplicación del adhesivo. Esto facilitaría la detección temprana de anomalías y permitiría ajustes más precisos durante la operación, mejorando así la calidad y consistencia del producto final.
- Para aumentar la calidad del proceso, se sugiere diseñar e implementar un sistema de alimentación automática de libros. Este sistema podría incluir un mecanismo de carga

y posicionamiento preciso de los lomos, reduciendo así los tiempos de preparación y minimizando los errores de alineación durante el encolado.

- Considerar la posibilidad de utilizar rodillos de materiales que ofrezcan una mejor adherencia y resistencia al desgaste. Los rodillos de goma de alta calidad o con recubrimientos especiales pueden mejorar la aplicación del adhesivo.
- Se recomienda implementar material de aislamiento térmico para futuros avances tecnológicos en control de temperatura en la encoladora de libros al calor ya que la utilización de materiales aislantes de última generación puede mejorar significativamente la retención del calor, lo que permitirá un control más preciso de la temperatura en los rodillos.

7. REFERENCIAS

- [1] R. Rodríguez y A. Villacís, Automatización de una máquina encoladora de libros Sulby Clamp Perfect Binder para la empresa Briuye Servicios Gráficos, Sangolquí, 2016.
- [2] O. Fabricio y J. Bayas, Diseño y construcción de una engomadora para el taller artesanal "Top Ballon" en la parroquia Santa Rosa de la ciudad de Ambato, Ambato: UTA, 2018.
- [3] O. Chicaiza y J. Gerardo, Control y Monitoreo del Nivel de Temperatura de la Estación de Nivel Usando UN PLC TWIDO. Carrera de Electrónica con mención: Instrumentación y Aviónica., Latacunga: ITSA, 2013.
- [4] W. Rebsamen, Adhesive Binding Library Books, 1983.
- [5] S. Abbott, Adhesion Science: Principles and Practice, 2015.
- [6] H. Kipphan, Handbook of Print Media: Technologies and Production Methods, Springer Science & Business Media, 2001.
- [7] Roberts, Matt, Etherington y Don, Bookbinding and the Conservation of Books: A Dictionary of Descriptive Terminology, Washington, 1982.
- [8] F. Morlok y Miriam Waszelewski, Bookbinding: A comprehensive guide to folding, sewing, & binding, Princeton Architectural Press, 2018.
- [9] S. Pasanec , G. Petković, M. Bracic y A. Marosevic, Comprehensive Principles for Enhancing the Adhesive Bound Book Performances, 2023.

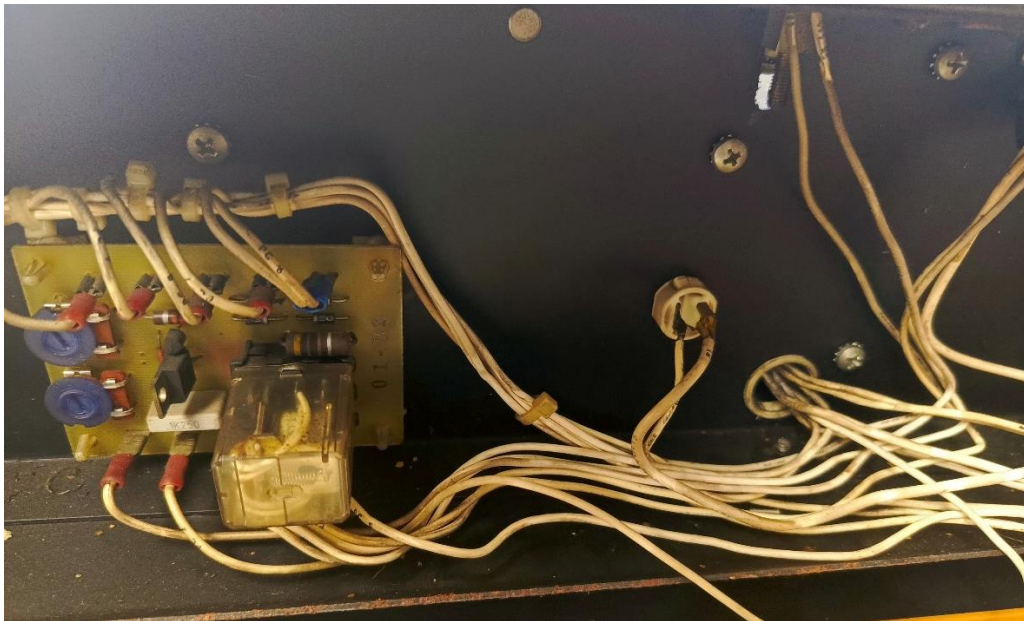
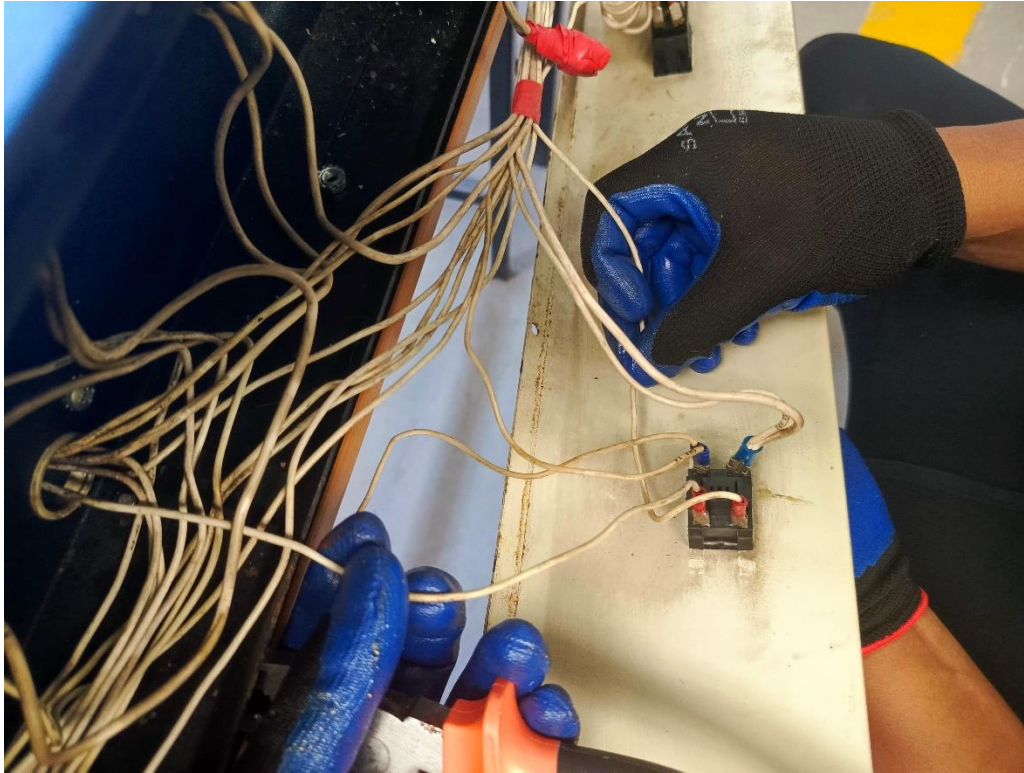
- [10] P. A. Dosio, Antoni Pellicer y su Éxito Gráfico: un proyecto editorial colectivo a comienzos del siglo veinte, Buenos Aires , 2021.
- [11] C. Borges, A. Akhavan, . P. Tsokanas,, . R. Carbas, E. Marques y L. Da Silva, From fundamental concepts to recent developments in the adhesive bonding technology: a general view, 2023.
- [12] J. Smith, Avances en tecnología de encuadernación térmica, Revista de Tecnología de Impresión, 2022.
- [13] M. Johnson y L. García, Sostenibilidad en la industria de la encuadernación: Nuevos adhesivos y procesos, Instituto de Tecnologías Gráficas, Informe Técnico de Innovación en Impresión, 2023.
- [14] H. Brinson y C. Brinson, Polymer Engineering Science and Viscoelasticity An Introduction, Textbook, 2010.
- [15] R. Adams, Adhesive Bonding Science, Technology and Applications, Woodhead Publishing, 2021.
- [16] P. y. C. Asociación Española de Fabricantes de Pasta, Informe Anual del sector de la celulosa y el papel, 2022.
- [17] F. Barajas, TÉCNICAS Y MATERIALES PARA EL EMPASTE DE DOCUMENTOS DE ARCHIVO, 2009.
- [18] J. Vallado, Manual de encuadernación, 2003.
- [19] P. Gálvez, Aplicación de la Tecnología de Adhesivos en Estructuras Multimaterial: Empleo de Adhesivos Tenaces, Madrid, 2020.
- [20] C. Espinoza, Construcción de un tablero de simulación para graficar el comportamiento de los controles de temperatura PID, comandado por un registrador y controlador de temperatura, Quito, 2008.
- [21] M. Bobadilla , L. Ponte y E. Ticona, Análisis comparativo de las tecnologías de modelación y control para sistemas de refrigeración, Piura, 2023.
- [22] K. Ogata, Ingeniería de control moderna, Madrid, 2010.
- [23] E. García, Automatización de procesos industriales, Valencia, 1999.
- [24] W. Bolton, Programmable Logic Controllers, 2015.

8. ANEXOS

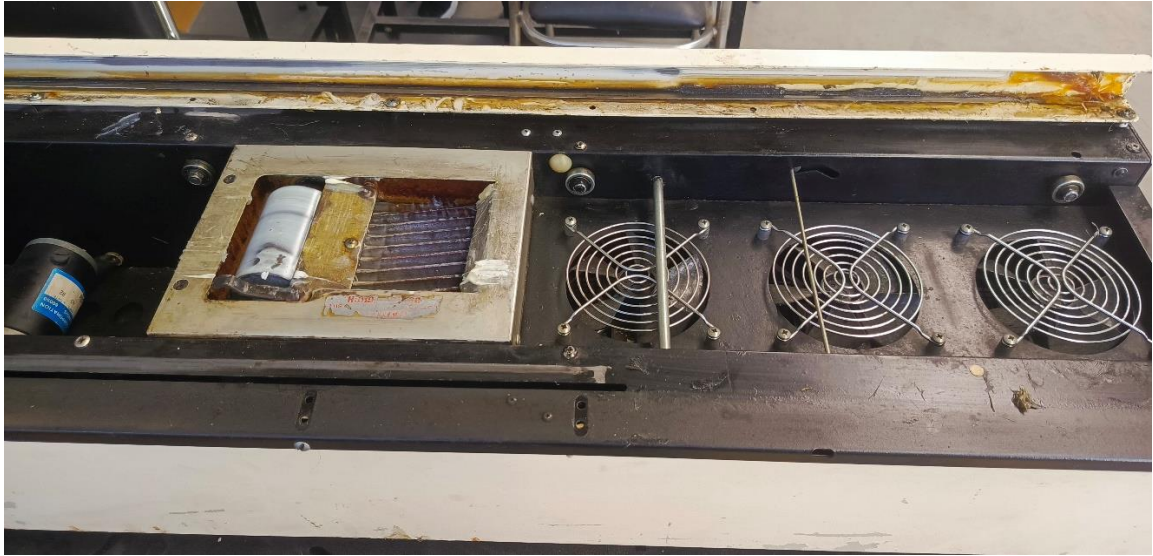
ANEXO 1. DIAGNOSTICO DE LA ENCOLADORA



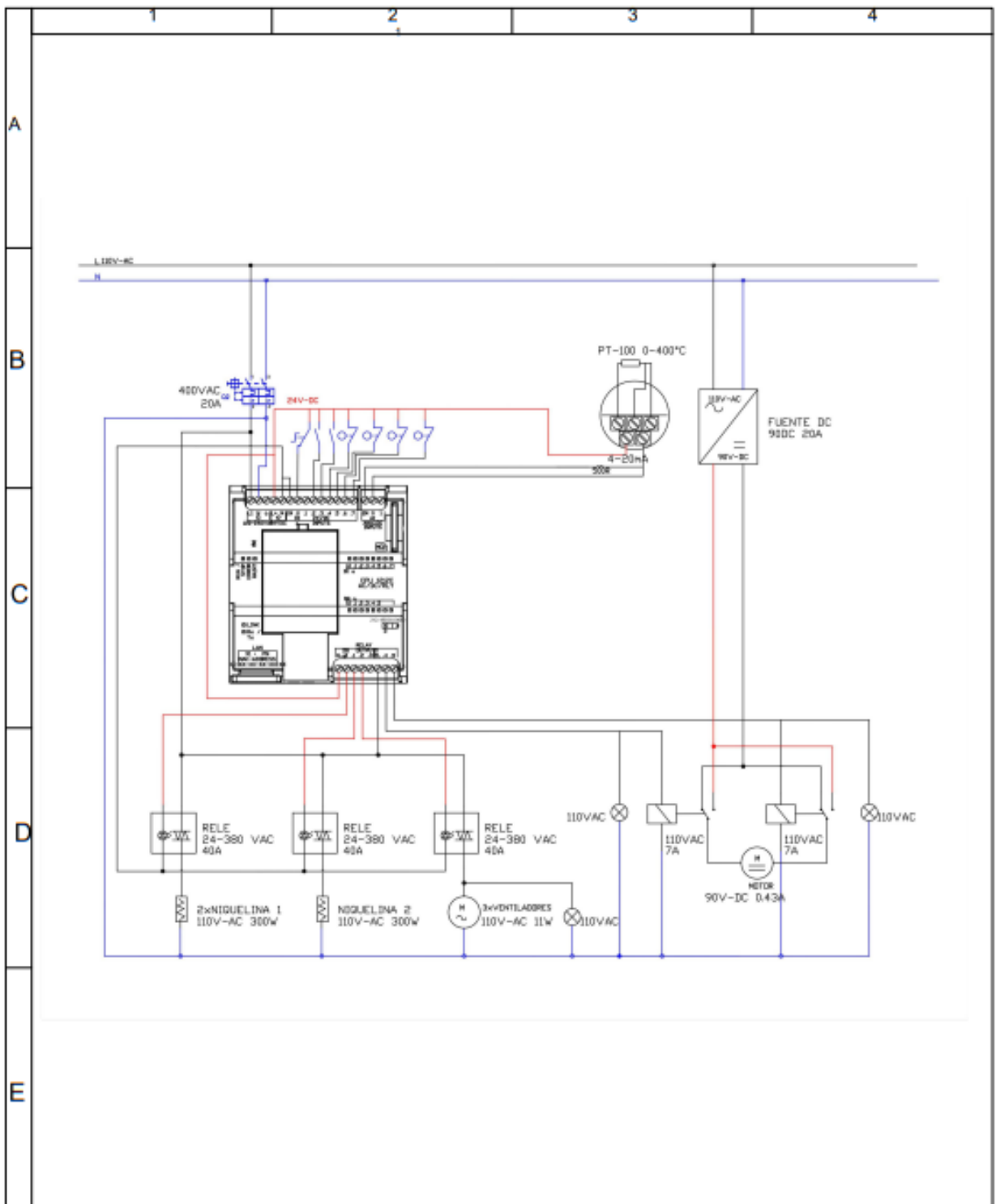
ANEXO 2. DIAGNOSTICO ELÉCTRICO DE LA ENCOLADORA




ANEXO 3. DIAGNOSTICO MECÁNICO DE LA ENCOLADORA

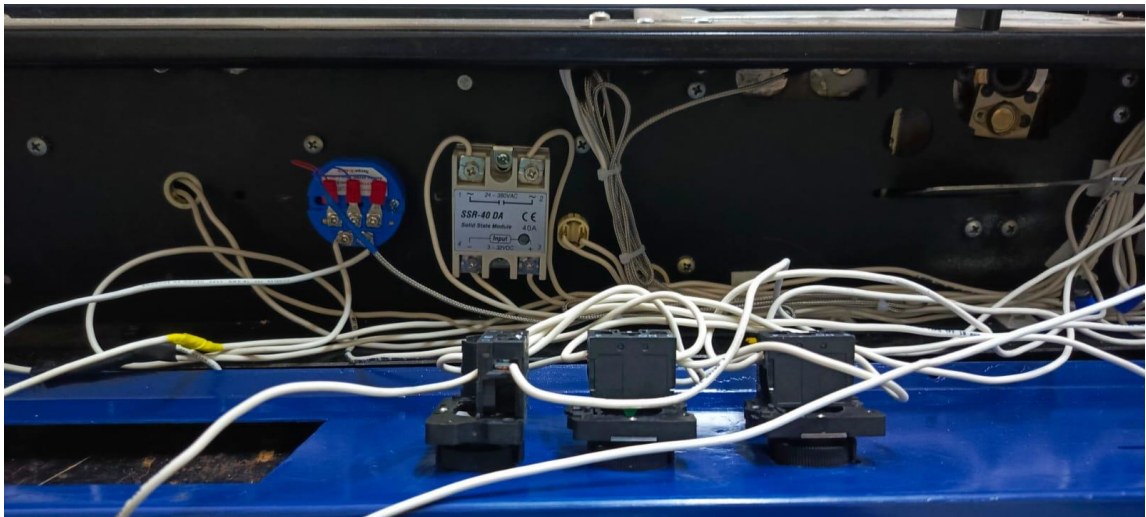


ANEXO 4. ESQUEMA ELÉCTRICO DE LA ENCOLADORA REPOTENCIADA



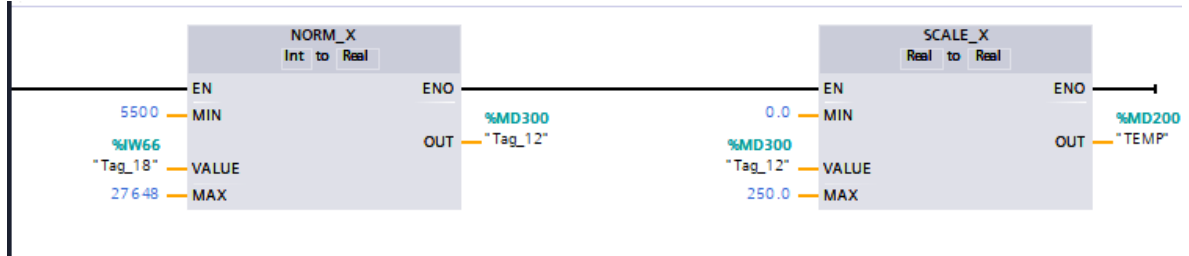
				Tolerancias	(Peso)	Materiales	
				Fecha	Nombre	Denominación	
				Dib	08/2024	Roberto S. Zambrano C	ESQUEMA ELÉCTRICO DE LA REPOTENCIACIÓN DE LA ENCOLADORA
				Rev	08/2024	Ing Jefferson Parra	
				Apro	08/2024	Ing Jefferson Parra	
						Número de dibujo	Marca de registro
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Ingeniería Electromecánica UTC	

ANEXO 5. IMPLEMENTACIÓN DEL ESQUEMA ELÉCTRICO

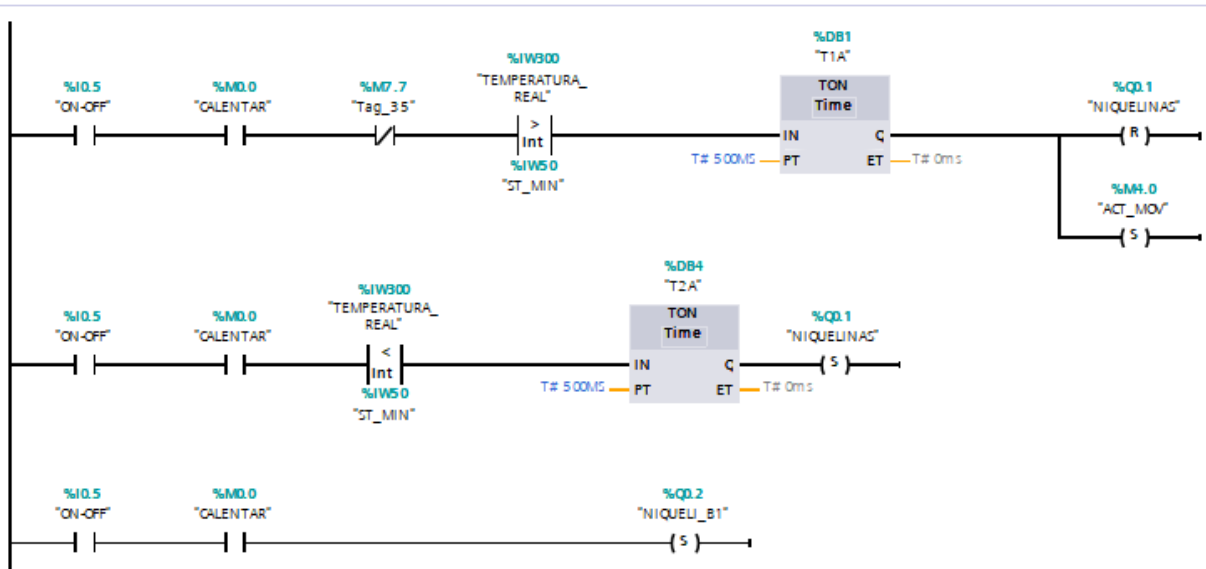


ANEXO 6. PROGRAMACIÓN DE LA ENCOLADORA REPOTENCIADA

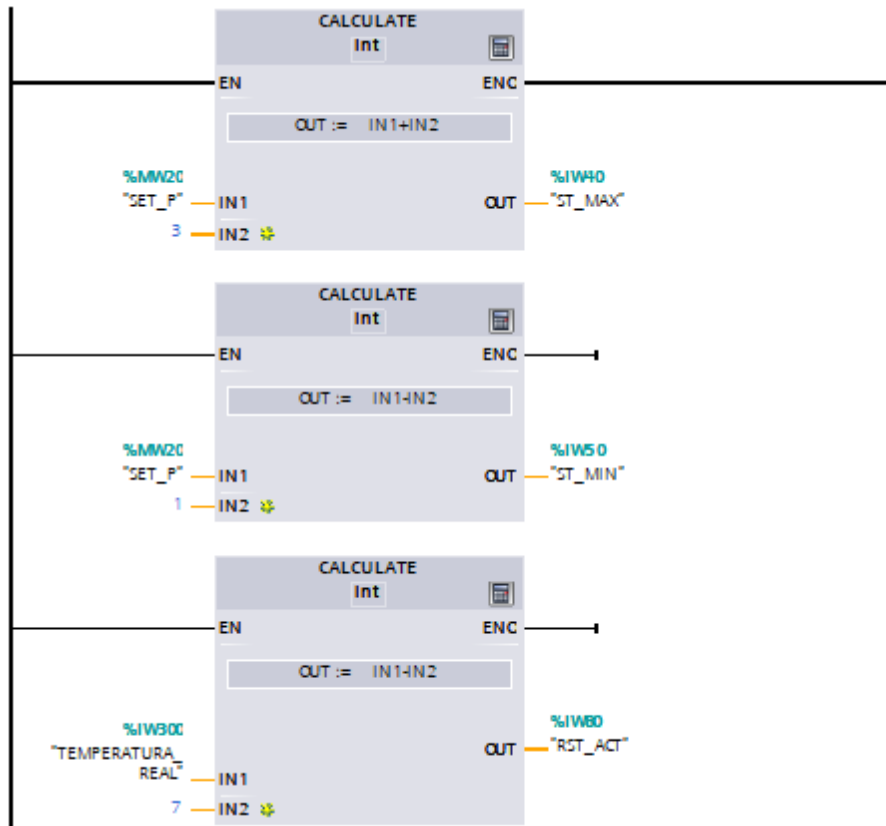
Anexo 6.1 Parámetros de entrada MIN y MAX



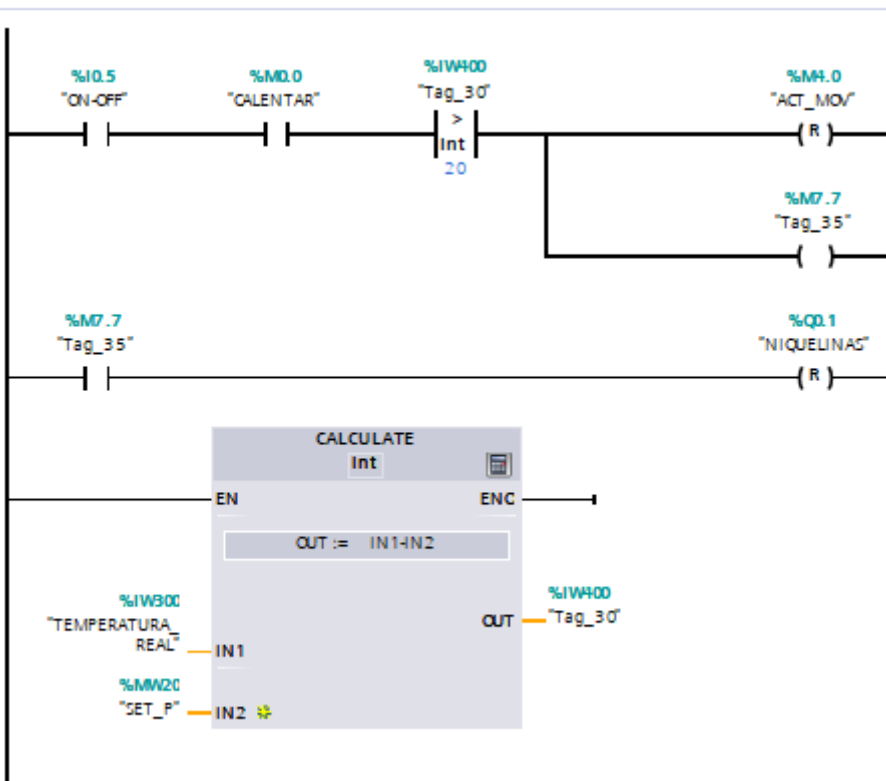
Anexo 6.2 Inicio del control de temperatura.



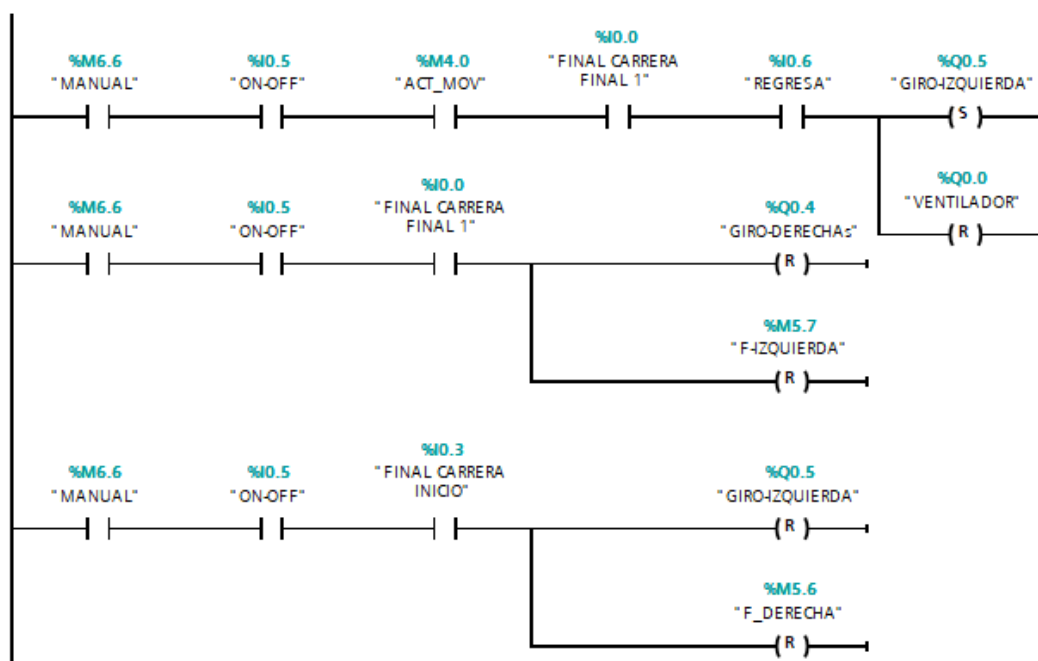
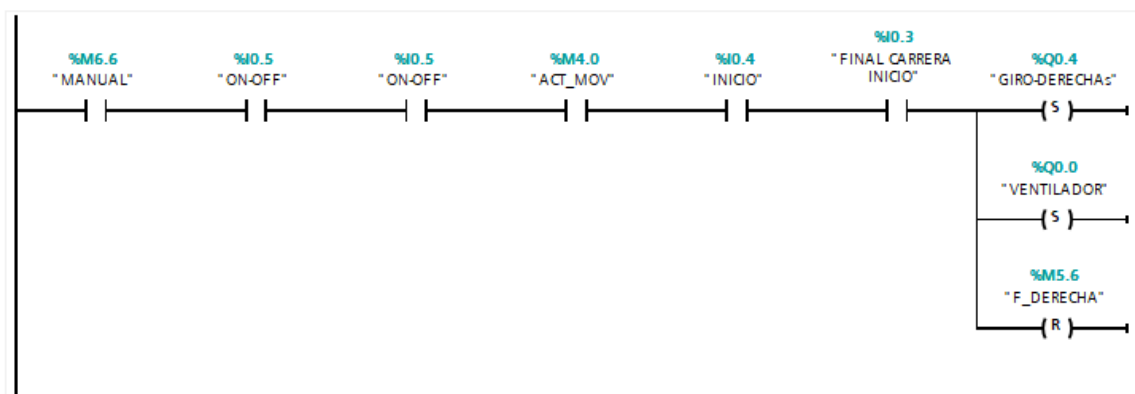
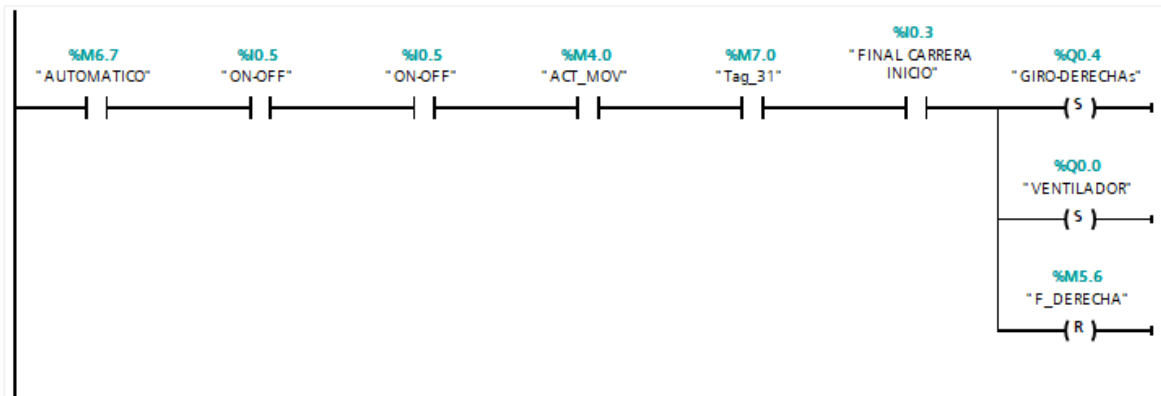
Anexo 6.3 Calibración del sensor de temperatura

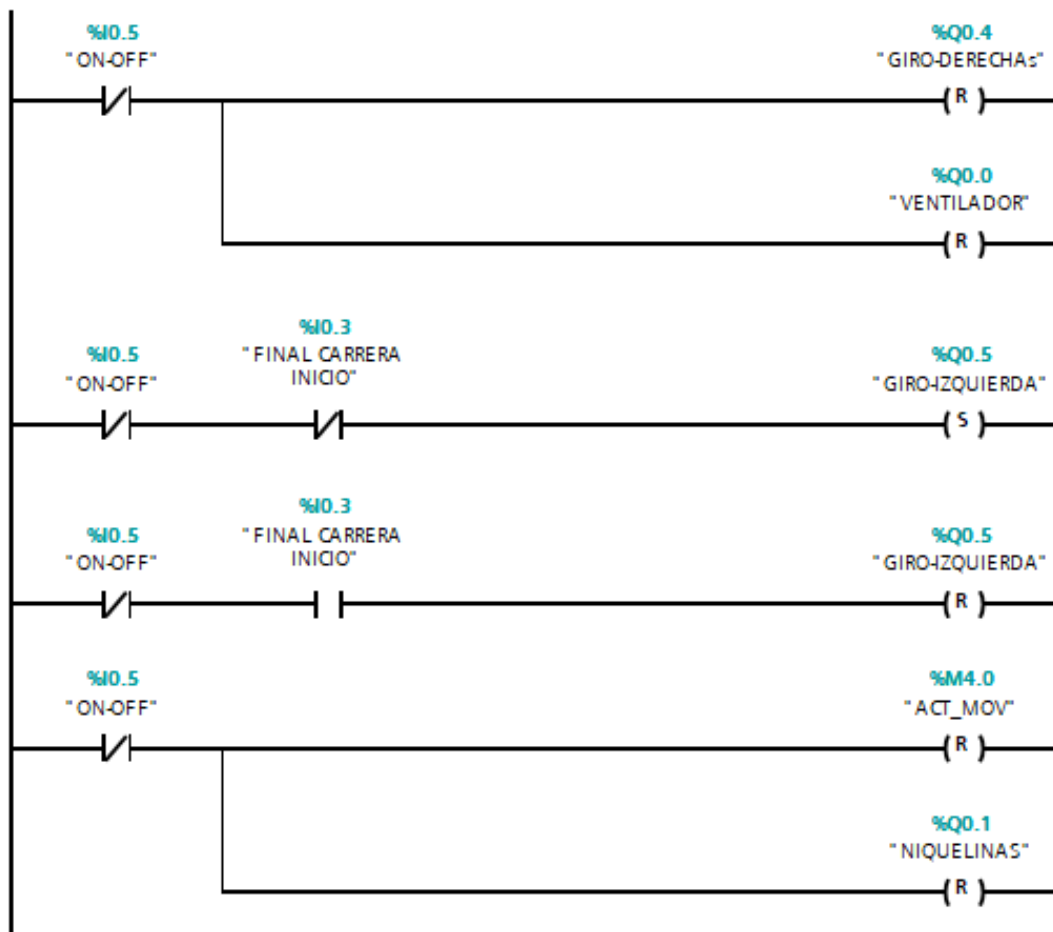


Anexo 6.4 Control de temperatura



Anexo 6.5 Control el motor y los ventiladores





ANEXO 7. PRUEBAS DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA



ANEXO 8. INTERACCIÓN DE LA PANTALLA HMI



ANEXO 7. RESULTADO FINAL DE LA REPOTENCIACION



Manual de una encoladora

Funcionamiento de una encoladora de libros

- Establecer la conexión del conector a una fuente de alimentación eléctrica de 120 voltios de corriente alterna (VAC)."



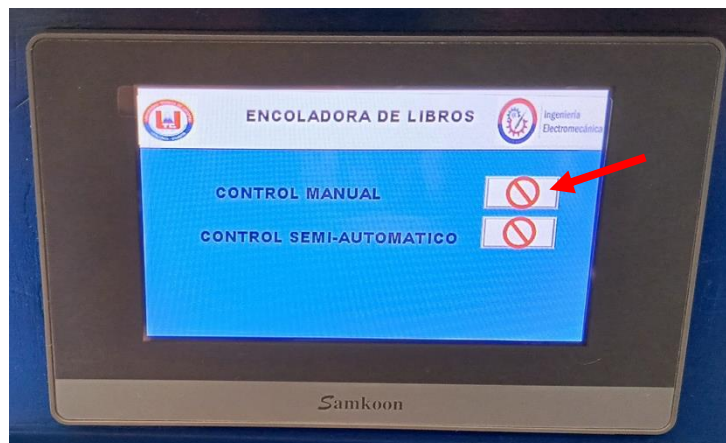
- Levantar el interruptor automático de protección



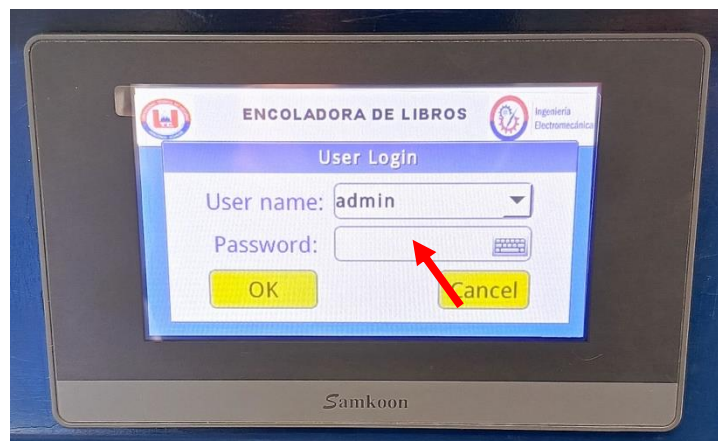
- Esperar la visualización de los datos en la interfaz gráfica de la primera pantalla



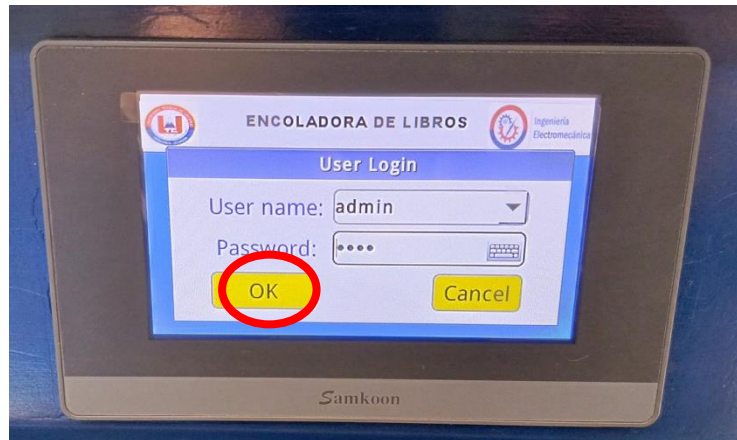
- Seleccionar control manual



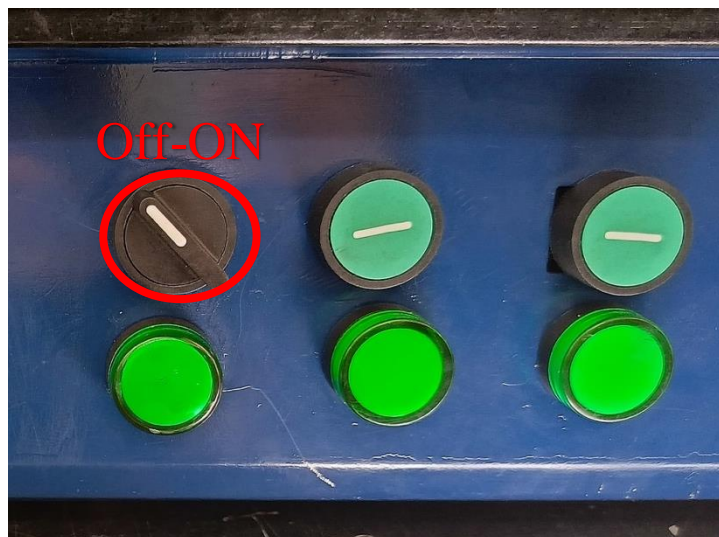
- Digitar clave de acceso (1234)



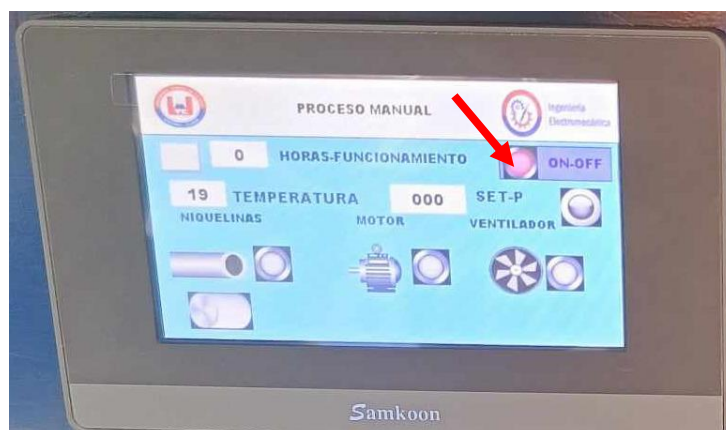
- Pulsar botón ***OK***



- Girar el selector a "ON" a la posición de activación



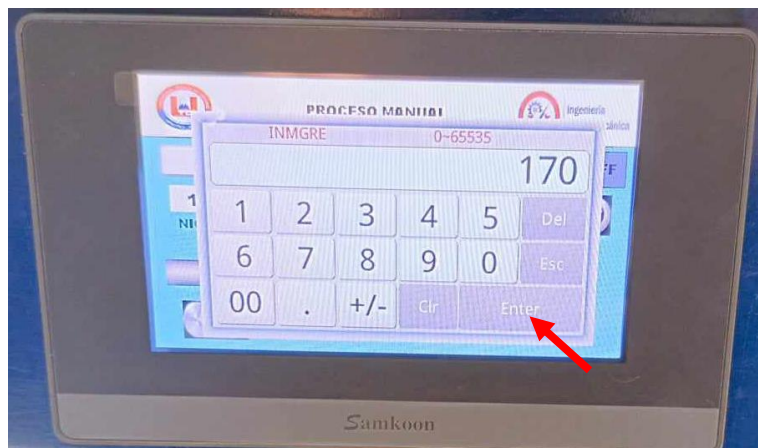
- Indicador de activación para el funcionamiento de la máquina,



- Ingresar el valor establecido que se desea que llegue la temperatura, (170 °C)



- Presionar "Enter"



- Oprimir el botón para el iniciar el calentamiento de la encoladora

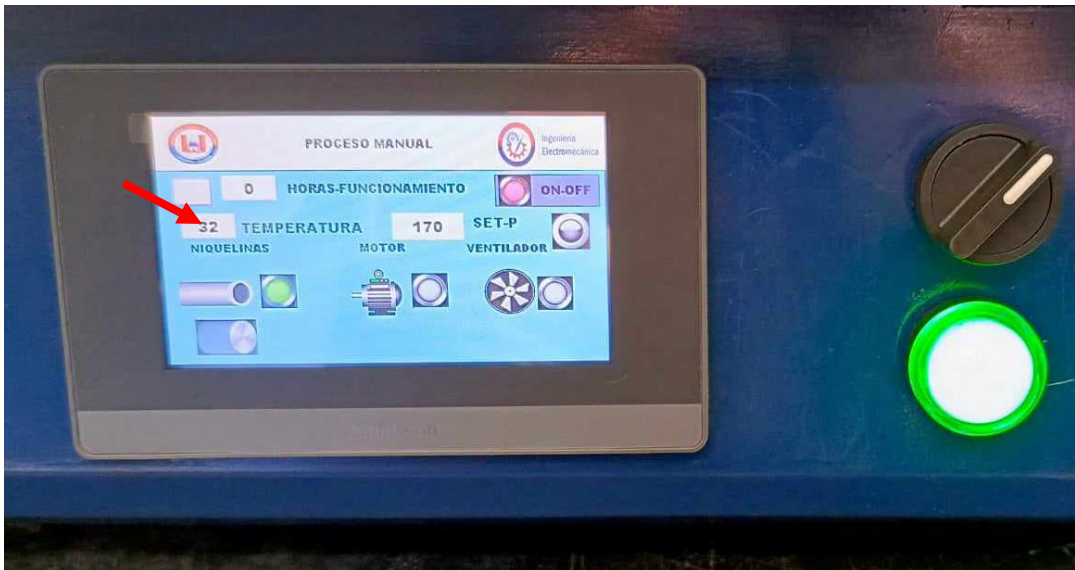


de encendido de niquelinas para el calentamiento del adhesivo

- Indicador



- Esperar que el valor de la temperatura ambiente alcance el valor del setpoint ingresado, para su respectivo funcionamiento



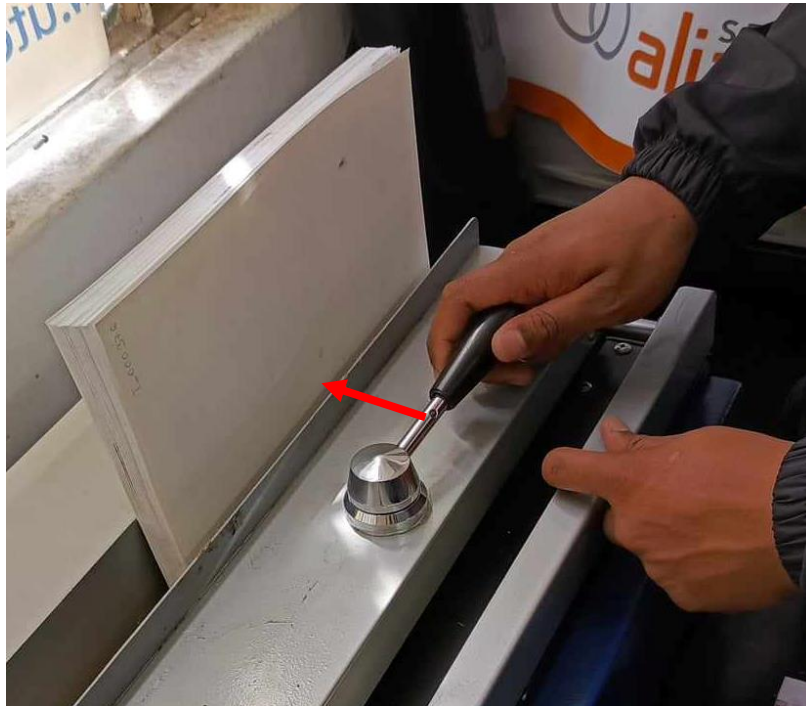
- Ya alcanzada la temperatura como se puede visualizar en la pantalla, se encenderá el indicador del setpoint para poner en funcionamiento el encolado de forma manual



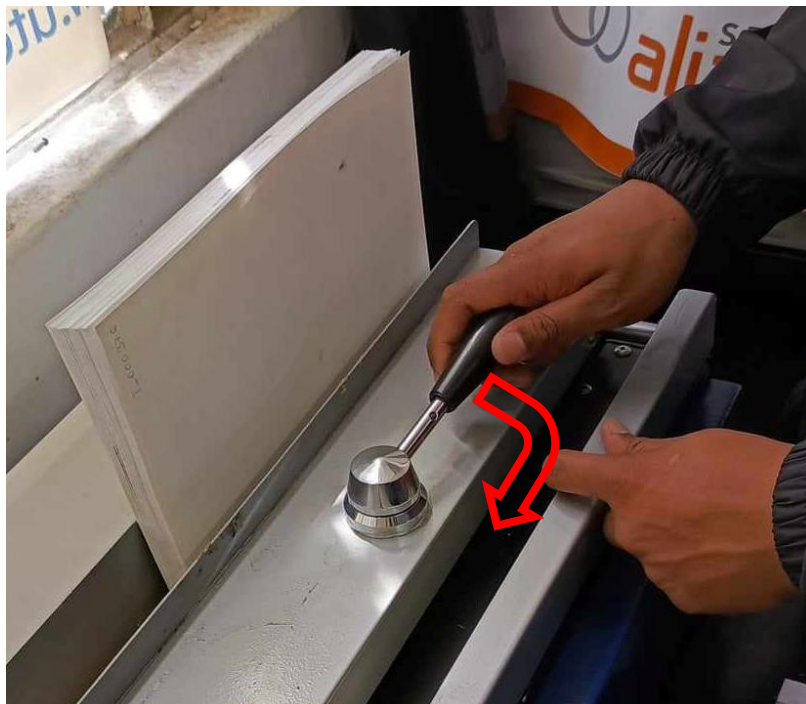
- Alinear las hojas antes de ingresar al coche transportador



- Ingresar las hojas en el carro transportador



- Girar el mango que asegura las hojas en el coche transportador



- Pulsar el botón para el arranque del motor y se realice el proceso de encolado



- Terminado el proceso del encolado el carro transportador se detiene a enfriar durante 2 minutos para secar el adhesivo



- Culminado el proceso de enfriamiento giramos el mango que asegura al libro encolado del carro transportador



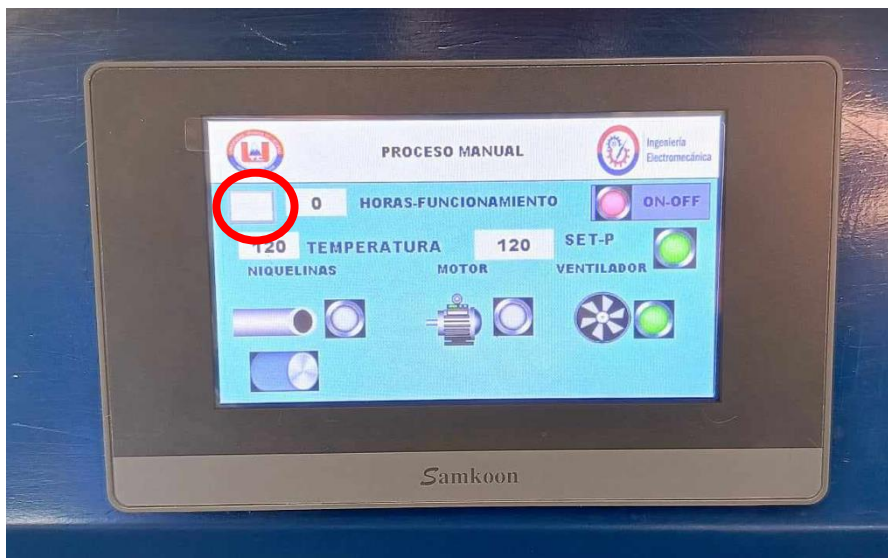
- Retirar libro



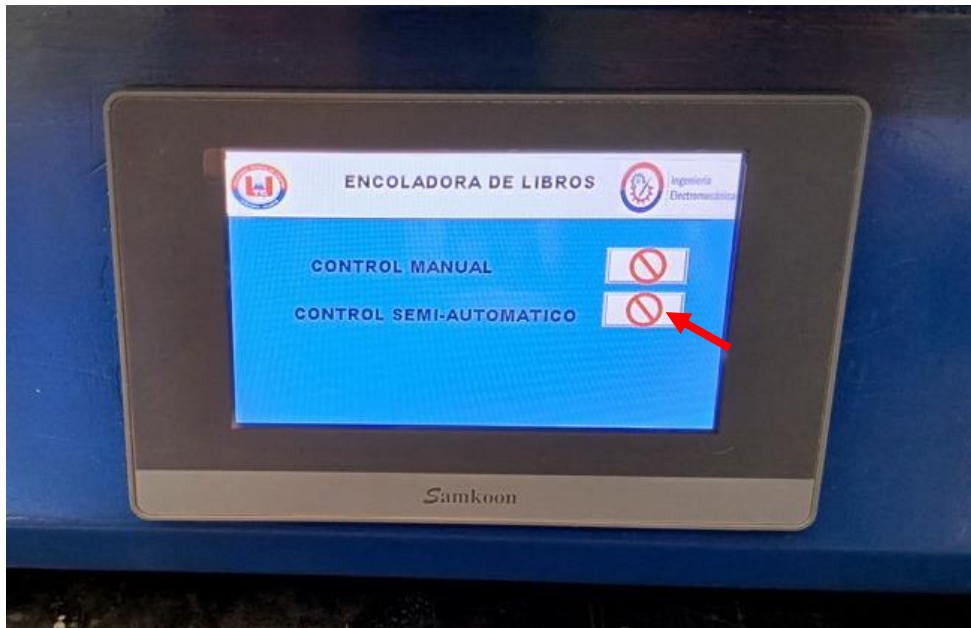
- Pulsar botón de retorno para que el carro transportador regrese al inicio y realizar nuevamente el proceso de encolado



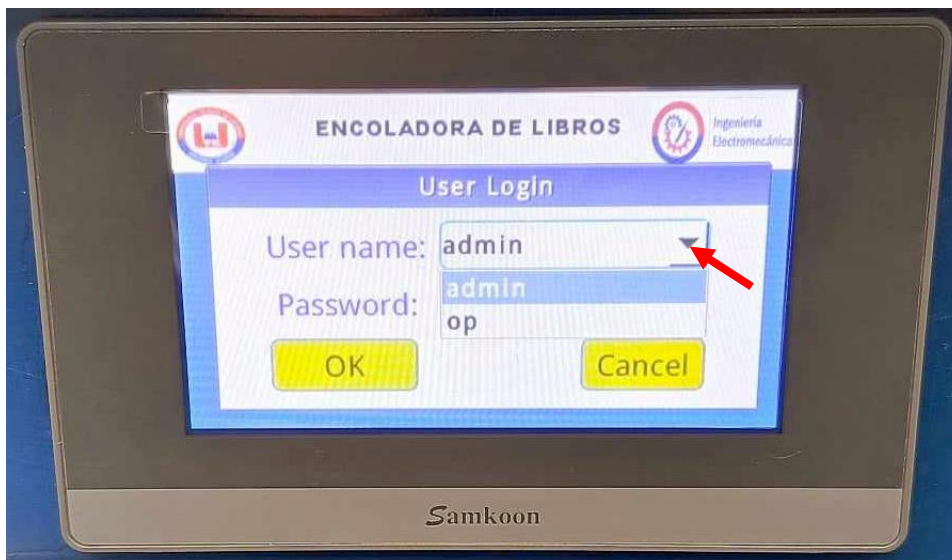
- Para dirigirse a la segunda pantalla y realizar el "Control Semiautomático", presionar el botón indicado en la pantalla



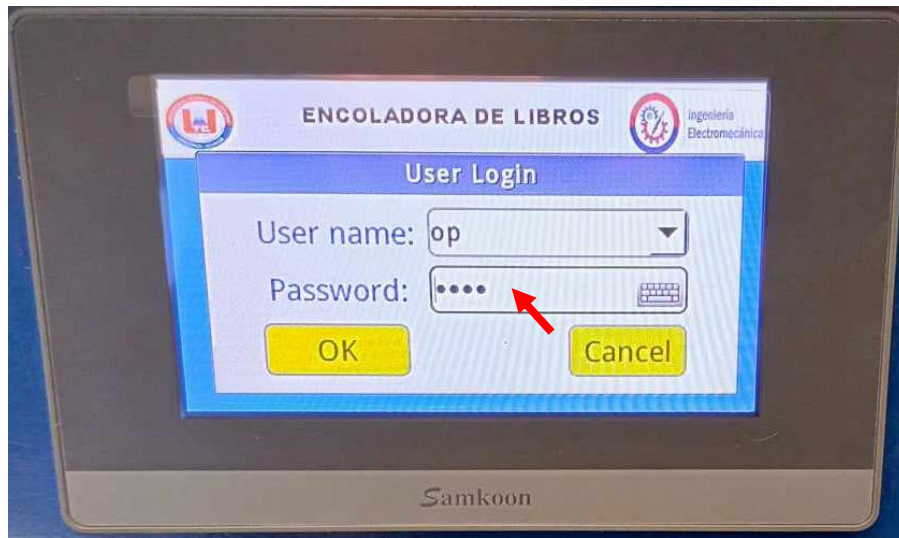
- Seleccionar control semiautomático



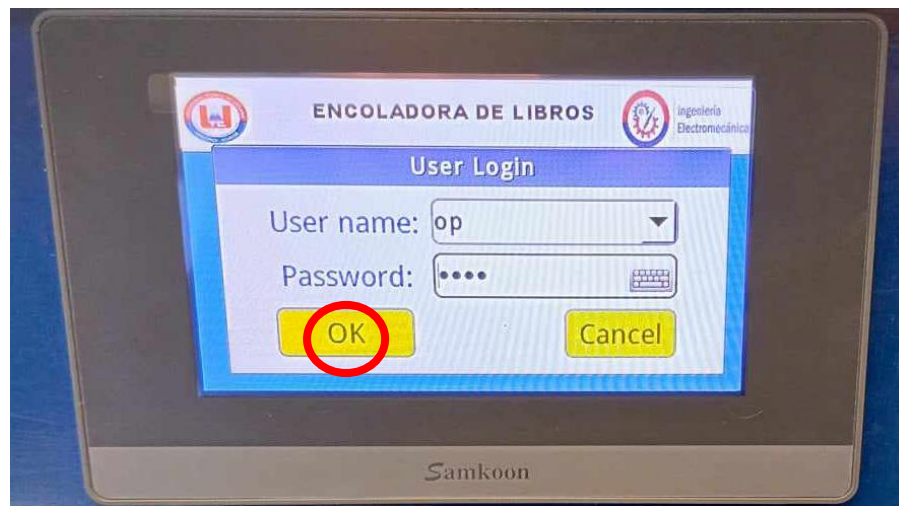
- Elegir segundo usuario (**op**)



- Digitar clave de acceso (**5678**)



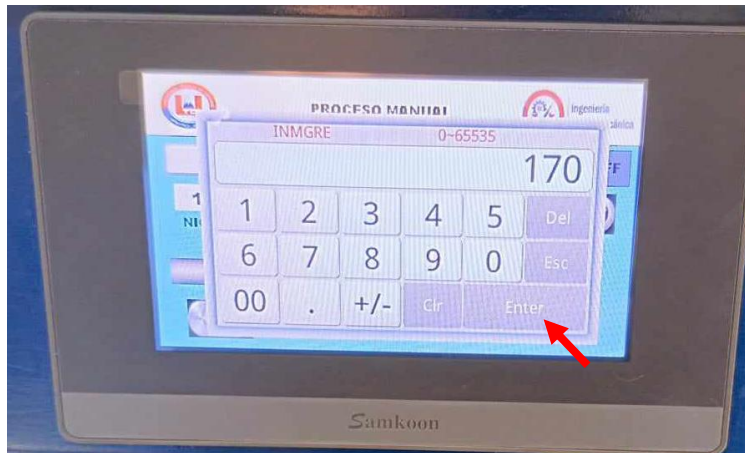
- Pulsar botón *OK*



- Ingresar el valor establecido que se desea que llegue la temperatura, (170 °C)



- Presionar "Enter"



- Oprimir el botón para iniciar el calentamiento de la encoladora



- Indicador de encendido de niquelinas para el calentamiento del adhesivo



- Esperar que el valor de la temperatura ambiente alcance el valor del setpoint ingresado, para su respectivo funcionamiento



- Ya alcanzada la temperatura como se puede visualizar en la pantalla, se encenderá el indicador del setpoint para poner en funcionamiento el encolado de forma semiautomático



- Alinear las hojas antes de ingresar al coche transportador



- Ingresar las hojas en el carro transportador



- Girar el mango que asegura las hojas en el coche transportador



- Pulsar el botón "ON" para el arranque del motor transportando el carro con el libro y se realice el proceso de encolado



- Terminado el proceso del encolado el carro transportador se detiene a enfriar durante 2 minutos para secar el adhesivo



- Culminado el proceso de enfriamiento giramos el mango que asegura al libro encolado del carro transportador



- Al retirar el libro la base hace contacto con un final de carrera y automáticamente el carro transportador regresa al inicio para realizar nuevamente el proceso de encolado



Apagado de la encoladora control manual

- Presionar el botón para detener el proceso de calentamiento del aplicador de adhesivo



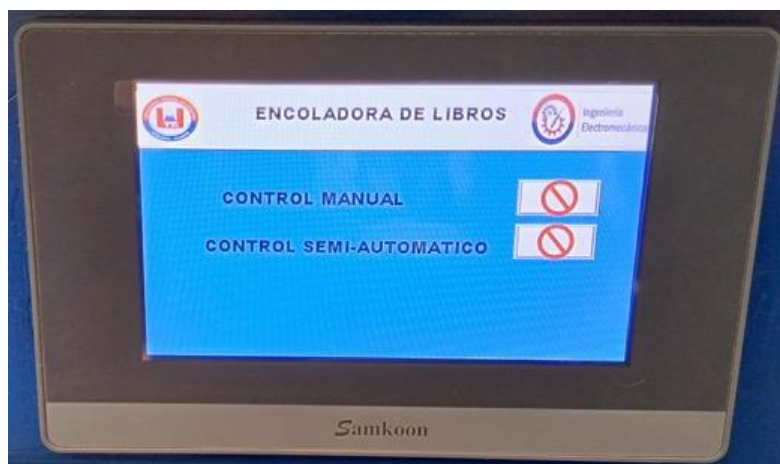
- Girar el selector a "OFF" a la posición de desactivación



- Presionar el botón para ir a la pantalla principal



- Pantalla principal



- Desactivar el interruptor automático de protección



Apagado de la encoladora control semiautomático

- Presionar el botón para detener el proceso de calentamiento del aplicador de adhesivo



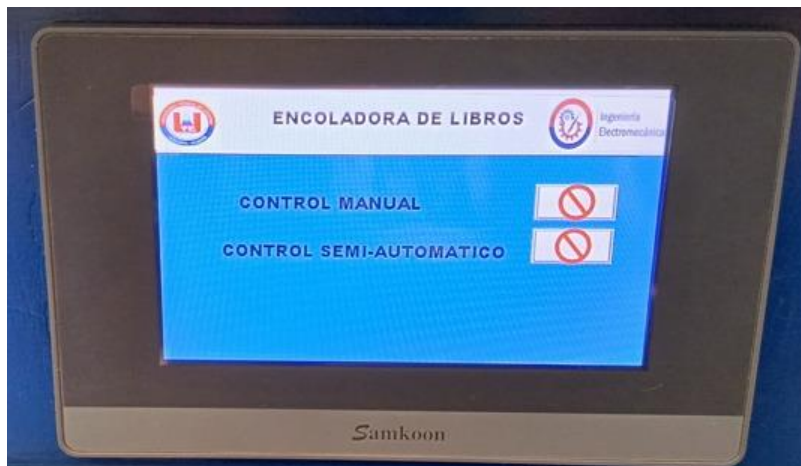
- Girar el selector a "OFF" a la posición de desactivación



- Presionar el botón para ir a la pantalla principal



- Pantalla principal



- Desactivar el interruptor automático de protección



Notas

- El procedimiento de encendido e ingresar valor de temperatura es igual en los dos controles
- En ninguno de los dos controles si no se activa el selector no tiene funcionabilidad la encoladora, no omitir ese paso
- Es necesario Ingresar el setpoint de (170 °C) valor adecuado para el proceso de encolar, en los dos controles caso contrario si se ingresa menos de los 100 grados el motor no funciona
- Para regresar de un control a otro o la pantalla de inicio es el mismo procedimiento mostrado
- El procedimiento de apagado es igual en los dos controles
- Tomar en cuenta la encoladora de libros utiliza un margen de 20 grados de corrección dicha manera que si sube o baja más del setpoint establecido la maquina trabaja normal mente y mediante su control se va estableciendo