



**UNIVERSIDAD ESTATAL  
PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

“SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO DEL PROTOTIPO DE  
TERMO COMPRESIÓN PARA FABRICAR PANELES PLÁSTICOS DE  
LA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL, SANTA ELENA,  
ECUADOR”

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

Previo a la obtención del título de:

**INGENIERO INDUSTRIAL**

**AUTORES:**

RONALD WLADIMIR LAÍNEZ APOLINARIO

JOHN JAIME CHIRIGUAYA INTRIAGO

**TUTOR:**

ING. DARWIN GUSTAVO JAQUE PUCA, MGTR

La Libertad, Ecuador

2025

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

---

**TEMA:**

**“SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO DEL PROTOTIPO  
DE TERMO COMPRESIÓN PARA FABRICAR PANELES  
PLÁSTICOS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL,  
SANTA ELENA, ECUADOR”**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

**AUTOR:**

**RONALD WLADIMIR LAÍNEZ APOLINARIO**  
**JOHN JAIME CHIRIGUAYA INTRIAGO**

**TUTOR:**

**ING. DARWIN GUSTAVO JAQUE PUCA, MGTR**

**LA LIBERTAD – ECUADOR**

**2025**

**UPSE**

## CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Ronald Wladimir Láinez Apolinario** y **John Jaime Chiriguaya Intriago**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Industrial**.

### TUTOR



**Ing. Darwin Gustavo Jaque Puca. Msc.**

### DIRECTOR DE LA CARRERA



**Ing. Isabel del Rocío Balón Ramos. MSc**

La Libertad, a los 10 del mes de julio del año 2025

## AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Láinez Apolinario Ronald Wladimir y Chiriguaya Intriago John Jaime**

Autorizamos a la Universidad Península de Santa Elena la publicación en la biblioteca de la Institución del Trabajo de Titulación, "Sistema de control automatizado del prototipo de termo compresión para fabricar paneles plásticos de la carrera de Ingeniería Industrial, Santa Elena, Ecuador", cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y total autoría.

La Libertad, a los 10 del mes de julio del año 2025

### LOS AUTORES

f.   
Láinez Apolinario Ronald Wladimir

f.   
Chiriguaya Intriago John Jaime

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación “SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO DEL PROTOTIPO DE TERMO COMPRESIÓN PARA FABRICAR PANELES PLÁSTICOS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL, SANTA ELENA, ECUADOR”, elaborado por los Sres. RONALD WLADIMIR LAÍNEZ APOLINARIO y JOHN JAIME CHIRIGUAYA INTRIAGO, estudiantes de la carrera de Ingeniería Industrial, Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de Ingeniero Industrial, me permito declarar que luego de haberla dirigido, estudiado y revisado, la apruebo en su totalidad.

**TUTOR**

f.   
**Ing. Darwin Gustavo Jaque Puca. Msc.**

La Libertad, a los 20 del mes de marzo del año 2025

## DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **Láinez Apolinario Ronald Wladimir** y **Chiriguaya Intriago John Jaime**

### DECLARAMOS QUE:

El Trabajo de Titulación, "Sistema de control automatizado del prototipo de termo compresión para fabricar paneles plásticos de la carrera de Ingeniería Industrial, Santa Elena, Ecuador", previo a la obtención del título de **Ingeniero Industrial** ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de nuestra total autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

**La Libertad, a los 10 del mes de julio del año 2025**

### LOS AUTORES

f.   
Láinez Apolinario Ronald Wladimir

f.   
Chiriguaya Intriago John Jaime



# CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA

## *Certificado de gramática*

Santa Elena, 08 de julio del 2025

Yo, **Mónica Isabel Paredes Castro**, Magister en Educación Básica, con registro de la **SENECYT N° 1023-2024-2904505** por medio del presente certifico que:

Después de revisar y corregir la sintaxis y ortografía del trabajo investigativo titulado **“SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO DEL PROTOTIPO DE TERMO COMPRESIÓN PARA FABRICAR PANELES PLÁSTICOS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL, SANTA ELENA, ECUADOR”** elaborado por los estudiantes **RONALD WLADIMIR LAÍNEZ APOLINARIO** y **JOHN JAIME CHIRIGUAYA INTRIAGO** en su opción al título de **INGENIERO INDUSTRIAL** en la Universidad Estatal Península de Santa Elena, puedo afirmar que el trabajo está apto para ser defendido.

Sin otro particular.



**Lic. Mónica Paredes Castro, M.Sc.**

C.I: 0605353143

Celular: 0969917044

Correo: misabelp1017@gmail.com

## AGRADECIMIENTOS

A lo largo de este proyecto, aprendí muchísimo, no solo sobre automatización, diseño o fabricación, sino también sobre algo que muchas veces se da por sentado: el valor del apoyo de las personas que están detrás de todo esto. Nada de lo que logré habría sido posible sin quienes me acompañaron en este camino, así que quiero dejar un agradecimiento sincero.

Primero, a mi familia. La verdad, no hay palabras suficientes. Gracias por estar ahí en todo momento, y por confiar en mí. Su apoyo fue, y sigue siendo, mi motor. En especial, a mis hermanos: **Willy Bolívar, Marlon Joel, Jeomayra Vanessa y Stefanny Ivette**, por su cariño constante y por ser una fuente de fortaleza durante toda esta etapa.

A mis docentes, quienes marcaron una huella importante en mi formación. Al **Ing. Edison Noé Buenaño Buenaño**, por su guía constante, por los consejos sinceros y por estar presente también en esta etapa final del proceso. Al **Ing. Darwin Gustavo Jaque Puca**, por su orientación paciente como tutor técnico de este proyecto, siempre dispuesto a guiarme y corregir con dedicación. A la **Ing. Isabel del Rocío Balón Ramos**, también tutora, por su acompañamiento cercano, por las valiosas visitas técnicas que enriquecieron nuestra formación, y por su calidad humana que siempre marcó la diferencia. Y al **Ing. Alejandro Crisóstomo Veliz Aguayo**, por su apoyo en una etapa crucial de mi carrera, y por estar dispuesto a ayudar en todo lo que estuvo a su alcance.

A **Nathaly Samira Muñoz Orrala**, con quien tuve la suerte de coincidir y desde entonces ha sido un apoyo importante, siempre dispuesta a escuchar, a comprender y a animarme cuando más lo necesitaba. Gracias por acompañarme incluso en los pequeños detalles; tu presencia ha significado mucho.

A mis amigos y compañeros de carrera, los que estuvieron en las buenas y en las malas, lidiando con pruebas, simulaciones que no corrían, cables que no conectaban, y más de una noche sin dormir. Compartir este proceso con ustedes lo hizo más llevadero, y a veces hasta divertido.

Finalmente, a la Universidad Estatal Península de Santa Elena. Gracias por brindarnos el espacio, las herramientas y la oportunidad de formarnos. Me llevo este logro con mucho orgullo, sabiendo que detrás hay horas de esfuerzo, aprendizaje real y muchas personas que dejaron huella en mi formación.

*Ronald Wladimir Laínez Apolinario*

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo, con profundo amor y gratitud, a la memoria de mi madre, **Patricia Justina Apolinario Laínez**, cuyo cariño y enseñanzas siguen acompañándome cada día. Aunque no esté físicamente, su presencia ha sido una guía constante en este camino, y este logro también le pertenece.

A mi padre, **Bolívar Nicanor Laínez González**, por su apoyo incondicional, por creer en mí incluso en los momentos más difíciles, y por ser siempre un ejemplo de esfuerzo y fortaleza.

A quienes me acompañaron de forma cercana durante esta etapa, brindándome compañía, ánimo y comprensión más allá de lo académico. Ustedes saben quiénes son, y este logro también lleva su huella.

Y a quienes, sin buscarlo, dejaron una marca valiosa en mi camino formativo, mi respeto y gratitud.

*Ronald Wladimir Laínez Apolinario*

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco inmensamente a mi familia quienes han sido pilares fundamentales en el trayecto de mi carrera universitaria, instándome siempre a la perseverancia y paciencia, y por sus buenos augurios para mi futura profesión.

También quiero agradecer a mi tutor el Ing. Darwin Jaque Puca por su tiempo y dedicación para atender el presente proyecto universitario. Y también a nuestra prestigiosa Universidad Estatal Península de Santa Elena por ofrecer un acompañamiento esencial para la formación profesional de cada estudiante de la mano de ilustres catedráticos.

*Chiriguaya Intriago Jhon Jaime*

## DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación de grado está dedicado en primer lugar a Dios, quien ha sabido guiarme por el buen camino, y darme las fuerzas y sabiduría para seguir adelante y no rendirme en la primera adversidad que se me presentaba.

También va dedicada a toda mi familia que me han apoyado incondicionalmente en cada paso de mi desarrollo profesional, especialmente a mis padres **Kleber Chiriguaya** y **Yela Intriago** que han tenido su Fe intacta en mí.


Y, por último, pero no menos importantes también a mis amigos, docentes y conocidos que siempre me apoyaron y guiaron en el transcurso de esta carrera.

*Chiriguaya Intriago Jhon Jaime*

## TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f.  \_\_\_\_\_

ING. ISABEL DEL ROCIO BALÓN RAMOS. MSc.  
DIRECTOR DE CARRERA

f.  \_\_\_\_\_

ING. SALVATIERRA BARZOLA MIGUEL ANTONIO. MSc.  
DOCENTE ESPECIALISTA

f.  \_\_\_\_\_

ING. DARWIN GUSTAVO JAQUE PUCA. MSc  
DOCENTE TUTOR

f.  \_\_\_\_\_

DRA. SOSA BUENO GRACIELA CELEDONIA. PHD

# ÍNDICE GENERAL

PORTADA.....	i
CERTIFICACIÓN .....	III
APROBACIÓN DEL TUTOR .....	IV
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD.....	V
AUTORIZACIÓN .....	VI
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO .....	VII
CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA .....	VIII
AGRADECIMIENTOS .....	IX
DEDICATORIA .....	X
AGRADECIMIENTOS .....	XI
DEDICATORIA .....	XII
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....	XIII
ÍNDICE GENERAL .....	XIV
ÍNDICE DE TABLAS .....	XV
ÍNDICE DE GRÁFICAS .....	XVI
ÍNDICE DE ANEXOS .....	XVII
RESUMEN .....	XIX
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I .....	4
MARCO TEÓRICO .....	4
1.1. Antecedentes investigativos.....	4
1.2. Estado del arte.....	5
1.3. Delineación del protocolo.....	17
1.4. Fundamentos teóricos.....	18
CAPÍTULO II.....	22
MARCO METODOLÓGICO.....	22
2.1. Enfoque de investigación.....	22
2.2. Diseño de investigación.....	22
2.3. Proceso metodológico del ciclo de diseño mecánico.....	23
2.4. Método e instrumento de recolección de datos.....	27
2.5. Variable de estudio.....	30
CAPÍTULO III.....	33

MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	33
3.1. Marco de resultados. ....	33
DISCUSIÓN .....	89
CONCLUSIONES .....	90
RECOMENDACIONES.....	91
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	92
ANEXOS .....	99

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Descripción de exploración de artículos.....	7
<b>Tabla 2:</b> Matriz de artículos científicos. ....	8
<b>Tabla 3:</b> Base de datos del estudio.....	12
<b>Tabla 4:</b> Estudios revisados. ....	12
<b>Tabla 5:</b> Escala de comparación propuesta por Saaty. ....	14
<b>Tabla 6:</b> Matriz de criterios por la metodología Saaty. ....	14
<b>Tabla 7:</b> Matriz normalizada de criterios.....	15
<b>Tabla 8:</b> Veracidad de los datos.....	15
<b>Tabla 9:</b> Criterios y ponderación. ....	16
<b>Tabla 10:</b> Plan de recolección de datos.....	28
<b>Tabla 11:</b> Operacionalización de variables de estudio.....	31
<b>Tabla 12:</b> Características de los expertos.....	35
<b>Tabla 13:</b> Valoración de la entrevista. ....	36
<b>Tabla 14:</b> Valoración de la entrevista hacia el docente 1.....	37
<b>Tabla 15:</b> Valoración de la entrevista hacia el docente 2.....	37
<b>Tabla 16:</b> Requerimientos del cliente.....	38
<b>Tabla 17:</b> Requerimientos del diseño – indicadores de valor. ....	39
<b>Tabla 18:</b> Tabla morfológica de alternativas.....	40
<b>Tabla 19:</b> Valoración de la entrevista hacia el docente 2.....	45
<b>Tabla 20:</b> Valoración de la eficacia de la entrevista hacia el docente 2.....	47
<b>Tabla 21:</b> Lista de los materiales y el costo. ....	50
<b>Tabla 22:</b> Costo de fabricación de la máquina. ....	51
<b>Tabla 23:</b> Elaboración de estructura base. ....	61
<b>Tabla 24:</b> Elaboración de horno. ....	62

<b>Tabla 25:</b>	Elaboración de prensa electrohidráulica. ....	63
<b>Tabla 26:</b>	Elaboración de carro móvil. ....	65
<b>Tabla 27:</b>	Elaboración de tablero eléctrico. ....	67
<b>Tabla 28:</b>	Manual de funcionamiento. ....	70
<b>Tabla 29:</b>	Producción actual 1. ....	73
<b>Tabla 30:</b>	Producción actual 2. ....	74
<b>Tabla 31:</b>	Característica del producto. ....	74
<b>Tabla 32:</b>	Resultado de las pruebas del sistema de transporte. ....	85
<b>Tabla 33:</b>	Resultado de las pruebas del horno. ....	85
<b>Tabla 34:</b>	Resultado de las pruebas de la prensa. ....	86
<b>Tabla 35:</b>	Resultado de las pruebas de la HMI. ....	86
<b>Tabla 36:</b>	Valores de las características finales. ....	87

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

<b>Gráfico 1:</b>	Proceso de revisión sistemática de literatura (RSL). ....	6
<b>Gráfico 2:</b>	Herramientas encontradas en la matriz referencial. ....	13
<b>Gráfico 3:</b>	Protocolo del ciclo de diseño. ....	17
<b>Gráfico 4:</b>	Pirámide de la automatización. ....	19
<b>Gráfico 5:</b>	Proceso automático en bucle abierto. ....	20
<b>Gráfico 6:</b>	Proceso automático en bucle cerrado. ....	20
<b>Gráfico 7:</b>	Controlador lógico programable (PLC). ....	21
<b>Gráfico 8:</b>	Secuencia de metodología del proyecto del sistema. ....	23
<b>Gráfico 9:</b>	Estructura de la casa de la calidad. ....	24
<b>Gráfico 10:</b>	Secuencia de metodología del proyecto del sistema. ....	29
<b>Gráfico 11:</b>	Diseño de prototipo inicial por método manual. ....	33
<b>Gráfico 12:</b>	Implementación de QFD. ....	38
<b>Gráfico 13:</b>	Estructura funcional del diseño. ....	41
<b>Gráfico 14:</b>	Caja negra del funcionamiento general de la máquina. ....	42
<b>Gráfico 15:</b>	Diagrama de flujo de operaciones de la máquina. ....	43
<b>Gráfico 16:</b>	Propuesta de rediseño de la máquina 1. ....	44
<b>Gráfico 17:</b>	Propuesta final del rediseño de la máquina. ....	48
<b>Gráfico 18:</b>	Esfuerzo normal en rieles. ....	53

<b>Gráfico 19:</b>	Esfuerzo normal en zona del horno.....	54
<b>Gráfico 20:</b>	Esfuerzo normal en zona de prensa.....	55
<b>Gráfico 21:</b>	Esfuerzo normal en estructura.....	56
<b>Gráfico 22:</b>	Deformaciones frente a cargas.....	58
<b>Gráfico 23:</b>	Factor de seguridad de estructura.....	59
<b>Gráfico 24:</b>	Diseño de estructura en SolidWorks.....	60
<b>Gráfico 25:</b>	Diseño de horno en SolidWorks.....	62
<b>Gráfico 26:</b>	Diseño de prensa automatizada en SolidWorks.....	63
<b>Gráfico 27:</b>	Diseño de sistema de transporte en SolidWorks.....	65
<b>Gráfico 28:</b>	Diseño de sistema automatizado en SolidWorks.....	67
<b>Gráfico 29:</b>	Diagrama de flujo de fabricación de la máquina.....	69
<b>Gráfico 30:</b>	Diagrama de flujo de recolección de desechos.....	71
<b>Gráfico 31:</b>	Diagrama de flujo de producción de paneles.....	72
<b>Gráfico 32:</b>	Diagrama eléctrico del prototipo.....	76
<b>Gráfico 33:</b>	Diagrama la programación en LOGO SoftComfort P1.....	77
<b>Gráfico 34:</b>	Programación de pantalla HMI Kinco. P1.....	80
<b>Gráfico 35:</b>	Diseño de prototipo automatizado en SolidWorks.....	82
<b>Gráfico 36:</b>	Programación de PLC en TIA Portal P1.....	83
<b>Gráfico 37:</b>	Simulación en software Factory IO P1.....	84
<b>Gráfico 38:</b>	Representación gráfica de los resultados finales.....	87

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo A:</b>	Desarrollo de QFD en Excel 1.....	99
<b>Anexo B:</b>	Desarrollo de QFD en Excel 2.....	99
<b>Anexo C:</b>	Desarrollo del método AHP.....	100
<b>Anexo D:</b>	Matriz de evaluación de artículos.....	100
<b>Anexo E:</b>	Matriz de consistencia.....	101
<b>Anexo F:</b>	Operacionalización de las variables 1.....	101
<b>Anexo G:</b>	Operacionalización de las variables 2.....	102
<b>Anexo H:</b>	Operacionalización de las variables 3.....	102
<b>Anexo I:</b>	Operacionalización de las variables 4.....	103
<b>Anexo J:</b>	Validación por juicio de expertos.....	103

<b>Anexo K:</b>	Ficha técnica del instrumento de validación 1.....	104
<b>Anexo L:</b>	Ficha técnica del instrumento de validación 2.....	105
<b>Anexo M:</b>	Validación a expertos 1.....	105
<b>Anexo N:</b>	Fiabilidad alfa de Cronbach. ....	115
<b>Anexo O:</b>	Correlación de Pearson. ....	116
<b>Anexo P:</b>	Datos ponderados de la encuesta. ....	116
<b>Anexo Q:</b>	Fichas técnicas. ....	118
<b>Anexo R:</b>	Diseño de componentes en SolidWorks 1. ....	120
<b>Anexo S:</b>	Diseño de componentes en SolidWorks 2. ....	120
<b>Anexo T:</b>	Diseño de componentes en SolidWorks 3. ....	121
<b>Anexo U:</b>	Diseño de componentes en SolidWorks 4. ....	121
<b>Anexo V:</b>	Diseño de componentes en SolidWorks 5. ....	122
<b>Anexo W:</b>	Diseño de componentes en SolidWorks 6. ....	122
<b>Anexo X:</b>	Construcción del prototipo 1.....	123
<b>Anexo Y:</b>	Construcción del prototipo 2.....	123
<b>Anexo Z:</b>	Construcción del prototipo 3.....	124
<b>Anexo AA:</b>	Construcción del prototipo 4.....	124

“SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO DEL PROTOTIPO DE TERMO COMPRESIÓN PARA FABRICAR PANELES PLÁSTICOS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL, SANTA ELENA, ECUADOR”

**Autores:** Laínez Apolinario Ronald Wladimir  
Chiriguaya Intriago John Jaime

**Tutor:** Ing. Jaque Puca Darwin Gustavo, Mgtr.

## **RESUMEN**

El presente trabajo aborda el rediseño y automatización de un prototipo de máquina de termocompresión utilizado para la elaboración de paneles plásticos reciclados originalmente operaba de forma manual en el taller de la carrera de ingeniería industrial de la UPSE. El análisis técnico del rediseño evidenció limitaciones significativas en cuanto precisión, eficiencia energética, repetibilidad del proceso y seguridad operativa debido a la falta de control sobre las variables críticas como temperatura, presión, el tiempo de exposición del material. Esta es una investigación teórica, práctica, social y metodológica que permite dar un enfoque en la automatización de un prototipo de termocompresión. La importancia radica en el desarrollo de soluciones tecnológicas que optimicen el proceso de transformación del plástico reciclado, la validación del prototipo automatizado se llevó mediante pruebas de desplazamiento del sistema de transporte, control del horno, prensado automatizado y visualización de parámetros mediante la HMI, el sistema logró alcanzar una sincronización efectiva de todos los subsistemas consolidándose como una herramienta funcional con potencial para escalar.

“SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO DEL PROTOTIPO DE TERMO COMPRESIÓN PARA FABRICAR PANELES PLÁSTICOS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL, SANTA ELENA, ECUADOR”

**Authors:** Laínez Apolinario Ronald Wladimir  
Chiriguaya Intriago John Jaime

**Tutor:** Ing. Jaque Puca Darwin Gustavo, Mgtr.

## **ABSTRACT**

This paper addresses the redesign and automation of a prototype thermocompression machine used for the production of recycled plastic panels that originally operated manually in the workshop of the industrial engineering career of the UPSE. The technical analysis of the redesign revealed significant limitations in terms of precision, energy efficiency, process repeatability and operational safety due to the lack of control over critical variables such as temperature, pressure, and exposure time of the material. This is a theoretical, practical, social and methodological research that allows us to focus on the automation of a thermocompression prototype. The importance lies in the development of technological solutions that optimize the transformation process of recycled plastic, the validation of the automated prototype was carried out by means of displacement tests of the transport system, control of the oven, automated pressing and visualization of parameters through the HMI, the system achieved an effective synchronization of all subsystems consolidating itself as a functional tool with potential for scaling.

# INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, la tecnología industrial ha surgido un avance extraordinario en las industrias, han ido evolucionando y que se adaptan a las exigencias del mercado. Una investigación titulada “Waste management and plastic waste recycling in Japan, China, Singapore, and South Korea- what trends can be observed under different regulations”, desarrollada por Vuk et al. (2025), realizó un estudio comparativo entre Japón, China, Singapur y Corea del sur, analizando la generación de residuos y desechos plásticos, así como su tasa de reciclaje, usando una métrica común: tonelada por cada mil personas. Entre el 2014 y 2021 Japón logró reducir 11 % de sus residuos plásticos; China aumentó sus residuos totales en 27 % aunque redujo sus desechos plásticos en 8 %; Corea del sur mostró un alza de 49 % de plásticos; Singapur, aunque redujo los residuos generales en 13 %, incrementó los plásticos en 15 %. Las proyecciones indican que ninguno de estos países alcanza sus metas para 2030. Entre estas soluciones, los sistemas automatizados de moldeo por termocompresión destacan como una alternativa prometedora, al permitir el procesamiento de diversos tipos de plásticos reciclados para fabricar productos con propiedades mecánicas mejoradas.

Un estudio realizado en Colombia titulado “Tecnologías de la industria 4.0 integradas a un modelo de gestión de mantenimiento (MGM)”, desarrollada por Parra et al. (2024), concluyó que más del 60 % de las empresas industriales en Latinoamérica aún no han integrado completamente tecnologías de industrias 4.0, en su modelo de mantenimiento, lo que provocó una pérdida estimada de eficiencia operativa del 25 % al 35 % y sobre costos anuales que superan los \$250,000 en empresas medianas. Además, solo el 15 % de las organizaciones aplican herramientas Big Data, IoT o simulación para mejorar su gestión de activos, limitando su alineación con estándares como la ISO 55001. El estudio determinó la necesidad de usar tecnologías de la industria 4.0 dentro del sistema de mantenimiento. Esto dificulta la optimización de usos de activos, la toma de decisiones basadas en datos y el cumplimiento de estándares internacionales como la norma ISO 55001, afectando la eficiencia operativa y la rentabilidad a lo largo del ciclo de vida de los equipos.

Así mismo en Ecuador, un estudio denominado “Fabricación de máquina de moldeo por termocompresión para elaborar paneles plásticos como material de construcción”, realizado por Malavé & Tigrero (2024), desarrolló una máquina de

termocompresión permitiendo reutilizar residuos plásticos, principalmente polietileno y polipropileno, generando paneles 40 cm x 40 cm x 1 cm de espesor. En el transcurso del proceso, la temperatura estable que alcanza el horno es de 220 °C en un tiempo prolongado de 25 minutos, no obstante que el sistema hidráulico a una presión de 50 KN sobre el molde. En cada ciclo total requerido, desde la de la materia prima hasta la obtención del panel finalizado es de aproximadamente 1 hora y 20 minutos. Además, se determinó que el 77 % de los residuos recolectados correspondían a plásticos, esto evidencia un alto potencial de aprovechamiento como materia prima reciclable y refuerza la viabilidad de soluciones tecnológicas orientadas a fortalecer la economía circular a nivel local.

Esta propuesta intenta darle un uso más práctico a los residuos plásticos que normalmente acabarían como basura. La idea es convertirlos en paneles duraderos usando un método llamado termocompresión, que básicamente es calentar el plástico y prensarlo hasta darle forma. Ahora, el prototipo que tenemos ya hace parte del trabajo, pero todavía no se puede decir que esté completamente automatizado. Le falta una parte clave: un sistema que controle variables como la temperatura, la presión y el tiempo, que son súper importantes si se quiere que los paneles salgan bien. Porque si uno de esos datos falla, el resultado puede ser un panel débil o mal formado. Meterle ese tipo de control permitiría no solo mejorar el proceso, sino también hacer que los paneles sean más confiables, sobre todo si se van a usar para estructuras que necesitan soportar peso o durar bastante tiempo.

### **Formulación del problema de investigación.**

El problema general se formuló con la siguiente pregunta: ¿La implementación de un sistema automatizado en una máquina de moldeo por termocompresión incidirá una producción eficiente y de calidad de paneles plásticos fabricados con material reciclado en la provincia de Santa Elena?

### **Justificación de la investigación.**

La justificación de la investigación se realizó en base a 4 puntos:

Primero **justificación teórica**, porque la investigación se encuentra justificada en teorías relacionadas con el aprovechamiento de recursos sólidos urbanos, teorías de la economía circular, teoría del reciclaje y revalorización de residuos, teoría de los sistemas de producción limpias, teoría del aprendizaje experimental, los procesos de transformación termo-mecánica de materiales (García & Pérez, 2025).

Tiene **justificación práctica** por que contribuye a solucionar un problema relacionado a la minimización del volumen de residuos plásticos presente en las zonas urbanas y costeras de la provincia de Santa Elena. Brindando una alternativa local, económica y replicable para la producción de materiales útiles en construcción liviana, mobiliario urbano y aplicaciones decorativa (Valarezo & Ruiz, 2022).

Tiene **justificación metodológica** por que se desarrolló un enfoque cuantitativo, experimental y aplicado, utilizando principios de diseños mecánicos- industrial, térmico y eléctrico. Se emplearon pruebas controladas para validar variables críticas del proceso como temperatura, tiempo de compresión y precisión. La metodología permitió verificar la viabilidad del sistema en condiciones reales de operación, garantizando resultados reproducibles. Esta estructura metodológica puede ser replicada o escalada para aplicaciones industriales o educativas (Cejas et al., 2023).

Tiene **justificación social**, por que beneficia una necesidad latente de la comunidad, gestionando adecuadamente los residuos y fomentando el reciclaje como eje del desarrollo sostenible. La transformación de desechos en productos útiles, generan más valor social como también fomenta una mayor conciencia ambiental.

## **Objetivos.**

### **Objetivos generales.**

Implementar un sistema de control automatizado para el prototipo de termo compresión destinado a la fabricación de paneles plásticos reciclados en la facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal de Península de Santa Elena, Ecuador.

### **Objetivos específicos.**

OE1. Analizar las necesidades técnicas y operativas del proceso termocompresión para la fabricación de paneles plásticos en un entorno académico, mediante una revisión bibliográfica respaldando el uso de los sistemas automatizados en el moldeo por termocompresión.

OE2. Diseñar un sistema de control automatizado que regule los parámetros críticos del prototipo, como temperatura, presión y tiempo de ciclo, mediante un marco metodológico cumpliendo con los requisitos en la fabricación de paneles plásticos.

OE3. Implementar el sistema de control automatizado a una máquina de moldeo por termocompresión para la fabricación de paneles plásticos mediante la integración de sensores, actuadores, controladores y sistemas de monitoreo que validen su óptimo funcionamiento

# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

### 1.1. Antecedentes investigativos.

Un estudio realizado en Tailandia por Sinchai et al. (2024) titulado “Development of a Low-Cost Automated Injection Molding Device for Sustainable Plastic Recycling and Circular Economy Applications”, presento el diseño de una máquina de moldeo por inyección automatizada de bajo costo, utilizando polietileno reciclado operando de manera óptima con un rango de temperatura entre 200 °C a 220 °C, integró sensores láser y un sistema de visión artificial de control de calidad. Esta investigación constituye un aporte significativo a la automatización en proceso de reciclaje plástico, al demostrar que se puede alcanzar altos estándares de eficiencia y calidad. Asimismo, resalta la relevancia del monitoreo térmico preciso y del control automatizado para garantizar la consistencia del producto final, estos aspectos están profundamente relacionados objetivos del presente proyecto orientado al control automatizado para el proceso de termocompresión.

De igual forma, en México, la investigación titulada “Diseño e implementación de un sistema de control a lazo cerrado PID para manipular la temperatura en el proceso de termoformado” desarrollada por Rosales et al. (2020), implementó el sistema para controlar con precisión la temperatura en procesos térmicos. Los resultados obtenidos muestran que el controlador PID logró una respuesta térmica más estable, con un sobre impulso del 2.5 %, un tiempo de establecimiento de 500 segundos y un error de temperatura menor a 0.2 °C. En contraste, el sistema ON-OFF generó oscilaciones de hasta  $\pm 20$  °C respecto al valor de referencia. Además, el sistema implementado utilizó un circuito de control de fase (TCA785) para modular la potencia de calentamiento, garantizando precisión en la regulación de temperatura en ambas mitades del ciclo de corriente alterna. El estudio demuestra que el control PID mejora la estabilidad térmica en el moldeo de plástico, principio clave para automatizar el sistema termocompresión propuesto.

También el estudio desarrollado en Ecuador por Quiroga et al. (2020) nombrado “Diseño e implementación de un sistema de control para un horno de crisol” automatizó un horno de crisol, para fundir aluminio a 750 °C en 1 hora 50 minutos, y gestiono el enfriamiento hasta 200 °C en 3 horas y 30 minutos. Con un PLC LOGO SIEMENS, HMI y controladores PID, se logró monitoreo en tiempo real y se eliminó completamente la

intervención operativa durante el enfriamiento. Esta integración mejoró significativamente el desempeño técnico y operativo, demostrando su aplicabilidad en sistema de termocompresión para fabricar paneles plásticos reciclados.

## **1.2. Estado del arte.**

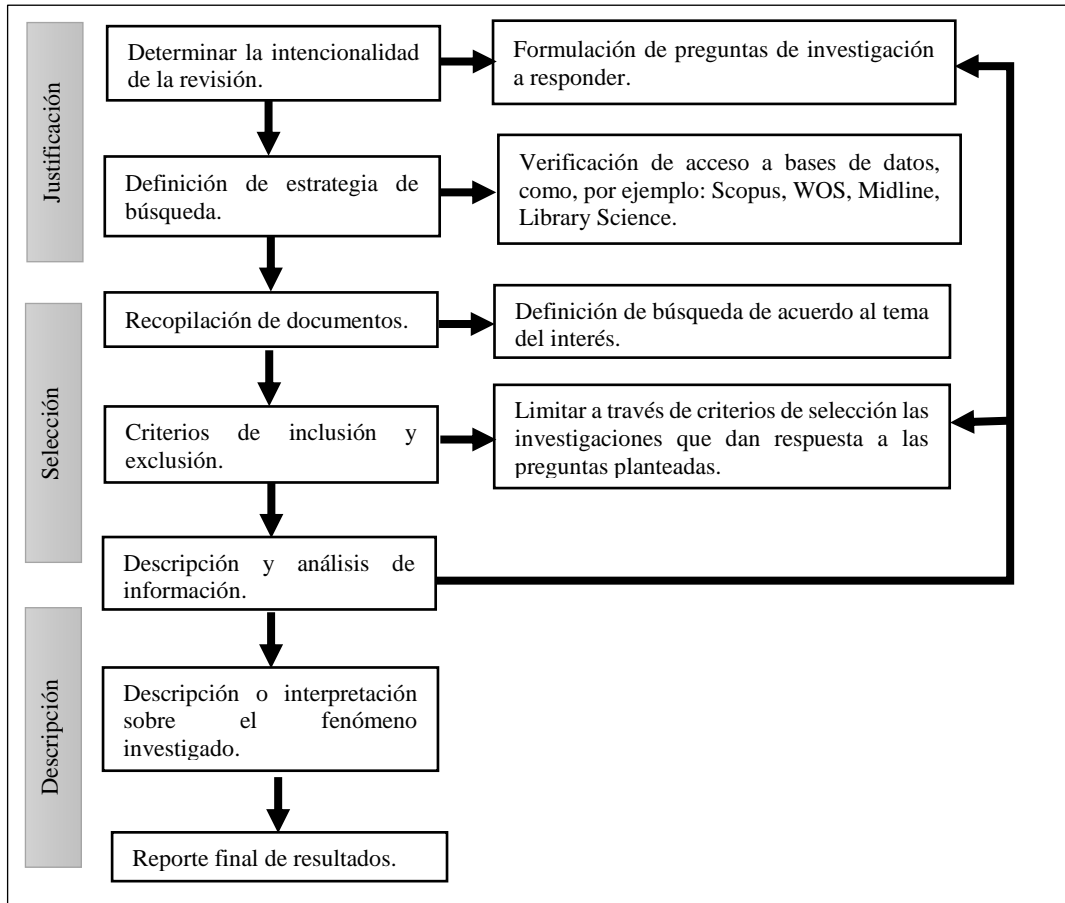
Según García (2022) el estado de arte constituye una actividad fundamental para todo investigador, independientemente de su nivel de experiencia ya que permite identificar los avances previos en un campo disciplinar y reducir riesgos de replicar errores o pasar por alto hallazgos. En el contexto marcado por una sobrecarga informativa derivada de acceso masivo a fuentes digitales se vuelve imprescindible aplicar enfoques sistemáticos, como las revisiones sistemáticas de literatura, con el fin de filtrar información pertinente y evitar que los estudios se vean afectados por datos irrelevantes o poco confiables. Además, sostiene que este tipo de revisiones no solo fortalecen la formulación de hipótesis y la construcción de aportes académicos sólidos, sino que también requieren altos niveles de transparencia metodológica, la definición de protocolos rigurosos y la consideración de limitaciones contextuales como el acceso desigual a recursos científicos, elementos esenciales para asegurar la calidad y validez de cualquier investigación.

Una vez identificadas las fuentes bibliográficas relevantes para el desarrollo del sistema de control automatizado del prototipo de termo compresión, es necesario validar las distintas metodologías existentes para seleccionar la que mejor se adapte a los requerimientos del proyecto. En este contexto, se aplica el método de proceso analítico jerárquico (AHP), para el proceso de análisis jerárquico (AHP) y la toma de decisiones multicriterio. Según P. A. F. Vargas (2024) permite estructurar problemas complejos en una jerarquía de subproblemas más manejables, facilitando la toma de decisiones multicriterio. Este método, además de admitir la combinación de criterios cualitativos y cuantitativos, ofrece flexibilidad para incorporar el juicio de expertos, aspecto fundamental en proyectos de automatización industrial. De acuerdo con Mendoza et al., (2019) el AHP constituye una herramienta poderosa para alcanzar consensos en procesos decisionales estratégicos, reduciendo la subjetividad y garantizando una mejor justificación documental de las elecciones realizadas durante la selección de tecnologías y componentes críticos del sistema automatizado.

En el gráfico 1, se presenta el proceso metodológico seguido para realizar la revisión sistemática de literatura (RSL) correspondiente a este estudio, basado en las fases

propuestas por Mejía et al. (2021). Dicho enfoque constituye un diseño de investigación de tipo observacional, analítico y retrospectivo, que permite sintetizar los hallazgos de investigaciones previas sobre sistemas de control automatizado y prototipos de termo compresión.

**Gráfico 1:** *Proceso de revisión sistemática de literatura (RSL).*



*Nota.* Elaborado por los autores en base a la investigación de Mejía et al. (2021)

### 1.2.1 Determinar la intencionalidad de la revisión.

En su revisión sistemática sobre la metodología 5 S aplicada a entornos industriales, Muyulema & Perero (2024) subrayan la importancia de diferenciar claramente entre lo conceptual y lo operativo al definir objetivos y preguntas de investigación, lo que permite construir una base metodológica coherente y útil para una búsqueda efectiva de información científica. Siguiendo este enfoque, el presente proyecto se enfoca en el desarrollo de un sistema de control automatizado para un prototipo de termocompresión orientado a la fabricación de paneles plásticos reciclados, combinando un análisis profundo de la literatura con metodologías mixtas que abordan tanto los aspectos tecnológicos como los operativos del proceso.

## Pregunta de investigación.

¿Qué enfoques tecnológicos y metodológicos se evidencia en la literatura científica en relación con el diseño e implementación del sistema automatizado en máquinas de termocompresión orientado a la creación de paneles plásticos reciclados, y que aseguren altos estándares de eficiencia, seguridad operativa y calidad de producto final?

### 1.2.2 Definición de estrategia de búsqueda.

Se trató de hacer una búsqueda lo más organizada posible, enfocándonos sobre todo en trabajos que hablen de cómo se automatizan procesos térmicos en la industria. Durante la búsqueda salieron varios temas clave, como por ejemplo el uso de PLCs, pantallas HMI, sensores, ahorro de energía y también todo lo relacionado con el reciclaje: tanto lo técnico como lo ambiental y lo económico. La idea era no quedarse solo con la parte de control, sino entender el panorama completo. Se revisaron publicaciones entre enero de 2019 y mayo de 2025 en bases de datos bastante conocidas como Scopus, ScienceDirect, SciELO y también CAD.

En la tabla 1, podemos observar detalladamente la metodología de exploración documental y los parámetros utilizados en los motores de búsqueda que se realizaron en la exploración de artículos.

**Tabla 1:**

*Descripción de exploración de artículos.*

Fuentes	Descripción de exploración	Delimitación
ScienceDirect	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Artículos centrados en automatización industrial: “automation” AND “control system” AND “PLC” AND “sensor”.</li><li>➤ Diseño asistido: “machine” AND “design” AND “SolidWorks”</li><li>➤ Sistemas de presión y calor automatizados: “thermocompression” AND “control” AND “temperature”</li></ul>	Ingeniería y automatización. Acceso abierto.
Scopus	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Investigación en control de procesos industriales: “closed loop control” AND “industrial automation”.</li><li>➤ Evaluación de sensores y actuadores: “temperature sensors” AND “pneumatics”.</li><li>➤ Implementación de interfaces HMI: “HMI” AND “PLC” AND “operator interface”.</li></ul>	Ingeniería eléctrica, automatización. Acceso abierto.

Scielo	➤ Artículos relacionados con: “automatización industrial”, “diseño de sistemas de control”, “uso de PLC”, “optimización de procesos”, “prototipado de máquinas industriales”.	Ingeniería, proceso industrial es. Acceso abierto
Repositorios y otros	➤ Trabajos de titulación sobre control automático, diseño de prototipos, integración de sensores, simulación CAD, automatización de hornos industriales, etc.	Repositorios institucionales y académicos. Acceso libre.

*Nota.* Elaborado por los autores.

### 1.2.3 Recopilación de documentos

Como parte del proceso de revisión documental y posterior depuración de fuentes, se elaboró la tabla 2, en la cual se organiza de forma clara la información más relevante de los artículos científicos seleccionados, todos enfocados en sistemas de control automatizado aplicados a máquinas de termocompresión para fabricar paneles plásticos reciclados. En ella se detallan aspectos como los autores, el año de publicación, las metodologías empleadas y las revistas en las que fueron publicados, lo que permite construir una base teórica sólida y destacar los aportes científicos más significativos que respaldan técnicamente el desarrollo del presente estudio.

#### Tabla 2:

*Matriz de artículos científicos.*

Nº	Autor & año	Título
1	Valles (2020)	Diseño y construcción de una máquina de moldeo por termocompresión automatizada para recubrir discos-pesas de hierro fundido.
2	Chen et al. (2024)	Una investigación exhaustiva sobre la respuesta mecánica dependiente de la temperatura.
3	Moncayo & Robles (2023)	Prototipo de un sistema automatizado para clasificar plástico tipo polipropileno mediante hundimiento y flotación.
4	Cortez et al. (2021)	Los métodos experimentales y su importancia en la enseñanza de la ingeniería mecánica.
5	Castro & Cortés (2022)	Modelo matemático de un horno resistivo para termoformado de láminas de polipropileno.
6	Varshney et al. (2024)	Gestión de generación basada en procesos de jerarquía analítica difusa para sistemas de energía interconectados.
7	González et al. (2022)	Diseño de prensa hidráulica para reciclar polietileno de alta densidad (HDPE) en forma de placas.
8	Chuen et al. (2019)	Revisión de la aplicación del proceso analítico jerárquico (AHP) en la construcción.

---

9	Rodríguez et al. (2022)	Diseño y simulación de sistema para una inyectora de plástico reciclado.
10	Krantz et al. (2024)	Reología en molde y control automatizado de procesos para el moldeo por inyección de polipropileno reciclado.
11	Medina et al. (2021)	Sistema de monitoreo automatizado del proceso de incubación de huevos artificiales.
12	Wang et al. (2021)	Revisión del método de control del sistema de enganche electrohidráulico de tractores automatizados.
13	Prokudin et al. (2024)	Desarrollo de un sistema de control automatizado para la unidad de fundición de reactoplast en laboratorio.
14	Sotnik (2024)	Desarrollo de un sistema de control automatizado para colada continua.
15	Sinchai et al. (2024)	Desarrollo de un dispositivo de moldeo por inyección automatizado de bajo coste para el reciclaje sostenible de plásticos.
16	Farshadfar et al. (2025)	Clasificación automatizada de residuos basada en aprendizaje automático en la industria de la construcción.
17	Nagua & Sumba (2023)	Automatización e integración de una máquina trituradora de plástico a una red de comunicación industrial.
18	Muroga et al. (2025)	Control autónomo en tiempo real de un proceso macroscópico continuo, como se demuestra mediante el conformado de plásticos.
19	Madureira et al. (2024)	Automatización del proceso de fabricación de cables de control para la industria de componentes de automoción.
20	Valdivia et al. (2023)	Automatización del proceso de control de una etiquetadora de frutas usando máquinas de estados.
21	Rueda (2024)	Intervención tecnológica para la reconversión y automatización de una máquina termo formadora por vacío de una sola estación.
22	Costa et al. (2022)	Aumentando la sostenibilidad de los procesos de fabricación en la inyección de plástico.
23	Prokudin et al. (2024)	Desarrollo de un sistema de control automatizado para la unidad de fundición de reactoplast en laboratorio.
24	García & Pérez (2025)	Prototipo de vivienda sustentable en Mérida reutilización y reciclaje.
25	Rodríguez et al., (2023)	Propuesta de reutilización de plástico de desecho en un sistema constructivo para división de interiores.
26	Morejón & Rivas (2023)	Paneles de polímeros termoplásticos industriales reciclados para su aplicación en los procesos constructivos.
27	Bibow et al. (2025)	Conceptos de fábrica inteligente y su adecuación a la industria de procesamiento de plásticos una revisión crítica.

---

---

28	Malavé & Tigrero (2024)	Fabricación de máquina de moldeo por termocompresión para elaborar paneles plásticos como material de construcción.
29	Hernández & Muñoz (2024)	Fabricación de placas de PEAD reciclado como alternativa sostenible en el desarrollo de productos.
30	Michiels et al. (2022)	Aprendizaje automático para el control de calidad automatizado en la fabricación de moldeo por inyección.
31	Rocha (2020)	Automatización de prensa hidráulica para el taller mecánico de una pyme.
32	Sánchez et al. (2020)	Diseño, fabricación e instalación de una prensa hidráulica manual.
33	Mares et al. (2022)	Diseño axiomático para dispositivos mecatrónicos.
34	Maldonado et al. (2019)	Diseño axiomático.
35	Luna (2020)	Diseño conceptual de un sistema de automatización para el control de flujo de cobre en una faja transportadora, cuyo límite de diseño son 9 400 TPH.
36	Gangoiti et al. (2021)	Diseño y desarrollo basados en modelos de configuraciones flexibles de control de producción automatizadas para la Industria 4.0.
37	Forward (2019)	Evolución del software de simulación de eventos discretos.
38	Sosa et al. (2023)	Implementación de la metodología V como eje de desarrollo.
39	Muñoz & Calzadilla (2024)	Implementación de tecnología CAD/CAE/CAM para la industria 4.0 y su impacto en la eficiencia industrial, Panamá 2024.
40	Vogel et al. (2022)	Ingeniería basada en modelos de proyectos de software de automatización de fabricación un enfoque basado en SysML.
41	SolidWorks (2022)	Introducción a SolidWorks.
42	Moreno et al. (2019)	Metodología de diseño conceptual de sistemas automatizados para ambientes educativos y de servicios tecnológicos.
43	Vargas et al. (2022)	Modelo de simulación de eventos discretos y emulación de sensores para mejorar una ruta de transporte rural al reducir los tiempos de espera.
44	Castro & Cortés (2022)	Modelo matemático de un horno resistivo para termoformado de láminas de polipropileno.
45	Einforschips (2022)	Un marco metodológico para el desarrollo de aplicaciones para sistemas embebidos.
46	Sinchai et al. (2024)	Desarrollo de un dispositivo de moldeo por inyección automatizado de bajo coste para el reciclaje sostenible de plásticos y aplicaciones en la economía circular.
47	Madureira et al. (2024)	Automatización del proceso de fabricación de cables de control para la industria de componentes de automoción.

---

48	Rosales et al. (2020)	Diseño e implementación de un sistema de control a lazo cerrado PID para manipular la temperatura en el proceso de termoformado.
49	Rodríguez et al. (2019)	Intervención tecnológica para la reconversión y automatización de una máquina termo formadora por vacío de una sola estación.
50	Rueda (2024)	Implementación de un sistema de control en un prototipo de horno para el tratamiento de cascarilla de café, cascarilla de nuez de palma y ruminal bovino.

*Nota.* Elaborado por los autores.

#### **1.2.4 Criterios de inclusión y exclusión.**

##### **Criterios de inclusión.**

Se consideraron como relevantes todos aquellos artículos académicos que traten sobre la automatización de máquinas de termocompresión para fabricar paneles plásticos reciclados, incluyendo el uso de tecnologías CAD en el diseño de maquinaria, sistemas de control como PLC, HMI y sensores aplicados a procesos térmicos, así como estudios sobre hornos eléctricos y mecanismos de prensado térmico. También se incluyeron investigaciones sobre materiales reciclables adecuados para estos paneles y su comportamiento ante el calor, además de análisis del impacto económico, ambiental y social de aplicar tecnologías limpias en el reciclaje del plástico.

##### **Criterios de exclusión.**

Se dejaron fuera del estudio los trabajos que no tuvieran relación directa con temas como la automatización, el diseño de sistemas de moldeo o el reciclaje de plásticos. Se descartaron las publicaciones anteriores a 2019 o aquellas que no mostraban evidencia científica clara, como datos experimentales o fundamentos técnicos sólidos. También se excluyeron fuentes sin acceso completo o que no tuvieran respaldo académico confiable.

#### **1.2.5 Descripción y análisis de información.**

En la tabla 3 se presentan los resultados del proceso de búsqueda y filtrado de literatura científica, realizado a través de bases de datos reconocidas como ScienceDirect, Scopus y Scielo, así como en repositorios institucionales. La revisión inicial contempló 885 artículos relacionados con automatización de máquinas, control industrial, diseño CAD, tecnologías de termocompresión y producción de paneles plásticos reciclados. Tras

aplicar criterios estrictos de inclusión y exclusión, se seleccionaron 50 publicaciones relevantes que se alinean con los objetivos técnicos, metodológicos y científicos del proyecto, abarcando temas como control automatizado, reciclaje de plásticos, eficiencia energética y el uso de metodologías como QFD, AHP y TRIZ en el diseño de productos, además de estudios de caso con valor industrial y académico.

**Tabla 3:**

*Base de datos del estudio.*

Base de datos del estudio					
Nº	Fuentes	Cantidad	Artículos excluidos	Diferencia	Porcentaje
1	ScienceDirect.	444	436	8	16%
2	Scopus.	112	106	6	12%
3	Scielo.	123	116	7	14%
4	Repositorios y otros.	206	177	29	58%
Artículos revisados		885	819	50	100%

*Nota.* Elaborado por los autores.

### 1.2.6 Comparar fenómenos o situaciones similares.

En la tabla 4 se comparan diferentes metodologías que varios autores han usado en proyectos donde se automatiza maquinaria para transformar plásticos. Lo que más llamó la atención fue el método QFD, porque básicamente ayuda a convertir lo que el cliente necesita en requisitos técnicos que se pueden aplicar en el diseño. Es decir, sirve como un puente entre lo que se espera del producto y lo que realmente se diseña. También se menciona bastante el uso de CAD, sobre todo con el programa SolidWorks. Es una herramienta súper útil porque permite modelar las piezas, simular cómo van a funcionar y hacer ajustes antes de fabricarlas, lo cual ahorra tiempo y errores. Entre todas las metodologías, el diseño experimental y la simulación son las más comunes, ya que permiten ver cómo se comportará el sistema en condiciones reales, ajustar variables importantes y, con eso, mejorar el rendimiento del proceso.

**Tabla 4:**

*Estudios revisados.*

Nº	Método de Diseño/Análisis	Artículos relacionados
1	Método QFD.	1, 10, 17, 28
2	Diseño axiomático.	33, 34

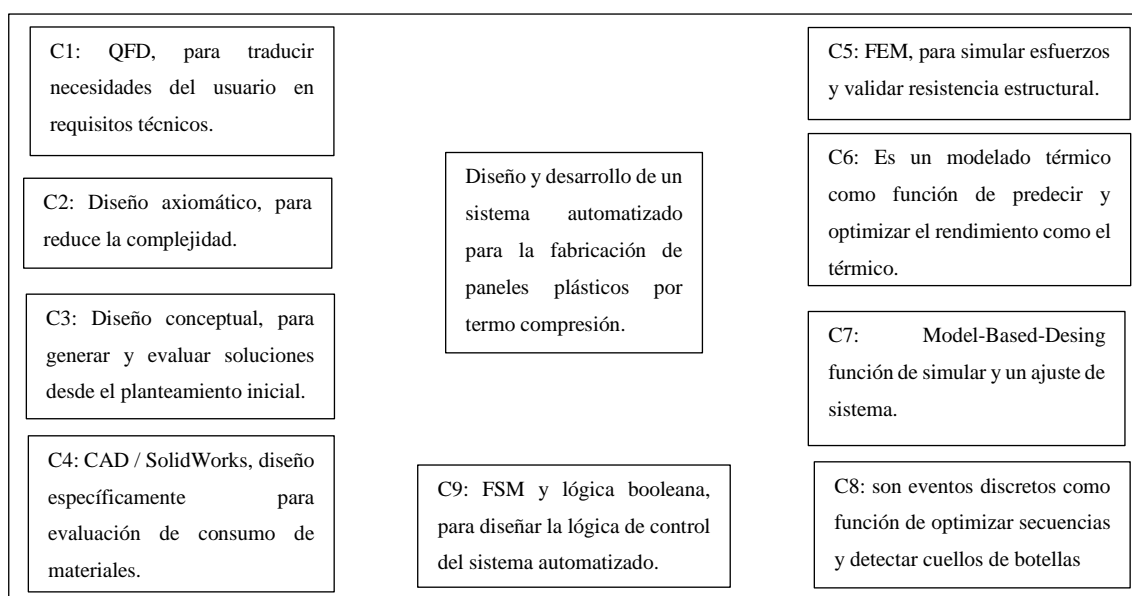
3	Diseño conceptual.	12, 35, 42, 47
4	Diseño asistido por computadora (CAD / SolidWorks).	3, 7, 9, 39, 41
5	Diseño experimental y simulación.	2, 4, 11, 13–16, 18–32, 36, 46, 48–50, 20
6	Modelado matemático / térmico.	5, 38, 44
7	Desarrollo basado en modelos (model-based design).	36, 40, 45
8	Simulación basada en eventos discretos.	37, 43
9	Método AHP.	6, 8

*Nota.* Elaborado por los autores.

### 1.2.7 Descripción o interpretación sobre el fenómeno investigado.

Según Vargas (2024), el proceso analítico jerárquico (AHP) es una herramienta de toma de decisiones que permite descomponer problemas complejos en una jerarquía de subproblemas más manejables, facilitando el análisis de sus relaciones y dependencias. Esta estructura jerárquica, que incluye niveles de objetivos, criterios y alternativas, resulta particularmente útil para evaluar la relevancia relativa de distintas metodologías aplicadas en proyectos de automatización industrial. En este caso, se seleccionaron nueve criterios representativos identificados a partir del análisis documental, los cuales se agrupan en torno a las siguientes herramientas (gráfico 2):

**Gráfico 2:** *Herramientas encontradas en la matriz referencial.*



*Nota.* Elaborado por los autores.

Para establecer las comparaciones entre criterios se utiliza la escala de Saaty, una escala fundamental del método AHP que permite asignar un valor de preferencia relativa entre dos elementos según la experiencia o juicio experto. Esta escala comprende los siguientes valores:

**Tabla 5:**

*Escala de comparación propuesta por Saaty.*

Escala	Definición	Descripción
1	Igualmente preferida.	Ambos criterios contribuyen por igual al objetivo.
3	Moderadamente preferida.	Uno de los criterios es levemente más importante que el otro.
5	Fuertemente preferida.	Uno de los criterios es claramente más importante que el otro.
7	Muy fuertemente preferida.	La superioridad de un criterio es evidente y demostrable.
9	Extremadamente preferida.	Un criterio domina completamente al otro en importancia

*Nota.* Elaborado por (P. A. F. Vargas, 2024).

En la tabla 6 se muestra una matriz comparativa construida con la metodología AHP (proceso analítico jerárquico) de Saaty, que permitió evaluar y jerarquizar distintas metodologías según su relevancia para resolver el problema de automatización del sistema de termocompresión. La comparación entre criterios se realizó mediante una escala de preferencias que asigna valores del 1 al 9, donde 1 indica igual importancia y 9 una importancia extrema, facilitando así una elección fundamentada de las metodologías más adecuadas para este proyecto.

**Tabla 6:**

*Matriz de criterios por la metodología Saaty.*

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
C1	1/1	3/1	2/1	2/1	4/1	3/1	3/1	4/1	3/1
C2	1/3	1/1	½	½	2/1	1/1	1/1	2/1	1/1
C3	½	2/1	1/1	2/1	3/1	2/1	2/1	3/1	2/1
C4	½	2/1	½	1/1	2/1	2/1	2/1	3/1	2/1
C5	¼	1/2	1/3	½	1/1	1/1	1/1	2/1	1/1
C6	1/3	1/1	½	½	1/1	1/1	1/1	2/1	1/1
C7	1/3	1/1	½	½	1/1	1/1	1/1	2/1	1/1
C8	¼	1/2	1/3	1/3	½	1/2	1/2	1/1	½
C9	1/3	1/1	½	½	1/1	1/1	1/1	2/1	1/1
Total	<b>3,83</b>	<b>12</b>	<b>6,16</b>	<b>7,83</b>	<b>15,5</b>	<b>12,5</b>	<b>12,5</b>	<b>21</b>	<b>12,5</b>

*Nota.* Elaborado por los autores.

La tabla 7 muestra la matriz normalizada obtenida a partir del modelo de comparación de Saaty, donde cada valor fue dividido por el total de su columna y luego se promedió cada fila para obtener la ponderación relativa de las nueve metodologías evaluadas. Este análisis permitió priorizar las metodologías más relevantes, destacando el QFD (C1) con un valor de 0.251, el diseño conceptual (C3) con 0.170 y el diseño en SolidWorks (C4) con 0.140, justificando su elección como base para el desarrollo del sistema automatizado propuesto en este proyecto.

**Tabla 7:**

*Matriz normalizada de criterios.*

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	Pond
C1	0,26	0,25	0,32	0,26	0,26	0,24	0,24	0,19	0,24	0,25
C2	0,09	0,08	0,08	0,06	0,13	0,08	0,08	0,10	0,08	0,09
C3	0,13	0,17	0,16	0,26	0,19	0,16	0,16	0,14	0,16	0,17
C4	0,13	0,17	0,08	0,13	0,13	0,16	0,16	0,14	0,16	0,14
C5	0,07	0,04	0,05	0,06	0,06	0,08	0,08	0,10	0,08	0,07
C6	0,09	0,08	0,08	0,06	0,06	0,08	0,08	0,10	0,08	0,08
C7	0,09	0,08	0,08	0,06	0,06	0,08	0,08	0,10	0,08	0,08
C8	0,07	0,04	0,05	0,04	0,03	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04
C9	0,09	0,08	0,08	0,06	0,06	0,08	0,08	0,10	0,08	0,08

*Nota.* Elaborado por los autores.

La tabla 8 muestra la evaluación de la consistencia en los juicios realizados durante la comparación de criterios en la matriz AHP. Para validar el modelo, se calcularon el índice de consistencia (CI), la consistencia aleatoria (RI) y la razón de consistencia (CR), obteniéndose un valor de CR de 0.0114, muy por debajo del límite aceptable de 0.1 establecido por Saaty. Esto confirma que los juicios son coherentes y que las ponderaciones obtenidas son válidas y confiables para tomar decisiones dentro del diseño metodológico del sistema automatizado propuesto.

**Tabla 8:**

*Veracidad de los datos.*

	A x P	
C1	2,30	<i>Índice de consistencia</i>
C2	0,79	$CI = nmax - n)/(n - 1)$
C3	1,57	$CI = 0,0176$
C4	1,27	<i>Consistencia aleatoria</i>

C5	0,63	$RI = (.98 * (n - 2)/n)$
C6	0,72	$RI = 1.54$
C7	0,72	<i>Relación de consistencia</i>
C8	0,41	$CR = CI/RI$
C9	0,72	$CR = 0,0114$
Suma	9,14	

*Nota.* Elaborado por los autores.

La tabla 9 muestra el orden de prioridad de las metodologías evaluadas mediante el método AHP, destacando en primer lugar al diseño conceptual (C3) por su papel fundamental en estructurar soluciones viables desde el inicio del desarrollo del sistema automatizado. En segundo lugar, se posiciona el QFD (C1), útil para convertir las necesidades del usuario en parámetros técnicos, seguido por el diseño asistido por computadora con SolidWorks (C4), que permite validar digitalmente las propuestas antes de fabricarlas. Estas tres metodologías conforman la base principal del trabajo de titulación, complementadas por otras como el diseño axiomático y el modelado matemático/térmico, que también aportan al proceso de automatización.

### **Tabla 9:**

*Criterios y ponderación.*

N°	Criterios	Ponderación
1	QFD (Despliegue de la Función de la Calidad) (C1).	0.25
3	Diseño conceptual (C3).	0.17
4	Diseño asistido por computadora en SolidWorks (C4).	0.14
2	Diseño axiomático (C2).	0.09
6	Modelado matemático / térmico (C6).	0.08
7	Desarrollo basado en modelos (model-based design) (C7).	0.08
9	Diseño funcional con FSM y lógica booleana (C9).	0.08
5	Análisis por elementos finitos (FEM) (C5).	0.07
8	(C5) Simulación basada en eventos discretos (C8).	0.04

*Nota.* Elaborado por los autores.

El uso del análisis jerárquico AHP permitió seleccionar de forma objetiva las metodologías más adecuadas para diseñar y validar el sistema automatizado propuesto, basándose en un análisis bibliográfico riguroso y en la comparación de nueve criterios metodológicos según su utilidad técnica. Como resultado, se priorizó el QFD para convertir necesidades operativas en especificaciones técnicas, el diseño conceptual para

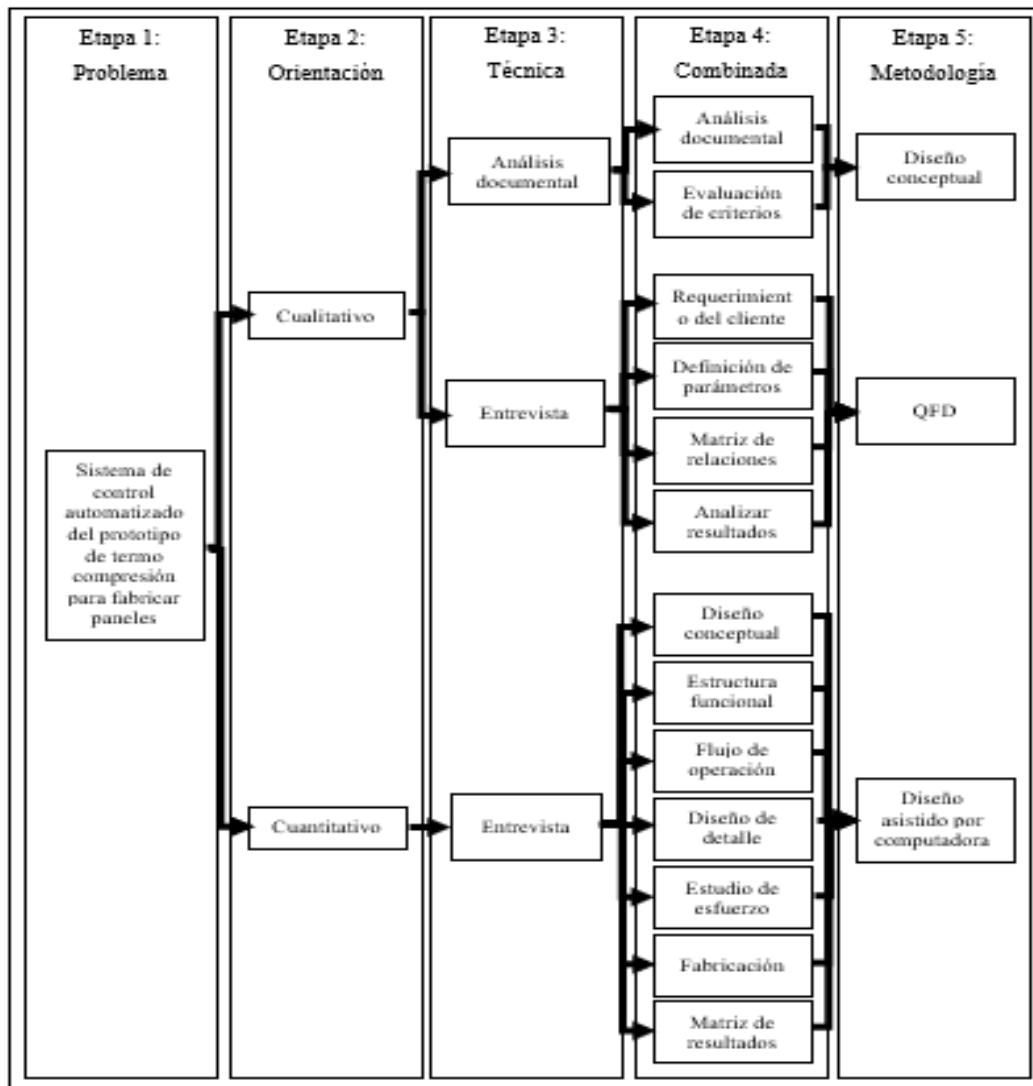
estructurar el sistema, y SolidWorks para modelar y verificar digitalmente los componentes. Esta combinación metodológica fortalece tanto la coherencia técnica como la aplicabilidad práctica del proyecto en el contexto de la automatización industrial local.

### 1.3. Delineación del protocolo.

El protocolo metodológico que se planteó funciona básicamente como una especie de hoja de ruta. Ayuda a ordenar todo lo que se va haciendo, desde que se detectan las necesidades del sistema hasta que se llega a validar que realmente funcione como se espera. La idea es no solo seguir pasos por seguir, sino tener claro por qué se hace cada cosa y en qué momento.

En el gráfico 3 se puede ver cómo se distribuyen progresivamente estas etapas.

**Gráfico 3:** *Protocolo del ciclo de diseño.*



*Nota.* Elaborado por los autores.

Del análisis metodológico realizado en esta investigación, se destacaron tres enfoques clave para el diseño del sistema de automatización, siendo el primero el método AHP, el cual facilita la toma de decisiones estratégicas al jerarquizar criterios mediante comparaciones cualitativas y cuantitativas. Como señalan Vargas (2024), esta herramienta ofrece una estructura clara y lógica para evaluar opciones, resultando especialmente útil cuando se deben analizar distintas tecnologías, metodologías o componentes dentro de un proyecto de automatización.

Por su parte, el diseño conceptual fue clave para organizar propuestas funcionales en respuesta a la problemática técnica, permitiendo generar soluciones viables con un enfoque sistémico. Tal como lo expone Luna (2020), esta metodología facilita la integración de sensores, estrategias de control y procesos industriales bajo una lógica de optimización, apoyándose en estudios previos y soluciones técnicas ya existentes.

Hoy en día, usar programas de diseño asistido por computadora, o CAD, se ha vuelto casi obligatorio cuando se quiere revisar si un sistema va a funcionar bien antes de fabricarlo. Estas herramientas ayudan bastante porque permiten ver si algo va a fallar, ajustar detalles y, en general, hacer que todo el proceso sea más eficiente. Se puede ahorrar tiempo, materiales y evitar errores que, de otra forma, costarían caro más adelante. De acuerdo Muñoz & Calzadilla (2024), este tipo de software es clave cuando se quiere mejorar procesos en la industria. Pero también mencionan que todavía hay algunas trabas, sobre todo en lugares como Latinoamérica, donde muchas veces no hay acceso fácil a capacitación o a la tecnología necesaria. Eso hace que no todo el mundo pueda aplicar estas herramientas como debería, lo cual es un problema si se busca competir o innovar a nivel global.

#### **1.4. Fundamentos teóricos.**

##### **1.4.1 Productividad.**

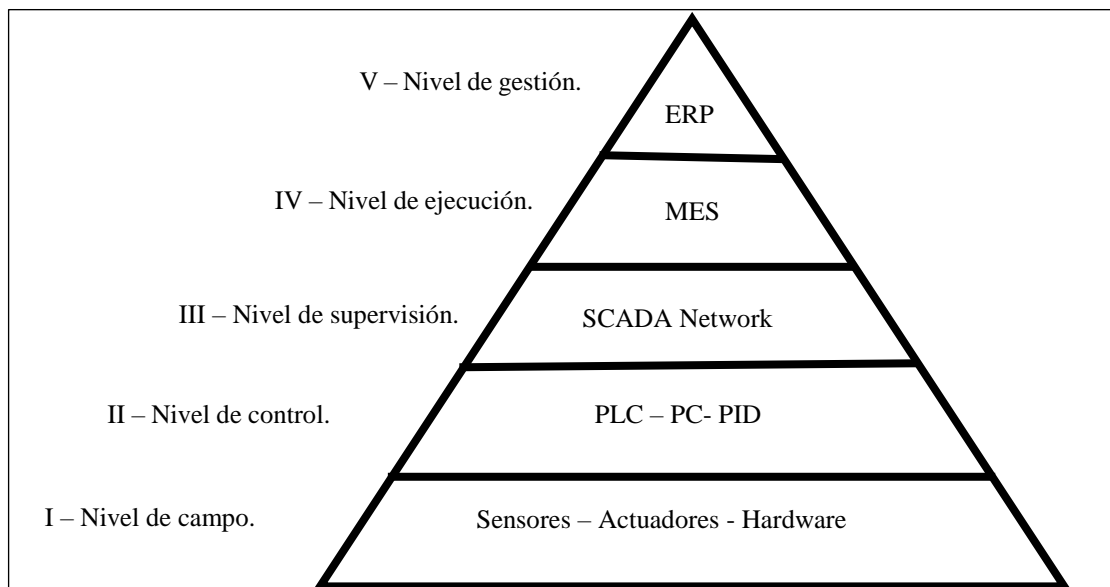
La productividad, en pocas palabras, tiene que ver con qué tan bien se aprovechan los recursos para generar algo útil, ya sea un producto o un servicio. Es un concepto que siempre ha estado presente en el mundo de la administración, porque al final del día, todo se resume en eso: hacer más con lo que se tiene. De acuerdo con Ramírez et al. (2022), no se trata solo de usar bien lo que hay dentro de la empresa, sino también de saber moverse frente a lo que viene de afuera, como la competencia o los cambios tecnológicos.

### 1.4.2 Automatización.

La automatización industrial es cuando una máquina o un sistema hace un trabajo por sí solo, sin que una persona tenga que estar controlando todo el tiempo. Para eso se usan dispositivos eléctricos, electrónicos y mecánicos que siguen instrucciones programadas, los procesos se hacen más rápidos, hay menos margen de error y se gana bastante en seguridad y constancia.

De acuerdo con García et al. (2020), explica que lo más llamativo de esta tecnología es cómo permite controlar sistemas completos usando circuitos eléctricos que ejecutan órdenes sin intervención humana. Como tener un equipo de ayudantes que no se cansan y que hacen exactamente lo que se les indica, siempre. Por eso muchas tareas que antes eran manuales y hasta algo riesgosas o repetitivas ahora las pueden hacer estos sistemas automatizados, y con bastante precisión.

**Gráfico 4:** Pirámide de la automatización.



*Nota.* Elaborado por los autores.

### 1.4.3 Circuito de fuerza & control.

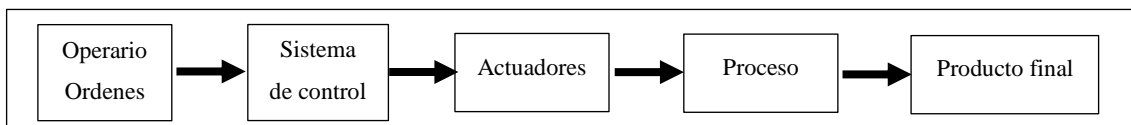
De acuerdo de lo que dice García et al. (2020), los circuitos de fuerza y de mando cumplen funciones complementarias esenciales: los primeros se encargan de suministrar la energía necesaria para operar equipos de alta potencia como motores o válvulas, trabajando con tensiones elevadas y contando con protecciones como fusibles y relés térmicos para garantizar seguridad y eficiencia; mientras que los circuitos de mando, por otro lado, operan con corrientes más bajas y son responsables de enviar señales que

activan o desactivan esos equipos, estableciendo la lógica de funcionamiento mediante dispositivos como pulsadores, sensores y relés.

#### 1.4.4 Sistema de lazo abierto.

Los sistemas de control en lazo abierto son bastante sencillos. Básicamente funcionan sin recibir información de vuelta, sin saber si lo que hicieron realmente tuvo el efecto que se esperaba. El sistema actúa con una señal que ya viene definida y simplemente la ejecuta. De acuerdo con García, (2020), el controlador manda una orden y esa se lleva a cabo sin que haya una medición o corrección del resultado. Por eso, este tipo de control solo sirve bien cuando el entorno es estable y no cambia mucho. Su principal ventaja está en lo simples y baratos que son. Además, se pueden implementar sin mucha complicación.

**Gráfico 5:** *Proceso automático en bucle abierto.*

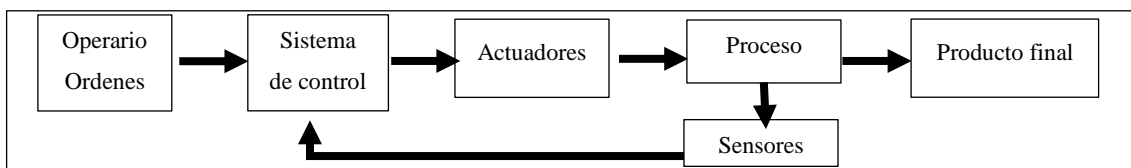


*Nota.* Elaborado por los autores.

#### 1.4.5 Sistema de lazo cerrado.

Los sistemas de control en lazo cerrado se caracterizan por contar con retroalimentación constante, lo que les permite corregir automáticamente su funcionamiento comparando el resultado real con un valor deseado. Según García, (2020), al detectar una diferencia entre ambos, el sistema genera una señal de error que guía al controlador para ajustar la salida del proceso. Este tipo de control incluye componentes como sensores, actuadores y controladores que trabajan juntos en un ciclo continuo para mantener la variable bajo control. Son ideales para entornos industriales donde se requiere alta precisión, estabilidad y capacidad de adaptación, como en el control automático de temperatura, presión o velocidad.

**Gráfico 6:** *Proceso automático en bucle cerrado.*

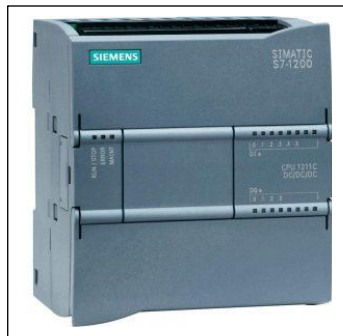


*Nota.* Elaborado por los autores.

#### 1.4.6 Controladores lógicos programables (PLC).

Son dispositivos electrónicos que permite automatizar procesos industriales de forma secuencial y en tiempo real, leyendo señales de entrada y generando respuestas en las salidas según instrucciones programadas. Según García et al. (2020), su gran ventaja es la flexibilidad, ya que se puede reprogramar fácilmente sin modificar el hardware, lo que lo hace ideal para entornos donde las condiciones cambian con frecuencia. Además, los PLC están diseñados para funcionar de manera segura y confiable incluso en ambientes industriales exigentes, siendo ampliamente utilizados en líneas de producción, celdas de manufactura flexible, estaciones robotizadas y sistemas de supervisión.

**Gráfico 7:** Controlador lógico programable (PLC).



*Nota.* Elaborado por los autores.

#### 1.4.7 Lenguaje de programación del PLC.

Al desarrollar un sistema de automatización con PLC, es fundamental programarlo utilizando un lenguaje compatible con su arquitectura, y para ello se siguen los estándares de la norma IEC 61131-3, que garantiza la compatibilidad entre distintas marcas. Según García et al. (2020), esta norma agrupa los lenguajes en textuales y gráficos: los textuales, como la lista de instrucciones (IL) y el texto estructurado (ST), son útiles para tareas desde simples hasta complejas, mientras que los gráficos, como el diagrama de contactos (LD), el diagrama de bloques funcionales (FBD) y el diagrama de secuencias (SFC), permiten representar visualmente los procesos, facilitando su comprensión, documentación y mantenimiento. Estos lenguajes ofrecen al programador flexibilidad para adaptar el sistema a diferentes necesidades industriales.

# CAPÍTULO II

## MARCO METODOLÓGICO

### **2.1. Enfoque de investigación.**

Este trabajo se plantea desde un enfoque cualitativo con una base deductiva. La idea es empezar por revisar conceptos clave sobre automatización industrial y control de procesos, y luego aplicar todo eso al diseño y análisis de un sistema automatizado de termocompresión que sirva para fabricar paneles con plástico reciclado. Es importante tener claro desde el principio que este tipo de enfoque es bastante flexible. Según Cejas et al. (2023), lo ideal es que las preguntas no tienen que estar 100 % cerradas desde el inicio, sino que pueden ir ajustándose a medida que avanza la investigación, dependiendo de lo que se vaya descubriendo en el camino.

Por el lado del método deductivo, se eligió porque es útil cuando se trabaja con sistemas complejos. Como dice Suárez (2024), este tipo de razonamiento que parte de ideas generales bien establecidas para llegar a conclusiones más específicas ayuda bastante a entender mejor qué necesita el sistema desde el punto de vista técnico y funcional. De esa forma, se puede prever cómo se va a comportar el sistema y asegurarse de que tanto el diseño como la validación y el funcionamiento final estén bien alineados con estándares reales y comprobables.

### **2.2. Diseño de investigación.**

Este estudio se basa en un diseño de investigación no experimental, porque, no se hace ninguna manipulación directa de las variables. Se observan tal como están, en su entorno real. De acuerdo con Arias & Covinos (2021), este tipo de enfoque es bastante útil en investigaciones técnicas, donde lo importante no es tanto probar hipótesis controladas, sino entender cómo se comportan los sistemas en la práctica, como funcionan día a día en una planta.

En este estudio se usa un enfoque analítico para entender cómo funciona todo el sistema, paso a paso. Desde el modelado inicial hasta llegar a las pruebas físicas. La idea es poder anticiparse a ciertos comportamientos del sistema y ajustar variables como la temperatura, la presión o el tiempo de compresión.

También se aplica un enfoque descriptivo, sobre todo para explicar bien cómo son y qué hacen los distintos componentes del sistema automatizado, como el PLC, la interfaz

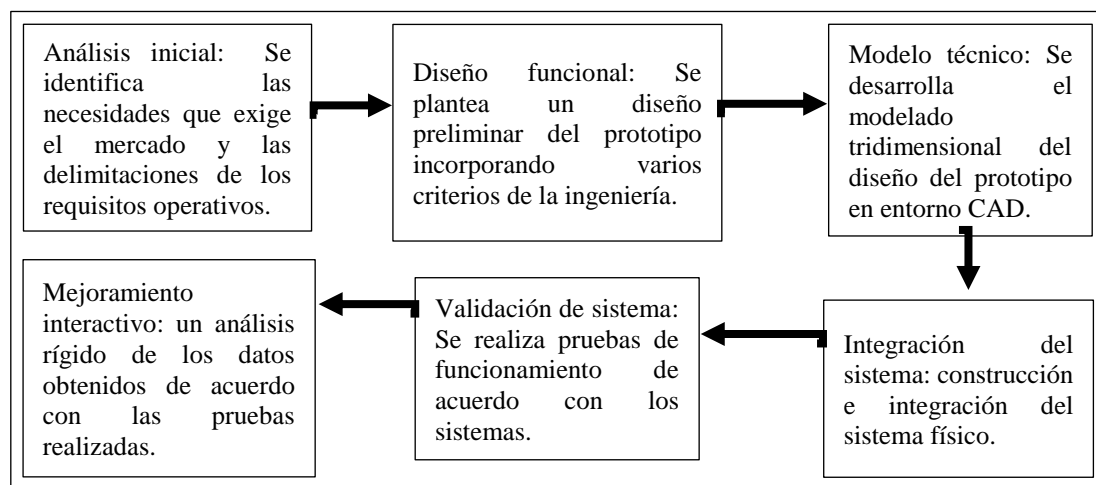
HMI, los sensores, los motores y la parte mecánica. Se describe no solo cada elemento por separado, sino también cómo interactúan entre sí y cómo eso termina afectando directamente al proceso de fabricación de los paneles con plástico reciclado.

### 2.3. Proceso metodológico del ciclo de diseño mecánico.

A partir de la revisión sistemática de la literatura y el análisis de las necesidades del usuario, se optimizó la secuencia metodológica para el diseño del sistema de control automatizado, empleando un enfoque cualitativo con métodos analítico y descriptivo. Esta combinación permitió establecer una ruta clara y flexible para el desarrollo del sistema. El estudio se basa en una metodología estructurada bajo el modelo de prototipado iterativo propuesto por Pacienza & Maida (2015), en el cual el sistema se construye por etapas, integrando continuamente retroalimentación del usuario y resultados de pruebas funcionales, lo que permite mejorar tanto el diseño mecánico como la parte electrónica de manera progresiva.

La metodología propuesta se organiza en seis fases de forma sucesiva, aunque no están completamente cerradas. Es decir, si en el camino se detecta algo que se puede mejorar, se ajusta, por lo que no es un proceso rígido. Todo esto se puede ver más claro en el gráfico 8, que muestra cómo se relacionan las etapas entre sí. Más allá de seguir una secuencia, este enfoque ayuda a entender bien todo el desarrollo del sistema de control. Pero no solo eso, también permite ir validando técnicamente cada parte mientras se avanza. Lo bueno de eso es que, si aparece algún error, se puede corregir a tiempo. Así se evitan problemas grandes más adelante y se reducen los riesgos en la operación.

**Gráfico 8:** *Secuencia de metodología del proyecto del sistema.*



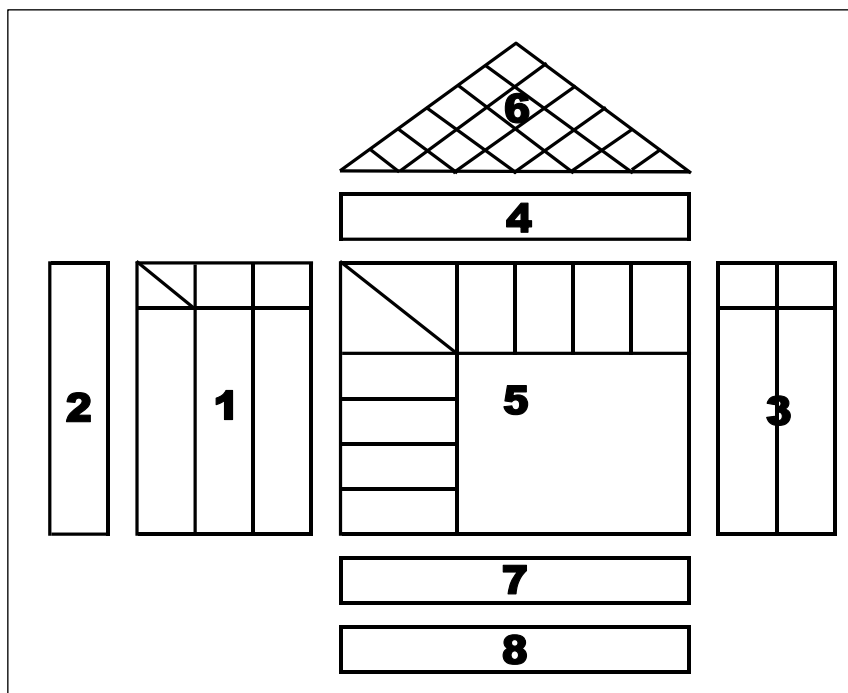
*Nota.* Elaborado por los autores.

**Análisis inicial:** se identifica las necesidades que exige el mercado y las delimitaciones de los requisitos operativos.

Para el desarrollo de este proyecto se aplicó el método de despliegue de la función de la calidad (QFD), el cual, según Rodríguez et al. (2020), constituye una estrategia clave para transformar las expectativas y necesidades del cliente en parámetros técnicos de diseño. Este enfoque sistemático facilita la planificación estructurada y asegura que cada fase de diseño esté alineada con los requerimientos funcionales, operativos y de calidad esperados en la fabricación de sistemas automatizados industriales.

En este sentido, se adaptó la metodología QFD para el contexto del sistema de control automatizado del prototipo de termocompresión para fabricar paneles plásticos reciclados, considerando una estructura secuencial que permite realizar un seguimiento desde la planificación inicial hasta la fase final de implementación y prueba.

**Gráfico 9:** Estructura de la casa de la calidad.



*Nota.* Elaborado por los autores.

El procedimiento incluye la construcción de la conocida “casa de la calidad”, cuya estructura se basa en cuatro matrices fundamentales: planificación del producto, planificación de las piezas, planificación del proceso y planificación de la calidad. Estas matrices permiten establecer relaciones cruzadas entre los requerimientos del cliente y las especificaciones técnicas necesarias, tal como se muestra en la siguiente representación conceptual:

Las partes principales de desarrollo se centran en las siguientes etapas:

- Requerimientos del cliente.
- Factor de importancia del cliente.
- Evaluación competitiva del cliente.
- Requerimientos técnicos.
- Matriz de relaciones.
- Correlación entre los requerimientos técnicos.
- Evaluación competitiva técnica.
- Puntuación.

Las etapas que conforman el despliegue de la calidad para este estudio fueron las siguientes:

- Recolección y organización de las necesidades del cliente (RC).
- Determinación del grado de importancia de cada necesidad.
- Análisis competitivo.
- Conversión de los requerimientos del cliente en especificaciones técnicas.
- Generación de la matriz de relaciones.
- Correlación entre requerimientos técnicos.
- Cálculo del índice de prioridad.

Este enfoque permitió desarrollar una planificación técnica clara y detallada para la fabricación del prototipo, con criterios orientados a la funcionalidad, seguridad, sostenibilidad y eficiencia operativa.

**Diseño funcional: se plantea un diseño preliminar del prototipo incorporando varios criterios de la ingeniería.**

De acuerdo con Moreno et al. (2019), cuando se trabaja en el desarrollo de un sistema automatizado, el diseño conceptual es una de las partes más importantes. Es aquí donde empiezan a tomar forma las soluciones técnicas que van a convertir una idea o un conjunto de necesidades en algo real, en un sistema que funcione. Esta etapa es bastante creativa. Es donde se mezcla todo: la lógica de la ingeniería, aspectos de ergonomía, qué tan viable es hacer lo que se propone, y también qué tan eficiente va a ser una vez que se implemente.

No se trata solo de pensar como se ve el sistema, sino también como se va a comportar, qué partes lo conforman, cómo se van a comunicar entre sí, y qué tanto se puede garantizar la seguridad, la innovación y un buen rendimiento. Para trabajar esta parte del proyecto, se armó una metodología con pasos bien definidos para guiar el diseño conceptual del sistema automatizado de termocompresión.

A continuación, se explican cada una de esas etapas:

- **Establecimiento de las bases de diseño:** se fijaron lineamientos iniciales a partir del análisis QFD, conectando las necesidades del usuario con las capacidades del prototipo, priorizando criterios técnicos claros.
- **Definición de la estructura funcional:** se aplicó el enfoque de “caja negra” para identificar entradas (material reciclado, energía, señal de control), procesos (calentamiento, prensado, desplazamiento) y salidas (paneles plásticos).
- **Diseño del flujo de operaciones:** se trazó un diagrama lógico que define la secuencia automatizada: carga del molde, ingreso al horno, control de temperatura y tiempo, prensado y expulsión del panel.
- **Desarrollo del diseño detallado:** se crearon bocetos y modelos CAD en SolidWorks de los componentes clave: estructura metálica, carritos, bandas, puerta del horno y HMI.
- **Análisis de requisitos técnicos y energéticos:** se dimensionaron motores (NEMA 17 y 23), drivers (TB6600), gata electrohidráulica (5 Tn), sistema de calefacción y controladores (PLC Siemens S7-1200), evaluando también seguridad, consumo y confiabilidad.

#### **Modelo técnico: se desarrolla el modelado tridimensional del diseño del prototipo en entorno CAD.**

Según Pérez (2021), el diseño del sistema automatizado se desarrolló desde su conceptualización hasta su validación virtual en 3D utilizando SolidWorks 2025, herramienta recomendada por Abdallah et al. (2022), por su precisión en modelado, análisis de movimiento e identificación de interferencias. Se diseñaron y ensamblaron todos los componentes del prototipo de termocompresión en un entorno virtual, lo que permitió verificar su funcionamiento integral, corregir posibles fallos mediante simulaciones y garantizar la correcta disposición de sensores, carritos, la prensa hidráulica, el sistema HMI y la puerta automatizada del horno. Con esta validación se elaboraron los planos técnicos definitivos para su fabricación.

#### **Integración del sistema: construcción e integración del sistema físico.**

La construcción del prototipo automatizado fue bastante fluida, sin cuellos de botella ni atrasos innecesarios. Según Chuen et al. (2019), es clave tener ya validado el diseño en SolidWorks, porque ahí se puede revisar todo con más detalle: en este caso para ver si había interferencias entre piezas, ajustar espacios y asegurarse de que los motores, sensores y el PLC Siemens S7-1200 estuvieran bien ubicados desde el plano.

Las actividades del armado fueron variadas, desde el corte y la soldadura de la estructura metálica hasta el montaje del sistema de transporte tipo carro, la instalación de la prensa y el sistema que automatiza la puerta del horno. Algo que no se descuidó en ningún momento fue la seguridad de quienes trabajamos en el proceso. Se siguieron las recomendaciones de Castro et al. (2021), y también lo que establece el SG-SST del Decreto 1072 de 2015, lo que se tradujo en el uso correcto de guantes, lentes, botas y todo lo necesario para evitar accidentes.

**Validación de sistema: se realiza pruebas de funcionamiento de acuerdo con los sistemas.**

Para validar el funcionamiento del prototipo automatizado de termocompresión, se hicieron varias pruebas técnicas y funcionales. La idea era comprobar que el sistema realmente operara como se esperaba, que fuera preciso y, sobre todo, que fuera seguro cuando se usara en condiciones reales, no solo sobre el papel. Esto coincide bastante con lo que plantean Quiroga et al. (2020), quienes señalan que una cosa es que el diseño funcione en teoría y otra muy distinta que lo haga en la práctica.

**Mejoramiento interactivo: un análisis rígido de los datos obtenidos de acuerdo con las pruebas realizadas.**

Después de terminar todas las pruebas técnicas y funcionales del prototipo automatizado de termocompresión, se llevó a cabo una revisión crítica general para evaluar qué tan bien funcionaba el diseño y ver qué cosas aún se podían mejorar. En términos generales, el sistema respondió bastante bien. El PLC Siemens S7-1200 se integró de forma eficiente con los motores NEMA y los drivers TB6600, y lo cierto es que todo funcionó de manera coordinada, especialmente en las etapas de transporte y prensado automático.

## **2.4. Método e instrumento de recolección de datos.**

### **2.4.1. Métodos de recolección de datos.**

En este estudio se utilizó el método deductivo, que básicamente consiste en partir de ideas generales para llegar a conclusiones más concretas. Es una forma lógica de organizar la investigación y entender cómo se relacionan las variables que están en juego. Según Suárez (2024), este tipo de enfoque ayuda bastante cuando se quiere identificar etapas clave dentro de un proceso técnico, como el diseño, la programación y la fabricación de un sistema automatizado.

Según Borjas (2020) menciona que tener un buen plan para recolectar los datos es fundamental si se quiere que la información sea confiable y realmente sirva para sacar conclusiones válidas. Por lo cual se diseñó una planificación clara, donde se definió quiénes formaban parte del estudio, qué instrumentos se iban a usar y cómo se iba a validar todo lo que se recolectara. Todo con la idea de asegurar que los datos obtenidos realmente ayudaran a cumplir los objetivos del proyecto sin dejar espacio para suposiciones.

A continuación, se presenta en la tabla 10 el esquema del plan diseñado para la recolección de datos.

**Tabla 10:**

*Plan de recolección de datos.*

PLAN	DESCRIPCIÓN
¿A quién está dirigido?	Expertos en automatización, ingeniería mecánica, producción industrial, electrónica y control de calidad.
¿Dónde se aplicará?	Universidad Estatal Península de Santa Elena, facultad de Ciencias de la Ingeniería.
¿Qué método se utiliza para la recolección de datos?	Aplicación de encuestas estructuradas a través de formularios físicos o digitales, elaborados por el investigador.
¿Qué técnica se utiliza para validar los datos?	Técnica de entrevista y evaluación por expertos bajo el método IPRAS y escala de valoración Likert.

*Nota.* Elaborado por los autores.

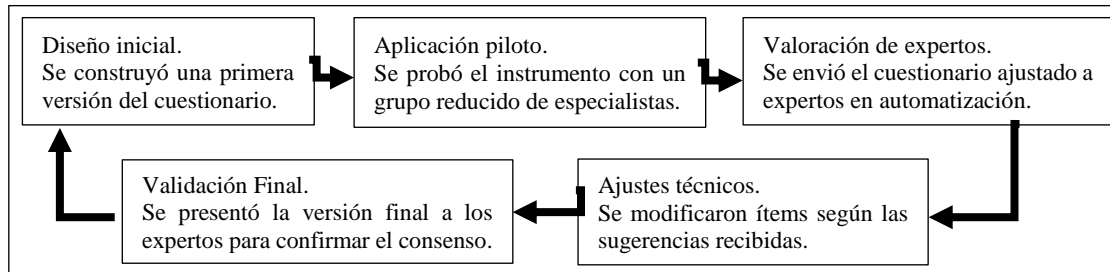
#### **2.4.2. Técnica de recolección de datos por el método de la entrevista.**

Para poder contar con información confiable y útil que realmente ayudara a desarrollar el sistema de control automatizado del prototipo de termocompresión, se decidió trabajar principalmente con entrevistas. Esta técnica resultó bastante acertada porque permite conversar directamente con personas que ya tienen experiencia en automatización o diseño mecánico, y eso hace que las respuestas no se queden solo en lo superficial.

La técnica de la entrevista se aplicó bajo una estructura metodológica ordenada, la cual se desarrolló en cinco fases consecutivas, adaptadas del modelo propuesto por Rosales (2025) con la finalidad de facilitar la validación de los requerimientos del cliente en el contexto de la implementación del método QFD. Estas etapas garantizan una

adecuada conceptualización, aplicación y validación del instrumento diseñado para el estudio. Las etapas consideradas fueron las siguientes:

**Gráfico 10:** *Secuencia de metodología del proyecto del sistema.*



*Nota.* Elaborado por los autores.

**Diseño inicial:** en este primer paso se diseñó una versión preliminar del cuestionario técnico, estructurado conforme a las dimensiones clave que rigen el funcionamiento del sistema de automatización. Este instrumento fue construido con base en los objetivos de investigación y en la naturaleza del prototipo de termocompresión. Se organizaron los ítems bajo criterios temáticos, priorizando aspectos relacionados con la tecnología utilizada, la interacción entre los componentes del sistema y la calidad esperada en la producción de paneles plásticos.

**Aplicación piloto:** para poner a prueba el cuestionario por primera vez, se hizo un ensayo general con docentes y profesionales que ya tenían experiencia en temas como automatización, electrónica, diseño mecánico y manufactura. La idea era ver cómo funcionaba el instrumento en la práctica, no solo en papel.

Se aplicó en dos versiones, una impresa y otra digital. Antes de empezar, se les presentó a los participantes un resumen del proyecto, se explicó qué se quería evaluar exactamente y cuáles eran los criterios que iban a tener en cuenta. Todo bastante claro desde el inicio.

Durante esa prueba piloto, se recibieron bastantes observaciones técnicas y recomendaciones útiles. Lo interesante fue que no solo marcaron puntuaciones, sino que también señalaron detalles puntuales sobre cómo mejorar la redacción de algunas preguntas, el orden en que estaban colocadas o incluso ajustar el enfoque de ciertos ítems.

**Valoración de expertos:** posteriormente, se realizó una consulta formal a un panel de expertos seleccionados bajo criterios académicos y técnicos: formación superior, trayectoria en áreas afines al objeto de estudio y experiencia comprobada en proyectos de automatización o diseño de sistemas de control. Cada experto evaluó la relevancia y

claridad de los ítems del cuestionario empleando una escala de tipo Likert. Además, se solicitó retroalimentación cualitativa sobre la aplicabilidad de los contenidos.

**Ajustes técnicos:** en esta parte del proceso se hicieron varios ajustes, tomando en cuenta las observaciones del grupo de expertos. Algunas preguntas del cuestionario se reescribieron porque, no estaban del todo claras o podían prestarse a confusión. También se revisaron ciertos términos técnicos que resultaban algo ambiguos, y se corrigieron o se explicaron mejor. Además, el panel sugirió agregar algunas preguntas nuevas para cubrir temas que, al principio, no se habían considerado pero que resultaron ser importantes.

**Validación final:** se realizó una última ronda de validación. Se compartió la versión ajustada del cuestionario con las personas seleccionadas, y ellos revisaron los cambios que se habían hecho. Fue importante confirmar que esos ajustes realmente tenían sentido y que no se estaba perdiendo nada clave. Después de analizar las respuestas, se pudo ver que hubo bastante coincidencia en los ítems más importantes, lo cual ayudó a confirmar que se había llegado a un buen nivel de acuerdo técnico. En otras palabras, se logró afinar bien los parámetros del sistema automatizado y dejar claro que estaban validados por quienes conocen del tema.

## **2.5. Variable de estudio.**

En la tabla 11 se presenta la matriz de operacionalización de variables que se usó en el estudio. Donde se organizan de forma más ordenada las dimensiones y los indicadores que sirvieron para hacer el análisis. Todo está dividido por variables, lo cual ayuda bastante a no perderse con tantos datos. Para la variable relacionada con el sistema automatizado, se tomaron en cuenta cosas como el censado y control de variables críticas, el movimiento mecánico automatizado, cómo se maneja el transporte del material dentro del proceso, y también qué tan bien está estructurado el sistema y si es aplicable a nivel real.

En cuanto a la parte de fabricación de paneles plásticos, se revisaron temas más ligados al producto como tal. Es decir, se evaluó la calidad de los paneles que salen, si efectivamente se está usando material reciclado, qué tan eficiente es todo el proceso y qué impacto tiene en términos ambientales, sobre todo pensando en sostenibilidad.

**Tabla 11:**

*Operacionalización de variables de estudio.*

Variable Independiente	Dimensiones	Indicadores	Preguntas	Escala de medición
Sistema control automatizado.	Dimensión 1. <b>Automatización de procesos:</b> implica el uso de software y tecnologías para realizar tareas repetitivas de forma automática (García et al. 2020).	<b>Indicador 1.</b> Numero de funciones realizadas automáticamente.	➤ Anexo H: Operacionalización de las variables 3. ➤ Anexo H: Operacionalización de las variables 3.	Encuesta escala ordinal Likert (Likert 1-5).
	Dimensión 2. <b>Precisión del sistema:</b> se refiere a cuán cerca están las mediciones entre sí (Sotnik, (2024).	<b>Indicador 2.</b> Nivel de intervención manual requerida.	➤ Anexo H: Operacionalización de las variables 3. ➤ Anexo H: Operacionalización de las variables 3. ➤ Anexo H: Operacionalización de las variables 3.	
	Dimensión 3. <b>Interfaz hombre – maquina (HMI):</b> es el medio por el cual un humano interactúa con una máquina, sistema o proceso (Luna, 2020).	<b>Indicador 3.</b> Margen de error en control de temperatura.	➤ Anexo H: Operacionalización de las variables 3. ➤ Anexo H: Operacionalización de las variables 3.	
	Dimensión 4. <b>Programación del sistema:</b> se refiere al desarrollo de software que interactúa directamente con el hardware y el sistema operativo de una computadora (Madureira et al., 2024).	<b>Indicador 4.</b> Margen de error en control de presión.	➤ Anexo H: Operacionalización de las variables 3. ➤ Anexo H: Operacionalización de las variables 3.	
	Dimensión 5: <b>Monitoreo del proceso:</b> es la observación continua de un sistema para identificar desviaciones del estado normal y tomar medidas correctivas (Valdivia et al., 2023).	<b>Indicador 5.</b> Claridad en la visualización de parámetros.	➤ Anexo H: Operacionalización de las variables 3. ➤ Anexo H: Operacionalización de las variables 3.	
	Dimensión 4. <b>Programación del sistema:</b> se refiere al desarrollo de software que interactúa directamente con el hardware y el sistema operativo de una computadora (Madureira et al., 2024).	<b>Indicador 6.</b> Facilidad en uso de panel de control.	➤ Anexo H: Operacionalización de las variables 3. ➤ Anexo H: Operacionalización de las variables 3. ➤ Anexo H: Operacionalización de las variables 3.	
	Dimensión 5: <b>Monitoreo del proceso:</b> es la observación continua de un sistema para identificar desviaciones del estado normal y tomar medidas correctivas (Valdivia et al., 2023).	<b>Indicador 7.</b> Cantidad de parámetros configurables.	➤ Anexo H: Operacionalización de las variables 3. ➤ Anexo H: Operacionalización de las variables 3.	
	Dimensión 5: <b>Monitoreo del proceso:</b> es la observación continua de un sistema para identificar desviaciones del estado normal y tomar medidas correctivas (Valdivia et al., 2023).	<b>Indicador 8.</b> Tiempo promedio para configurar un ciclo.	➤ Anexo H: Operacionalización de las variables 3. ➤ Anexo H: Operacionalización de las variables 3.	
	Dimensión 5: <b>Monitoreo del proceso:</b> es la observación continua de un sistema para identificar desviaciones del estado normal y tomar medidas correctivas (Valdivia et al., 2023).	<b>Indicador 9.</b> Capacidad de visualización en tiempo real.	➤ Anexo H: Operacionalización de las variables 3. ➤ Anexo H: Operacionalización de las variables 3.	
	Dimensión 5: <b>Monitoreo del proceso:</b> es la observación continua de un sistema para identificar desviaciones del estado normal y tomar medidas correctivas (Valdivia et al., 2023).	<b>Indicador 10.</b> Registro de datos de opresión durante el ciclo.	➤ Anexo H: Operacionalización de las variables 3. ➤ Anexo H: Operacionalización de las variables 3.	



## CAPÍTULO III

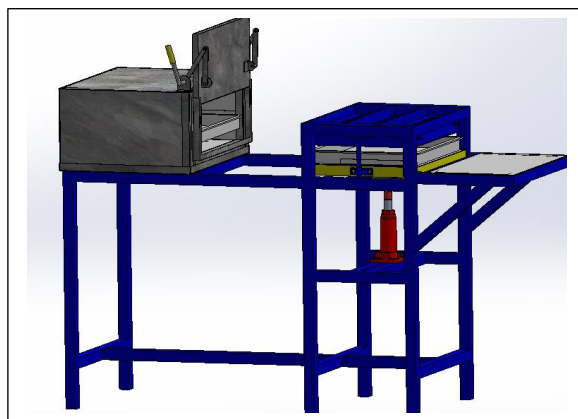
### MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Marco de resultados.

Este apartado es la parte donde se comprueba qué tanto se logró con respecto a los objetivos del proyecto, y si las decisiones tomadas durante el diseño y la implementación fueron acertadas o no. En este caso, lo que se buscó fue probar que el uso de automatización sí podía mejorar el desempeño de una máquina de termocompresión pensada para fabricar paneles con plástico reciclado. Lo interesante fue ir viendo cómo cada ajuste técnico desde los sensores, el PLC o el sistema de transporte aportaba algo al rendimiento general del prototipo. Todo esto permitió no solo documentar los avances de forma clara, sino también entender mejor qué funcionó bien, qué se puede mejorar y cómo eso impacta directamente en la eficiencia, la seguridad y la repetibilidad del sistema.

##### 3.1.1. Antecedentes del prototipo base.

**Gráfico 11:** *Diseño de prototipo inicial por método manual.*



*Nota.* Elaborado por los autores en base al diseño del prototipo original.

El proyecto empezó con el análisis de un prototipo que ya existía, una máquina de moldeo por termocompresión hecha de forma manual en el taller de ingeniería industrial de la Universidad Estatal Península de Santa Elena. La idea original era fabricar paneles de plástico reciclado de  $50 \times 40$  cm, usando una estructura metálica, un horno resistivo y una prensa hidráulica manual de unas 4 toneladas. Era un sistema bastante simple. Primero se ajustaba la temperatura del horno, normalmente a unos  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ , luego se colocaba el molde con el material plástico, y cuando estaba listo, había que trasladarlo a

mano hasta la prensa. Ahí se realizaba el prensado, se dejaba enfriar y después se retiraba el panel, también todo a mano (Malavé & Tigrero, 2024).

El prototipo, si bien cumplía su función educativa, tenía bastantes limitaciones. Para empezar, el control de temperatura era poco preciso. Además, el proceso en sí exigía mucho esfuerzo físico, y manipular el molde caliente no solo era incómodo, sino que también implicaba un riesgo real. Otro punto débil era que no se podía monitorear el proceso en tiempo real porque no había sensores ni una interfaz de control, lo que hacía más difícil obtener resultados constantes o replicables.

### **3.1.2. Validación por expertos.**

Para que la validación del instrumento fuera realmente sólida y no solo una formalidad se optó por aplicar el método Delphi. Esta técnica fue elegida porque, además de estar bastante aceptada en trabajos técnicos, permite recoger la opinión de expertos de forma ordenada, pero sin volverse rígida. Lo cierto es que el objetivo no era solo conseguir un “sí” de los especialistas, sino llegar a acuerdos bien pensados, que tuvieran base técnica real.

El proceso se organizó en cinco etapas. En cada una, los expertos analizaron el cuestionario usando escalas tipo Likert. Eso ayudó bastante porque no solo les permitió calificar cada ítem, sino también contrastar opiniones entre ellos, señalar detalles confusos o poco claros, y proponer cambios puntuales. (Rosales, 2025).

#### **Paso 1. Diseño inicial.**

Se diseñó un cuestionario técnico con el objetivo de validar el sistema de control automatizado del prototipo de termocompresión. Todo el instrumento se organizó en base a las dos variables principales del estudio: sistema automatizado y fabricación de paneles plásticos reciclados. Para estructurarlo, se tomaron en cuenta criterios como la coherencia, la relevancia técnica de cada ítem y que todo pudiera medirse con una escala Likert. Todo esto fue pensado para que el cuestionario pudiera ser validado más adelante con el método Delphi y no quedaran dudas sobre su solidez técnica.

#### **Paso 2. Aplicación piloto.**

Se hizo una prueba piloto del cuestionario técnico para asegurarnos de que todo estuviera claro y bien planteado antes de aplicarlo de forma definitiva. La idea era detectar

posibles errores en cómo estaban redactadas las preguntas, el orden en que aparecían o si había algo que pudiera prestarse a confusión.

En esta etapa participaron profesionales de la facultad de Ciencias de la Ingeniería de la UPSE, todos con experiencia en automatización, control de procesos, electrónica y diseño mecánico. Evaluaron el cuestionario usando una escala tipo Likert y, además, hicieron varias observaciones que fueron muy útiles. Por ejemplo, algunos comentarios apuntaron a mejorar el lenguaje técnico, otros a reorganizar ciertos ítems para que tuvieran más sentido, o a revisar qué tan relevantes eran algunos indicadores.

### **Paso 3. Valoración de expertos.**

Una vez ejecutada la aplicación piloto, se avanzó con la etapa de valoración formal por parte de un panel de expertos, cuya selección se realizó bajo criterios de pertinencia académica y experiencia técnica relevante en automatización, electrónica aplicada, ingeniería mecánica y control de procesos industriales. Para ello, se establecieron requisitos mínimos de inclusión tales como: formación profesional en ramas de la ingeniería, experiencia comprobada en diseño de sistemas automatizados, participación en proyectos con integración de tecnologías industriales y dominio en evaluación técnica de prototipos tabla 12.

**Tabla 12:**

*Características de los expertos.*

Nivel de información	Especialidad	Experiencia profesional
Ingeniero Industrial.	Mgtr. Automatización y Electrónica.	7 años
Ingeniero Mecánico.	PhD. En Ciencias Técnicas.	30 años
Ingeniero Mecánico.	PhD. Ingeniería y Producción Industrial.	15 años
Ingeniero Electrónico.	Mgtr. Ingeniería Electrónica.	14 años
Ingeniero en Electrónica, Automatización y Control.	PhD. Ingeniería de Control, Automatización y Robótica.	13 años
Ingeniero en Electrónica y Automatización.	Mgtr. Automatización y Sistemas de Control.	10 años
Ingeniero Industrial.	Mgtr. Sistemas Integrados de Gestión.	12 años

*Nota.* Elaborado por los autores.

Se establecieron diez dimensiones técnicas que se consideraron clave para evaluar el sistema automatizado, y a partir de eso se organizaron los ítems del cuestionario. Luego, se invitó a siete expertos para que revisaran el contenido. Cada uno evaluó qué tan clara y relevante era cada dimensión usando una escala cualitativa sencilla: si era “eficiente” o solo “aceptable”. Además, compartieron comentarios y sugerencias bastante valiosas que sirvieron para afinar varios aspectos del instrumento.

Todo este proceso quedó resumido en la tabla 13, que muestra los resultados de esa evaluación preliminar.

**Tabla 13:**

*Valoración de la entrevista.*

Nº	Categorías del contenido										Valor	Comentarios
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	50	Instrumento bien estructurado, refleja claridad y coherencia técnica en todas sus dimensiones.
2	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	50	Todas las dimensiones están correctamente formuladas y alineadas al objetivo del instrumento.
3	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	50	Diseño integral y completo, adecuado para evaluar la funcionalidad del sistema automatizado.
4	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	50	Cumple con los criterios técnicos y de evaluación planteados.
5	A	A	E	E	A	A	A	A	E	A	43	Algunas dimensiones requieren ajuste en los indicadores para una medición más específica.
6	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	50	La estructura del cuestionario es clara y se ajusta a estándares académicos y técnicos.
7	A	A	E	E	A	A	A	E	E	A	44	Se recomienda reforzar la redacción técnica en algunas preguntas para mayor precisión.

*Nota.* Elaborado por los autores.

En general, la opinión de los expertos fue bastante favorable. De los siete formularios que se recopilaron, cinco calificaron todas las dimensiones del instrumento como eficientes, lo cual ya era un buen indicio de que íbamos por buen camino.

En cuanto a los 21 indicadores que se evaluaron, la mayoría obtuvo muy buenas calificaciones. Hubo algunos comentarios adicionales, para reforzar ciertos detalles antes de usar el cuestionario de forma definitiva. Todo eso quedó registrado en la tabla 14, donde se pueden ver tanto las valoraciones como los cambios que se hicieron

**Tabla 14:***Valoración de la entrevista hacia el docente 1.*

N °	Preguntas																				Valor total	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2		
										0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	
1	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	105
2	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	105
3	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	105
4	E	A	E	R	A	A	E	A	A	R	E	E	E	E	E	E	E	E	A	R	A	87
5	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	105
6	A	A	A	R	A	A	R	A	R	A	E	A	E	R	E	A	R	E	R	A	E	78
7	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	A	E	A	E	R	A	R	E	E	R	95

*Nota.* Elaborado por los autores.

Como parte del proceso de validación del cuestionario, se hizo una ponderación numérica de los 21 indicadores usando una escala del 1 al 5. La idea era identificar cuáles estaban mejor redactados, cuáles eran más claros y si realmente estaban alineados con los objetivos del estudio. Básicamente, ver qué tan sólidos eran en cuanto a forma y fondo.

Todo ese resumen de datos y comparaciones está en la Tabla 15.

**Tabla 15:***Valoración de la entrevista hacia el docente 2.*

N °	Preguntas																				Valo r total	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2		
										0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	
1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	105
2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	105
3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	105
4	5	4	5	3	4	4	5	4	4	3	5	5	5	5	5	5	5	5	4	3	4	87
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	105
6	4	4	4	3	4	4	3	4	3	4	5	4	5	3	5	4	3	5	3	4	5	78
7	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	4	5	3	4	3	5	5	3	95

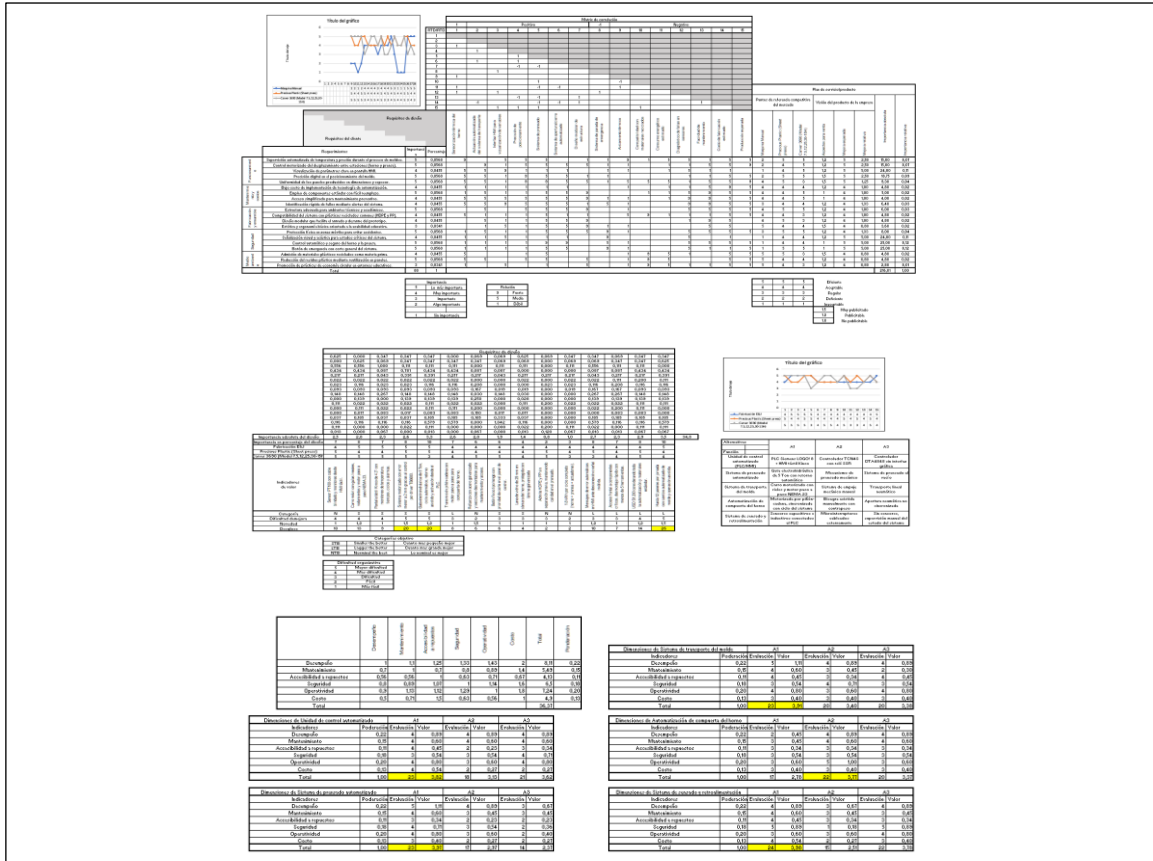
*Nota.* Elaborado por los autores.

Durante esta etapa, se reforzaron varios indicadores gracias a observaciones puntuales de los expertos, sobre todo en temas de claridad conceptual y en cómo se relacionaban con el uso real del prototipo automatizado que se evaluó en este estudio. Todo este proceso ayudó bastante a asegurar que la versión final del cuestionario se adapte

bien al contexto técnico del proyecto. Y, lo más importante, que permita recoger datos más fiables y útiles para las siguientes fases de la investigación.

### 3.1.3. Análisis inicial: implementación de QFD.

Gráfico 12: Implementación de QFD.



Nota. Elaborado por los autores.

### Identificación de necesidades del usuario y evaluación comparativa.

Tabla 16:

Requerimientos del cliente.

	Requerimientos	Importancia	%
Funcionamiento	Supervisión automatizada de temperatura y presión durante el proceso de moldeo.	5	0,0568
	Control motorizado del desplazamiento entre estaciones (horno y prensa).	5	0,0568
	Visualización de parámetros clave en pantalla HMI.	4	0,0455
	Precisión digital en el posicionamiento del molde.	5	0,0568
	Uniformidad de los paneles producidos en dimensiones y espesor.	5	0,0568
Mantenimiento y costos	Bajo costo de implementación de tecnología de automatización.	4	0,0455
	Empleo de componentes estándar con fácil reemplazo.	5	0,0568
	Acceso simplificado para mantenimiento preventivo.	4	0,0455
	Identificación rápida de fallos mediante alertas del sistema.	4	0,0455

Fabricación y ensamble	Estructura adecuada para ambientes técnicos y académicos.	5	0,0568
	Compatibilidad del sistema con plásticos reciclados comunes (HDPE y PP).	4	0,0455
	Diseño modular que facilita el armado y desarme del prototipo.	4	0,0455
Seguridad	Estética y ergonomía básica orientada a la usabilidad educativa.	3	0,0341
	Protección física en zonas móviles para evitar accidentes.	5	0,0568
	Señalización visual y acústica para estados críticos del sistema.	4	0,0455
	Control automático y seguro del horno y la prensa.	5	0,0568
Medio ambiente	Botón de emergencia con corte general del sistema.	5	0,0568
	Admisión de materiales plásticos reciclados como materia prima.	4	0,0455
	Reducción del residuo plástico mediante reutilización en paneles.	5	0,0568
	Promoción de prácticas de economía circular en entornos educativos.	3	0,0341
	<b>Total</b>	<b>88</b>	<b>1</b>

*Nota. Elaborado por los autores.*

Al aplicar el enfoque QFD se pudo organizar, de manera más ordenada y con criterio técnico, los requerimientos del cliente (RC). Todo se agrupó en cinco categorías que cubrían lo más importante: funcionamiento, mantenimiento y costos, fabricación y ensamblaje, seguridad, y el tema ambiental. Entre lo que más se valoró estuvo la visualización y el monitoreo del sistema a través de la HMI, la incorporación de un botón de paro de emergencia y el control seguro tanto del horno como de la prensa, con una prioridad igual o mayor al 11 %, lo que ya decía mucho sobre su importancia dentro del diseño final. Luego, en la parte de evaluación comparativa, el prototipo mostró algunas ventajas frente a otros equipos similares.

### **Traducción de requerimientos en parámetros técnicos.**

**Tabla 17:**

*Requerimientos del diseño – indicadores de valor.*

	RD 1	RD 2	RD 3	RD 4	RD 5	RD 6	RD 7	RD 8	RD 9	RD 10	RD 11	RD 12	RD 13	RD 14	RD 15
Indicadores de valor	IV 1	IV 2	IV 3	IV 4	IV 5	IV 6	IV 7	IV 8	IV 9	IV 10	IV 11	IV 12	IV 13	IV 14	IV 15
Categoría	N	S	S	S	S	L	N	S	S	N	N	L	L	L	L
Dificultad de mejora	4	4	4	5	5	3	2	3	3	3	2	3	3	4	5

Novedad	1	1,2	1	1,5	1,2	1	1,5	1	1	1	1	1,2	1	1,2	1,5
Desglose	10	13	9	20	20	8	6	6	4	2	2	10	7	14	26

*Nota. Elaborado por los autores.*

Se definieron 15 requisitos técnicos de diseño (RTD), que son la forma de convertir lo que el usuario necesita en características técnicas concretas del sistema automatizado. Luego se hizo un análisis de importancia acumulada para ver cuáles pesaban más dentro del diseño. Los dos RTD que más impacto tuvieron fueron el 15, relacionado con la producción esperada, y el 5, que tiene que ver con el sistema de prensado. Ambos tuvieron un peso del 10 %, lo que no es poco. Después vinieron otros como el RTD 14, que evalúa el costo de fabricación, y algunos más técnicos como el sistema de transporte automatizado (RTD 2) y la precisión en el posicionamiento (RTD 4), que quedaron con un 8 % cada uno. Al revisar la matriz de correlación técnica, se vio que mejorar estos puntos también mejora otros aspectos del sistema, como la eficiencia energética o la estabilidad general.

### **Selección técnica mediante análisis multicriterio.**

**Tabla 18:**

*Tabla morfológica de alternativas.*

Función/Alternativas	A1	A2	A3
Unidad de control automatizado (PLC/HMI)	PLC Siemens LOGO! HMI táctil Kinco	8 + Controlador TCN4S con relé SSR	Controlador DTA4848 sin interfaz gráfica
Sistema de prensado automatizado	Gata electrohidráulica de 5 Ton con retorno automático	Mecanismo de prensado mecánico	Sistema de prensado al vacío
Sistema de transporte del molde	Carro motorizado con rieles y motor paso a paso NEMA 23	Sistema de empuje mecánico manual	Transporte lineal neumático
Automatización de compuerta del horno	Motorizada por piñón-cadena, sincronizada con ciclo del sistema	Bisagra asistida manualmente con contrapeso	Apertura neumática no sincronizada
Sistema de sensado y retroalimentación	Sensores capacitivos e inductivos conectados al PLC	Micro interruptores cableados externamente	Sin sensores, supervisión manual del estado del sistema

*Nota. Elaborado por los autores.*

Con los RTD ya definidos, se hizo una evaluación de distintas opciones técnicas usando una tabla morfológica y varias matrices multicriterio. Básicamente se compararon

propuestas para varios subsistemas: el molde, el monitoreo térmico, la generación de calor, el nivel de automatización y el sistema de prensado. En casi todos los casos, la opción A1 que es la que corresponde al diseño actual del prototipo fue la que obtuvo los mejores puntajes. Las calificaciones estuvieron entre 3.65 y 4.32 sobre 5, lo que, valida bastante bien las decisiones que ya se habían tomado en el diseño.

De todos los componentes evaluados, el sistema de prensado electrohidráulico y el PLC Siemens LOGO 8 con pantalla HMI táctil Kinco fueron los que se destacaron más. No solo por su rendimiento técnico, sino también porque son seguros y fáciles de operar, algo clave si se piensa en un uso continuo o en contextos donde no siempre hay personal técnico capacitado.

### 3.1.4. Diseño funcional: formulación del diseño preliminar del prototipo.

#### ➤ Establecimiento de las bases del diseño.

En esta parte del proyecto se recopilaron y organizaron todos los resultados obtenidos del análisis QFD. La idea era dejar bien definidos los parámetros técnicos más importantes del sistema automatizado de termocompresión. Se identificaron las funciones clave y las características del diseño que no se podían dejar de lado, y se ordenaron por niveles de prioridad para tener claro qué era lo más crítico.

#### ➤ Definir estructura funcional.

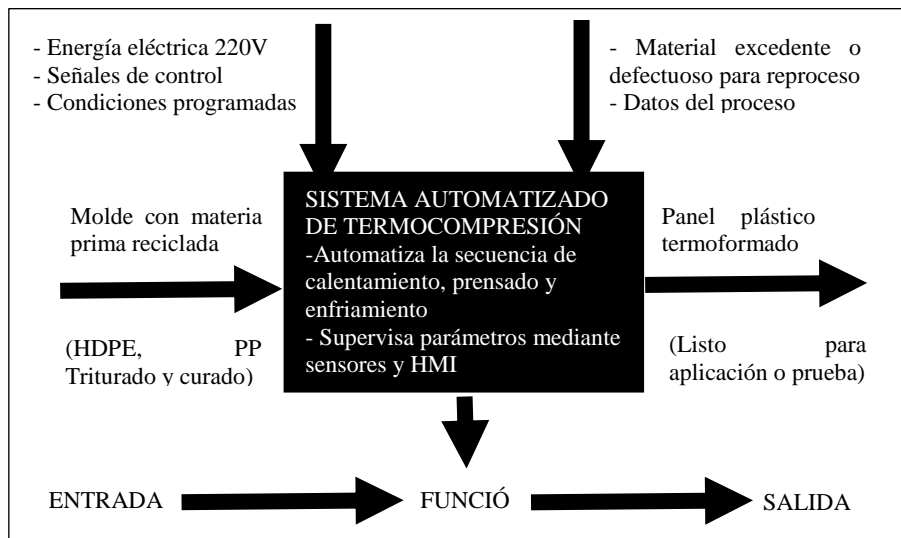
**Gráfico 13:** Estructura funcional del diseño.

<b>Objetivos:</b> 1- Automatizar el proceso de termo compresión, minimizando la intervención humana y aumentando la seguridad operativa. 2- Mejorar la eficiencia del sistema, integrando control y monitoreo centralizado con tecnologías industriales. 3- Facilitar una interacción más intuitiva y confiable entre el operario y el equipo, mediante una interfaz táctil visual. 4- Reforzar la estructura del prototipo, garantizando estabilidad ante las nuevas cargas dinámicas del sistema automatizado.	<b>Característica crítica 1:</b> Unidad de control automatizado	<b>Especificación:</b> Integración de un PLC Siemens LOGO 8 y una HMI táctil Kinco para gestionar las operaciones desde una interfaz visual.
	<b>Característica crítica 2:</b> Sistema de prensado automatizado.	<b>Especificación:</b> Sustitución de la prensa manual por una gata electrohidráulica de 5 toneladas, con retorno automático y control digital.
	<b>Característica crítica 3:</b> Sistema de transporte motorizado.	<b>Especificación:</b> Incorporación de un carro móvil con guías y rodamientos, impulsado por un motor paso a paso, para facilitar el traslado automatizado.
	<b>Característica crítica 4:</b> Automatización de compuerta del horno.	<b>Especificación:</b> Implementación de un mecanismo para la apertura y cierre automático del horno.
	<b>Característica crítica 5:</b> Sistema de sensado y retroalimentación.	<b>Especificación:</b> Instalación de sensores capacitivos e inductivos que permiten controlar el posicionamiento del molde.

*Nota: Elaborado por los autores*

Luego de definir las funciones y especificaciones técnicas del sistema, se formuló su propósito funcional mediante un modelo tipo caja negra, que simplifica visualmente el proceso general: ingreso del material plástico reciclado, calentamiento y prensado automatizados, y salida del panel terminado. Esta representación conceptual guía el diseño de los diagramas funcionales y de cada subsistema del sistema de termocompresión (gráfico 14).

**Gráfico 14:** *Caja negra del funcionamiento general de la máquina.*



*Nota.* Elaborado por los autores.

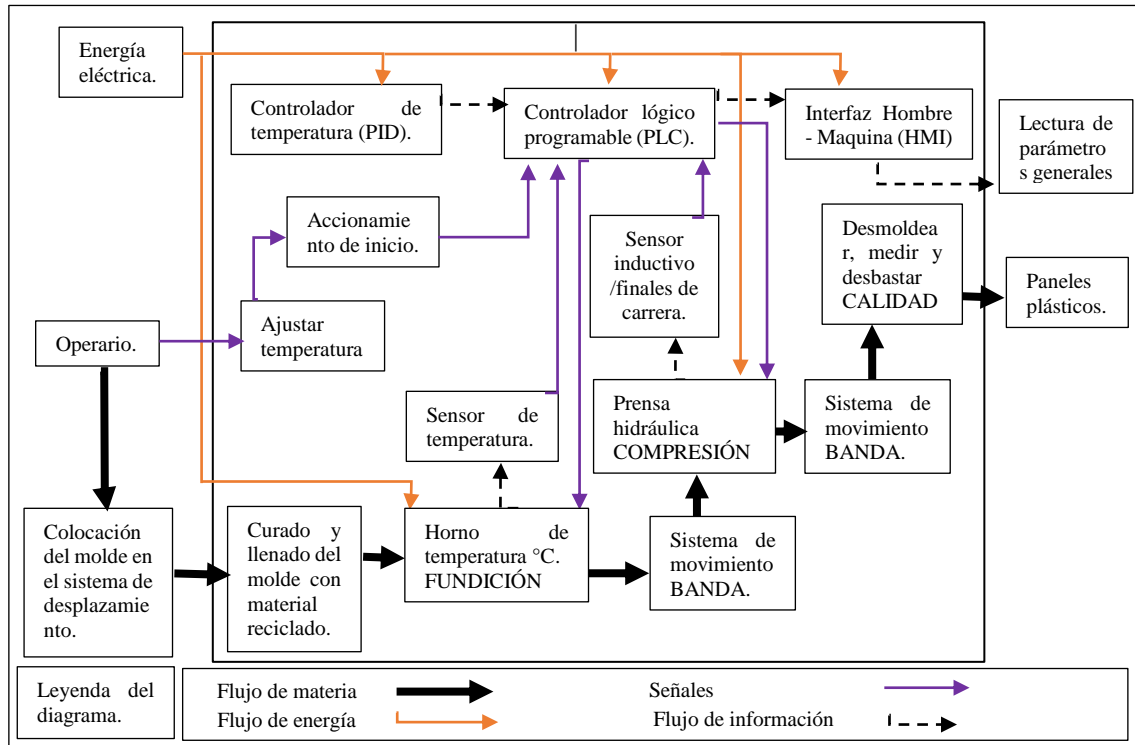
➤ **Diseño del flujo de operaciones.**

El gráfico 15 muestra de forma bastante clara cómo opera el prototipo automatizado de termocompresión, desde que se enciende el sistema hasta que se termina de prensar el panel. Lo interesante del esquema es que no solo deja ver la secuencia lógica de todo el proceso, sino que también ayuda a entender cómo se conectan entre sí los componentes clave: el sistema eléctrico, los sensores, el PLC y la HMI.

Todo arranca con la activación del sistema eléctrico, que pone en marcha tanto el control como los módulos de potencia. Después, el operario coloca el molde cargado con plástico reciclado triturado normalmente HDPE o PP sobre el sistema de transporte automático. Desde la pantalla HMI, se configuran parámetros como la temperatura y el tiempo de prensado, y esa información es procesada por el PLC. A partir de ahí, el sistema de calentamiento entra en acción, y gracias a los sensores, la temperatura se mantiene estable, sin variaciones que afecten la fusión del plástico.

Cuando el horno alcanza la temperatura programada, el molde se desplaza de forma automática hasta la prensa. Un sensor confirma su posición y entonces el PLC activa la gata electrohidráulica para hacer la compresión. Al finalizar, el molde se traslada a la zona de salida, donde se realiza el desmoldeo, se mide el panel y se le hace un pequeño desbaste, todo con el objetivo de asegurar que cumpla con los estándares establecidos.

**Gráfico 15:** Diagrama de flujo de operaciones de la máquina.



*Nota:* Elaborado por los autores.

### ➤ Diseño a detalle.

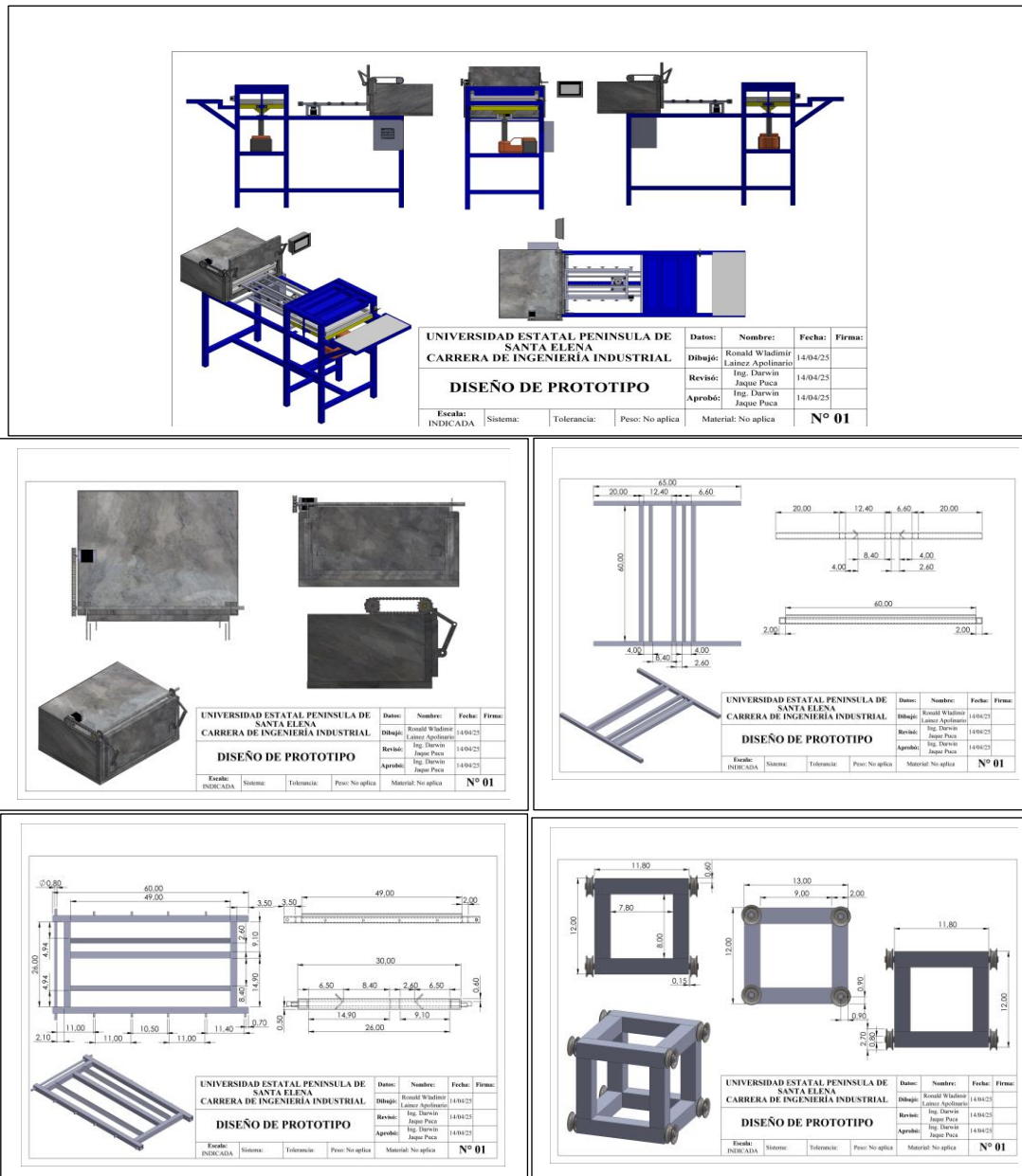
Como el sistema automatizado tiene bastantes partes y no es precisamente sencillo, se decidió trabajar directamente en un modelo digital usando software CAD, sin pasar por los típicos bocetos a mano, hacer los dibujos a lápiz no iba a aportar mucho en este caso, y lo que se necesitaba era algo más preciso desde el principio. Este primer modelo digital ya incluye los módulos principales: el horno, la prensa, el sistema de desplazamiento y el panel de control. Todo se organizó pensando en los criterios técnicos que se definieron antes y en cómo fluye el proceso en la práctica.

### 3.1.5. Modelado técnico: desarrollo del modelo en entorno CAD.

A partir del diseño conceptual, se modeló todo el sistema en SolidWorks para detallar la estructura y funcionalidad del prototipo automatizado, afinando geometrías,

uniones y distribución de componentes. Gracias a las simulaciones del software, se detectaron posibles interferencias, se evaluó la resistencia de materiales y se validó la lógica del ensamble, garantizando que el diseño cumpla con los requerimientos técnicos y sirva de base para futuros análisis mecánicos y de construcción.

**Gráfico 16:** Propuesta de rediseño de la máquina 1.



*Nota.* Elaborado por los autores.

- **Sistema de prensado automatizado:** se sustituyó la gata manual por una electrohidráulica de 5 ton controlada secuencialmente, asegurando presión constante en el molde.

- **Mecanismo de transporte telescópico:** se integró una banda plegable con tres plataformas motorizadas (fija, central y superior) para el traslado horizontal automatizado del molde.
- **Sistema de ingreso automático del molde:** la plataforma superior, con motor NEMA y rodillos, permitió la inserción controlada del molde al horno o prensa.
- **Apertura y cierre motorizado del horno:** se automatizó la compuerta con un motor NEMA 17 sincronizado con el movimiento del molde.
- **Control centralizado mediante PLC S7-1200:** el Siemens S7-1200 gestionó sensores, ciclos, temperatura y motores del sistema completo.
- **Visualización en HMI táctil:** a través de una pantalla HMI Kinco, el operario monitoreaba temperatura, posición del molde, ciclos y alertas.
- **Sensores y realimentación:** se usaron sensores de proximidad, finales de carrera y termocuplas tipo K para controlar posición, temperatura y compuertas.

#### Paso 4. Ajustes técnicos.

Una vez que se terminó de implementar el prototipo, empezaron a salir a la luz algunas fallas técnicas. No eran problemas graves, pero sí suficientes como para darse cuenta de que hacía falta volver a revisar todo con más detalle. Por eso se buscó el apoyo de especialistas en automatización y diseño mecánico, que ayudaron a evaluar qué cosas estaban funcionando bien y qué partes necesitaban ajustes.

Para organizar mejor esa evaluación, se aplicaron entrevistas estructuradas. Los expertos calificaron el desempeño de cada subsistema usando una escala cualitativa, y fueron dejando observaciones muy concretas. Comentarios técnicos que señalaban, por ejemplo, mejoras posibles en la distribución de componentes, ajustes en el recorrido del sistema móvil o ideas para hacer más eficiente la interfaz de control.

Este ejercicio fue bastante útil. No solo permitió identificar debilidades puntuales que no se habían notado al inicio, sino que también sirvió para entender cómo era percibido el diseño desde una mirada externa, más exigente y técnica. Al final, con todas estas sugerencias, se logró reforzar el sistema y dejarlo más preparado para las pruebas siguientes.

#### Tabla 19:

*Valoración de la entrevista hacia el docente 2.*

Nº	Preguntas										Valor total	Comentarios
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	<b>50</b>	Uno de los primeros problemas detectados fue el peso del molde móvil. Que es demasiado pesado, y

---

			eso puede terminar afectando el rendimiento de la gata hidráulica. Sería buena idea rediseñarlo usando materiales más ligeros, algo que mantenga la resistencia necesaria, pero que no sobrecargue al sistema.
2	E E E E E E E E E E	50	También se notó que la estructura en la zona de prensado es bastante estrecha. Esto hace que mover los módulos sea incómodo y limita bastante el acceso para tareas de mantenimiento. Lo ideal sería ampliar esa parte, darle un poco más de espacio para que el operario pueda trabajar con más facilidad.
3	E E E E E E E E E E	50	Respecto al sistema de transporte, el diseño original con banda telescópica tiene varios inconvenientes. Es costoso, complejo de controlar porque necesita varios motores y controladores, y sinceramente, no aporta tanta ventaja frente a otras opciones más simples. Se podría reemplazar por un sistema sobre rieles con rodamientos, algo más parecido a una cremallera mecánica, que cumple la misma función sin tantas complicaciones.
4	E A E R A A E A A R	41	El mecanismo de prensado con la gata electrohidráulica sí funciona, pero el problema está en dónde está colocada. Al estar en la parte inferior, ocupa un espacio que podría aprovecharse mejor. Se sugiere moverla a la parte superior, así se libera el área inferior y se podrían integrar otros mecanismos sin tanto obstáculo.
5	E E E E E E E E E E	50	Otro punto es el sistema de ejes que guía el desplazamiento vertical de la prensa. Genera bastante fricción, lo que obliga a la gata a trabajar con más fuerza y, por lo tanto, consume más energía. Reemplazar esos ejes por rieles con rodamientos sería una solución práctica para que todo se mueva más suave y eficiente.
6	A A A R A A R A R A	37	El sistema de apertura de la puerta del horno también dio problemas. El peso actual supera la capacidad del motor, lo que lo vuelve ineficiente y poco confiable. Una posible solución sería reducir el tamaño de la puerta y rediseñar el mecanismo de apertura, algo que aligere la carga y permita un control más preciso.

---

7	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	50	Por último, algo importante: al instalar la gata en posición invertida, toda la presión durante el prensado recae directamente sobre el carrito móvil. Esto podría terminar deformando las ruedas o los rieles con el tiempo. Para evitarlo, se recomienda añadir un sistema de resortes o soportes que absorban esa fuerza, distribuyéndola mejor y protegiendo la estructura móvil.
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	---

*Nota.* Elaborado por los autores.

Para seguir mejorando el diseño del prototipo, se usó una escala tipo Likert para medir qué tanto estaban de acuerdo los expertos con distintos aspectos técnicos del sistema. La idea era ver, de manera más clara, qué partes funcionaban bien y cuáles todavía necesitaban ajustes.

Con esa validación se lograron detectar áreas críticas del diseño que no se habían notado del todo en la primera revisión. Los puntos que más resaltaron fueron el sistema de apertura del horno y el mecanismo que mueve la prensa. Ambos fueron marcados como prioritarios, sobre todo porque influyen directamente en qué tan eficiente puede ser el equipo cuando se usa de forma continua. Si esos dos componentes no funcionan bien, el resto del proceso se vuelve más lento o riesgoso, así que ahí fue donde se enfocaron los esfuerzos para optimizar el diseño.

**Tabla 20:**

*Valoración de la eficacia de la entrevista hacia el docente 2.*

N° de formulario	Preguntas										Valor total	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	<b>50</b>
2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	<b>50</b>
3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	<b>50</b>
4	5	4	5	3	4	4	5	4	4	3		<b>41</b>
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	<b>50</b>
6	4	4	4	3	4	4	3	4	3	4		<b>37</b>
7	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	<b>50</b>

*Nota.* Elaborado por los autores.

### 3.1.5.1. Rediseño.

La versión actualizada del prototipo, que se muestra en el gráfico 17, fue desarrollada después de detectar varias limitaciones en el diseño original y de aplicar todo lo que se obtuvo del análisis QFD y los comentarios de los expertos. Esta nueva versión se pensó con un enfoque más funcional y realista, apostando por una arquitectura modular que hace más eficiente el proceso de termocompresión usando plásticos reciclados.

Uno de los cambios más importantes fue reemplazar la banda telescópica por un sistema tipo carrito, que se mueve sobre rieles con ayuda de un motor paso a paso NEMA 23, manejado por un driver TB6600 y una transmisión con piñón y cadena. Ese cambio no solo simplificó el movimiento, también hizo que el sistema fuera más estable. Además, se reubicó la gata electrohidráulica a la parte superior, lo que dejó más espacio libre para trabajar y facilitó el acceso al molde.

Para evitar movimientos bruscos o sobreesfuerzos, se añadieron finales de carrera en puntos clave, y también se incorporó una base con resortes, que ayuda a proteger el molde cuando se aplica presión durante el prensado. Son detalles que, aunque parezcan pequeños, hacen una gran diferencia en el funcionamiento general.

El sistema ahora está controlado por un PLC Siemens S7-1200 y una HMI Kinco, y cuenta con sensores como la termocupla PT100 y sensores capacitivos, todo alimentado por una fuente de 12 V y 50 A. Con esto, se logró no solo mejorar la interacción entre el operador y la máquina, sino también reforzar la seguridad del equipo y hacerlo más viable para su uso en ambientes semiindustriales, sin perder el enfoque en la automatización como base del diseño.

**Gráfico 17:** *Propuesta final del rediseño de la máquina.*



*Nota.* Elaborado por los autores.

### **3.1.5.2. Selección de materiales.**

La construcción del prototipo automatizado de termocompresión se basó en la estructura del diseño original, aunque esta vez se reforzó para que aguantara mejor las nuevas cargas dinámicas generadas por los actuadores y el movimiento del sistema. Para la estructura principal se usó tubo cuadrado de 4x4 cm con 1.5 mm de espesor, fabricado en acero ASTM A36. Es un material bastante común cuando se trata de soportar cargas medias, porque responde bien tanto a tracción como a compresión.

Este tipo de acero, además de ser resistente, funciona muy bien en estructuras tubulares porque distribuye mejor los esfuerzos. Y eso es clave, sobre todo cuando hay flexión por el movimiento de la prensa o del carrito motorizado que transporta el molde.

En las plataformas móviles y la parte que sostiene el sistema de transporte tipo carrito se optó por perfiles angulares y planchas galvanizadas de 2 mm. Son más livianos, pero siguen siendo rígidos, así que ayudan a reducir peso sin que eso afecte la estabilidad. Para las guías del molde y del carro se usaron rodamientos de acero templado y rieles hechos con ángulos de acero. Esto mejoró bastante el deslizamiento y también redujo el desgaste, ya que hay menos fricción. A eso se le sumaron unos resortes de compresión que ayudan a absorber la fuerza cuando la prensa baja, evitando que el peso recaiga todo el tiempo sobre los rodamientos, que al final son piezas que se pueden dañar si no se protegen.

En cuanto al sistema de automatización, se eligieron componentes que fueran eficientes y compatibles entre sí. La pantalla es una HMI táctil Kinco de 4.3", se usa una termocupla PT100 para el control de temperatura, sensores capacitivos como finales de carrera, y el corazón del sistema es un PLC Siemens. El carrito se mueve con un motor paso a paso NEMA 23, controlado por un driver TB6600 y un sistema de piñón-cadena. Todo eso funciona alimentado por una fuente de 12 V y 50 A, lo que asegura que no haya caídas de tensión mientras todo está en marcha.

### **3.1.5.3. Listado de materiales.**

Después de definir qué materiales se iban a usar tanto estructurales como térmicos y electrónicos se armó un inventario bien detallado con todo lo necesario para construir el nuevo sistema automatizado. En esa lista se incluyó de todo: desde la base de la estructura, el horno y la prensa, hasta el mecanismo de transporte y los componentes del sistema de automatización.

También se agregaron materiales complementarios, como aislantes térmicos, pintura resistente al calor, sensores, cables, módulos de control, entre otro. Este inventario no solo ayuda a entender mejor qué tan grande o complejo es el proyecto en cuanto a materiales, sino que también sirve para tener una idea clara de los costos, organizar bien las compras y, algo importante, dejar una base sólida por si más adelante se quiere replicar el prototipo o hacerle mejoras.

**Tabla 21:**

*Lista de los materiales y el costo.*

N°	Material	Cantidad	Costo x unidad	Subtotal (USD)
1	Tubo estructural acero galvanizado 40x40x1,5 mm.	20 m	6	120
2	Tubo estructural acero galvanizado 20x20x1,5 mm.	10 m	4	40
3	Angulo de acero galvanizado 20x20x1,5 mm.	4,50 m	4	18
4	Platina de acero 20x3 mm.	3 m	4	12
5	Ejes de acero 5 mm.	1 m	3	3
6	Acero galvanizado 2 mm para puerta.	1 planchas	25	25
7	Lana mineral 25 mm (600 °C).	2 rollos	18	36
8	Gata electrohidráulica 5 Ton.	1	130	130
9	Motor paso a paso NEMA 23.	1	50	50
10	Motor paso a paso NEMA 17.	1	20	20
11	Driver TB6600.	1	25	25
12	PLC Siemens S7-1200.	1	300	300
13	Pantalla HMI Kinco 4.3”.	1	150	150
14	Sensores capacitivos .	1	25	25
15	Finales de carrera.	6	0,4	2,4
16	Relé industrial 12V tipo contacto seco.	2	13	26
17	Fuente 12V 50ª Fuerza.	1	50	50
18	Piñón de bicicleta.	1	4	4
19	Tensor de bicicleta.	2	3	6
20	Cadena de bicicleta.	2	3	6
21	Rodamientos con soporte.	8	3	24
22	Resortes industriales de compresión.	4	2,5	10
23	Resortes industriales de tensión.	4	2,5	10
24	Pintura anti calórica (alta temperatura).	1	25	25
25	Cables calibre 18 para control.	16 m	0,5	8
26	Discos de cortes.	2	2,5	5
27	Electrodos 6011.	4 lb	3,25	13

28	Broca escalonada.	1	25	25
29	Cinta aislante.	2	1	2
30	Discos de pulir.	2	2,5	5
31	Botones ON, OFF.	3	9	27
32	Botón de emergencia.	1	9	9
33	Pilotos indicadores.	3	9	27
34	Router Wifi.	1	21	21
35	Remache.	3 doce	0,5	1,5
36	Tornillos.	1 doce	0,5	0,5
37	Fuente de alimentación 12v Control.	1	15	15
Costo Total.				<b>1276,4</b>

*Nota.* Elaborado por los autores.

### 3.1.5.4. Costo de fabricación.

En la tabla 22 se muestra una estimación detallada de todo lo que costaría fabricar el sistema automatizado de termocompresión. Se incluyeron todos los elementos importantes: materiales para la estructura, partes electrónicas, sensores, módulos de control, resistencias térmicas, y también cosas como la mano de obra, el uso de herramientas y hasta el transporte de los materiales. El objetivo de este análisis no es solo saber cuánto cuesta todo, sino también tener una idea más concreta del presupuesto total que se necesita para construir el prototipo completo.

Además, tener este desglose sirve como base si más adelante se quiere mejorar el diseño o replicarlo a una escala un poco más grande. Es como tener un mapa claro de todo lo que implica llevar el sistema a la práctica, no solo en lo técnico, sino también en lo financiero.

**Tabla 22:**

*Costo de fabricación de la máquina.*

C	U	H	Descripción	Días	Cos	Costo	Tot
.	.	or		/Ho	to/D	/Hora	al
		as		mbr	ía	(\$)	(\$)
				e	(\$)		
Costo de mano de obra.							
2			Construcción y ensamblaje, corte y soldadura.	21	25	1,04	<b>10</b> <b>50</b>
2			Instalación del sistema eléctrico y control.	21	25	1,04	<b>10</b> <b>50</b>

2		Programación y monitores de variables.	21	25	1,04	<b>1050</b>
		Costo de equipos y herramientas.				
1	4	Taladro.			4	<b>160</b>
	0					
1	2	Esmeril.			2	<b>400</b>
	0					
1	4	Amoladora.			4	<b>160</b>
	0					
1	4	Soldadora.			4	<b>160</b>
	0					
1	2	Multímetro.			2	<b>400</b>
	0					
1	5	Remachadora.			2	<b>100</b>
1	5	Herramientas menores.			1	<b>500</b>
	0					
		Costo de materia prima.				
1	K	Polipropileno.				<b>1</b>
	g					
		Costo de transporte.				
1	3	Transporte de materiales.			10	<b>30</b>
1	1	Transporte de maquinaria.			30	<b>30</b>
		Los costos reflejan un valor estimado Total.				<b>38</b>
						<b>31</b>

*Nota.* Elaborado por los autores.

### 3.1.6. Integración del sistema: construcción y ensamblaje del prototipo.

#### 3.1.6.1. Análisis estático.

##### 3.1.6.1.1. Esfuerzo normal en los rieles del molde.

Para estimar el esfuerzo normal aplicado sobre los rieles por donde se desplaza el molde durante el proceso de termo compresión, se considera como carga principal el peso de dicho molde más el esfuerzo transmitido al momento de la compresión. La fuerza se obtiene multiplicando el peso por la aceleración gravitacional, mientras que el área de carga corresponde a la sección transversal de los ejes de apoyo cilíndricos.

$$W = 12 \text{ kg} * 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$W = 29,46 \text{ N}$$

$$A = \pi * r^2$$

$$A = \pi * (0,02)^2$$

$$A = 0,0003141592654m^2$$

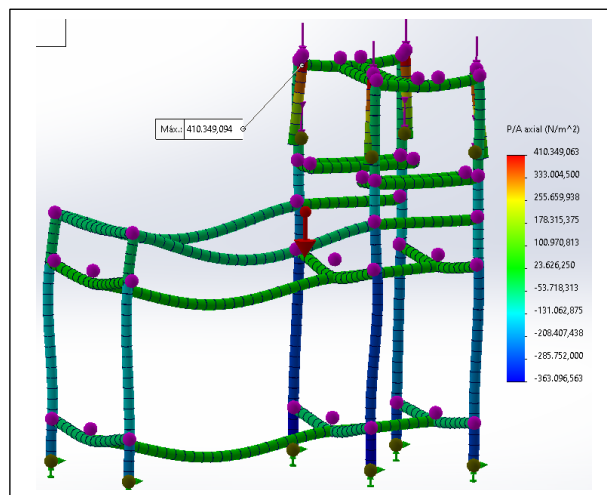
$$\sigma = \frac{w \text{ carga}}{A \text{ (ar\'ea transversal)}}$$

$$\sigma = \frac{29,46N}{0,0003141592654m^2}$$

$$\sigma = 93583.1 \text{ N/m}^2$$

El valor de esfuerzo normal obtenido es de  $93583.1 \text{ N/m}^2$ , valor que se encuentra ampliamente por debajo del límite elástico del acero estructural ASTM A36, cuyo umbral es de 250 MPa, tal como se muestra en la tabla de propiedades mecánicas del material. Esto garantiza que el sistema de guías no experimentará deformaciones plásticas ante la carga prevista de operación.

**Gráfico 18:** *Esfuerzo normal en rieles.*



*Nota.* Elaborado por los autores.

En el gráfico 18 se puede ver el resultado del análisis estructural que se hizo en SolidWorks. Se muestra cómo se distribuyen los esfuerzos en los rieles, donde el patrón es bastante uniforme, lo cual es una buena señal. El valor más alto que se registró fue de unos 410.35 MPa, ubicado justo en una de las uniones críticas de la estructura, donde actúan cargas axiales combinadas. Por eso mismo, ese punto se va a revisar con más detalle después, usando un análisis de seguridad más específico.

En el caso de los rieles que sostienen el molde, los análisis arrojaron que los esfuerzos no superan los 178.31 MPa. Eso, en términos simples, quiere decir que est n trabajando dentro de un margen de seguridad bastante aceptable. Es decir, no hay riesgo

de fallo bajo las condiciones normales de uso. La estructura responde bien y resiste sin problemas las cargas que se generan durante el proceso.

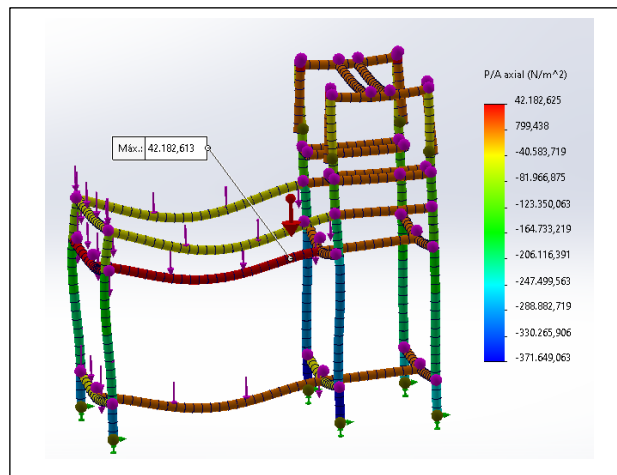
### 3.1.6.1.2. Esfuerzo normal en el horno.

Con el fin de validar la resistencia de la estructura donde se apoya el horno resistivo, se procede al cálculo del esfuerzo normal que soportan los perfiles metálicos que conforman su base. En este análisis se considera el peso total del horno con todos sus componentes internos, multiplicado por la gravedad, y se divide entre el área de apoyo efectiva de los perfiles horizontales.

$$W = 15,7 \text{ kg} * 9,8 \text{ m/s}^2 = 38,465 \text{ N}$$
$$\sigma = \frac{w \text{ carga}}{A (\text{ar\'ea transversal})} = \frac{38,465 \text{ N}}{0,05^2 \text{ m}^2} = 15386 \text{ N/m}^2$$

El resultado obtenido indica que el esfuerzo normal soportado por los perfiles es de  $15386 \text{ N/m}^2$  un valor sustancialmente inferior al límite elástico del acero ASTM A36 (250 MPa). Esto garantiza que la base estructural del horno puede operar con total seguridad y sin riesgo de deformaciones permanentes bajo condiciones normales de trabajo.

**Gráfico 19:** Esfuerzo normal en zona del horno.



*Nota.* Elaborado por los autores.

En el gráfico 19 se muestra la simulación de esfuerzo normal que se hizo en SolidWorks. Lo que se ve ahí es que los puntos de mayor carga se concentran en algunas zonas específicas donde se conectan los soportes del horno. El valor más alto registrado fue de 42.18 MPa.

Ahora, aunque ese número podría parecer algo elevado a simple vista, lo cierto es que sigue estando muy por debajo del límite de fluencia del material que se usó para la estructura. Así que, al menos en esta parte del sistema, el diseño mantiene un buen margen de seguridad.

### 3.1.6.1.3. Esfuerzo normal en prensa.

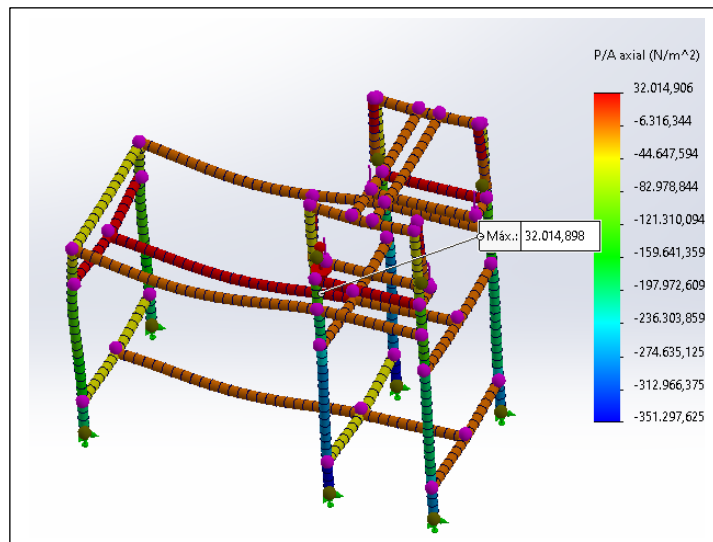
Para verificar la resistencia del soporte estructural en la zona de la prensa hidráulica, se ha calculado el esfuerzo normal generado por el peso del molde y sus elementos asociados al momento de prensado. La fórmula aplicada considera la fuerza gravitacional del sistema y el área de contacto de los perfiles portantes.

$$W = 4.3 \text{ kg} * 9,8 \text{ m/s}^2 = 10.53 \text{ N}$$

$$\sigma = \frac{w \text{ carga}}{A \text{ (ar\u00e9a transversal)}} = \frac{10.583 \text{ N}}{0,02^2 \text{ m}^2} = 26457.5 \text{ N/m}^2$$

El esfuerzo calculado es de  $26457.5 \text{ N/m}^2$ , un valor significativamente inferior al l\u00edmite el\u00e1stico del acero ASTM A36 (250 MPa). Esto implica que la estructura de soporte de la prensa mantiene una excelente capacidad de carga, sin riesgo de deformaciones permanentes ni fatiga estructural.

**Gr\u00e1fico 20:** *Esfuerzo normal en zona de prensa.*



*Nota.* Elaborado por los autores.

En el gr\u00e1fico 20 se puede ver la simulaci\u00f3n del esfuerzo normal que se corri\u00f3 en SolidWorks. El valor m\u00e1s alto que arroj\u00f3 fue de 32.01 MPa, concentrado en algunas zonas

específicas donde se acumula más carga, como suele pasar en uniones o puntos de contacto estructural.

Aunque ese valor parece estar en la parte alta del rango, lo cierto es que todavía está por debajo del límite elástico del material que se usó, así que no hay riesgo de que la estructura falle o se deforme permanentemente.

### 3.1.6.1.4. Esfuerzo normal en estructura.

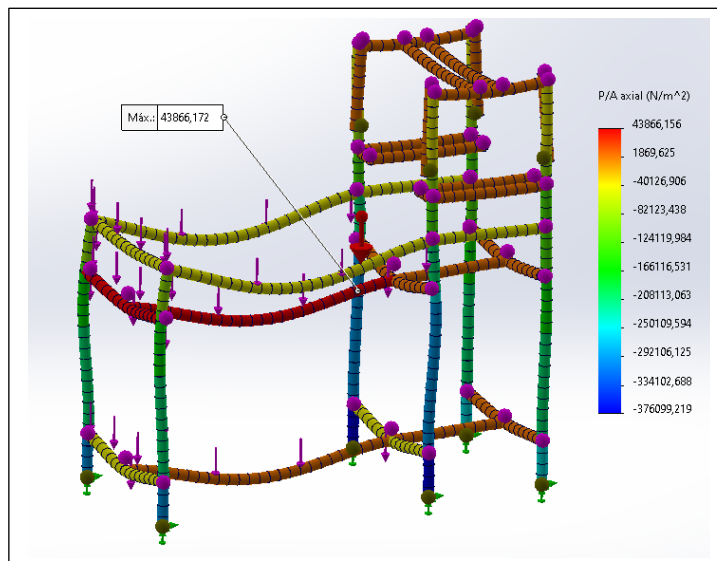
Para determinar la capacidad estructural de la máquina frente a cargas gravitacionales propias del sistema y sus componentes, se analizó el esfuerzo normal que soportan los perfiles tubulares que conforman la base y los marcos de soporte. Para ello se estimó el peso de la estructura más el conjunto de módulos (prensa, horno, soportes y mecanismo móvil), aplicando la siguiente fórmula:

$$W = 18,3 \text{ kg} * 9,8 \text{ m/s}^2 = 44,825 \text{ N}$$

$$\sigma = \frac{w \text{ carga}}{A (\text{área transversal})} = \frac{44,825 \text{ N}}{0,04^2 \text{ m}^2} = 28015.625 \text{ N/m}^2$$

El esfuerzo máximo calculado fue de  $28015.625 \text{ N/m}^2$ , el cual se encuentra muy por debajo del límite elástico del acero ASTM A36 (250 MPa). Este resultado garantiza que la estructura es apta para soportar las cargas aplicadas sin sufrir deformaciones permanentes ni fallas estructurales.

**Gráfico 21:** *Esfuerzo normal en estructura.*



*Nota. Elaborado por los autores.*

En el gráfico 21 se puede ver la simulación del esfuerzo normal hecha en SolidWorks, pero esta vez aplicada al modelo completo. El punto donde más carga se concentra marcó un valor de 43,866 kPa, lo cual, encaja bastante bien con lo que se había calculado antes de forma analítica.

Esa coincidencia es buena noticia, porque confirma que el diseño tiene la resistencia mecánica que se esperaba desde el principio. Es decir, el sistema puede operar de forma segura dentro de las condiciones de trabajo que se plantearon, sin riesgos estructurales. Saber que los resultados del software y los cálculos manuales están alineados da bastante confianza para seguir con la etapa de pruebas reales.

### 3.1.6.1.5. Análisis de deformaciones.

Para comprobar que el prototipo se mantuviera estable cuando está bajo carga, se hizo un análisis de deformación unitaria. Se tomó el valor máximo del esfuerzo normal que se había detectado en la estructura y se aplicó la fórmula clásica de la ley de Hooke. Esta ley, permite relacionar directamente el esfuerzo con la deformación usando el módulo de Young del material. Es decir, nos dice cuánto se va a estirar (o comprimir) algo cuando le aplicamos una carga. Con ese cálculo se puede tener una idea bastante clara de si la estructura va a aguantar o si se va a deformar más de lo esperado.

La expresión empleada fue:

$$\epsilon = \frac{\sigma}{\gamma}$$

Donde:

$\epsilon =$  deformación unitaria (adimensional)

$\sigma =$  esfuerzo normal ( $N/m^2$ )

$\gamma =$  módulo de Young del material ( $N/m^2$ )

Con un esfuerzo máximo calculado de:

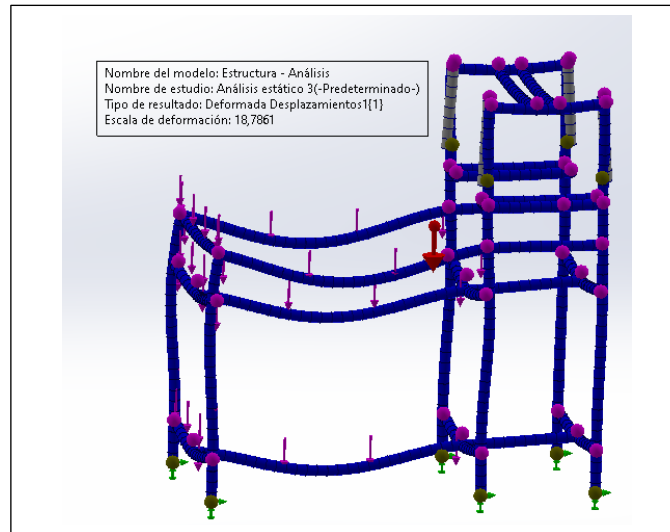
$$\sigma = 28015.625 \frac{N}{m^2}$$

$$\gamma = 2.0 \times 10^{11} N/m^2$$

$$\epsilon = \frac{28015.625}{2.0 \times 10^{11}} = 1.40078 \times 10^{-7}$$

Este valor tan reducido indica una deformación prácticamente despreciable, confirmando que la estructura no sufrirá alteraciones significativas en su geometría ni en su funcionalidad durante la operación.

**Gráfico 22:** *Deformaciones frente a cargas.*



*Nota.* Elaborado por los autores.

En el gráfico 22 se muestra la simulación del comportamiento estructural del sistema cuando se le aplica carga, todo esto dentro del entorno CAD. Lo que se puede ver en la escala de deformación es que el comportamiento es bastante parejo, sin zonas donde haya desplazamientos exagerados o deformaciones que preocupen.

Esto va en línea con lo que ya se había calculado antes por métodos más analíticos, así que ayuda a confirmar que los perfiles usados los tubos de acero estructural fueron una buena elección. Soportan bien las cargas que se esperan durante el funcionamiento del prototipo, sin comprometer la estructura.

### 3.1.6.1.6. Rendimiento del sistema.

La eficiencia térmica del horno

$$\eta = \frac{E_{\text{útil}}}{E_{\text{total}}} * 100$$

$$m = 1.8 \text{ kg polipropileno}$$

$$c = 1.92 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta = 220^\circ\text{C} \Rightarrow E_{\text{útil}} = 1.8 * 1.92 \frac{\text{KJ}}{\text{KG}} * 220^\circ$$

$$E_{\text{útil}} \Rightarrow 760.32 \text{ kJ}$$

$$E_{\text{total}} = 2200 \text{ W} * 1500 \text{ S} \Rightarrow 330000 \text{ J} = 3300 \text{ KJ}$$

$$\eta = \frac{760.32}{3300 \text{ KJ}} * 100$$

$$\eta = 20.4\%$$

El rendimiento del sistema es del 20,4 % actualmente por el tiempo a realizarse hacer un panel diario

### 3.1.6.1.7. Fiabilidad y eficiencia operativa.

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

$$\lambda = \text{fallos en pruebas}$$

$$t = 20 \text{ horas}$$

$$R(20) = e^{-0.001*20} \Rightarrow 0.9802$$

$$0.9802 * 100\% = 98.02\%$$

Para la producción de paneles plásticos tiene una probabilidad del 98.02 % sin operar sin fallos en las 20 primeras pruebas.

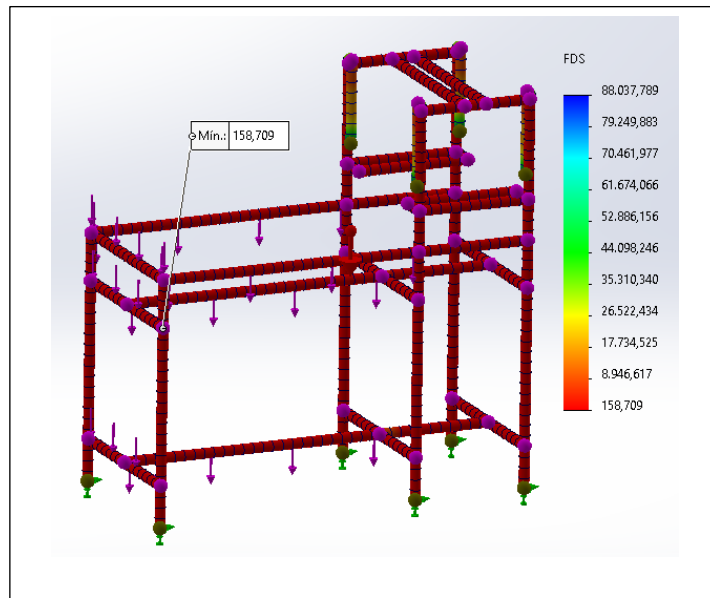
### 3.1.6.1.8. Eficiencia operativa.

La eficiencia operativa se estimula de la producción operativa diaria que se podría realizar tomando en cuenta que en ecuador se trabaja 8 horas diarias y cada panel se tarda en realizar 1 hora.

$$1.8 \frac{kg}{ciclo} * 8 \text{ horas} = \frac{14.4kg}{dia} \Rightarrow 8 \text{ paneles/dia}$$

### 3.1.6.1.9. Factor de seguridad.

Gráfico 23: Factor de seguridad de estructura.



Nota. Elaborado por los autores.

Para garantizar la estabilidad del prototipo automatizado de termocompresión, se realizó un análisis del factor de seguridad (FDS) mediante simulación en SolidWorks, herramienta que permite determinar cuántas veces la estructura soporta la carga antes de fallar. Según los resultados, el FDS mínimo alcanzado fue de 158,7 (gráfico 23), lo que refleja una capacidad de resistencia extremadamente alta frente a las exigencias mecánicas del proceso.

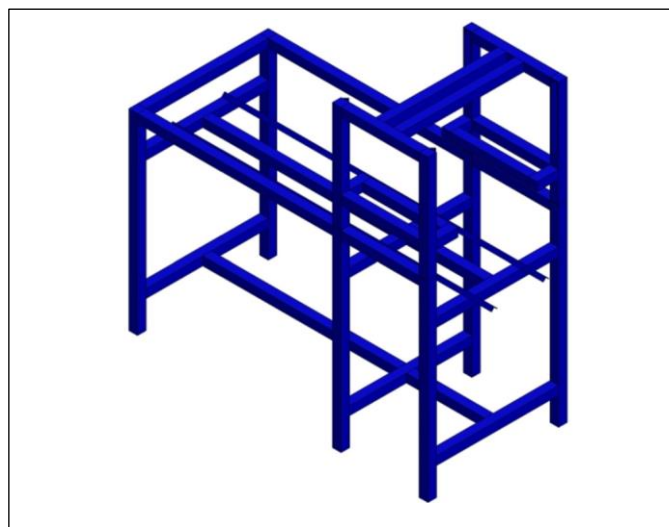
Este elevado margen de seguridad indica que el diseño estructural del prototipo operará de forma confiable incluso ante variaciones imprevistas en la carga o condiciones de uso. Así, se asegura la integridad del sistema, se minimizan los riesgos de fallos durante la fabricación de paneles plásticos reciclados y se favorece la durabilidad del equipo.

### **3.1.7. Procedimiento de construcción y montaje en base al rediseño.**

La fabricación del prototipo automatizado de termo compresión para paneles plásticos reciclados incluyó desde la construcción de la estructura base hasta la instalación de los sistemas eléctricos, térmicos y de control. Todo el proceso se ejecutó siguiendo planos técnicos elaborados en SolidWorks, cuidando la precisión en cortes, soldaduras y ensamblajes, utilizando herramientas comunes como esmeriles, taladros, inversores de soldadura y equipos de medición, además de pruebas previas para asegurar la correcta alineación y funcionalidad de las piezas móviles.

#### **3.1.7.1.1. Construcción de la estructura base.**

**Gráfico 24:** *Diseño de estructura en SolidWorks.*



*Nota: Elaborado por los autores.*

**Tabla 23:**

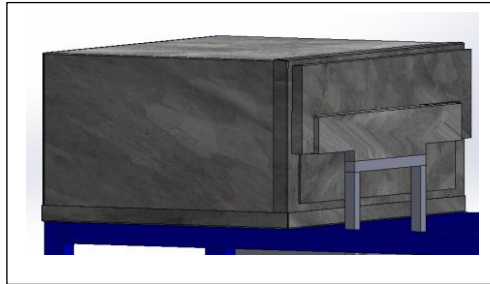
*Elaboración de estructura base.*

<b>Estructura base</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Ilustración gráfica</b>
<p>1. Medición del material estructural:</p> <p>Se realiza el trazado y la medición del tubo cuadrado de 40x40x1.5 mm, correspondiente a las columnas principales (110 cm), vigas base (87 cm), refuerzos transversales, subestructura elevada (88 cm) y soportes para el sistema de guías. Se utilizan flexómetro, escuadra, marcador y lápiz como herramientas básicas de medición.</p>	
<p>2. Corte del material:</p> <p>Con ayuda de un esmeril angular equipada con disco de corte, se procede a realizar los cortes según las medidas señaladas. Los extremos son achaflanados a 45° para permitir una mejor unión durante la soldadura. Se aplican normas de seguridad como uso de guantes, careta, gafas y mandil.</p>	
<p>3. Pulido de superficies:</p> <p>Una vez realizados los cortes, se eliminan las rebabas y filos generados con el mismo esmeril, utilizando un disco de desbaste o pulido. Este paso asegura un buen contacto entre superficies y reduce el riesgo de accidentes por bordes filosos.</p>	
<p>4. Alineación de estructura y nivelación:</p> <p>Se monta la estructura base sobre una superficie plana, organizando las vigas y columnas según el diseño. Se emplean escuadra, nivel y prensa angular para verificar perpendicularidad y correcta disposición de la subestructura donde se apoyará el sistema de transporte.</p>	
<p>5. Soldadura de uniones estructurales:</p> <p>Con la estructura alineada, se procede a soldar los puntos críticos usando una soldadora con electrodo revestido. Se refuerzan especialmente las zonas donde se instalará la gata invertida y las guías del sistema móvil.</p>	
<p>6. Montaje de bases para componentes eléctricos y mecánicos:</p> <p>Se fijan planchas metálicas o escuadras soldadas en las zonas designadas para la instalación del tablero de control, motores paso a paso, fuente de 12 V y terminales.</p>	
<p>7. Protección anticorrosiva y pintura:</p> <p>Finalmente, se limpia toda la estructura con thinner y se aplica imprimante anticorrosivo seguido de dos capas de pintura industrial de acabado mate. Esto garantiza durabilidad frente al ambiente y al calor residual del horno.</p>	

*Nota.* Elaborado por los autores.

### 3.1.7.1.2. Fabricación del horno resistivo.





Gráfico 25: Diseño de horno en SolidWorks.



Nota. Elaborado por los autores.

Tabla 24:

Elaboración de horno.

Estructura base	
Descripción	Ilustración gráfica
<p>1. Medición y corte del material:</p> <p>Se inicia con la medición de las planchas de acero negro de 3 mm destinadas a conformar las paredes internas del horno, y acero galvanizado de 1.2 mm para el recubrimiento exterior. También se cortan los refuerzos metálicos para el bastidor. Se utilizan herramientas de trazado como flexómetro, escuadra, marcador industrial y esmeril angular.</p>	
<p>2. Ensamble del cuerpo del horno:</p> <p>Las placas internas se ensamblan en forma de caja rectangular utilizando soldadura con electrodo revestido. A diferencia del diseño anterior, se omite el soporte interior para el molde, ya que este ahora descansa directamente sobre el carrito móvil que se introduce al horno.</p>	
<p>3. Aislamiento térmico:</p> <p>Entre las paredes interna y externa del horno se coloca lana mineral de 25 mm, resistente hasta 600 °C, para reducir la pérdida de calor y proteger los componentes exteriores. El aislamiento se asegura con cinta de aluminio para evitar su desplazamiento durante el uso.</p>	
<p>4. Fabricación y montaje:</p> <p>Una de las modificaciones más importantes en la estructura del horno fue el rediseño de la puerta. Se hizo más compacta y se fabricó con acero galvanizado de 1.5 mm.</p>	

5. Integración de sensores:

Para evitar que las resistencias trabajen de más o se esfuerce innecesariamente, se colocaron sensores térmicos en el interior. Funcionan como controlado de temperatura, y están conectados al sistema de control automatizado. Gracias a esto, se puede definir electrónicamente cuándo debe calentarse y cuando debe enfriarse, sin depender del cálculo manual o del tiempo.



6. Instalación de controlado térmico:

Continuado con el sistema de calentamiento, se reinstalo y configuro un controlado PID, con el fin de que la temperatura interna del horno pueda ser monitoreado en todo momento y que también es manejado por el PLC.



7. Verificación funcional del conjunto:

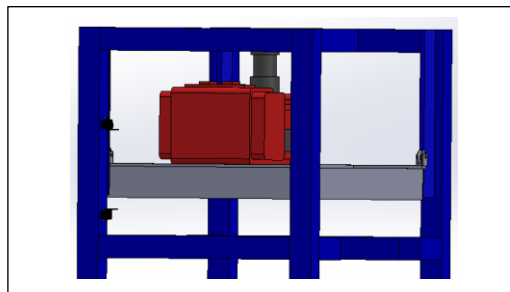
Con el horno ensamblado, se verifica el desplazamiento del carrito móvil al interior del horno, asegurando que este encaje correctamente como base de soporte del molde. Se realiza también una prueba de prendido y apagado, monitoreo de temperatura y aislamiento térmico general.



*Nota.* Elaborado por los autores.

**3.1.7.1.3. Construcción de la prensa electrohidráulica automatizada.**


**Gráfico 26:** *Diseño de prensa automatizada en SolidWorks.*



*Nota.* Elaborado por los autores.

**Tabla 25:**

*Elaboración de prensa electrohidráulica.*

Estructura base	
Descripción	Ilustración gráfica
<p>1. Montaje de columnas verticales:</p> <p>Se emplean tubos estructurales de acero de 40x40 mm y 2 mm de espesor para las cuatro columnas que conforman el marco vertical de la prensa. Se cortan, alinean y sueldan a la base y a un marco superior reforzado,</p>	

---

garantizando una estructura rígida capaz de soportar la carga vertical generada por la gata hidráulica.

2. Ensamblaje del molde móvil con sistema de desplazamiento:

El molde móvil se montó sobre una plataforma metálica que tiene cuatro rodamientos, uno en cada esquina. Estos permiten que se desplace hacia arriba y hacia abajo con suavidad, ya que corren dentro de unas guías hechas con ángulos metálicos en forma de canal, algo así como un riel improvisado, pero bastante funcional. Esta solución reemplaza los antiguos ejes guía, que generaban mucha fricción, y la verdad es que el cambio se nota bastante en lo fluido que va ahora el movimiento del molde.



3. Instalación de la gata electrohidráulica invertida:

La gata hidráulica, que tiene una capacidad de 5 toneladas, se colocó en la parte superior de la prensa. Se hizo así para dejar libre la parte inferior y permitir que el carrito móvil pueda entrar sin estorbo. Es una configuración un poco distinta a la convencional, pero mucho más práctica para el tipo de automatización que se buscaba en este prototipo.



4. Colocación de resortes de retorno y absorción:

Para evitar que el peso de la gata descargue directamente sobre el sistema móvil, se añaden cuatro resortes entre la base del molde y el bastidor superior. Estos cumplen una doble función: absorben el impacto al liberar presión y ayudan al retorno automático del molde una vez que la prensa finaliza el ciclo.



5. Implementación de sensores de posición:

Se colocaron sensores capacitivos tipo final de carrera en la parte superior e inferior del recorrido de la prensa. Sirven básicamente para marcar hasta dónde puede moverse la gata sin pasarse de los límites. Cuando el sistema detecta que ya llegó al tope ya sea arriba o abajo se detiene solo. Esto es clave para evitar que el mecanismo sufra daños por sobrepresión o por extenderse más de lo necesario.



6. Automatización del ciclo de prensado:

La gata hidráulica ahora se controla directamente desde el PLC Siemens S7-1200, usando un relé industrial de 12 V. Con eso se pudo automatizar todo el ciclo de prensado, haciendo que se cumpla tanto el tiempo como la fuerza que se hayan programado. Desde la HMI, el operador puede ver en pantalla cómo va el ciclo, cuánto falta y, si hace falta, ajustar los valores de forma sencilla, sin complicarse con códigos ni nada raro.



---

7. Verificación del sistema:

Para probar que todo funciona, se hizo un ensayo usando un molde simulado. Se midió si el desplazamiento era preciso, cuánta fuerza generaba la gata, y si los sensores respondían como se esperaba. También se revisó que la prensa pudiera volver a su posición inicial sin problemas, gracias al apoyo de los resortes que se instalaron para el retorno. Lo bueno es que no se detectaron deformaciones ni fallas estructurales, así que se puede decir que el sistema respondió bastante bien en esta etapa.

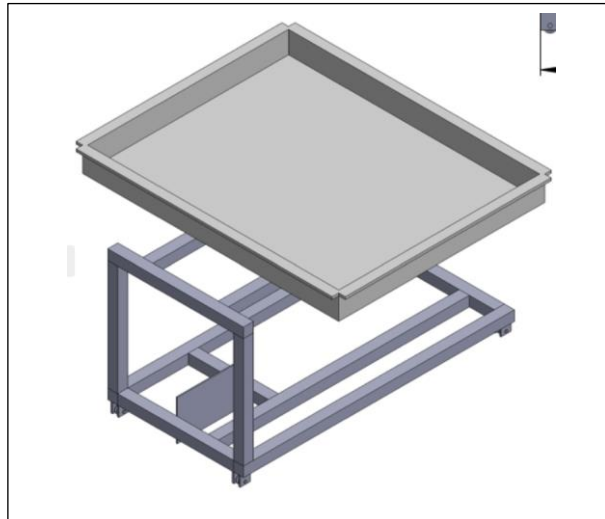


---

*Nota.* Elaborado por los autores.

### 3.1.7.1.4. Montaje del sistema de transporte tipo carro móvil.

**Gráfico 27:** *Diseño de sistema de transporte en SolidWorks.*



*Nota.* Elaborado por los autores.

**Tabla 26:**

*Elaboración de carro móvil.*

---

Estructura base	
Descripción	Ilustración gráfica
<p>1. Ensamblaje de la estructura soporte del carro:</p> <p>Se construye una base metálica elevada, fabricada con perfiles de acero de 40x40 mm, sobre la cual se fijan dos ángulos enfrentados a modo de riel. Esta estructura permite el recorrido horizontal del carro móvil por medio de rodachines instalados en la parte inferior del mismo.</p>	
<p>2. Fabricación del carro de transporte:</p> <p>El carro se construye en forma de U horizontal, con una plataforma superior donde se apoya el molde. Su estructura está hecha de acero de 2 mm de espesor, reforzada para soportar el peso del molde sin deformaciones. En su</p>	

---

---

parte inferior se colocan 4 rodachines metálicos de alta resistencia que encajan dentro de los rieles-guía.

### 3. Integración del sistema motorizado de desplazamiento:

Para mover el carrito, se usó un motor paso a paso NEMA 23 que hace girar un piñón de bicicleta, el cual engrana con una cadena fija colocada en la estructura. Es algo parecido a una cremallera, pero más simple y mucho más económico. Esta solución permitió lograr un desplazamiento bastante preciso sin tener que recurrir a cremalleras comerciales, que además de ser caras, a veces complican el montaje.



### 4. Instalación del sistema de desacoplamiento por resorte:

Uno de los problemas que se quería evitar era que el peso del molde, durante el prensado, terminara dañando los rodamientos del carrito. Para eso se pusieron cuatro resortes entre la plataforma del molde y el carro. Cuando la gata baja y aplica presión, esos resortes se comprimen y redirigen la carga directamente hacia la estructura base, no hacia las ruedas. Es decir, funcionan como una especie de “colchón” que protege el sistema de desplazamiento.



### 5. Montaje de sensores de posición:

En cada extremo del recorrido del carro se instalaron sensores inductivos que funcionan como finales de carrera. Gracias a estos, el PLC puede saber exactamente cuándo el carrito llegó al tope, y así puede detenerlo o hacer que se devuelva sin errores. Esto hace que el sistema sea más seguro y que el movimiento del carro esté siempre bien controlado, sin depender solo del tiempo o de la programación.



### 6. Automatización del desplazamiento:

Todo el sistema de transporte está conectado al circuito de control y se maneja desde un PLC Siemens S7-1200. Para controlar el motor NEMA 23 se utilizó un driver TB6600, que en general es bastante confiable y fácil de ajustar. La idea era lograr un movimiento fluido, sin tirones, y que estuviera bien sincronizado con el resto de las etapas del ciclo automático de la máquina. Y la verdad, funcionó bastante bien.



### 7. Verificación del sistema en vacío y con carga:

Para probar cómo se comportaba el sistema, se hicieron pruebas tanto con el carro vacío como con el molde colocado en su posición normal de trabajo. Se revisó si el piñón engranaba correctamente con la cadena, si los sensores respondían como se esperaba y también si los rieles aguantaban bien la carga sin doblarse ni generar resistencia extra.

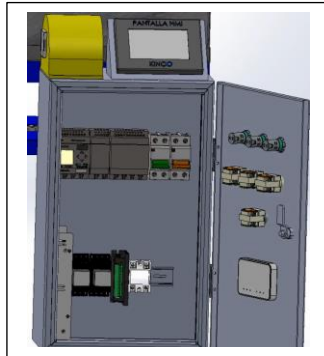


---

*Nota.* Elaborado por los autores.

### 3.1.7.1.5. Instalación del sistema de control eléctrico y automatización.

**Gráfico 28:** *Diseño de sistema automatizado en SolidWorks.*



*Nota.* Elaborado por los autores.

**Tabla 27:**

*Elaboración de tablero eléctrico.*

<b>Estructura base</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Ilustración gráfica</b>
<p>1. Diseño y construcción del tablero de control:</p> <p>Se ensambla una caja metálica para alojar los componentes de control. En su interior se instalan: un PLC Siemens S7-1200, un HMI táctil Kinco de 4.3”, un driver TB6600 para el motor paso a paso, un relé industrial de 12 V para el control de la gata electrohidráulica, una fuente de alimentación de 12 V/50 A y borneras de distribución. Se realizan perforaciones para ventilación y se etiquetan los terminales para facilitar el mantenimiento.</p>	
<p>2. Cableado de potencia y señales:</p> <p>Se conectan los elementos de potencia como resistencias calefactoras, gata electrohidráulica y motor del sistema de transporte, utilizando cables adecuados según normativa. Se identifican líneas de alimentación de 220 V AC, señales de 24 V DC para el PLC y de 12 V DC para los periféricos de bajo voltaje. Se emplean canaletas internas para organizar el cableado y evitar interferencias.</p>	
<p>3. Integración de sensores y elementos de campo:</p> <p>Se conectaron varios sensores, tanto inductivos como capacitivos, para funcionar como finales de carrera en la gata y el carro móvil. También se integró una termocupla PT100 que se encarga de monitorear la temperatura del horno. Todos estos sensores van directos al PLC, usando entradas digitales y</p>	

---

analógicas. Para protegerlos, se colocaron fusibles rápidos que evitan daños si hay alguna sobrecarga o cortocircuito inesperado.

4. Configuración del sistema de visualización HMI:

La pantalla HMI Kinco fue programada para mostrar lo esencial en tiempo real: temperatura actual, si el horno está encendido o no, en qué posición está el carro, en qué parte del ciclo está la prensa, y cualquier alerta de seguridad. También se añadieron botones virtuales para arrancar o parar el sistema, configurar tiempos y revisar fallas. Todo desde una interfaz que es bastante intuitiva.



5. Comunicación inalámbrica local:

Se incluyó un router Wi-Fi que está configurado para funcionar de forma local, sin necesidad de internet. Esto permite que el sistema se pueda monitorear o incluso controlar desde un celular o una laptop dentro del laboratorio. Es útil cuando uno quiere revisar algo sin estar pegado al tablero.



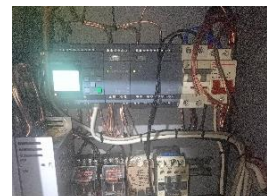
6. Instalación de elementos de mando y señalización:

En la parte frontal del tablero se instalaron los botones físicos: uno de encendido/apagado, otro de paro de emergencia y una luz piloto que muestra si el sistema está activo o no. También se dejó un botón extra con una función programable por si más adelante se quiere añadir algo específico.



7. Pruebas de funcionalidad y seguridad:

Antes de dar por finalizada la instalación, se hizo una prueba general de todo el sistema automatizado. Se revisó si los sensores respondían bien, si el carro se movía sin trabas, si la gata funcionaba correctamente, y si el sistema leía bien la temperatura desde la HMI. También se simulaban fallas, como cortes o sobrecargas, para verificar que el botón de emergencia funcione como debe y que la desconexión automática se active sin problemas.



---

*Nota.* Elaborado por los autores.

### 3.1.7.1.6. Ensamble general del prototipo.

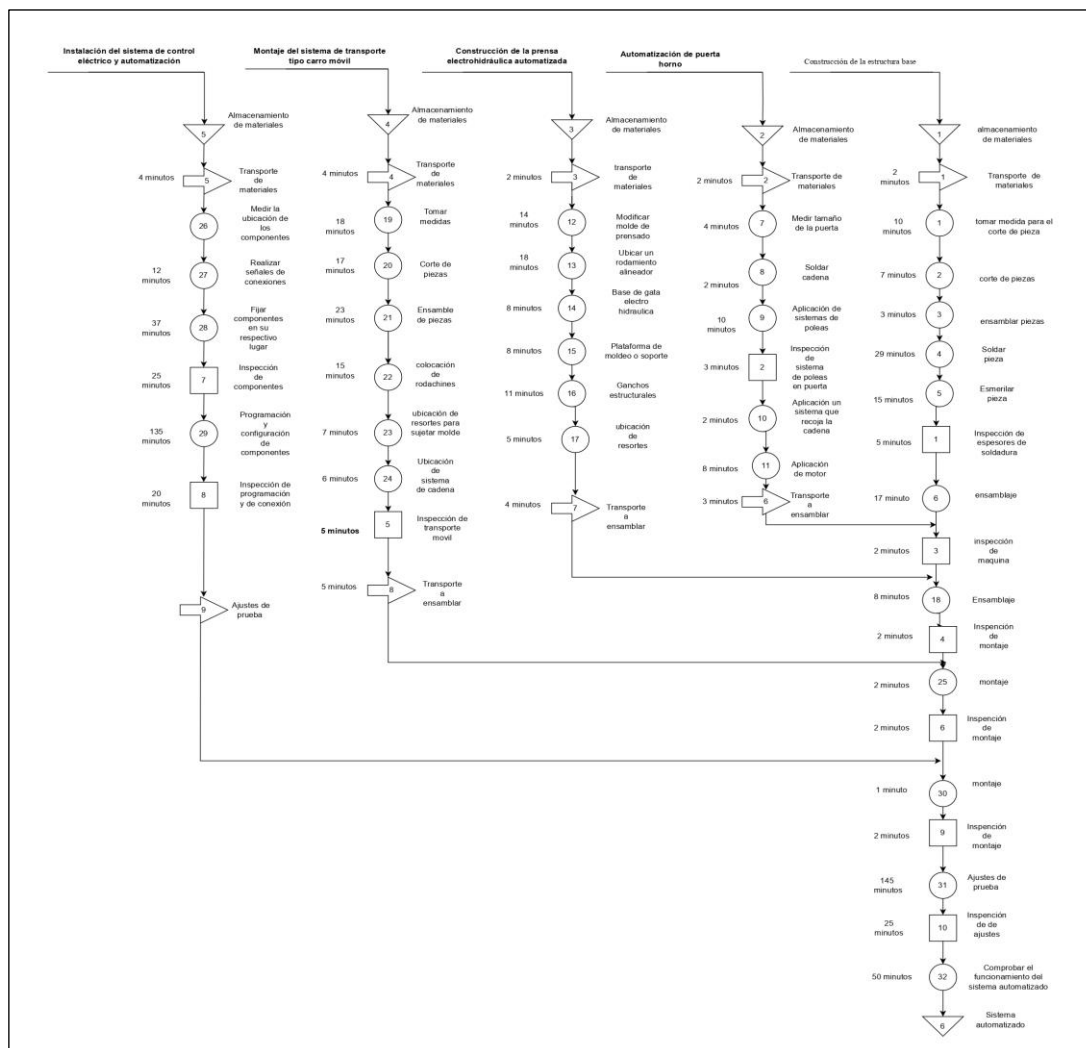
El diagrama de flujo que se presenta organiza, paso a paso, todo el proceso de construcción e integración del sistema automatizado para termocompresión. Desde la parte más estructural hasta que todo quedó funcionando como un solo sistema. El esquema se divide en cinco líneas de trabajo que se hicieron casi en paralelo: una fue la construcción de la estructura base, otra el sistema automático para abrir y cerrar la puerta

del horno también está la fabricación de la prensa electrohidráulica, el ensamblaje del carro móvil para transportar el molde, y, por último, la instalación de todo el sistema eléctrico y de control.

Cada una de estas partes incluyó tareas concretas: cortar y soldar perfiles, montar sensores, alinear las piezas mecánicas y programar tanto el PLC Siemens S7-1200 como la pantalla HMI. Fue un trabajo que requirió coordinar varias cosas a la vez, y, claro, resolver detalles sobre la marcha.

Al final, todas estas líneas se unieron en una última etapa de prueba y ajuste, donde se verificó que horno, prensa, transporte y panel de control trabajaran en conjunto, sin errores. Tener el flujo bien definido ayudó bastante a mantener el orden, evitar atrasos y corregir cosas a tiempo. También sirvió para asegurarse de que el prototipo cumpliera con los requisitos técnicos que se habían planteado desde el inicio.

**Gráfico 29:** Diagrama de flujo de fabricación de la máquina.



*Nota.* Elaborado por los autores.

### 3.1.7.1.7. Manual funcionamiento de maquinaria.

El funcionamiento de la máquina de termocompresión automatizado que nos permite transformar plástico reciclado en paneles mediante un proceso controlado de programación de acuerdo con los procesos detallados de la maquina los cuales son: prendido del horno, función del carrito móvil, prensado, enfriamiento del producto final etc.

**Tabla 28:**

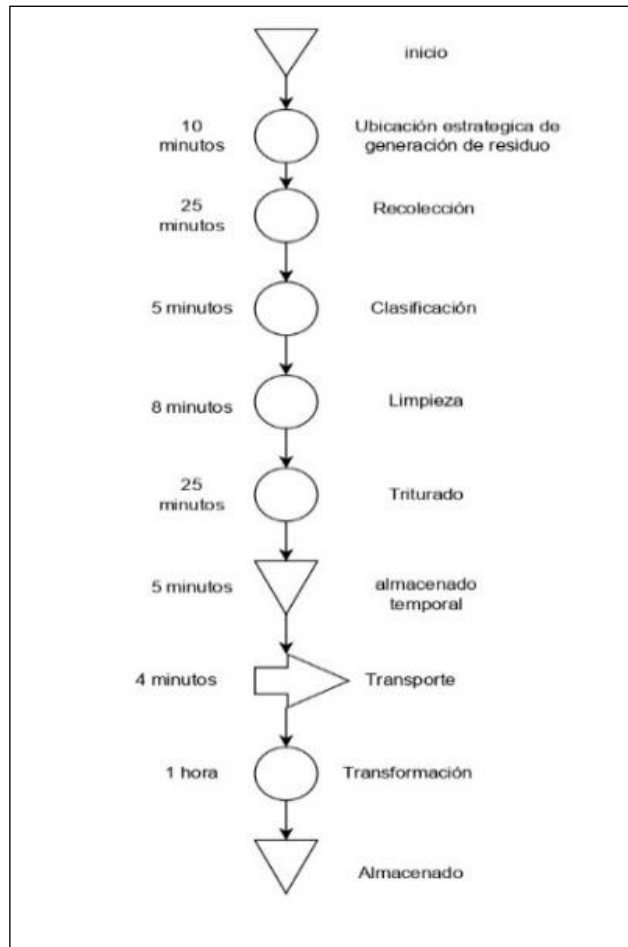
*Manual de funcionamiento.*

Etapa	Descripción de actividad
1.- Preparación de maquinaria.	1.1.-Se verifica que la maquina este correctamente conectada a la fuente de 220 V. 1.2.- Se integra la programación al PLC de manera que se maneje de acuerdo con la programación dada. 1.3.- Ingreso de la HMI y se selecciona el modo de operación que es automático.
2.- Calentamiento del horno.	1.4.-Se coloca el material plástico triturado en la bandeja. 2.1.- El PLC activa las resistencias del horno. 2.2.-El sensor de temperatura mide en tiempo preciso o real en la cámara del horno. 2.3.- El sistema detiene el calentamiento al alcanzar la temperatura establecida que en este caso es de 220°.
3.- transporte del material al prensado.	3.1.- Una vez fundido el plástico, el sistema activa el transporte movido por el motor Nema 23 hacia la prensa mediante una vía motorizada.
4.-Proceso de prensado.	4.1.-El PLC con su programación activa la prensa automáticamente mediante el tiempo que tenga en su programación. 4.2.- Se aplica la presión necesaria para compactar y dar forma al material. 4.3.-Se retira la prensa después de aplicar el prensado.
5.- Enfriamiento y extracción del panel plástico.	5.1.- Se espera un tiempo adecuado para su enfriamiento del producto. 5.2.- La bandeja retorna adecuadamente en la posición inicial para el retiro del producto.

*Nota.* Elaborado por los autores.

### 3.1.7.1.8. Recolección de desechos.

Gráfico 30: Diagrama de flujo de recolección de desechos.



Nota. Elaborado por los autores.

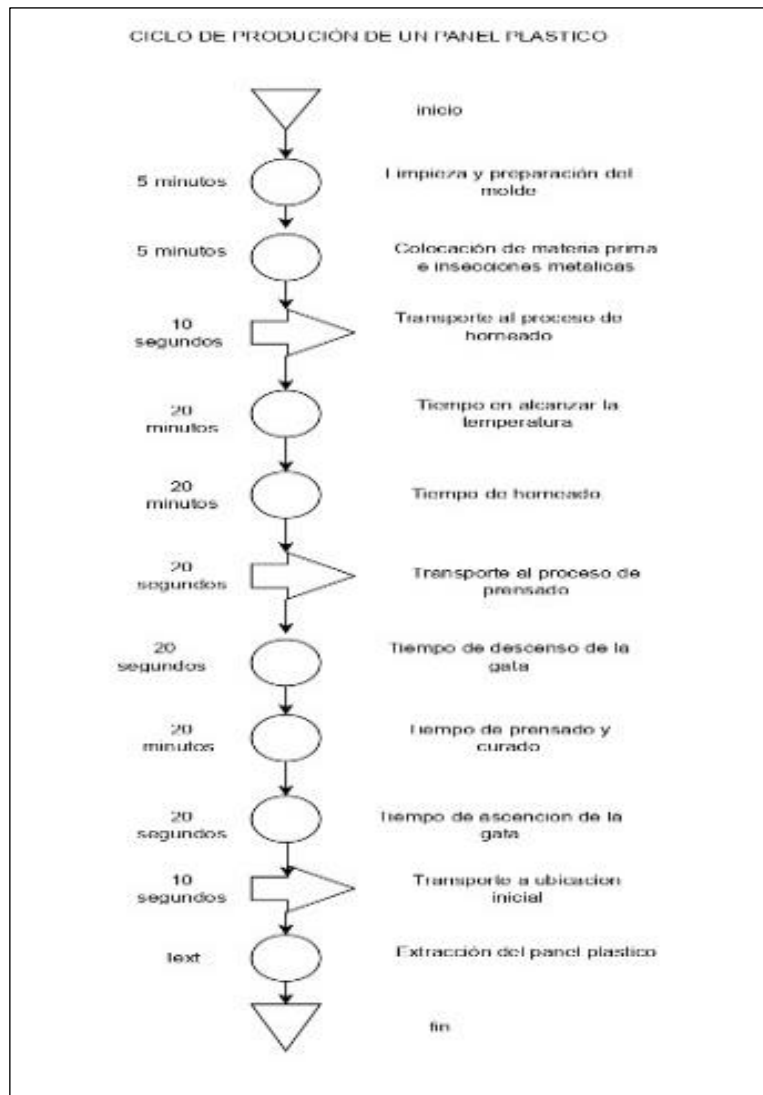
El diagrama de flujo ayuda a entender, paso por paso, qué pasa con un residuo plástico desde que aparece hasta que termina convertido en un producto útil. Todo arranca con ubicar el residuo, es decir, saber dónde está o de dónde se genera. Después viene la recolección, la parte de clasificar y limpiar el material, lo cual es súper importante para que no arrastre impurezas al proceso.

Una vez limpio, el plástico se tritura y se guarda por un tiempo antes de ser llevado al área donde se transforma. Esa transformación en este caso toma más o menos una hora. Al final, el producto ya procesado se almacena para su uso o distribución.

### 3.1.7.1.9. Ciclos de moldeo.

El ciclo de moldeo es el conjunto de las etapas secuenciales que se repiten durante un sistema de producción donde se puede implementar un producto, cada fase influye directamente en la calidad, seguridad y el tiempo de producción.

**Gráfico 31:** Diagrama de flujo de producción de paneles.



*Nota.* Elaborado por los autores.

Este diagrama de flujo (gráfico 31), muestra paso a paso, cómo se fabrica un panel plástico reciclado desde cero. Empieza con la limpieza del molde y la preparación, algo básico porque si el molde no está bien, el panel tampoco va a salir bien. Luego se carga la materia prima, que normalmente es plástico triturado, y si el diseño lo necesita, también se colocan algunas piezas metálicas dentro del molde.

Después de eso, el molde se traslada al horno. Primero hay que esperar a que llegue a la temperatura adecuada y una vez que se estabiliza, se deja calentando por unos 20 minutos para que el plástico se funda bien. Cuando ya está listo, el molde pasa a la prensa. Ahí se realiza el prensado y también el curado, que dura otros 20 minutos más o menos.

Una vez cumplido ese tiempo, la gata hidráulica se eleva, el molde vuelve a su posición inicial, y se saca el panel. Todo está bastante cronometrado, no solo para tener el control del proceso, sino también para ver si se puede ajustar algo y hacerlo más rápido sin perder calidad. Esto facilita mucho la automatización, porque al tener tiempos definidos es más fácil programar el ciclo completo en el PLC.

### **3.1.8. Interacción de usuario.**

- La pantalla HMI maneja de acuerdo con su programación una navegación intuitiva que su uso no debería someterse a ningún operario que la maneje.
- Tiene un rígido de control de temperatura y control y tiempo para no afectar claramente el usuario que la maneje.
- Reducción de errores humanos al 0 % de acuerdo a pruebas realizadas de manera que se logre observar detalladamente que el uso es seguro.

### **3.1.9. Ergonomía y facilidad de uso.**

- La altura de la carga del molde según las medidas es de 90 cm.
- Los controles en la pantalla HMI son muy accesibles sin contacto físico con zonas caliente de maquinaria.
- Tiempo guiado es únicamente por la programación que se realice.

### **3.1.10. Escalabilidad.**

La escalabilidad que se presenta es de manera que se logre manejar mejores stocks de seguridad y con una alta recuperación ya que la materia prima trata de plástico triturado su adquisición es muy barata, lo que lo hace rentable y es posible recuperar lo invertido en poco tiempo.

**Tabla 29:**

*Producción actual 1.*

Parámetros	Valor actual
Paneles por ciclo.	1 panel.
Peso por panel.	1.8 kg.
Tiempo por ciclo.	1 hora.

Paneles por jornada (8 horas).	8 paneles.
Total reciclado por jornada.	14.4 kg.
Consumo por ciclo.	0,96 kwh.
Consumo diario estimado.	7.68 kwh.
Dimensiones del molde.	50x40x1.
Presión aplicada.	Hasta 5 toneladas.
Horno.	2200 w (2 resistencia de 1100 w).

*Nota.* Elaborado por los autores.

➤ **Propuesta para mayor producción de paneles plásticos.**

**Tabla 30:**

*Producción actual 2.*

Parámetros	Valor actual
Paneles por ciclo.	4 paneles plásticos.
Peso por panel.	7.2 kg.
Ciclos por jornada.	6.95 ciclos.
Paneles por jornada (8 horas).	28 paneles.
Total reciclado por jornada.	28*1.8 kg=50.4 kg.
Consumo por ciclo.	3.84 kwh.
Consumo diario estimado.	26.688 kwh.
Dimensiones del molde.	50x40x1.
Prensa.	Rediseño de bastidor para tonelaje.
Horno requerido.	4400 W.
Costos.	Entre 1800\$ a 1900\$.

*Nota.* Elaborado por los autores.

**3.1.11. Características del producto final.**

**Tabla 31:**

*Característica del producto.*

Propiedad	Polipropileno
Resistencia a la compresión.	25-40 MPa.
Resistencia a la flexión .	70-90 MPa.
Resistencia al corte.	30-50 MPa.
Resistencia a la fatiga.	Buenas para cargas modernas.
Dureza.	60-80 Shore.
Elasticidad.	1.2-1.8 GPa.
Plasticidad.	Puede deformarse antes de romperse.
Ductilidad.	Se puede estirar o doblar antes de romperse.

---

Fragilidad.	Se deforma antes de romperse.
Tenacidad.	Absorbe bien la energía antes de fracturarse.

---

*Nota.* Elaborado por los autores.

Las características de nuestro producto lo que hace ideal para aplicaciones con cargas dinámicas o deformaciones en cambio, las cerámicas presentan altísima resistencia mecánica dureza y rigidez, pero son frágil y carecen de ductilidad.

### **3.1.12. Sistema de control automatizado.**

Después de terminar la construcción del prototipo, se trabajó en montar un sistema de control automatizado para dejar de depender de tantas tareas manuales del modelo original. La idea fue mejorar la seguridad, hacer que todo el proceso sea más repetible y también más eficiente. Para eso se usó un PLC Siemens S7-1200, junto con varios sensores, actuadores y dispositivos electrónicos que se comunican entre sí para controlar el proceso completo de termocompresión.

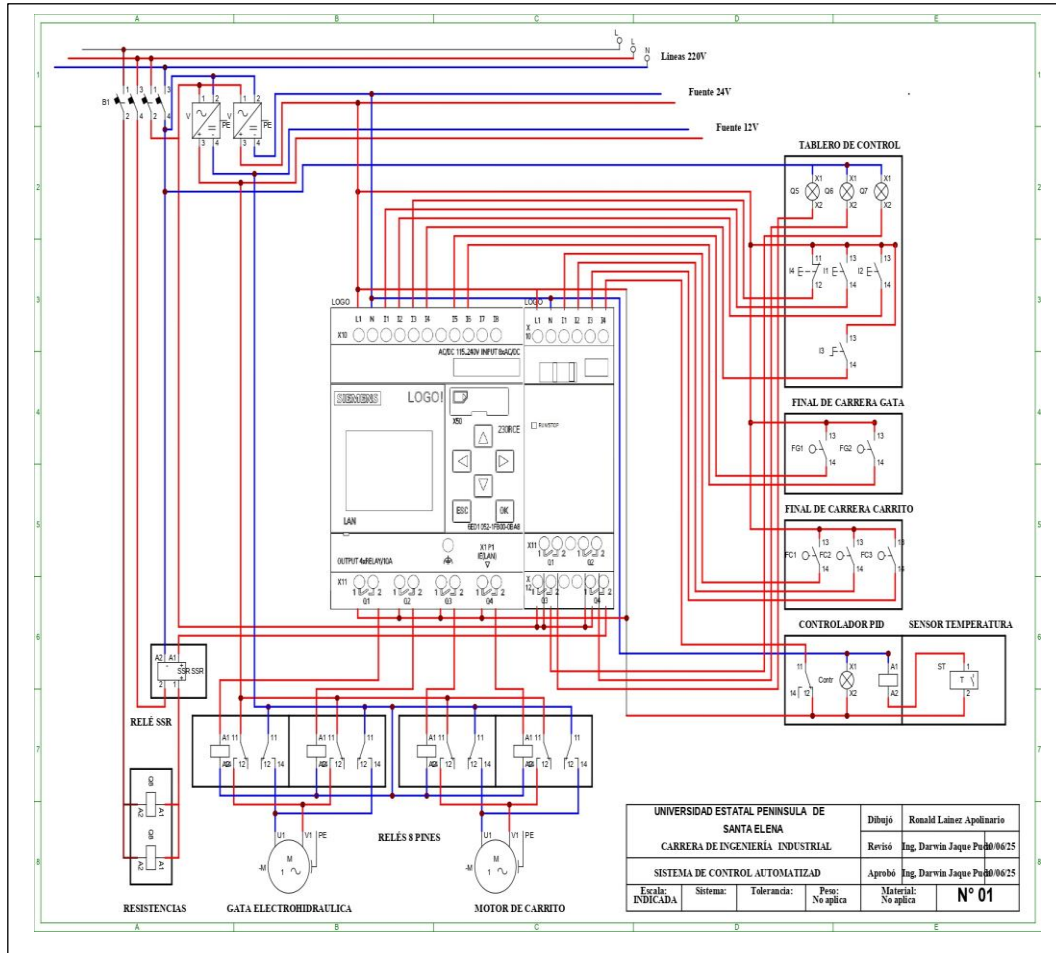
Todo el sistema se organizó en módulos, cada uno encargado de una parte específica. Por ejemplo, el horno se controla con resistencias tubulares de 900 W que están conectadas a un SSR, y para medir la temperatura se colocó una termocupla PT100. El movimiento horizontal del molde lo maneja un motor paso a paso NEMA 23 con su driver TB6600, que va bastante bien para este tipo de aplicación. También se automatizó la temperatura del horno con un controlador PID, que resultó práctico y no tan costoso. La prensa electrohidráulica se acciona por relés, y su posición se controla con sensores para no pasarse de los límites.

En el tablero principal se concentra toda la parte eléctrica, con distribución de 220 V, 24 V y 12 V según lo que necesita cada componente. Desde ahí también se manejan las señales. La pantalla HMI Kinco, que es táctil, permite ver todo lo que pasa en tiempo real: temperaturas, tiempos del prensado, e incluso errores o alertas que puedan surgir. Además, se instaló un router WiFi configurado en red local, para poder monitorear el sistema desde un celular o una laptop dentro del mismo laboratorio, sin necesidad de conectarse a internet.

### 3.1.12.1. Procedimiento de programación, automatización y conexión.

#### 3.1.12.1.1. Diagrama eléctrico en CADe\_SIMU.

Gráfico 32: Diagrama eléctrico del prototipo.



Nota. Elaborado por los autores.

El gráfico 32 presentado en esta sección fueron elaborados en el software CADe\_SIMU, y representan la distribución de potencia y control del sistema automatizado de termo compresión. Se incluyen esquemas eléctricos para el encendido del horno, control del motor paso a paso (carro móvil), activación de la gata electrohidráulica, y gestión de sensores de posición. Estos diagramas permiten visualizar la lógica de conexión entre dispositivos, facilitando el cableado del tablero y la posterior programación del sistema en el PLC.

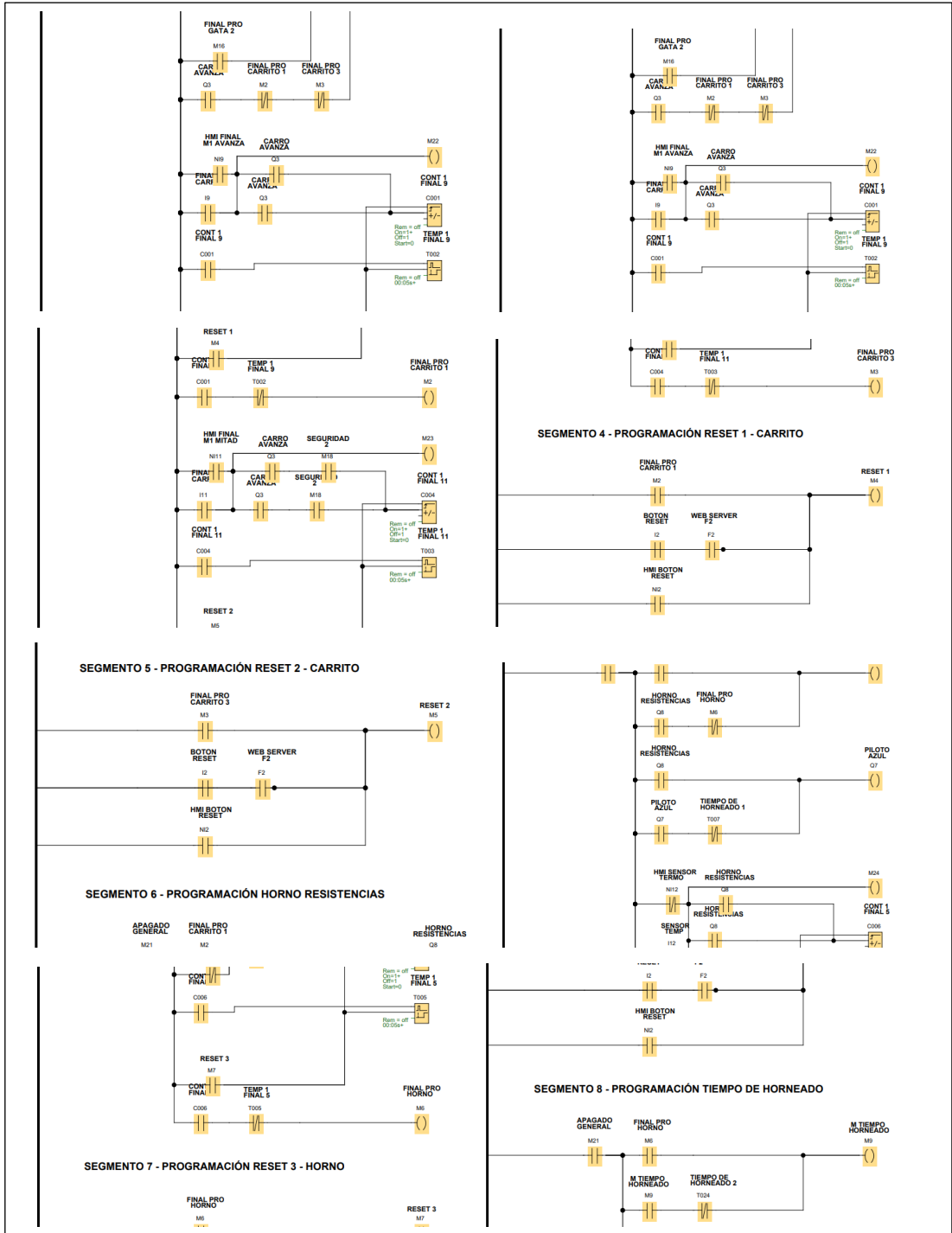
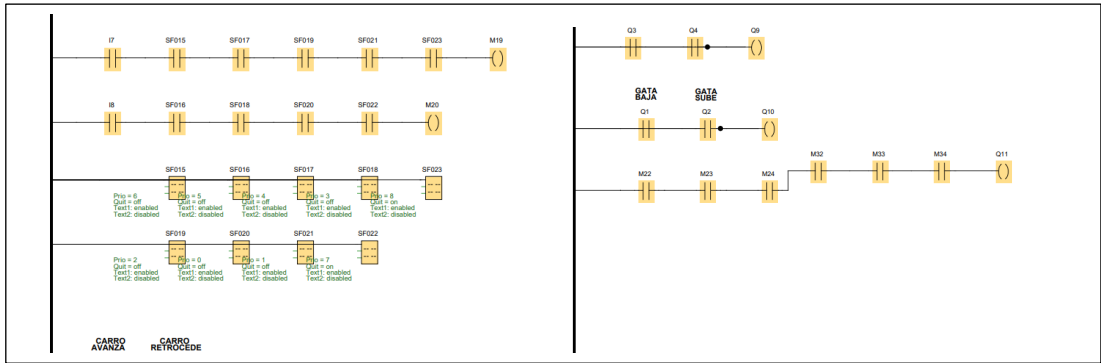
### 3.1.12.1.2. Programación en LOGO Soft Comfort.

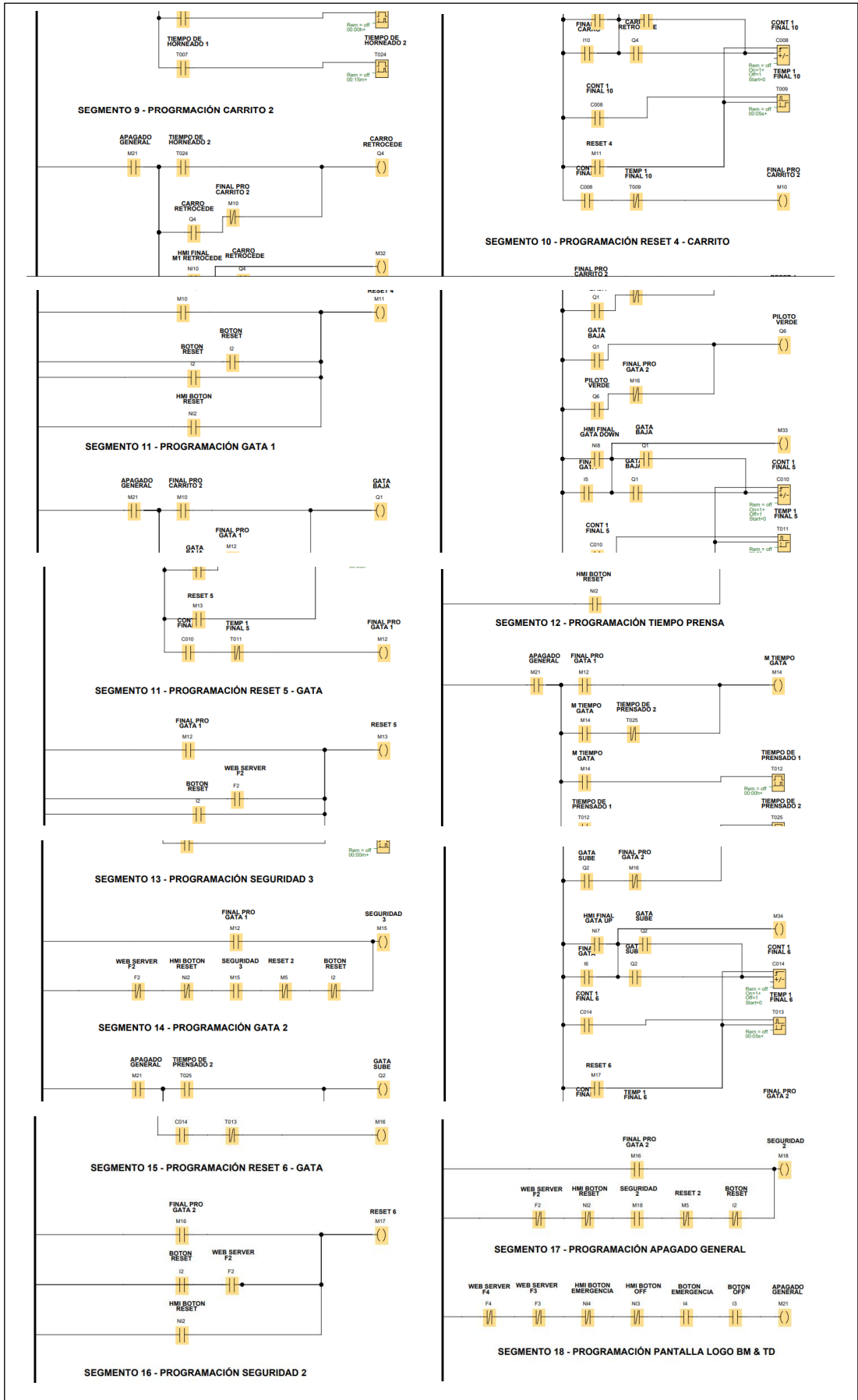
En los gráficos que se incluyen se pueden ver los bloques de programación que se armaron usando el software LOGO Soft Comfort de Siemens. Básicamente, estos bloques ayudaron a simular cómo funcionaría la lógica de control del sistema antes de pasarlo todo al PLC real. Se programaron cosas como el encendido automático del horno, los tiempos de espera entre etapas, la detección de los sensores de posición y el control de la gata hidráulica, todo con lógica simple, pero funcional.

Esta etapa fue clave porque permitió probar si la secuencia tenía sentido o si algo iba a fallar antes de ir al montaje real. Es como hacer un borrador, pero en digital. Una vez que todo funcionó bien en la simulación, se usó esa misma lógica como base para programar el sistema definitivo con TIA Portal y el PLC Siemens S7-1200. Eso ayudó bastante a ahorrar tiempo, sobre todo porque ya sabíamos qué funcionaba y qué había que ajustar.

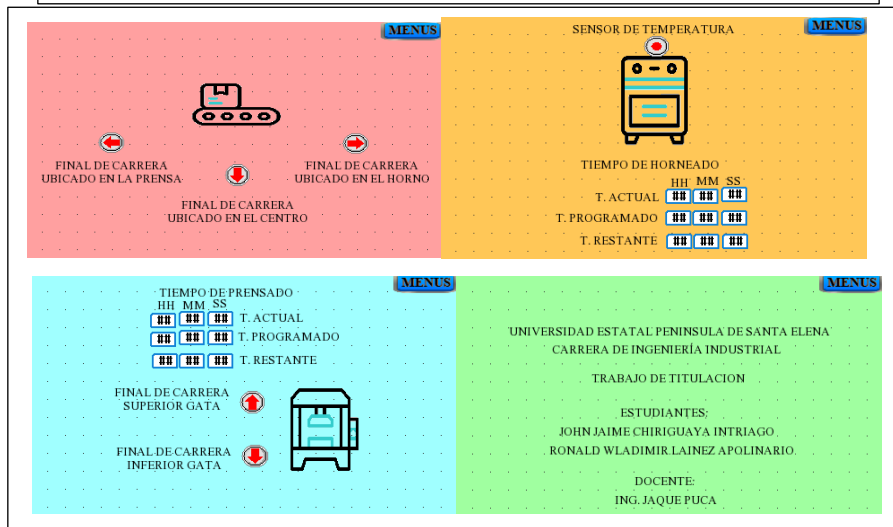
**Gráfico 33:** Diagrama la programación en LOGO SoftComfort P1.

ID	Bloque	Parámetro	Tipo	Dirección
1	T007 [Retardo a la conexión]	Valor actual	Word	110
2	T007 [Retardo a la conexión]	Retardo a la conexión	Word	120
3	T007 [Retardo a la conexión]	Tiempo restante	Word	130
4	T007 [Retardo a la conexión]	Retardo a la conexión Base de tiempo	Byte	140
5	T012 [Retardo a la conexión]	Valor actual	Word	150
6	T012 [Retardo a la conexión]	Retardo a la conexión	Word	160
7	T012 [Retardo a la conexión]	Tiempo restante	Word	170
8	T012 [Retardo a la conexión]	Retardo a la conexión Base de tiempo	Byte	180
9	T024 [Retardo a la conexión]	Valor actual	Word	190
10	T024 [Retardo a la conexión]	Retardo a la conexión	Word	210
11	T024 [Retardo a la conexión]	Tiempo restante	Word	220
12	T024 [Retardo a la conexión]	Retardo a la conexión Base de tiempo	Byte	230
13	T025 [Retardo a la conexión]	Valor actual	Word	240
14	T025 [Retardo a la conexión]	Retardo a la conexión	Word	250
15	T025 [Retardo a la conexión]	Tiempo restante	Word	260
16	T025 [Retardo a la conexión]	Retardo a la conexión Base de tiempo	Byte	270









*Nota.* Elaborado por los autores.

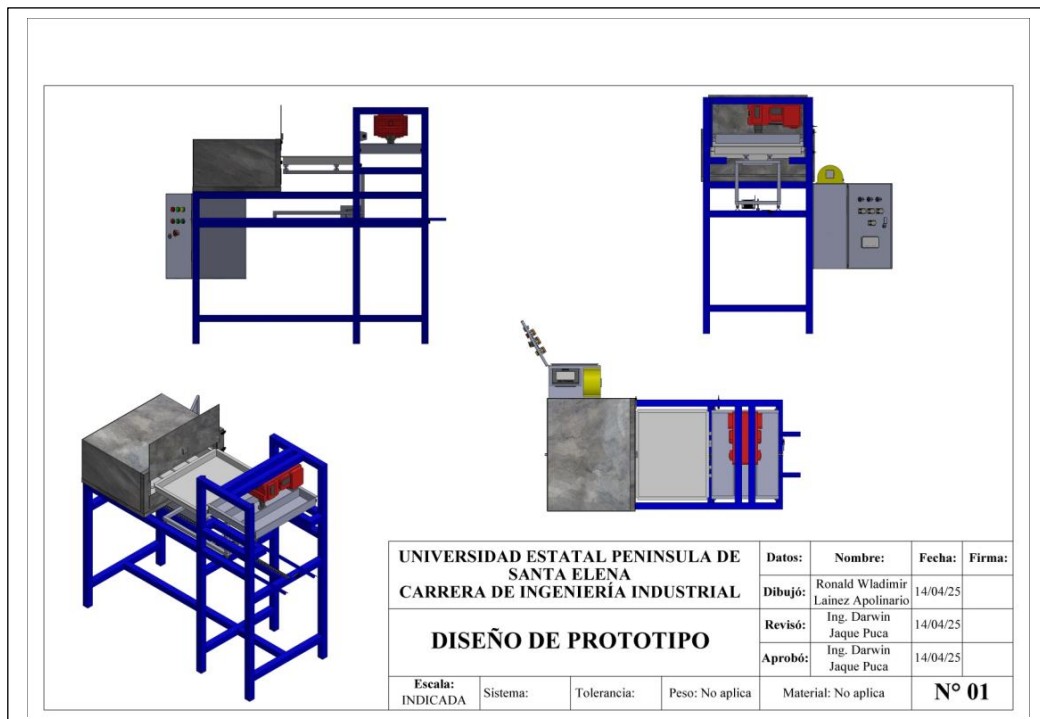
### 3.1.12.1.4. Diseño estructural en SolidWorks.

Los gráficos que se generaron en SolidWorks muestran el modelo en 3D de toda la estructura mecánica del prototipo automatizado. Se incluyó desde la base que sostiene el sistema hasta el horno, la prensa electrohidráulica, el carro móvil que transporta el molde y el montaje completo con todas las partes ensambladas.

Este diseño fue clave porque permitió ver si las dimensiones encajaban bien, dónde iban exactamente los puntos de unión, si había suficiente espacio para pasar los cables, cómo se iba a ventilar el sistema y si los componentes quedaban bien alineados.

Además, el modelo sirvió como punto de partida para hacer los análisis de esfuerzo, ver posibles deformaciones y calcular el factor de seguridad. Es como hacer una prueba general del sistema, pero en digital, antes de meterse a cortar o soldar materiales de verdad.

**Gráfico 35:** *Diseño de prototipo automatizado en SolidWorks.*



*Nota.* Elaborado por los autores.

### 3.1.12.1.5. Programación y configuración en TIA Portal.

Las imágenes que se ven acá corresponden a la programación que se hizo para el PLC Siemens S7-1200 usando el entorno TIA Portal. Lo que se usó fue el lenguaje LADDER, que es bastante visual y permite manejar todo lo necesario: desde las entradas y salidas digitales, hasta los temporizadores y la lógica principal del ciclo automático.

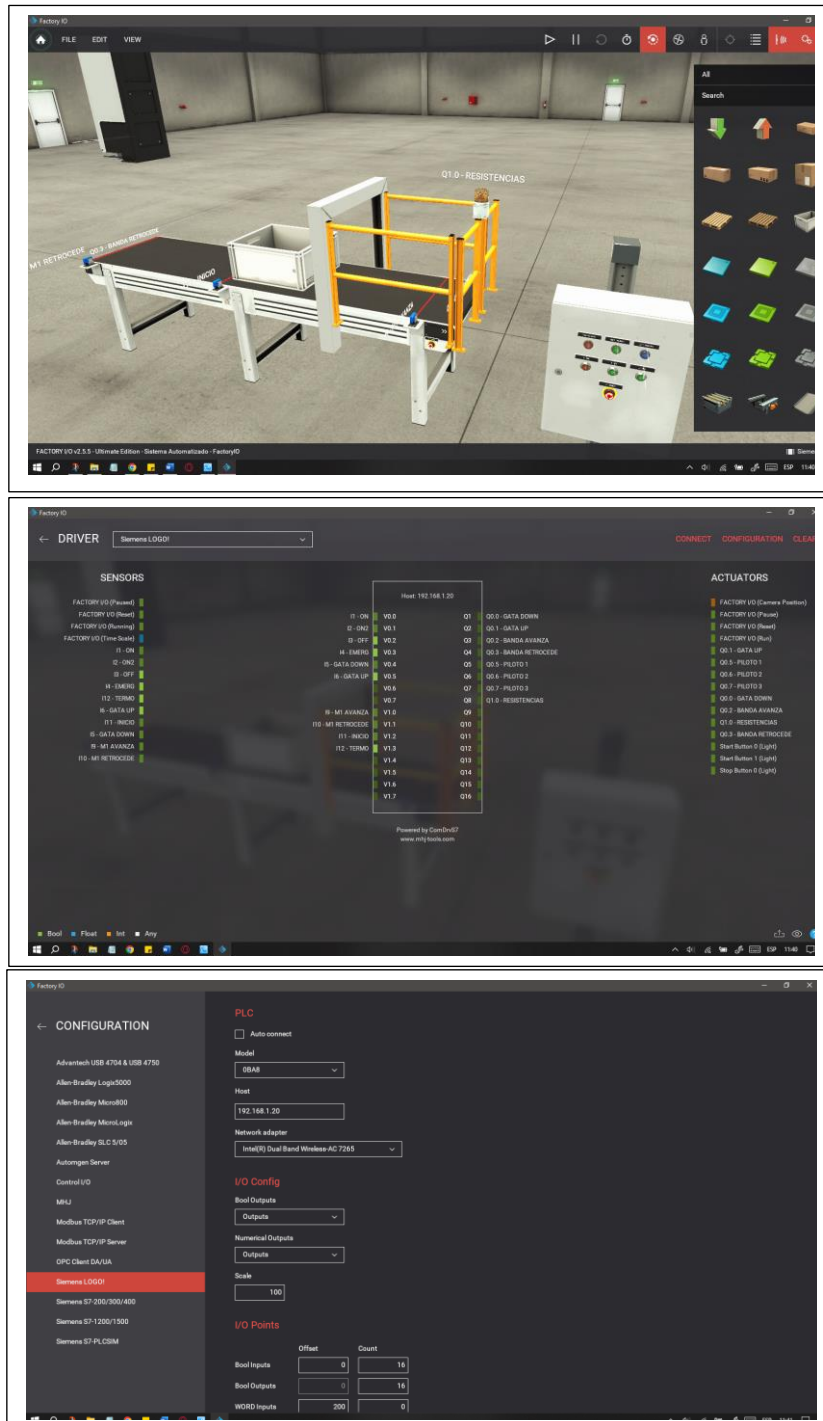
Con este esquema se puede controlar prácticamente todo desde un solo lugar: el motor paso a paso que mueve el carro, la gata hidráulica de la prensa, el horno, los sensores de posición y temperatura, y también la interfaz HMI. Todo eso está conectado a un único “cerebro”, por decirlo así, lo que ayuda a que el sistema trabaje de forma sincronizada y sin necesidad de intervención manual en cada paso.



control y también presentar el proyecto de una forma más visual, con animaciones que ayudan a entender mejor cómo funciona cada parte.

Es como tener una maqueta virtual donde puedes probar el ciclo completo antes de hacerlo en la vida real, algo parecido a lo que se hace en videojuegos de simulación, pero con enfoque industrial.

**Gráfico 37:** Simulación en software Factory IO P1.



*Nota.* Elaborado por los autores.

## Paso 5. Validación final.

### 3.1.13. Validación funcional del sistema automatizado.

Una vez que se terminó de armar el prototipo, lo siguiente fue probar si todo funcionaba como debería. Se hicieron varias pruebas funcionales para ver el comportamiento de cada parte automatizada del sistema: el carro móvil, la temperatura interna del horno, la prensa electrohidráulica y también el monitoreo desde la HMI.

Estas pruebas se hicieron en un entorno bastante controlado, tratando de simular todo el proceso como si ya estuviera en producción. Se midieron cosas como cuánto tardaba el carro en moverse de un punto a otro, si los sensores se activaban bien, si estaban bien sincronizados con el PLC, y también si la interfaz HMI mostraba todo correctamente.

Las pruebas son las siguientes:

**Tabla 32:**

*Resultado de las pruebas del sistema de transporte.*

Prueba	Punto A – B (Horno)	Punto B – c (Prensa)	Punto C – A (Retorno)	Tiempo total (s)	Error posicional (mm)	Evaluación
1	4,61 s	6,37 s	3,67 s	14,65 s	1,8 mm	Aceptable.
2	4,47 s	6,24 s	3,65 s	14,36 s	1,5 mm	Aceptable.
3	4,24 s	6,32 s	3,62 s	14,18 s	1,3 mm	Aceptable.
4	4,12 s	5,78 s	3,58 s	13,48 s	1,4 mm	Aceptable.
5	4,02 s	5,65 s	3,45 s	13,12 s	1,3 mm	Aceptable.

*Nota.* Elaborado por los autores.

**Tabla 33:**

*Resultado de las pruebas del horno.*

Prueba	Tiempo alcanzar T (m)	Tiempo horneado (m)	Sensor interior	Error mecánico	Evaluación
1	25 m 41 s	10 min	Correcto.	No.	Eficiente.
2	24 m 54 s	10 min	Correcto.	No.	Eficiente.
3	25 m 22 s	10 min	Correcto.	No.	Eficiente.
4	24 m 58 s	10 min	Correcto.	No.	Aceptable.
5	24 m 53 s	10 min	Correcto.	No.	Eficiente.

*Nota.* Elaborado por los autores.

**Tabla 34:***Resultado de las pruebas de la prensa.*

Prueba	Tiempo descenso (s)	Tiempo prensado (m)	Tiempo retorno (s)	Sensor superior	Sensor inferior	Error mecánico	Evaluación
1	44,65 s	25 min	42,35 s	Correcto.	Correcto.	No.	Aceptable.
2	44,78 s	25 min	41,78 s	Correcto.	Correcto.	No.	Aceptable.
3	45,10 s	25 min	41,22 s	Correcto.	Correcto.	No.	Aceptable.
4	43,55 s	25 min	43,62 s	Correcto.	Correcto.	No.	Aceptable.
5	44,00 s	25 min	40,33 s	Correcto.	Correcto.	No.	Aceptable.

*Nota.* Elaborado por los autores.**Tabla 35:***Resultado de las pruebas de la HMI.*

Prueba	Visualización de etapas	Visualización de finales de carrera	Tiempo botones ÓN/OFF	Alarmas activas	Evaluación
1	Correcta.	Correcta.	0,5 s.	Correctas.	Eficiente.
2	Correcta.	Correcta.	0,4 s.	Correctas.	Eficiente.
3	Correcta.	Correcta.	0,5 s.	Correctas.	Eficiente.
4	Correcta.	Correcta.	0,6 s.	Correctas.	Aceptable.
5	Correcta.	Correcta.	0,5 s.	Correctas.	Eficiente.

*Nota.* Elaborado por los autores.

Durante las pruebas que se hicieron sobre los diferentes subsistemas del prototipo, el sistema en general respondió bastante bien. Se pudo comprobar que funcionaba como se esperaba: preciso, estable y sin fallos importantes. Se repitieron cinco ensayos por etapa, y los resultados fueron bastante constantes en cuanto a tiempos, sensores, movimientos y la información mostrada en la HMI.

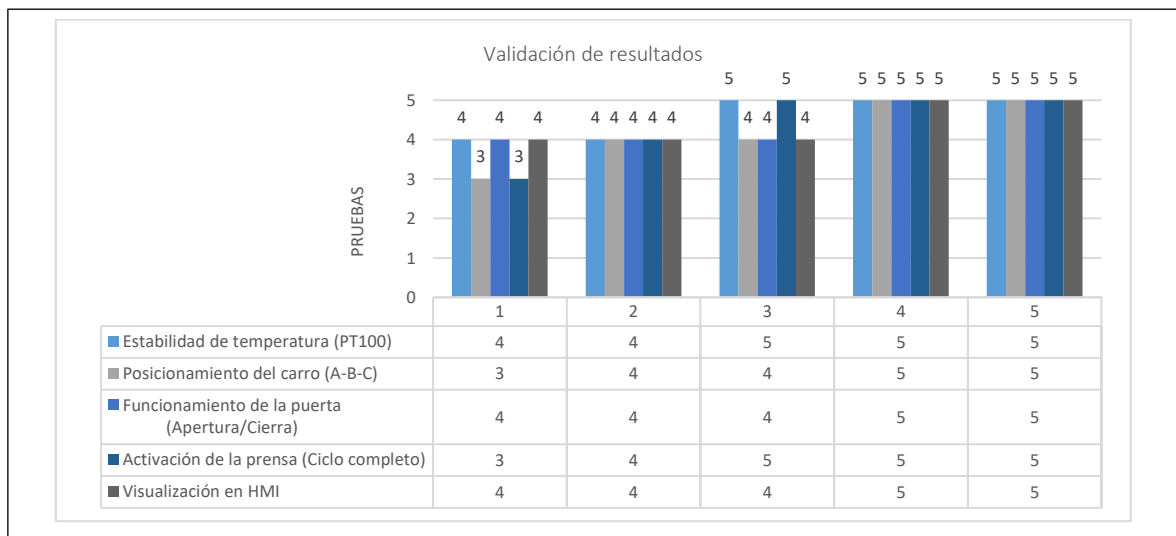
En el caso del sistema de transporte del molde el carrito motorizado, el motor NEMA 23 con el sistema de piñón y cadena funcionó con buena estabilidad. Incluso con peso encima, el margen de error en la posición fue muy bajo, menos de 2 mm, lo cual es clave para que el molde encaje bien tanto en el horno como en la prensa sin desajustes.

Con respecto al calentamiento automático del horno, también respondió como se esperaba. El tiempo en llegar a la temperatura estaba siempre dentro del mismo rango, y los sensores térmicos que detectan la temperatura interna no fallaron. Todo funcionó suave, sin trabas ni ruidos raros, lo que ya es buena señal.

En el sistema de prensado, que trabaja con una gata electrohidráulica, los tiempos se cumplieron bastante bien: la bajada, la compresión y el retorno ocurrieron como se había programado. No se detectaron fallos en las señales del PLC ni en la respuesta de los sensores que indican cuándo debe detenerse el recorrido. Todo eso funcionó de forma fluida. Además, algo que sumó bastante fue el uso de resortes ayudaron a que el molde volviera a su posición sin impactos bruscos ni rebotes, lo cual es clave para evitar daños mecánicos con el tiempo. En cuanto a la pantalla HMI, todo lo que debía verse: temperatura del horno, estado del ciclo, sensores, botones virtuales hasta los pilotos de alerta funcionaron cuando simulamos fallos.

Para tener una idea más clara del rendimiento general, se usó una escala de tipo Likert con cinco niveles: desde 1 (inaceptable) hasta 5 (eficiente). Así se calificó cada parte del sistema en base a su desempeño en condiciones reales. La puntuación promedio se presenta en la tabla que viene a continuación (tabla 35):

**Gráfico 38:** Representación gráfica de los resultados finales.



*Nota.* Elaborado por los autores.

**Tabla 36:**

*Valores de las características finales.*

Prueba	Estabilidad de temperatura (PT100)	Posicionamiento del carro (A-B-C)	Funcionamiento de la puerta (Apertura/Cierra)	Activación de la prensa (Ciclo completo)	Visualización en HMI	Total	%
1	4	3	4	3	4	18	0,16
2	4	4	4	4	4	20	0,18
3	5	4	4	5	4	22	0,20

4	5	5	5	5	5	25	0,23
5	5	5	5	5	5	25	0,23
Total						110	1

*Nota.* Elaborado por los autores.

Según lo que se puede ver en la tabla 35, el sistema automatizado fue mejorando con cada prueba. Al principio hubo algunos tropiezos, pero conforme se fueron ajustando los parámetros y puliendo la coordinación entre los módulos, el rendimiento fue subiendo de forma clara.

En la primera prueba, por ejemplo, el sistema alcanzó 18 puntos sobre 25, que viene siendo un 72 %. Hubo problemas con el movimiento del carro y la precisión del prensado no fue la mejor. Esto, en parte, se debió a que todavía no se había afinado bien la calibración. Pero al menos la lectura de temperatura desde la PT100 y la interfaz HMI funcionaron sin problemas esas se llevaron 4 puntos cada una.

Ya en la segunda prueba, la cosa mejoró. Subió a 20 puntos, es decir, un 80 %. El sistema hidráulico respondió más rápido y el error de posicionamiento del carro bajó bastante. Ningún módulo falló, y todos obtuvieron 4 puntos. No hubo alertas raras ni tiempos fuera de lo esperado.

La tercera prueba fue clave porque marcó un antes y un después. Se alcanzaron 22 puntos (88 %), y se notó en la velocidad de la prensa, que bajó a unos 4,1 segundos en el descenso. Además, el horno calentaba sin inconvenientes, y la HMI mostró bien tanto las lecturas como las alarmas simuladas. Ya se veía que el sistema empezaba a comportarse como se esperaba.

Finalmente, en la cuarta y quinta prueba se logró el rendimiento ideal: 25 puntos de 25 en ambas, lo cual representa un 100 % y un 23 % de eficiencia individual si se considera el total acumulado. En esas dos rondas, el horno se mantuvo estable, con una variación menor a  $\pm 1$  °C. El sistema de transporte apenas presentó un error de 1.2 mm, y todo respondió como debía: prensa, sensores, botones físicos (que se activaron en menos de medio segundo) y las transiciones en la pantalla HMI, que fueron suaves y sin errores.

## DISCUSIÓN

Desde que se empezó a rediseñar el prototipo, quedó bastante claro que una de las principales fallas del modelo original era la falta de control sobre los parámetros clave del proceso. No se podía regular bien ni la temperatura, ni la presión, ni el tiempo de prensado y eso se traducía en resultados muy variables, mucha intervención manual y, lo más delicado, riesgos para el operario. Con la automatización, esas barreras se eliminaron casi por completo. El uso del PLC LOGO, junto con la HMI Kinco marcó un antes y un después, porque permitió tener una supervisión constante y mucho más precisa del proceso. Y no solo eso: también hizo posible programar ciclos de trabajo estandarizados, lo que mejoró bastante la repetibilidad y la calidad de los paneles fabricados. Todo ese proceso ahora es mucho más confiable.

Las pruebas que se hicieron demostraron que los distintos subsistemas el horno, la prensa electrohidráulica, el transporte tipo carro trabajaban de forma coordinada. Todo gracias a la integración de sensores, pulsadores, motores paso a paso NEMA 23, drivers TB6600, el PLC y otros elementos. Se logró que la máquina ejecutara secuencias automáticas completas con muy poca intervención humana, algo que antes era impensable. Este cambio supuso una mejora real en la eficiencia del sistema y en la reducción de errores provocados por el factor humano. En cuanto a la validación técnica, se realizaron varias pruebas experimentales que confirmaron que el sistema automatizado logra alcanzar los 220 °C necesarios para fundir el plástico, mantiene esa temperatura estable durante el tiempo requerido y ejecuta la compresión de manera adecuada. Es decir, cumple con los parámetros básicos del proceso de termocompresión.

Ahora, no todo está resuelto. Hay cosas que podrían mejorarse en futuras versiones del prototipo. Por ejemplo, aunque el sistema de transporte tipo carro móvil hace bien su trabajo al llevar el molde del horno a la prensa, la carga inicial del material y la extracción del panel terminado todavía se hacen a mano. Eso significa que todavía hay bastante dependencia del operario y que, al menos por ahora, el sistema no está completamente automatizado. Aun con esas limitaciones, lo cierto es que el prototipo funciona muy bien como herramienta de aprendizaje. Es útil en carreras como ingeniería industrial porque permite aplicar en un solo proyecto conocimientos de automatización, diseño mecánico, programación de PLC, simulación estructural y montaje eléctrico.

## CONCLUSIONES

Se empezó con un análisis técnico del prototipo inicial de termocompresión, que tenía varias fallas. Todo era manual, no se podía controlar bien ni la temperatura, ni la presión, ni el tiempo, lo cual, como es lógico, afectaba la seguridad del operario y también la calidad del panel que se obtenía. Tras conversar con algunos expertos en el tema, se concluyó que ya era urgente incorporar tecnología de automatización. No solo por eficiencia, sino también para tener ciclos de prensado más uniformes y poder hacerle seguimiento al proceso, como se hace en equipos más modernos.

Con base en eso, se diseñó un sistema de control automatizado siguiendo una metodología bastante completa. Se aplicaron herramientas como el QFD para traducir necesidades en especificaciones técnicas, se usó SolidWorks para modelar en 3D, se hicieron simulaciones estructurales para validar la resistencia, y se diseñaron los diagramas eléctricos usando CADe\_SIMU. Entre los componentes seleccionados se incluyeron sensores PT100 para temperatura, finales de carrera, motores paso a paso, una gata electrohidráulica, un micro PLC LOGO y una HMI Kinco. Todo esto ayudó bastante a anticipar posibles fallas y asegurarse de que el diseño realmente funcionara antes de pasar a la parte de construcción. Ahora, ya durante la implementación, también se hicieron ajustes importantes. Por ejemplo, se dejó de lado la carga manual del molde que, siendo sinceros, era lenta y algo riesgosa y se optó por un sistema motorizado con guías y rodamientos, mucho más eficiente. La prensa ya no se acciona manualmente, sino que se gestiona desde el PLC, con todo visible y controlable desde la pantalla HMI.

Ya en la parte de pruebas, se hicieron cinco ensayos para cada subsistema. El carro móvil completó su desplazamiento en unos 14,5 segundos promedio, con un margen de error menor a 2 mm. La puerta del horno funcionó en 2,5 segundos sin fallar en sensores. La prensa mantuvo sus tiempos sin variaciones importantes y la HMI respondió rápido menos de 0,6 segundos mostrando además una variación térmica bastante controlada, de  $\pm 1,3$  °C. En la última prueba se logró la puntuación máxima: 25 sobre 25 en la escala Likert, lo que básicamente confirmó que el sistema funcionaba como se esperaba. Y algo no menor: con esta automatización, el proceso ya puede ser supervisado por una sola persona. Todo se puede seguir desde la HMI, incluso de forma inalámbrica, lo cual reduce bastante la carga de trabajo directa y mejora las condiciones de operación. Es un salto importante tanto en eficiencia como en ergonomía.

## RECOMENDACIONES

Una mejora importante sería añadir más sensores al sistema, especialmente para medir cosas que todavía no se están controlando del todo, como la presión real que se aplica sobre el molde durante el prensado, la corriente que consumen las resistencias del horno o la temperatura en la fase de enfriamiento. Estos datos no solo ayudarían a hacer el proceso más preciso, sino que también permitirían implementar mantenimiento predictivo. Es decir, anticiparse a fallos antes de que ocurran. Eso llevaría el prototipo un paso más cerca de lo que se exige en entornos industriales.

Por otro lado, algo que podría marcar diferencia en futuras investigaciones es hacer simulaciones térmicas y dinámicas más avanzadas. No solo para ver si la estructura aguanta, sino para entender mejor cómo se comporta el horno cuando calienta y cómo se mueve el carro, sobre todo si se piensa escalar el prototipo. Porque, claro, no es lo mismo trabajar en laboratorio que en una línea de producción real, donde todo tiene que ser más rápido y eficiente.

Otra recomendación sería ampliar la forma en que se controla el sistema. Se podría integrar una arquitectura SCADA para poder supervisar todo desde una computadora externa o incluso desde un celular, sin estar pegado al equipo en el taller. Esto sería posible usando la red Wi-Fi local y permitiría guardar datos históricos, ver gráficos en tiempo real o recibir alertas si algo se sale de lo normal. Suena complejo, pero ya hay muchas industrias pequeñas que usan este tipo de soluciones.

Y algo que todavía queda pendiente es automatizar la parte inicial y final del proceso. En otros términos, cargar el plástico al molde y sacar el panel cuando ya está listo. Ahora mismo eso se hace a mano, lo cual todavía limita un poco la autonomía del sistema. Se podría pensar en diseñar un segundo carro, que trabaje en paralelo con el que ya existe. Ese nuevo carro podría encargarse de poner el molde lleno o de retirarlo una vez prensado. Incluso podría usar el mismo sistema de piñón y cadena, compartir sensores y conectarse al PLC para que todo quede sincronizado.

Si se implementan estas ideas, el sistema no solo ganaría en eficiencia y seguridad, sino que también se volvería mucho más completo y autónomo. Y eso abriría la puerta para usarlo en contextos más exigentes o con mayores volúmenes de producción.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdallah, R., Alsurakji, T., Juaidi, A., Abdel-Fattah, S., Sayyed, mohammad, Haniyeh, M., Albatayneh, A. & Çamur, H. (2022). El uso de SolidWorks en la evaluación de turbinas eólicas en Palestina. *Energy Nexus*, 7. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100135>
- Sinchai, A., Boonyang, K. & Simmala, T. (2024). Desarrollo de un dispositivo de moldeo por inyección automatizado de bajo coste para el reciclaje sostenible de plásticos. *Inventions*, 9(6). <https://doi.org/10.3390/inventions9060124>
- Rodríguez, L. C. A., Loaiza, L. A., Arbeláez, T. J. J., Hincapié, Z. D. A., Leon, S. P. & Torres, L. E. A. (2019). Intervención tecnológica para la reconversión y automatización de una máquina termoformadora por vacío de una sola estación. *Revista EIA*, 16(32), 181–194. <https://doi.org/10.24050/reia.v16i32.1197>
- Arias, G. J. & Covinos, G. M. (2021). *Diseño y metodología de la investigación*. <https://www.researchgate.net/publication/352157132>
- Rodríguez, J. A. R., Núñez, P. & Macías, S. I. (2020). *Aplicación del QFD a productos de una fábrica de conservas*. <https://www.researchgate.net/publication/343166383>
- Bibow, P., Sapel, P. & Hopmann, C. (2025). Conceptos de fábrica inteligente y su adecuación a la industria de procesamiento de plásticos una revisión crítica. *Flexible Services and Manufacturing Journal*. <https://doi.org/10.1007/s10696-025-09593-x>
- Borjas, G. (2020). Validez y confiabilidad en la recolección y análisis de datos bajo un enfoque cualitativo. *TRASCENDER, CONTABILIDAD Y GESTIÓN*, 15, 79–97. <https://doi.org/10.36791/tcg.v0i15.90>
- García, G. C. & Pérez, S. M. M. (2025). *Prototipo de vivienda sustentable en mérida reutilización y reciclaje*. <https://www.jstor.org/stable/j.ctvtwx3bp.6>
- Castro, C. L. & Cortés, L. J. (2022). *Modelo matemático de un horno resistivo para termoformado de láminas de polipropileno*.
- Castro, E. A. D., González, D. V. & Llanes, T. L. (2021). *Elementos De Protección Personal, Importancia Y Riesgos Laborales Por Su Uso Inadecuado*.
- Castro-Cepeda, L. & Cortés-Llanganate, J. (2022). Modelo matemático de un horno resistivo para termoformado de láminas de polipropileno. *Ingenius*, 2022(28), 80–91. <https://doi.org/10.17163/ings.n28.2022.08>

- Cejas, M. M., Liccioni, E., Aldaz, H. S., Murillo, N. M. & Venegas, Á. G. (2023). *ENFOQUE CUANTITATIVO y CUALITATIVO: Una mirada de los métodos mixtos*. <https://www.researchgate.net/publication/374418696>
- Chen, Y., Quino, G. & Pellegrino, A. (2024). Una investigación exhaustiva sobre la respuesta mecánica dependiente de la temperatura. *Polymer Testing*, 130. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2023.108287>
- Cortez, O. R., Martínez, C. J. J. & Sánchez, F. D. (2021). *Los metodos experimentales y su importancia en la enseñanza de la ingeniería mecánica*. [https://www.revistaelectronica-ipn.org/ResourcesFiles/Contenido/26/TECNOLOGIA\\_26\\_001016.pdf](https://www.revistaelectronica-ipn.org/ResourcesFiles/Contenido/26/TECNOLOGIA_26_001016.pdf)
- Rodríguez, H. C. A., García, C. F. N., Aguilar, G. J., Cortés, P. J. & Torija, C. V. S. (2023). *Propuesta de reutilización de plástico de desecho en un sistema constructivo para división de interiores basado en paneles de PVC*. [https://www.researchgate.net/publication/381559625\\_Propuesta\\_de\\_reutilizacion\\_de\\_plastico\\_de\\_desecho\\_en\\_un\\_sistema\\_constructivo\\_para\\_division\\_de\\_interiores\\_basado\\_en\\_paneles\\_de\\_PVC/fulltext/66745087d21e220d89c3cb42/Propuesta-de-reutilizacion-de-plastico-de-desecho-en-un-sistema-constructivo-para-division-de-interiores-basado-en-paneles-de-PVC.pdf?origin=scientificContributions](https://www.researchgate.net/publication/381559625_Propuesta_de_reutilizacion_de_plastico_de_desecho_en_un_sistema_constructivo_para_division_de_interiores_basado_en_paneles_de_PVC/fulltext/66745087d21e220d89c3cb42/Propuesta-de-reutilizacion-de-plastico-de-desecho-en-un-sistema-constructivo-para-division-de-interiores-basado-en-paneles-de-PVC.pdf?origin=scientificContributions)
- Chuen, C. A. P., Darko, A., Ameyaw, E. E., Owusu, E. K., Pärn, E. & Edwards, D. J. (2019). Revisión de la aplicación del proceso analítico jerárquico (AHP) en la construcción. *International Journal of Construction Management*, 19(5), 436–452. <https://doi.org/10.1080/15623599.2018.1452098>
- Einforchips. (2022). *Un marco metodológico para el desarrollo de aplicaciones para sistemas embebidos*.
- Forward, S. (2019). *Evolución del software de simulación de eventos discretos*.
- Gangoiti, U., López, A., Armentia, A., Estévez, E. & Marcos, M. (2021). Diseño y desarrollo basados en modelos de configuraciones flexibles de control de producción automatizadas para la Industria 4.0. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(5), 1–27. <https://doi.org/10.3390/app11052319>
- García, P. F. J. (2022). Developing robust state-of-the-art reports: Systematic Literature Reviews. En *Education in the Knowledge Society* (Vol. 23, p. E28600). Ediciones Universidad de Salamanca. <https://doi.org/10.14201/eks.28600>
- García, Vílchez., Domingo, P. & Gámiz, C. (2020). *Automatismos Industriales*.

- Prokudin, G., Kondratyev, S. & Pikalov, V. (2024). Desarrollo de un sistema de control automatizado para la unidad de fundición de Reactoplast en laboratorio. *ResearchGate*, 78–83. <https://doi.org/10.1109/TELE62556.2024.10605699>
- González, B. R., Zamudio, G. C. A., Piña, C. J. J., Trujillo, J. J. C. & Tinoco, R. F. I. (2022). Diseño de prensa hidráulica para reciclar polietileno de alta densidad (HDPE) en forma de placas. *Ciencia Nicolaita*, 86. <https://doi.org/10.35830/cn.vi86.682>
- Hernández, N. G. & Muñoz, H. C. A. (2024). Fabricación de placas de PEAD reciclado como alternativa sostenible en el desarrollo de productos. *CEDAMAZ*, 14(2), 150–157. <https://doi.org/10.54753/cedamaz.v14i2.2342>
- Valdivia, L. I. F., Huarca, Q. J. L. & Cutipa, L. J. C. (2023). Automatización del proceso de control de una etiquetadora de frutas usando máquinas de estados. *Otros*, 2023-July. <https://doi.org/10.18687/laccei2023.1.1.904>
- Madureira, P. J. P., Salgueiral, G. R. D. & Gomes, da S. F. J. (2024). Automatización del proceso de fabricación de cables de control para la industria de componentes de automoción. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. <https://doi.org/10.1007/s00170-024-14844-6>
- Nagua, T. J. L. & Sumba, S. J. P. (2023). *Automatización e integración de una máquina trituradora de plástico a una red de comunicación industrial*. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/26047>
- Krantz, J., Nieduzak, Z., Licata, J., O’Meara, S., Gao, P. & Masato, D. (2024). Reología en molde y control automatizado de procesos para el moldeo por inyección de polipropileno reciclado. *Otros*, 64(9), 4112–4127. <https://doi.org/10.1002/pen.26836>
- Rocha, H. J. C. (2020). *Automatización de prensa hidráulica para el taller mecánico de una PyME*. <https://orcid.org/0000-0003-0660-7199>
- Luna, P. I. (2020). *Diseño conceptual de un sistema de automatización para el control de flujo de cobre en una faja transportadora, cuyo límite de diseño son 9400 TPH*.
- Luna, P. I. A. (2020). *Diseño conceptual de un sistema de automatización para el control de flujo de cobre en una faja transportadora, cuyo límite de diseño son 9 400 TPH*.
- Malavé, S. E. J. & Tigrero, P. J. A. (2024). *Fabricación de máquina de moldeo por termocompresión para elaborar paneles plásticos como material de construcción*. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/12520>

- Maldonado, M. A., Balderrama, A. C., García, A. J. & Pedrozo, E. J. (2019). *Diseño Axiomático*. <https://www.researchgate.net/publication/348442745>
- Mantilla, R. L. A., Álvarez, V. F. A., Carrascal, S. M. L. C., Cerna, C. A. H., Romero, N. E. A., Blas, Á. A. G. & Contreras, V. J. B. (2022). *Diseño y simulación de sistema para una inyectora de plástico reciclado*. <https://orcid.org/0000-0002-4423-3944>.
- Mares, C. J., Abarca, J. G. S. & Escobar, M. A. E. (2022). Diseño axiomático para dispositivos mecatrónicos. *Inventio*, 18(44). <https://doi.org/10.30973/inventio/2022.18.44/4>
- Valarezo, U. M. J. & Ruiz, V. L. (2022). El reciclaje de plásticos, un reto para lograr una economía circular. *CEDAMAZ*, 12(2). <https://doi.org/10.54753/cedamaz.v12i2.1265>
- Medina, V. M. A., Castillo, D. P. G. & Davila, R. V. E. (2021). Sistema de monitoreo automatizado del proceso de incubación de huevos artificiales. *Otros*, 2021-July. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2021.1.1.237>
- Mejía, F. N., Echeverri, R. A. & Vieira, S. J. (2021). *Gobernanza corporativa en pequeñas y medianas empresas: una revisión sistemática de literatura*.
- Mendoza, A., Solano, C., Palencia, D. & Garcia, D. (2019). Aplicación del proceso de jerarquía analítica (AHP) para la toma de decisión con juicios de expertos Application of the Analytical Hierarchy Process (AHP) for decision-making with expert judgment. En *Revista chilena de ingeniería* (Vol. 27, Número 3).
- Michiels, S., De Schryver, C., Houthuys, L., Vogeler, F. & Desplentere, F. (2022). *Aprendizaje automático para el control de calidad automatizado en la fabricación de moldeo por inyección*. <http://arxiv.org/abs/2206.15285>
- Moncayo, V. J. & Robles, C. K. (2023). *Prototipo de un sistema automatizado para clasificar plástico tipo polipropileno mediante hundimiento y flotación*.
- Moreno, S. J. E., Guerrero, J. & Galeano, A. D. G. (2019). Metodología de diseño conceptual de sistemas automatizados para ambientes educativos y de servicios tecnológicos. *INGENIERÍA Y COMPETITIVIDAD*, 21(1). <https://doi.org/10.25100/iyc.v21i1.7653>
- Muñoz, E. A. O. & Calzadilla, U. D. A. (2024). *Implementación de Tecnología CAD/CAE/CAM para la Industria 4.0 y su Impacto en la Eficiencia Industrial, Panamá 2024. Implementation of CAD/CAE/CAM Technology for Industry 4.0 and its Impact on Industrial Efficiency, Panama 2024*. <https://doi.org/10.48204/reict.v4n2.6754>

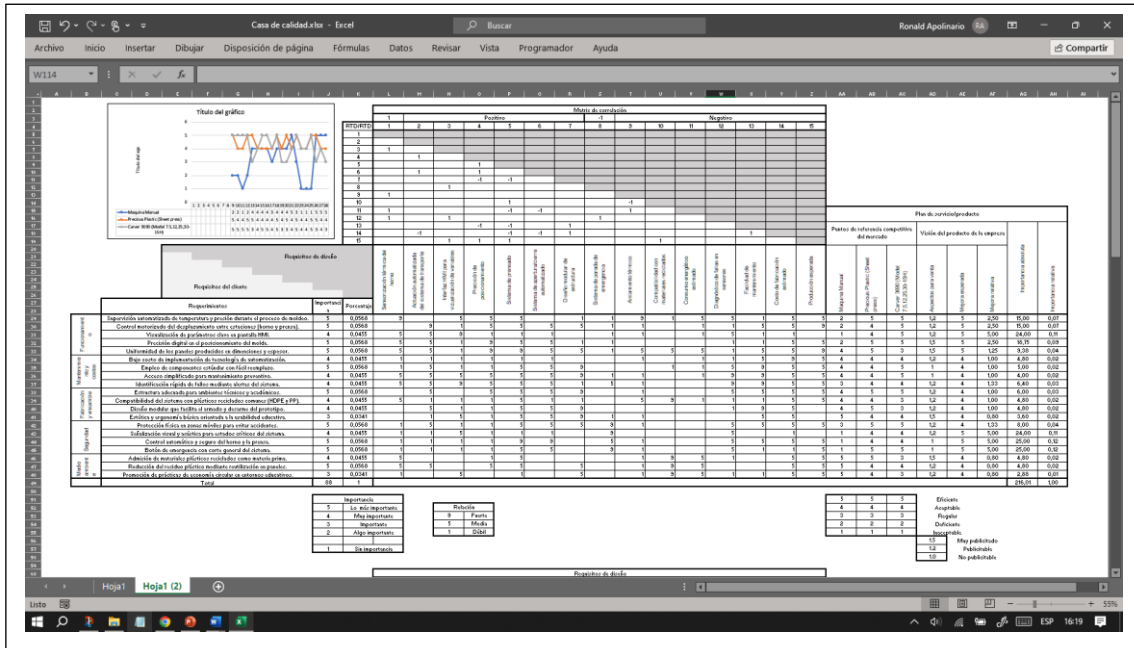
- Muñoz, E. O. A. & Calzadilla, U. A. D. (2024). *Implementación de Tecnología CAD/CAE/CAM para la Industria 4.0 y su Impacto en la Eficiencia Industrial, Panamá 2024. Implementation of CAD/CAE/CAM Technology for Industry 4.0 and its Impact on Industrial Efficiency, Panama 2024.* <https://doi.org/10.48204/reict.v4n2.6754>
- Muroga, S., Honda, T., Miki, Y., Nakajima, H., Futaba, D. N. & Hata, K. (2025). *Control autónomo en tiempo real de un proceso macroscópico continuo, como se demuestra mediante el conformado de plásticos.* <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2025/mh/d4mh00051j>
- Muyulema, A. J. C. & Perero, D. L. C. J. I. (2024). Metodología 5S con enfoque en seguridad laboral en entornos industriales. Una revisión sistemática de la literatura. *Arandu UTIC*, 11(2), 1294–1319. <https://doi.org/10.69639/arandu.v11i2.339>
- Pacienza, J. & Maida, E. G. (2015). *Metodologías de desarrollo de software.*
- Parra, C., Aránquiz, A., Pizarro, F., Duque, P., González-Prida, V. & Parra, J. (2024). *Tecnologías de la industria 4.0 integradas a un modelo de gestión de mantenimiento (MGM).*
- Morejón, C. P. D. & Rivas, C. E. R. (2023). *Paneles de polímeros termoplásticos industriales reciclados para su aplicación en los procesos constructivos.* [http://repositorio.sangregorio.edu.ec/bitstream/123456789/3419/1/ANALISIS%20DE%20CASO%20MOREJON\\_RIVAS.pdf](http://repositorio.sangregorio.edu.ec/bitstream/123456789/3419/1/ANALISIS%20DE%20CASO%20MOREJON_RIVAS.pdf)
- Pérez, H. M. (2021). *Modelos virtuales de mecanismos diversos.* <http://hdl.handle.net/2117/346980>
- Quiroga, J., Flores, E., Coba, A. & Tapia, J. (2020). Diseño e implementación de un sistema de control para un horno de crisol. *Minerva*, 1(2), 30–39. <https://doi.org/10.47460/minerva.v1i2.9>
- Ramírez, M. G. G., Magaña, M. D. E. & Ojeda, L. R. N. (2022). Productividad, aspectos que benefician a la organización. Revisión sistemática de la producción científica. *TRASCENDER, CONTABILIDAD Y GESTIÓN*, 8(20), 189–208. <https://doi.org/10.36791/tcg.v8i20.166>
- Rosales, D. J., Gil, A. L., Mastache, M. J. E. & López, R. R. (2020). Diseño e implementación de un sistema de control a lazo cerrado PID para manipular la temperatura en el proceso de termoformado. *Revista de Ingeniería Eléctrica*, 24–29. <https://doi.org/10.35429/jee.2020.12.4.24.29>

- Rosales, M. (2025). *6 Fases del Método Delphi y Cómo Aplicarlas*.  
<https://www.webyempresas.com/fases-del-metodo-delphi-y-como-aplicarlas/>.
- Costa, R., Sousa, V., Silva, F. J. G., Campilho, R., Sá, J. C., Pinto, A. & Pereira, J. (2022). Aumentando la sostenibilidad de los procesos de fabricación en la inyección de plástico. *Otros*, 14(19). <https://doi.org/10.3390/su141912300>
- Rueda, A. Á. M. (2024). *Implementación de un sistema de control en un prototipo de horno para el tratamiento de cascarilla de café, cascarilla de nuez de palma y ruminal bovino*.
- Sánchez, F. S., Pineda, H. G. & Tangirala, V. K. K. (2020). Diseño, fabricación e instalación de una prensa hidráulica manual. *Repositorio*, 7(13), 9–12.  
<https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/tepexi/issue/archive>
- SolidWorks. (2022). *Introducción a SolidWorks*.
- Sosa, S. J. C., Trejo, E. M. A., García, G. A. L., Barceina, S. J. D. O., Velázquez, G. R. S. & Hernández, T. R. (2023). Implementación de la metodología V como eje de desarrollo de un tribómetro de perno en disco. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 11, 21–29.  
<https://doi.org/10.29057/icbi.v11iespecial4.11358>
- Sotnik, S. V. (2024). Desarrollo de un sistema de control automatizado para colada continua. *ResearchGate*, 2, 181. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2024-2-18>
- Suárez, E. (2024). *Método inductivo y deductiv*.
- Valles, P. E. (2020). *Diseño y construcción de una máquina de moldeo por termocompresión automatizada para recubrir discos-pesas de hierro fundido*.
- Vargas, B. J. M., Castrillón, O. D. & Giraldo, G. J. A. (2022). Modelo de simulación de eventos discretos y emulación de sensores para mejorar una ruta de transporte rural al reducir los tiempos de espera. *Información tecnológica*, 33(6), 135–144.  
<https://doi.org/10.4067/s0718-07642022000600135>
- Vargas, P. A. F. (2024). *Evaluación de proyectos, empleando la técnica de análisis multicriterio AHP, de acuerdo a los criterios establecidos en el reglamento básico de reinversión*.
- Varshney, T., Waghmare, A., Singh, V., Meena, V., Anand, R. & Baseem, K. (2024). Gestión de generación basada en procesos de jerarquía analítica difusa para sistemas de energía interconectados. *Scientific Reports*, 14(1).  
<https://doi.org/10.1038/s41598-024-61524-2>

- Vogel, H. B., Schütz, D., Frank, T. & Legat, C. (2022). *Ingeniería basada en modelos de proyectos de software de automatización de fabricación un enfoque basado en SysML*.
- Vuk, A., Szucs, I. & Bauerné Gáthy, A. (2025). Waste management and plastic waste recycling in Japan, China, Singapore and South Korea - What trends can be observed under different regulations. *International Review of Applied Sciences and Engineering*, 16(1), 118–131. <https://doi.org/10.1556/1848.2024.00841>
- Wang, L., Wang, Y., Dai, D., Wang, X. & Wang, S. (2021). Revisión del método de control del sistema de enganche electrohidráulico de tractores automatizados. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 14(3), 1–11. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20211403.6175>
- Farshadfar, Z., Khajavi, S. H., Mucha, T. & Tanskanen, K. (2025). Clasificación automatizada de residuos basada en aprendizaje automático en la industria de la construcción. *ScienceDirect*, 194, 77–87. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2025.01.008>

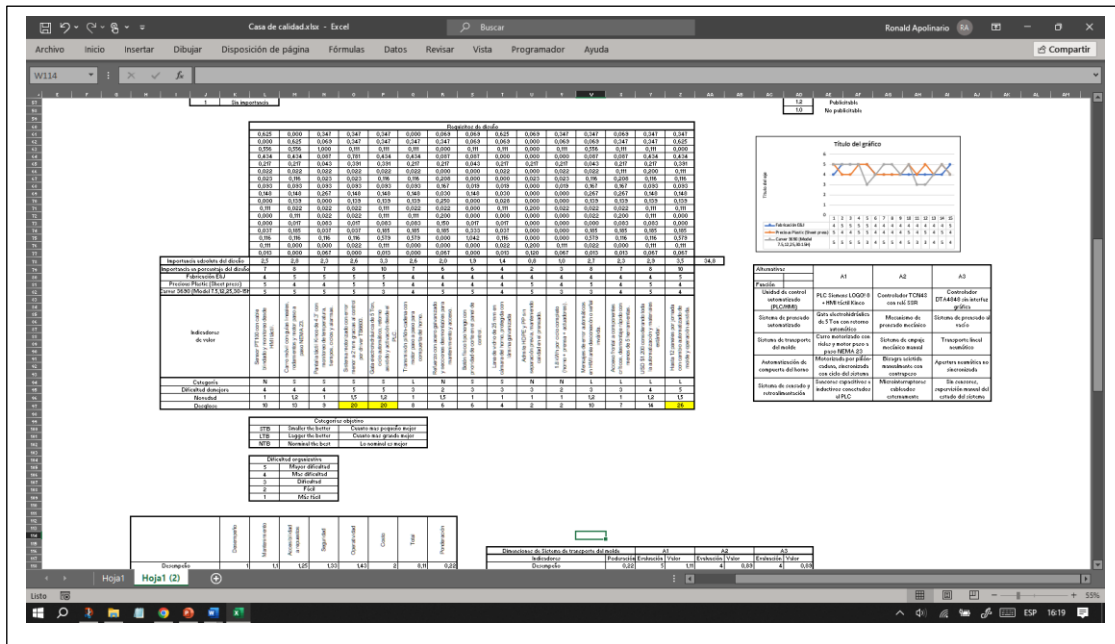
# ANEXOS

## Anexo A: Desarrollo de QFD en Excel 1.



Nota. Elaborado por los autores.

## Anexo B: Desarrollo de QFD en Excel 2.



Nota. Elaborado por los autores.

## Anexo C: Desarrollo del método AHP.

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data:

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
C1	1/1	3/1	2/1	2/1	4/1	3/1	3/1	4/1	3/1
C2	1/3	1/1	1/2	1/2	2/1	1/1	1/1	2/1	1/1
C3	1/2	2/1	1/1	2/1	3/1	2/1	2/1	3/1	2/1
C4	1/2	2/1	1/2	1/1	2/1	2/1	2/1	3/1	2/1
C5	1/4	1/2	1/3	1/2	1/1	1/1	1/1	2/1	1/1
C6	1/3	1/1	1/2	1/2	1/1	1/1	1/1	2/1	1/1
C7	1/3	1/1	1/2	1/2	1/1	1/1	1/1	2/1	1/1
C8	1/4	1/2	1/3	1/3	1/2	1/2	1/2	1/1	1/2
C9	1/3	1/1	1/2	1/2	1/1	1/1	1/1	2/1	1/1
Total	3.83	12	6.16	7.83	15.5	12.5	12.5	21	12.5

A x P	A x P
C1 0.26	Indice de consistencia
C2 0.09	C1=(max-n)/(n-1)= 0.0176
C3 0.15	Consistencia aleatoria
C4 0.13	RI=1.88*(n-2)/n= 1.54
C5 0.07	Relación de consistencia
C6 0.09	CR=CI/RI 0.0114
C7 0.09	
C8 0.04	
C9 0.72	
Suma 9.14	

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	Ponderar
C1	0.26	0.25	0.32	0.26	0.36	0.24	0.24	0.19	0.24	0.25
C2	0.09	0.08	0.08	0.06	0.13	0.08	0.08	0.10	0.08	0.09
C3	0.15	0.17	0.16	0.26	0.19	0.16	0.16	0.14	0.16	0.17
C4	0.13	0.17	0.08	0.13	0.13	0.16	0.16	0.14	0.16	0.14
C5	0.07	0.04	0.05	0.06	0.06	0.08	0.08	0.10	0.08	0.07
C6	0.09	0.08	0.08	0.06	0.06	0.08	0.08	0.10	0.08	0.08
C7	0.09	0.08	0.08	0.06	0.06	0.08	0.08	0.10	0.08	0.08
C8	0.07	0.04	0.05	0.04	0.03	0.04	0.04	0.05	0.04	0.04
C9	0.09	0.08	0.08	0.06	0.06	0.08	0.08	0.10	0.08	0.08

Nota. Elaborado por los autores.

## Anexo D: Matriz de evaluación de artículos.

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following columns:

- Autor & Año
- Resumen
- Título
- Fecha
- Método MF
- Diseño controlado por computadora
- Diseño experimental y simulación
- Método estadístico
- Método AHP
- Diseño conceptual
- Diseño de simulación
- Diseño de simulación
- Simulación basada en eventos

The rows list various articles, such as:

- 1. Parada & Díaz (2020) - Método MF - Diseño y construcción de un algoritmo de control por retroalimentación adaptativa para controlar el nivel de agua en un depósito.
- 2. Chao et al. (2024) - Diseño experimental - Un algoritmo adaptativo para el control de un sistema de control de temperatura.
- 3. Valero et al. (2023) - Diseño experimental - Propuesta de un control adaptativo para sistemas de control de temperatura.
- 4. Dávila et al. (2023) - Diseño experimental - Control adaptativo para el control de un sistema de control de temperatura.
- 5. Gómez & García (2023) - Método estadístico - Simulación de un sistema de control de temperatura.
- 6. Parada & Díaz (2024) - Método AHP - Diseño de un algoritmo de control adaptativo para un sistema de control de temperatura.
- 7. Parada & Díaz (2023) - Diseño experimental - Diseño de un algoritmo de control adaptativo para un sistema de control de temperatura.
- 8. Parada & Díaz (2023) - Método AHP - Diseño de un algoritmo de control adaptativo para un sistema de control de temperatura.
- 9. Parada & Díaz (2023) - Diseño experimental - Diseño de un algoritmo de control adaptativo para un sistema de control de temperatura.
- 10. Parada & Díaz (2023) - Método MF - Diseño de un algoritmo de control adaptativo para un sistema de control de temperatura.
- 11. Parada & Díaz (2023) - Diseño experimental - Diseño de un algoritmo de control adaptativo para un sistema de control de temperatura.
- 12. Parada & Díaz (2023) - Diseño experimental - Diseño de un algoritmo de control adaptativo para un sistema de control de temperatura.
- 13. Parada & Díaz (2023) - Diseño experimental - Diseño de un algoritmo de control adaptativo para un sistema de control de temperatura.
- 14. Parada & Díaz (2023) - Diseño experimental - Diseño de un algoritmo de control adaptativo para un sistema de control de temperatura.
- 15. Parada & Díaz (2023) - Diseño experimental - Diseño de un algoritmo de control adaptativo para un sistema de control de temperatura.
- 16. Parada & Díaz (2023) - Diseño experimental - Diseño de un algoritmo de control adaptativo para un sistema de control de temperatura.
- 17. Parada & Díaz (2023) - Diseño experimental - Diseño de un algoritmo de control adaptativo para un sistema de control de temperatura.
- 18. Parada & Díaz (2023) - Diseño experimental - Diseño de un algoritmo de control adaptativo para un sistema de control de temperatura.
- 19. Parada & Díaz (2023) - Diseño experimental - Diseño de un algoritmo de control adaptativo para un sistema de control de temperatura.
- 20. Parada & Díaz (2023) - Diseño experimental - Diseño de un algoritmo de control adaptativo para un sistema de control de temperatura.
- 21. Parada & Díaz (2023) - Diseño experimental - Diseño de un algoritmo de control adaptativo para un sistema de control de temperatura.
- 22. Parada & Díaz (2023) - Diseño experimental - Diseño de un algoritmo de control adaptativo para un sistema de control de temperatura.
- 23. Parada & Díaz (2023) - Diseño experimental - Diseño de un algoritmo de control adaptativo para un sistema de control de temperatura.
- 24. Parada & Díaz (2023) - Diseño experimental - Diseño de un algoritmo de control adaptativo para un sistema de control de temperatura.
- 25. Parada & Díaz (2023) - Diseño experimental - Diseño de un algoritmo de control adaptativo para un sistema de control de temperatura.
- 26. Parada & Díaz (2023) - Diseño experimental - Diseño de un algoritmo de control adaptativo para un sistema de control de temperatura.
- 27. Parada & Díaz (2023) - Diseño experimental - Diseño de un algoritmo de control adaptativo para un sistema de control de temperatura.
- 28. Parada & Díaz (2023) - Diseño experimental - Diseño de un algoritmo de control adaptativo para un sistema de control de temperatura.
- 29. Parada & Díaz (2023) - Diseño experimental - Diseño de un algoritmo de control adaptativo para un sistema de control de temperatura.
- 30. Parada & Díaz (2023) - Diseño experimental - Diseño de un algoritmo de control adaptativo para un sistema de control de temperatura.
- 31. Parada & Díaz (2023) - Diseño experimental - Diseño de un algoritmo de control adaptativo para un sistema de control de temperatura.
- 32. Parada & Díaz (2023) - Diseño experimental - Diseño de un algoritmo de control adaptativo para un sistema de control de temperatura.
- 33. Parada & Díaz (2023) - Diseño experimental - Diseño de un algoritmo de control adaptativo para un sistema de control de temperatura.
- 34. Parada & Díaz (2023) - Diseño experimental - Diseño de un algoritmo de control adaptativo para un sistema de control de temperatura.
- 35. Parada & Díaz (2023) - Diseño experimental - Diseño de un algoritmo de control adaptativo para un sistema de control de temperatura.
- 36. Parada & Díaz (2023) - Diseño experimental - Diseño de un algoritmo de control adaptativo para un sistema de control de temperatura.
- 37. Parada & Díaz (2023) - Diseño experimental - Diseño de un algoritmo de control adaptativo para un sistema de control de temperatura.
- 38. Parada & Díaz (2023) - Diseño experimental - Diseño de un algoritmo de control adaptativo para un sistema de control de temperatura.
- 39. Parada & Díaz (2023) - Diseño experimental - Diseño de un algoritmo de control adaptativo para un sistema de control de temperatura.
- 40. Parada & Díaz (2023) - Diseño experimental - Diseño de un algoritmo de control adaptativo para un sistema de control de temperatura.

Nota. Elaborado por los autores.

## Anexo E: Matriz de consistencia.

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	JUSTIFICACIÓN
<p><b>Problema General:</b> ¿Qué efecto tiene la implementación de un sistema de control automatizado en el prototipo de termo-compresión sobre la eficiencia, seguridad y calidad del proceso de fabricación de paneles plásticos reciclados?</p> <p><b>Problemas Específicos:</b> <b>PE1:</b> ¿Qué respaldo teórico existe sobre el uso de sistemas automatizados en procesos de termo-compresión? <b>PE2:</b> ¿Qué estructura metodológica es adecuada para diseñar e implementar un sistema de automatización para fabricar paneles reciclados? <b>PE3:</b> ¿Cuál es el efecto de aplicar un sistema de control automatizado sobre la eficiencia, seguridad y calidad del proceso de fabricación de paneles plásticos reciclados?</p>	<p><b>Objetivo General:</b> Implementar un sistema de control automatizado del prototipo de termo-compresión para fabricar paneles plásticos en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena.</p> <p><b>Objetivos Específicos:</b> <b>OE1:</b> Analizar las necesidades técnicas y operativas del proceso termocompresión para la fabricación de paneles plásticos en un entorno académico, mediante una revisión bibliográfica para respaldar el uso de los sistemas automatizados en la máquina de moldeo por termocompresión. . <b>OE2:</b> Diseñar un sistema de control automatizado que regule los parámetros críticos del prototipo, como temperatura, presión y tiempo de ciclo, mediante establecer un marco metodológico que permita definir una estructura y sistemas necesario para cubrir los requisitos en la fabricación de paneles plásticos. <b>OE3:</b> Implementar el sistema de control automatizado a una máquina de moldeo por termocompresión para la fabricación de paneles plásticos mediante la integración de sensores, actuadores, controladores y sistemas de monitoreo que validen su óptimo funcionamiento.</p>	<p><b>Hipótesis General:</b> <b>Hi:</b> La implementación de un sistema automatizado en el prototipo de termo-compresión mejora significativamente la eficiencia, seguridad operativa y calidad en la fabricación de paneles plásticos reciclados. <b>H0:</b> La implementación del sistema automatizado no genera mejoras significativas en la eficiencia ni en la calidad del proceso de fabricación. <b>Hipótesis Específicas:</b> <b>HE1:</b> La revisión bibliográfica sobre automatización industrial y termo-compresión proporciona fundamentos técnicos válidos para el diseño del sistema automatizado. <b>HE2:</b> Una metodología estructurada permite definir con precisión los sistemas de control requeridos para automatizar el proceso de fabricación de paneles. <b>HE3:</b> La implementación de un sistema de control automatizado mejora la eficiencia, reduce los errores humanos y mejora la calidad de los paneles producidos.</p>	<p><b>Teórica:</b> La investigación se apoya en los principios de automatización industrial, sistemas de control de procesos, termocompresión y eficiencia productiva y metodologías de diseño conceptual y técnico aplicadas a procesos de reciclaje plástico mediante termo-compresión.</p> <p><b>Práctica:</b> Permite resolver las deficiencias del proceso manual actual, reduciendo errores operativos, mejorando la repetibilidad del sistema y estandarizando la calidad del producto final.</p> <p><b>Metodológica:</b> Se propone un procedimiento técnico validado mediante revisión bibliográfica, validación por expertos, aplicación del método AHP y despliegue de la función de calidad (QFD).</p> <p><b>Social:</b> Contribuye a una solución sostenible para la gestión de residuos plásticos y promueve la formación técnica aplicada en entornos académicos e industriales de la región</p>

Nota. Elaborado por los autores.

## Anexo F: Operacionalización de las variables 1.

Variable independiente	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Preguntas	Escala de medición
Sistema automatizado	Conjunto de componentes electrónicos, sensores y unidades de control que interactúan entre sí para ejecutar tareas repetitivas y precisas sin intervención humana directa, mejorando la eficiencia y calidad del proceso.	Integración de sensores, actuadores, motores, controladores y visualizadores que permiten automatizar las etapas del proceso de termo-compresión en la fabricación de paneles plásticos reciclados.	Dimensión 1: <b>Sensado y control de variables críticas:</b> Sistema de adquisición de datos que permite monitorear variables como temperatura, posición o presencia	<b>Indicador 1:</b> Capacidad de monitoreo de variables críticas (temperatura y proximidad)	¿Considera adecuada la integración de sensores de temperatura y proximidad (Termocupla e Infrarrojo E18-D80NK) para el monitoreo de variables críticas en el proceso de termocompresión?	Ordinal (Likert 1-5)
			Dimensión 2: <b>Automatización del movimiento mecánico:</b> Implementación de motores, drivers y mecanismos automatizados en el sistema.	<b>Indicador 2:</b> Eficiencia del sistema de control central (PLC)	¿Es adecuada la selección del PLC Siemens S7-1200 (CPU 1214C AC/DC/RLY) como unidad central de control para este tipo de aplicación industrial?	
				<b>Indicador 3:</b> Funcionalidad del sistema de visualización y monitoreo (HMI)	¿Cómo evalúa el uso de una pantalla HMI para el monitoreo de variables y etapas del proceso automatizado (temperatura, conteo de placas, ciclos)?	
			Dimensión 3: <b>Transporte y flujo del proceso:</b> Capacidad del sistema para desplazar de forma automatizada el molde entre las distintas etapas del proceso.	<b>Indicador 4:</b> Precisión en la automatización del movimiento mediante motores NEMA y drivers	¿La incorporación de motores NEMA 17 y 23 junto a drivers TB6600 representa una solución efectiva en términos de precisión y fiabilidad para la automatización del movimiento?	
				<b>Indicador 5:</b> Automatización del horno (apertura/cierre de puerta)	¿Considera eficiente la automatización de la apertura y cierre de la puerta del horno mediante un sistema de cadena y piñón usando un motor NEMA adicional?	
			Dimensión 4: <b>Estructura y aplicabilidad del sistema:</b> Diseño estructural y capacidad de adaptación del sistema a otros contextos.	<b>Indicador 6:</b> Eficiencia del sistema de transporte del molde (carritos y banda telescópica)	¿Cómo valora el sistema de transporte motorizado (carrito y banda telescópica) como mecanismo para trasladar automáticamente de forma transversal el molde a lo largo del proceso?	
				<b>Indicador 7:</b> Eficiencia del sistema de transporte del molde (carritos y banda telescópica)	¿Es adecuado el uso de una gata electrohidráulica de 5 Ton (Electric Jack) para el prensado automático de los moldes, considerando el objetivo de mejorar fuerza y eficiencia?	
				<b>Indicador 8:</b> Fluidez del flujo entre estaciones del proceso	¿Cree que el sistema propuesto mediante rodamientos permite una transición fluida y precisa entre las etapas del horno, prensa y separación del molde?	
				<b>Indicador 9:</b> Resistencia estructural del sistema de automatización	¿Cree que el diseño estructural en acero galvanizado cumple con los requisitos de durabilidad y resistencia para un ambiente salino con clima árido o desértico?	
				<b>Indicador 10:</b> Replicabilidad del diseño en otros entornos	¿Considera replicable esta solución tecnológica en entornos industriales reales o centros académicos, con mínimas adaptaciones técnicas?	

Nota. Elaborado por los autores.

## Anexo G: Operacionalización de las variables 2.

Variable Dependiente	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Preguntas	Técnica e instrumento
Fabricación de paneles	Es el proceso mediante el cual se transforman residuos plásticos reciclados en paneles sólidos utilizando calor y presión (termo-compresión), con el objetivo de obtener productos estructurales o decorativos que cumplan con criterios de calidad, sostenibilidad y eficiencia.	Evaluación de las condiciones técnicas, físicas y operativas requeridas para obtener paneles plásticos reciclados de alta calidad, aplicando el proceso de termo-compresión con apoyo de automatización.	Dimensión 1: <b>Calidad y técnica del proceso de fabricación:</b> Evalúa la pertinencia del método y su relación con la calidad final del producto.	<b>Indicador 1:</b> Calidad técnica del método de fabricación (termo-compresión)	¿Qué tan adecuado considera que sería utilizar la termo-compresión como método para fabricar paneles plásticos reciclados de alta calidad y resistencia?	Ordinal (Likert 1-5)
				<b>Indicador 2:</b> Características deseables del panel plástico (dimensiones, textura, resistencia, etc.)	¿Qué tan probable considera que los paneles fabricados mediante termo-compresión cumplan con características adecuadas de tamaño, textura, espesor y rigidez para aplicaciones prácticas?	
			Dimensión 1: <b>Control técnico y repetibilidad del producto:</b> Influencia del control de variables sobre la uniformidad del producto.	<b>Indicador 3:</b> Relación entre control de parámetros y uniformidad del producto final	¿Qué grado de influencia cree que tendría el control de temperatura, presión y tiempo sobre la uniformidad y el acabado de los paneles producidos?	
				<b>Indicador 4:</b> Estabilidad del proceso y estandarización de producción mediante automatización	¿Qué tan viable considera que sería lograr una producción estandarizada y repetible de paneles mediante un sistema de control automatizado?	
			Dimensión 1: <b>Sustentabilidad y aprovechamiento del material:</b> Grado de aprovechamiento de materiales reciclados y su impacto ambiental.	<b>Indicador 5:</b> Valoración del uso de materiales reciclados	¿Qué tan importante considera que es priorizar el uso de materiales reciclados en el desarrollo de paneles plásticos para fomentar prácticas sostenibles?	
				<b>Indicador 6:</b> Aplicabilidad de los paneles en diferentes sectores	¿Qué tan factible considera que los paneles plásticos fabricados podrían tener aplicación en sectores como construcción, decoración o mobiliario?	
				<b>Indicador 7:</b> Necesidad de pruebas técnicas para validar la calidad de los paneles	¿Qué tan necesario considera realizar pruebas de calidad como resistencia mecánica, flexión o humedad para validar los paneles fabricados?	
				<b>Indicador 8:</b> Flexibilidad del proceso frente a la clasificación de plásticos	¿Qué tan viable considera fabricar paneles utilizando diferentes tipos de plásticos sin una separación estricta, mediante el proceso de termo-compresión?	
			Dimensión 1: <b>Aplicación y validación del producto:</b> Evaluación de uso práctico, aceptación social y pruebas técnicas requeridas.	<b>Indicador 9:</b> Reducción de desperdicios y contribución a la sostenibilidad	¿Qué tan significativo sería el impacto del proceso propuesto en la reducción de residuos plásticos y en el fomento de la economía circular?	
				<b>Indicador 10:</b> Competitividad frente a materiales tradicionales	¿Qué tan probable considera que los paneles fabricados compitan en el mercado con materiales tradicionales si se garantiza calidad y costos competitivos?	
				<b>Indicador 11:</b> Factores que favorecen la aceptación de los paneles reciclados en el mercado o academia	¿Qué tan importante considera asegurar ciertos estándares de calidad y sostenibilidad para que los paneles plásticos reciclados sean aceptados en el mercado o en proyectos académicos/sociales?	

Nota. Elaborado por los autores.

## Anexo H: Operacionalización de las variables 3.

Variable Independiente	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Preguntas	Escala de medición
Sistema control automatizado	Conjunto de componentes electrónicos, sensores y unidades de control que interactúan entre sí para ejecutar tareas repetitivas y precisas sin intervención humana directa, mejorando la eficiencia y calidad del proceso. (Agudelo-Viana & Aignerren-Aburto, 2008)	Integración de sensores, actuadores, motores, controladores y visualizador es que permiten automatizar las etapas del proceso de termo-compresión en la fabricación de paneles plásticos reciclados.	Dimensión 1: <b>Automatización de procesos:</b> La automatización de procesos implica el uso de software y tecnologías para realizar tareas repetitivas de forma automática (Beghini Domínguez, Lecaro Lavayen, & Shauri Romero, 2022)	<b>Indicador 1:</b> Número de funciones realizadas automáticamente.	¿Las tareas del proceso de termocompresión son realizadas de manera automática? ¿El sistema automatizado cubre la mayoría de las etapas del proceso de producción?	Encuesta escala ordinal Likert (Likert 1-5)
				<b>Indicador 2:</b> Nivel de intervención manual requerida.	¿Es necesario intervenir manualmente durante el proceso de fabricación de paneles? ¿El sistema automatizado reduce la necesidad de intervención manual en el proceso de fabricación?	
			Dimensión 2: <b>Precisión del sistema:</b> La precisión de un sistema se refiere a cuán cerca están las mediciones entre sí (Cárdenas, Nicol Vanesa, & Juliana, 2024)	<b>Indicador 3:</b> Margen de error en control de temperatura	¿La temperatura durante el ciclo de termocompresión, se mantiene cerca de los valores programados? ¿Cuál es el margen de error que observas en la temperatura durante el proceso de termocompresión?	
				<b>Indicador 4:</b> Margen de error en control de presión	¿La presión generada durante el sistema se mantiene dentro de los parámetros establecidos durante la producción de los paneles? ¿Que tan consistente es la presión durante cada ciclo de termocompresión?	
			Dimensión 3: <b>Interfaz Hombre - Máquina (HMI):</b> Una Interfaz Hombre-Máquina (HMI) es el medio por el cual un humano interactúa con una máquina, sistema o proceso (Parra, Aránquiz, Pizarro, & Duque, 2024)	<b>Indicador 5:</b> Claridad en la visualización de parámetros.	¿La pantalla del sistema proporciona información clara y comprensible sobre los parámetros de producción (Temperatura, presión tiempo)? ¿La información mostrada en la pantalla es fácilmente accesible y comprensible para los operadores?	
				<b>Indicador 6:</b> Facilidad en uso de panel de control	¿Cree usted que es sencillo familiarizarse con el interfaz del sistema para operar el proceso termocompresión? ¿Considera que el panel de control es fácil de operar para usuarios sin experiencia previa?	
			Dimensión 4: <b>Programación del sistema:</b> La programación de sistemas se refiere al desarrollo de software que interactúa directamente con el hardware y el sistema operativo de una computadora (fernández & Magdalena, 2022)	<b>Indicador 7:</b> Cantidad de parámetros configurables	¿Considera usted que es fácil configurar los parámetros de proceso (Temperatura, presión tiempo) en el sistema automatizado? ¿Es factible poder ajustar o modificar los diferentes parámetros en el sistema para personalizar el ciclo de fabricación?	
				<b>Indicador 8:</b> Tiempo promedio para configurar un ciclo.	¿El tiempo requerido para establecer los parámetros para un ciclo de fabricación de paneles plásticos en el sistema es razonable? ¿Cree usted que el tiempo de programación en el ciclo ha disminuido con la automatización en comparación con el proceso manual?	
			Dimensión 5: <b>Monitoreo del proceso:</b> El monitoreo de procesos es la observación continua de un sistema para identificar desviaciones del estado normal y tomar medidas correctivas (kawulich, 2005)	<b>Indicador 9:</b> Capacidad de visualización en tiempo real.	¿Es viable visualizar el tiempo real del proceso de cada ciclo de fabricación? ¿Qué tan apropiado es el monitoreo en tiempo real para garantizar la correcta ejecución en el proceso de producción?	
				<b>Indicador 10:</b> Registro de datos de operación durante el ciclo.	¿Es importante que el sistema guarde o presente datos históricos del proceso, como temperatura, presión y tiempo de ciclo? ¿Qué tan eficiente es el registro y acceso a los datos de operación del sistema durante la fabricación de paneles?	

Nota. Elaborado por los autores.

## Anexo I: Operacionalización de las variables 4.

Variable Dependiente	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	- Preguntas	Técnica e instrumento
Fabricación paneles plásticos	Es el proceso mediante el cual se transforman residuos plásticos reciclados en paneles sólidos utilizando calor y presión (termocompresión), con el objetivo de obtener productos estructurales o decorativos que cumplan con criterios de calidad, sostenibilidad y eficiencia. (Beghini Domínguez, Lecaro Lavayen, & Shauri Romero, 2022)	Evaluación de las condiciones técnicas, físicas y operativas requeridas para obtener paneles plásticos reciclados de alta calidad, aplicando el proceso de termocompresión con apoyo de automatización.	Dimensión 1: <b>Calidad del producto inicial:</b> La calidad inicial de un producto se refiere al nivel en que cumple con las expectativas del cliente desde el momento de su lanzamiento al mercado (Cárdenas, Nicol Vanesa, & Juliana, 2024)	<b>Indicador 1:</b> Homogeneidad del espesor del panel)	<ul style="list-style-type: none"> <li>¿Los paneles fabricados tiene un espesor uniforme a lo largo de toda su superficie?</li> <li>¿Cómo calificarías la frecuencia de defectos visibles en los paneles automatizados?</li> </ul>	Encuesta escala ordinal Likert (Likert 1-5)
			Dimensión 2: <b>Tiempo de producción:</b> El tiempo de producción, o lead time en inglés, se refiere al tiempo que transcurre desde que se inicia un proceso de producción hasta que se completa. (Esparza González, Sánchez López, Villalobos Piña, Saucedo Zárate, & Soto Bernal, 2017)	<b>Indicador 2:</b> Presencia de defectos físicos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>¿Los paneles que se encuentran a menudo presentan defectos visibles?</li> <li>¿Cómo describirías la presencia o la ausencia de imperfecciones visibles?</li> </ul>	
			Dimensión 1: <b>Consumo energético:</b> El consumo energético se refiere a la cantidad total de energía utilizada para un proceso o actividad específica (Parra, Aránquiz, Pizarro, & Duque, 2024)	<b>Indicador 3:</b> Tiempo promedio por ciclo de fabricación.	<ul style="list-style-type: none"> <li>¿Cree óptimo que el tiempo promedio del sistema en completar un ciclo de termocompresión en fabricar un panel es tolerable?</li> <li>¿El tiempo de producción pro clico ha mejorado con la implementación del sistema automatizado</li> </ul>	
				<b>Indicador 4:</b> Reducción del tiempo respecto al proceso manual.	<ul style="list-style-type: none"> <li>¿El tiempo de fabricación ha disminuido significativamente con la automatización del proceso termocompresión?</li> <li>¿En qué medida el proceso automatizado ha logrado decidir el tiempo de producción con el tiempo del proceso manual?</li> </ul>	
			Dimensión 1: <b>Reducción de errores humanos:</b> La reducción de errores humanos implica implementar estrategias para minimizar o prevenir fallas en tareas y procesos, buscando mejorar la seguridad, la eficiencia y la calidad (durán romero, 2019)	<b>Indicador 5:</b> Consumo eléctrico por ciclo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>¿Cuál es el consumo eléctrico aproximado de cada ciclo de producción con el sistema automatizado?</li> <li>¿El consumo energético ha aumentado o disminuido con el sistema de termocompresión?</li> </ul>	
				<b>Indicador 6:</b> Variación de consumo entre ciclos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>¿Existe alguna variación en el consumo energético entre los diferentes ciclos de producción automatizado?</li> <li>¿El consumo energético es constante durante los ciclos de termocompresión automatizado?</li> </ul>	
			Dimensión 1: <b>Productividad del sistema:</b> La productividad de un sistema se refiere a su capacidad para generar la mayor cantidad de salidas (bienes o servicios) con la menor cantidad de recursos (insumos) utilizados (fernández & Magdalena, 2022)	<b>Indicador 7:</b> Frecuencia de fallos operativos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>¿Con qué frecuencia ocurren fallos operativos debido a errores humanos en el proceso de fabricación?</li> <li>¿El sistema automatizado ha reducido la ocurrencia de errores operativos durante la producción de paneles?</li> </ul>	
				<b>Indicador 8:</b> Numero de retrabajos por errores.	<ul style="list-style-type: none"> <li>¿Se realizan frecuentes retrabajos debido a errores operativos manuales?</li> <li>¿Lo retrabajo debido a errores humanos han disminuido tras la implementación del sistema automatizado?</li> </ul>	
				<b>Indicador 9:</b> Cantidad de paneles producidos por hora.	<ul style="list-style-type: none"> <li>¿Considera que la producción de un panel plástico por hora con el sistema automatizado sea adecuada?</li> <li>¿La productividad por hora ha aumentado con la automatización del proceso de fabricación?</li> </ul>	
				<b>Indicador 10:</b> Cumplimiento del rendimiento esperado.	<ul style="list-style-type: none"> <li>¿El sistema automatizado cumple con los niveles de producción esperados en termino de cantidad de paneles fabricador?</li> <li>¿La medida del sistema automatizado qué ha alcanzado el objetivo de la producción establecida, es apto?</li> </ul>	

Nota. Elaborado por el autor.

## Anexo J: Validación por juicio de expertos.

FICHA DE VALIDACIÓN POR JUICIO DE EXPERTOS DEL PROGRAMA/TALLER/MODELO																						
Titulo: SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO DEL PROTOTIPO DE TERMO COMPRESIÓN PARA FABRICAR PANELES PLÁSTICOS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL, SANTA ELENA, ECUADOR																						
Indicadores	Criterios	Inadecuado		Medianamente adecuado				Adecuado				Muy adecuado				Totalmente adecuado				Observaciones		
		0	20	21	26	31	36	41	46	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96			
Aspectos de Validación		0	6	11	16	21	26	31	36	41	46	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96	
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
1. Claridad	Las sesiones están formuladas con lenguaje apropiado.																					
2. Objetividad	Las sesiones expresan conductas observables																					
3. Actualidad	Las sesiones están adecuadas a las teorías, enfoques o modelos teóricos.																					
4. Organización	Existe organización lógica entre las sesiones.																					
5. Suficiencia	Las sesiones comprenden los aspectos a necesarios a fortalecer.																					
6. Intencionalidad	Las sesiones valoran las dimensiones del tema.																					
7. Consistencia	Las sesiones están basadas en aspectos teóricos-científicos.																					
8. Coherencia	Las sesiones tienen relación con los indicadores de la variable independiente.																					
9. Metodología	Las sesiones responden al diseño de investigación metodológico.																					
10. Pertinencia	Las sesiones son útiles y adecuadas para modificar la variable dependiente.																					
INSTRUCCIONES: Esta ficha, sirve para que el EXPERTO EVALUADOR evalúe la pertinencia, eficacia del programa que se está validando. Deberá colocar la puntuación que considere pertinente a los diferentes enunciados.																						
Fecha:										Promedio:												
Experto:										Profesión:												
DNI/CI:										Celular:												

Nota. Elaborado por los autores.

## Anexo K: Ficha técnica del instrumento de validación 1.

N°	Elemento	Descripción
1	Nombre del instrumento	Cuestionario de validación técnica: Sistema de control automatizado
2	Autores	Lainez Apolinario, Ronald Wladimir y Chiriguaya Intriago, John Jaime
3	Fecha	2025
4	Objetivo	Evaluar la pertinencia técnica, funcional y operativa de los componentes, funciones y estructura del sistema de automatización aplicado a la máquina de termo-compresión.
5	Dirigida a	Ingenieros expertos en automatización industrial, ingeniería electrónica, mecatrónica, control de procesos y diseño estructural.
6	Administración	Presencial o digital
7	Aplicación	Directa
8	Duración	10–15 minutos
9	Tipo de ítems	Enunciados valorativos
10	N° de ítems	11 ítems
11	Distribución	<b>Dimensión:</b> Automatización de procesos (10 ítems) D1: Sensado y control de variables críticas (3 ítems) D2: Automatización del movimiento mecánico (2 ítems) D3: Transporte y flujo del proceso (3 ítems) D4: Estructura y aplicabilidad del sistema (2 ítems)
12	Escala valorativa (Expertos)	Escalas Likert: Valor: Inaceptable 1 Deficiente 2 Regular 3 Aceptable 4 Eficiente 5
13	Escala para análisis de contenido	Escalas Likert: Intervalo: Totalmente en desacuerdo 1 En desacuerdo 2 Neutro 3 De acuerdo 4 Totalmente de acuerdo 5

*Nota.* Elaborado por autor.

## Anexo L: Ficha técnica del instrumento de validación 2.

N°	Elemento	Descripción
1	Nombre del instrumento	Cuestionario de validación técnica: Proceso de fabricación de paneles plásticos reciclados
2	Autores	Lainez Apolinario, Ronald Wladimir y Chiriguaya Intriago, John Jaime
3	Fecha	2025
4	Objetivo	Validar la viabilidad técnica, eficiencia operativa y potencial de aplicación de la fabricación de paneles plásticos mediante termo-compresión automatizada.
5	Dirigida a	Ingenieros expertos en ingeniería industrial, producción, control de calidad, materiales reciclados y sostenibilidad.
6	Administración	Presencial o digital
7	Aplicación	Directa
8	Duración	10–15 minutos
9	Tipo de ítems	Enunciados valorativos
10	N° de ítems	11 ítems
11	Distribución	<b>Dimensión:</b> Producción con eficiencia y calidad (11 ítems) D1: Calidad y técnica del proceso de fabricación (2 ítems) D2: Control técnico y repetibilidad del producto (2 ítems) D3: Sustentabilidad y aprovechamiento del material (3 ítems) D4: Aplicación y validación del producto (4 ítems)
12	Escala valorativa (expertos)	Escalas Likert: Valor: Inaceptable 1 Deficiente 2 Regular 3 Aceptable 4 Eficiente 5
13	Escala para análisis de contenido	Escalas Likert: Valor: Totalmente en desacuerdo 1 En desacuerdo 2 Neutro 3 De acuerdo 4 Totalmente de acuerdo 5

*Nota.* Elaborado por autor.

# Anexo M: Validación a expertos 1.

UPSE  
Ingeniería Industrial

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Asunto: Validación por expertos

Opinión: Yo Carlos Saldaña con C.I. 017720547 requerido por los estudiantes de ingeniería industrial, Lainez Apolinario Ronald Wladimir, con C.I. 2450355074 y Chiriguaya Intriago John Jaime con C.I. 2450730854, doy mi criterio profesional respecto al sistema de control automatizado implementado en el prototipo de termo-compresión para la fabricación de paneles plásticos reciclados, en el marco de su trabajo de integración curricular, específicamente en el apartado de desarrollo del diseño conceptual.

Firma:

TEMA: SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO DEL PRÓTOTIPO DE TERMO COMPRESIÓN PARA FABRICAR PANELES PLÁSTICOS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL, SANTA ELENA, ECUADOR

Propuesta de diseño #1

Nº	Preguntas	Respuesta
----	-----------	-----------

Dirección: Campus mainit, La Libertad - prov. Santa Elena - Ecuador  
Código Postal: 210204 - Teléfono: (04) 2-751732  
www.upse.edu.ec

UPSE  
Ingeniería Industrial

		del experto
1	 ¿Considera adecuada la integración de sensores de temperatura y proximidad (Termocopla e Infrarrojo E18-DB0NK) para el monitoreo de variables críticas en el proceso de termo-compresión?	4
2	 ¿Es adecuada la selección del PLC Siemens S7-1200 (CPU 1214C AC/DC/RLY) como unidad central de control para este tipo de aplicación industrial?	4
3	 ¿Cómo evalúa el uso de una pantalla HMI para el monitoreo de variables y etapas del proceso automatizado (temperatura, conteo de placas, ciclos)?	4
4	 ¿La incorporación de motores NEMA 17 y 23 junto a drivers TB6600 representa una solución efectiva en términos de precisión y fiabilidad para la automatización del movimiento?	3

Dirección: Campus mainit, La Libertad - prov. Santa Elena - Ecuador  
Código Postal: 210204 - Teléfono: (04) 2-751732  
www.upse.edu.ec

UPSE  
Facultad de Ciencias de la Ingeniería  
Ingeniería Industrial

5	 ¿Considera eficiente la automatización de la apertura y cierre de la puerta del horno mediante un sistema de cadena y piñón usando un motor NEMA adicional?	4
6	 ¿Cómo valora el sistema de transporte motorizado (carrito y banda telescópica) como mecanismo para trasladar automáticamente de forma transversal el molde a lo largo del proceso?	4
7	 ¿Es adecuado el uso de una gata electrohidráulica de 5 Ton (Electric Jack) para el prensado automático de los moldes, considerando el objetivo de mejorar fuerza y eficiencia?	3
8	 ¿Cree que el sistema propuesto mediante rodamientos permite una transición fluida y precisa entre las etapas del horno, prensa y separación del molde?	4

Dirección: Campus mainit, La Libertad - prov. Santa Elena - Ecuador  
Código Postal: 210204 - Teléfono: (04) 2-751732  
www.upse.edu.ec

UPSE  
Ciencias de la Ingeniería  
Ingeniería Industrial

9	 ¿Cree que el diseño estructural en acero galvanizado cumple con los requisitos de durabilidad y resistencia para un ambiente salino con clima árido o desértico?	3
10	 ¿Considera replicable esta solución tecnológica en entornos industriales reales o centros académicos, con mínimas adaptaciones técnicas?	4

Datos del Experto	
Identificación	Carlos Saldaña
Años de experiencia	710 años
Teléfono	0911774027
Correo	csalda@upse.edu.ec
Fecha de validación	21-04-2021

Escala de valoración Likert		
1	Inaceptable	I
2	Deficiente	D
3	Regular	R
4	Aceptable	A
5	Eficiente	E

Facultad de Ciencias de la Ingeniería  
Ingeniería Industrial  
UPSE

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Asunto: Validación por expertos.  
Opinión: Yo Alfonso C. Veloz Aguayo, con C.I. 0705182280 requerido por los estudiantes de ingeniería industrial, Lainez Apolinario Ronald y Wladimir C. C.I. 2450355074 y Chiriguaya Intriago John Jaime con C.I. 2450730854, doy mi criterio profesional respecto al sistema de control automatizado implementado en el prototipo: termo-compresión para la fabricación de paneles plásticos reciclados, en el marco de su trabajo de integración curricular, específicamente en el apartado de desarrollo del diseño conceptual.

Firma: [Firma]

TEMA: SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO DEL PRÓTOTIPO DE TERMO COMPRESIÓN PARA FABRICAR PANELES PLÁSTICOS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL, SANTA ELENA, ECUADOR

Propuesta de diseño #1



Nº	Preguntas	Respuestas
----	-----------	------------





Dirección: Campus main, La Libertad - prov. Santa Elena - Ecuador  
Código Postal: 210204 - Teléfono: (04) 2-781732  
www.upse.edu.ec

Facultad de Ciencias de la Ingeniería  
Ingeniería Industrial  
UPSE

		del experto
1	 ¿Considera adecuada la integración de sensores de temperatura y proximidad (Termocupla e Infrarrojo EI8-D80NK) para el monitoreo de variables críticas en el proceso de termo-compresión?	5
2	 ¿Es adecuada la selección del PLC Siemens S7-1200 (CPU 1214C AC/DC/RLY) como unidad central de control para este tipo de aplicación industrial?	5
3	 ¿Cómo evalúa el uso de una pantalla HMI para el monitoreo de variables y etapas del proceso automatizado (temperatura, conteo de placas, ciclos)?	5
4	 ¿La incorporación de motores NEMA 17 y 23 junto a drivers TB6600 representa una solución efectiva en términos de precisión y fiabilidad para la automatización del movimiento?	5

Dirección: Campus main, La Libertad - prov. Santa Elena - Ecuador  
Código Postal: 210204 - Teléfono: (04) 2-781732  
www.upse.edu.ec

Facultad de Ciencias de la Ingeniería  
Ingeniería Industrial  
UPSE

5	 ¿Considera eficiente la automatización de la apertura y cierre de la puerta del horno mediante un sistema de cadena y piñón usando un motor NEMA adicional?	5
6	 ¿Cómo valora el sistema de transporte motorizado (carrito y banda telescópica) como mecanismo para trasladar automáticamente de forma transversal el molde a lo largo del proceso?	5
7	 ¿Es adecuado el uso de una gata electrohidráulica de 5 Ton (Electric Jack) para el prensado automático de los moldes, considerando el objetivo de mejorar fuerza y eficiencia?	5
8	 ¿Cree que el sistema propuesto mediante rodamientos permite una transición fluida y precisa entre las etapas del horno, prensa y separación del molde?	5

Dirección: Campus main, La Libertad - prov. Santa Elena - Ecuador  
Código Postal: 210204 - Teléfono: (04) 2-781732  
www.upse.edu.ec

Facultad de Ciencias de la Ingeniería  
Ingeniería Industrial  
UPSE

9	 ¿Cree que el diseño estructural en acero galvanizado cumple con los requisitos de durabilidad y resistencia para un ambiente salino con clima árido o desértico?	5
10	 ¿Considera replicable esta solución tecnológica en entornos industriales reales o centros académicos, con mínimas adaptaciones técnicas?	5

Datos del Experto	
Identificación	<u>Alfonso C. Veloz Aguayo</u>
Años de experiencia	<u>30+</u>
Teléfono	<u>0996866782</u>
Correo	<u>aveloz@upse.edu.ec</u>
Fecha de validación	<u>22/04/2025</u>

Escala de valoración Likert		
1	Inaceptable	I
2	Deficiente	D
3	Regular	R
4	Aceptable	A
5	Efficiente	E

Dirección: Campus main, La Libertad - prov. Santa Elena - Ecuador  
Código Postal: 210204 - Teléfono: (04) 2-781732  
www.upse.edu.ec

Facultad de Ciencias de la Ingeniería Ingeniería Industrial

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Asunto: Validación por expertos.

Opinión: Yo, Juan Carlos Rodríguez, con C.I. 0901820193, requerido por los estudiantes de Ingeniería Industrial, Lainez Apolinario Ronald Wladimir, con C.I. 2450355074 y Chiriguaya Iatrigo John Jaime con C.I. 2450730854, doy mi criterio profesional respecto al sistema de control automatizado implementado en el prototipo de termo-compresión para la fabricación de paneles plásticos reciclados, en el marco de su trabajo de integración curricular, específicamente en el apartado de desarrollo del diseño conceptual.

Firma:

TEMA: SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO DEL PROTOTIPO DE TERMO COMPRESIÓN PARA FABRICAR PANELES PLÁSTICOS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL, SANTA ELENA, ECUADOR

Propuesta de diseño #1

Nº Preguntas Respuestas

Dirección: Campus main, La Libertad - prov. Santa Elena - Ecuador  
Código Postal: 240204 - Teléfono: (04) 2-781732  
www.upse.edu.ec

Ciencias de la Ingeniería Ingeniería Industrial

		del experto
1	 ¿Considera adecuada la integración de sensores de temperatura y proximidad (Termocupla e Infrarrojo E18-D80NK) para el monitoreo de variables críticas en el proceso de termo-compresión?	5
2	 ¿Es adecuada la selección del PLC Siemens S7-1200 (CPU 1214C AC/DC/RLY) como unidad central de control para este tipo de aplicación industrial?	5
3	 ¿Cómo evalúa el uso de una pantalla HMI para el monitoreo de variables y etapas del proceso automatizado (temperatura, conteo de placas, ciclos)?	5
4	 ¿La incorporación de motores NEMA 17 y 23 junto a drivers TB6600 representa una solución efectiva en términos de precisión y fiabilidad para la automatización del movimiento?	5

Dirección: Campus main, La Libertad - prov. Santa Elena - Ecuador  
Código Postal: 240204 - Teléfono: (04) 2-781732  
www.upse.edu.ec

Ciencias de la Ingeniería Ingeniería Industrial

5	 ¿Considera eficiente la automatización de la apertura y cierre de la puerta del horno mediante un sistema de cadena y piñón usando un motor NEMA adicional?	5
6	 ¿Cómo valora el sistema de transporte motorizado (carrito y banda telescópica) como mecanismo para trasladar automáticamente de forma transversal el molde a lo largo del proceso?	5
7	 ¿Es adecuado el uso de una gata electrohidráulica de 5 Ton (Electric Jack) para el prensado automático de los moldes, considerando el objetivo de mejorar fuerza y eficiencia?	5
8	 ¿Cree que el sistema propuesto mediante rodamientos permite una transición fluida y precisa entre las etapas del horno, prensa y separación del molde?	5

Dirección: Campus main, La Libertad - prov. Santa Elena - Ecuador  
Código Postal: 240204 - Teléfono: (04) 2-781732  
www.upse.edu.ec

Ciencias de la Ingeniería Ingeniería Industrial

9	 ¿Cree que el diseño estructural en acero galvanizado cumple con los requisitos de durabilidad y resistencia para un ambiente salino con clima árido o desértico?	5
10	 ¿Considera replicable esta solución tecnológica en entornos industriales reales o centros académicos, con mínimas adaptaciones técnicas?	5

Datos del Experto	
Identificación	0901820193
Años de experiencia	13
Teléfono	0999156804
Correo	lainez@upse.edu.ec
Fecha de validación	24-04-2025

Escala de valoración Likert		
1	Inaceptable	I
2	Deficiente	D
3	Regular	R
4	Aceptable	A
5	Eficiente	E

Dirección: Campus main, La Libertad - prov. Santa Elena - Ecuador  
Código Postal: 240204 - Teléfono: (04) 2-781732  
www.upse.edu.ec

Facultad de Ciencias de la Ingeniería  
Ingeniería Industrial  
UPSE

UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA  
FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**Asunto:** Validación por expertos.

**Opinión:** Yo Ing. Luis Enrique Ichuquimarca Jiménez Mgr, con C.I. 1104610132; requerido por los exámenes de ingeniería industrial, Latiz Apolinario Ronald Wladimir, con C.I. 2450155074 y Chiriguaya Intriago John Jaime con C.I. 2450730854, doy mi criterio profesional respecto al sistema de control automatizado implementado en el prototipo de termocompresión para la fabricación de paneles plásticos reciclados, en el marco de su trabajo de integración curricular, específicamente en el apartado de desarrollo del diseño conceptual.

**Firma:**







**TEMA:** SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO DEL PROTOTIPO DE TERMO COMPRESIÓN PARA FABRICAR PANELES PLÁSTICOS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL, SANTA ELENA, ECUADOR

**Propuesta de diseño #1**







Dirección: Campus Militar, La Libertad - prov. Santa Elena - Ecuador  
Código Postal: 240204 - Teléfono: (04) 2-781732  
www.upse.edu.ec

Facultad de Ciencias de la Ingeniería  
Ingeniería Industrial  
UPSE

Nº	Preguntas	Res del e
1	 ¿Considera adecuada la integración de sensores de temperatura y proximidad (Termocupla e Infrarrojo E18-D80NK) para el monitoreo de variables críticas en el proceso de termocompresión?	
2	 ¿Es adecuada la selección del PLC Siemens S7-1200 (CPU 1214C AC/DC/RLY) como unidad central de control para este tipo de aplicación industrial?	
3	 ¿Cómo evalúa el uso de una pantalla HMI para el monitoreo de variables y etapas del proceso automatizado (temperatura, conteo de placas, ciclos)?	
4	 ¿La incorporación de motores NEMA 17 y 23 junto a drivers TB6600 representa una solución efectiva en términos de precisión y fiabilidad para la automatización del movimiento?	

Dirección: Campus Militar, La Libertad - prov. Santa Elena - Ecuador  
Código Postal: 240204 - Teléfono: (04) 2-781732  
www.upse.edu.ec

Facultad de Ciencias de la Ingeniería  
Ingeniería Industrial  
UPSE

5	 ¿Considera eficiente la automatización de la apertura y cierre de la puerta del horno mediante un sistema de cadena y piñón usando un motor NEMA adicional?	A
6	 ¿Cómo valora el sistema de transporte motorizado (carrito y banda telescópica) como mecanismo para trasladar automáticamente de forma transversal el molde a lo largo del proceso?	A
7	 ¿Es adecuado el uso de una gata electrohidráulica de 5 Ton (Electric Jack) para el prensado automático de los moldes, considerando el objetivo de mejorar fuerza y eficiencia?	E
8	 ¿Cree que el sistema propuesto mediante rodamientos permite una transición fluida y precisa entre las etapas del horno, prensa y separación del molde?	A

Dirección: Campus Militar, La Libertad - prov. Santa Elena - Ecuador  
Código Postal: 240204 - Teléfono: (04) 2-781732  
www.upse.edu.ec

Facultad de Ciencias de la Ingeniería  
Ingeniería Industrial  
UPSE

9	 ¿Cree que el diseño estructural en acero galvanizado cumple con los requisitos de durabilidad y resistencia para un ambiente salino con clima árido o desértico?	A
10	 ¿Considera replicable esta solución tecnológica en entornos industriales reales o centros académicos, con mínimas adaptaciones técnicas?	R

Escala de valoración Likert		Datos del Experto	
1	Inaceptable I	Identificación	1104610132
2	Deficiente D	Años de experiencia	14
3	Regular R	Teléfono	0996030218
4	Aceptable A	Correo	lchuquimarc@upse.edu.ec
5	Eficiente E	Fecha de validación	23/04/2025

Dirección: Campus Militar, La Libertad - prov. Santa Elena - Ecuador  
Código Postal: 240204 - Teléfono: (04) 2-781732  
www.upse.edu.ec


**Facultad de Ciencias de la Ingeniería**  
 Ingeniería Industrial

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
 FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
 CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**Asunto:** Validación por expertos.

**Opinión:** Yo Franklin González V., con C.I. 0103817060, requerido por los estudiantes de ingeniería industrial, Lainez Apolinario Ronald Wladimir, con C.I. 2450355074 y Chiriguay Intrigay John Jaime con C.I. 2450730854, doy mi criterio profesional respecto al sistema de control automatizado implementado en el prototipo de termo-compresión para la fabricación de paneles plásticos reciclados, en el marco de su trabajo de integración curricular específicamente en el apartado de desarrollo del diseño conceptual.

**Firma:**  


**TEMA: SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO DEL PROTOTIPO DE TERMO COMPRESIÓN PARA FABRICAR PANELES PLÁSTICOS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL, SANTA ELENA, ECUADOR**

**Propuesta de diseño #1**







Dirección: Campus matriz, La Libertad - Univ. Santa Elena - Ecuador  
 Código Postal: 240204 - Teléfono: (04) 2-791732  
 www.upse.edu.ec


**Facultad de Ciencias de la Ingeniería**  
 Ingeniería Industrial

Nº	Preguntas	Respuesta del experto
1	 ¿Considera adecuada la integración de sensores de temperatura y proximidad (Termocupla e Infrarrojo E18-D80NK) para el monitoreo de variables críticas en el proceso de termocompresión?	E
2	 ¿Es adecuada la selección del PLC Siemens S7-1200 (CPU 1214C AC/DC/RLY) como unidad central de control para este tipo de aplicación industrial?	E
3	 ¿Cómo evalúa el uso de una pantalla HMI para el monitoreo de variables y etapas del proceso automatizado (temperatura, conteo de placas, ciclos)?	E
4	 ¿La incorporación de motores NEMA 17 y 23 junto a drivers TB6600 representa una solución efectiva en términos de precisión y fiabilidad para la automatización del movimiento?	E

Dirección: Campus matriz, La Libertad - Univ. Santa Elena - Ecuador  
 Código Postal: 240204 - Teléfono: (04) 2-791732  
 www.upse.edu.ec


**Facultad de Ciencias de la Ingeniería**  
 Ingeniería Industrial

5	 ¿Considera eficiente la automatización de la apertura y cierre de la puerta del horno mediante un sistema de cadena y piñón usando un motor NEMA adicional?	E
6	 ¿Cómo valora el sistema de transporte motorizado (carrito y banda telescópica) como mecanismo para trasladar automáticamente de forma transversal el molde a lo largo del proceso?	E
7	 ¿Es adecuado el uso de una gata electrohidráulica de 5 Ton (Electric Jack) para el prensado automático de los moldes, considerando el objetivo de mejorar fuerza y eficiencia?	E
8	 ¿Cree que el sistema propuesto mediante rodamientos permite una transición fluida y precisa entre las etapas del horno, prensa y separación del molde?	E

Dirección: Campus matriz, La Libertad - Univ. Santa Elena - Ecuador  
 Código Postal: 240204 - Teléfono: (04) 2-791732  
 www.upse.edu.ec


**Facultad de Ciencias de la Ingeniería**  
 Ingeniería Industrial

9	 ¿Cree que el diseño estructural en acero galvanizado cumple con los requisitos de durabilidad y resistencia para un ambiente salino con clima árido o desértico?	E
10	 ¿Considera replicable esta solución tecnológica en entornos industriales reales o centros académicos, con mínimas adaptaciones técnicas?	E

Escala de valoración Likert		Datos del Experto	
1	Inaceptable	I	<b>MSc. Franklin González V.</b> 15 09 69 75 77 37 fgonzalez7060@upse.edu.ec 21 de abril de 2025
2	Deficiente	D	
3	Regular	R	
4	Aceptable	A	
5	Efficiente	E	

Dirección: Campus matriz, La Libertad - Univ. Santa Elena - Ecuador  
 Código Postal: 240204 - Teléfono: (04) 2-791732  
 www.upse.edu.ec

Facultad de Ciencias de la Ingeniería  
Ingeniería Industrial  
UPSE

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Asunto: Validación por expertos

Opinión: Yo Simon MacParedes Pizarro con C.I. 180921063-6 requerido por los estudiantes de ingeniería industrial, Lainez Apolinario Ronald Wladimir, con C.I. 2450355074 y Chariguaya Intrago John Jaime con C.I. 2450730654, doy mi criterio profesional respecto al sistema de control automatizado implementado en el prototipo de termo-compresión para la fabricación de paneles plásticos reciclados, en el marco de su trabajo de integración curricular, específicamente en el apartado de desarrollo del diseño conceptual.

Firma:

TEMA: SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO DEL PROTOTIPO DE TERMO COMPRESIÓN PARA FABRICAR PANELES PLÁSTICOS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL, SANTA ELENA, ECUADOR

Propuesta de diseño #1

Dirección: Campus multi, La Libertad - prov. Santa Elena - Ecuador  
Código Postal: 240204 - Teléfono: (01) 2-791732  
www.upse.edu.ec

Facultad de Ciencias de la Ingeniería  
Ingeniería Industrial  
UPSE

Nº	Preguntas	Respuesta del experto
1	 ¿Considera adecuada la integración de sensores de temperatura y proximidad (Termoscapia e Infrarrojo E18-D80NK) para el monitoreo de variables críticas en el proceso de termo-compresión?	5
2	 ¿Es adecuada la selección del PLC Siemens S7-1200 (CPU 1214C AC/DC/RLY) como unidad central de control para este tipo de aplicación industrial?	5
3	 ¿Cómo evalúa el uso de una pantalla HMI para el monitoreo de variables y etapas del proceso automatizado (temperatura, control de placas, ciclos)?	5
4	 ¿La incorporación de motores NEMA 17 y 23 junto a drivers TB6600 representa una solución efectiva en términos de precisión y fiabilidad para la automatización del movimiento?	5

Dirección: Campus multi, La Libertad - prov. Santa Elena - Ecuador  
Código Postal: 240204 - Teléfono: (01) 2-791732  
www.upse.edu.ec

Facultad de Ciencias de la Ingeniería  
Ingeniería Industrial  
UPSE

5	 ¿Considera eficiente la automatización de la apertura y cierre de la puerta del horno mediante un sistema de cadena y piñón usando un motor NEMA adicional?	5
6	 ¿Cómo valora el sistema de transporte motorizado (carrizo y banda telescópica) como mecanismo para trasladar automáticamente de forma transversal el molde a lo largo del proceso?	5
7	 ¿Es adecuado el uso de una gata electrohidráulica de 5 Ton (Electric Jack) para el prensado automático de los moldes, considerando el objetivo de mejorar fuerza y eficiencia?	5
8	 ¿Cree que el sistema propuesto mediante rodamientos permite una transición fluida y precisa entre las etapas del horno, prensa y separación del molde?	5


Dirección: Campus multi, La Libertad - prov. Santa Elena - Ecuador  
Código Postal: 240204 - Teléfono: (01) 2-791732  
www.upse.edu.ec

Facultad de Ciencias de la Ingeniería  
Ingeniería Industrial  
UPSE

9	 ¿Cree que el diseño estructural en acero galvanizado cumple con los requisitos de durabilidad y resistencia para un ambiente salino con clima árido o desértico?	5
10	 ¿Considera replicable esta solución tecnológica en entornos industriales reales o centros académicos, con mínimas adaptaciones técnicas?	5

Escala de valoración Likert		Datos del Experto	
1	Inapropiable I	Identificación	80627063-6
2	Deficiente D	Años de experiencia	7
3	Regular R	Teléfono	0933292501
4	Aceptable A	Correo	simonmac@upse.edu.ec
5	Eficiente E	Fecha de validación	23-4-2025

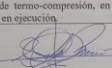
Dirección: Campus multi, La Libertad - prov. Santa Elena - Ecuador  
Código Postal: 240204 - Teléfono: (01) 2-791732  
www.upse.edu.ec


**Facultad de Ciencias de la Ingeniería**  
 Ingeniería Industrial

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
 FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
 CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**Asunto:** Validación por expertos.


**Opinión:** Yo Carlos Alberto Sánchez con C.I. 180520236 requerido por los estudiantes de ingeniería industrial, Lainez Apolinario Ronald Wladimir, con C.I. 2450355074 y Chiriguaya Intriago John Jaime con C.I. 2450730854, para evaluar la pertinencia de las preguntas contenidas en una guía de entrevista enfocada en los ejes temáticos de automatización, fabricación de paneles plásticos, sostenibilidad, eficiencia energética y funcionamiento del prototipo, con el objetivo de recopilar criterios especializados que respalden el desarrollo e implementación del sistema de control automatizado aplicado a la máquina de termo-compresión, en el marco del proyecto de titulación que actualmente se encuentra en ejecución.

**Firma:** 

**TEMA:** SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO DEL PROTOTIPO DE TERMO COMPRESIÓN PARA FABRICAR PANELES PLÁSTICOS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL, SANTA ELENA, ECUADOR

Nº	Preguntas	Respuesta del experto
1	¿Considera que la termo-compresión es un método adecuado para la fabricación de paneles plásticos reciclados en términos de calidad y resistencia del producto?	S
2	¿Qué características cree que deben cumplir los paneles plásticos para su uso en sectores como la construcción o mobiliario (tamaño, textura, espesor, rigidez)?	S
3	¿Cree usted que la uniformidad y acabado del panel final depende directamente del control preciso de la temperatura, presión y tiempo de compresión?	S
4	¿Considera que el sistema automatizado facilita la obtención de productos más estandarizados y repetibles en cada ciclo de fabricación?	S
5	¿Qué tan importante considera el uso de materiales reciclados para la elaboración de productos de aplicación técnica o constructiva como los paneles plásticos?	S
6	¿En qué sectores considera que podrían aplicarse los paneles plásticos fabricados mediante esta máquina (construcción, decoración, mobiliario, etc.)?	S


Dirección: Campus Mañá, La Libertad - prov. Santa Elena - Ecuador  
 Código Postal: 240204 - Teléfono: (05) 2 781732  
 www.upse.edu.ec


**Facultad de Ciencias de la Ingeniería**  
 Ingeniería Industrial

7	¿Qué tipo de pruebas cree que se deberían realizar para validar la calidad de los paneles (resistencia mecánica, flexión, humedad, abrasión, etc.)?	S
8	¿Considera viable fabricar paneles con distintos tipos de plástico sin una clasificación estricta, utilizando la versatilidad del proceso de termo-compresión?	S
9	¿Cree que la reducción de residuos y desperdicio de material en este tipo de proceso favorece la sostenibilidad ambiental y la economía circular?	S
10	¿Considera que los paneles producidos podrían competir con materiales tradicionales si el proceso garantiza calidad y bajos costos?	S
11	¿Qué aspectos considera clave para que los paneles plásticos reciclados logren aceptación en el mercado o en proyectos sociales/académicos?	S

Escala de valoración Likert		Datos del Experto	
1	Inaceptable I	Identificación	<u>180520236</u>
2	Deficiente D	Especialidad/área de conocimiento	<u>Sistemas Automatizados de Control Eléctrico y Automatización</u>
3	Regular R	Años de experiencia	<u>7 años</u>
4	Aceptable A	Teléfono	<u>0993782502</u>
5	Eficiente E	Correo electrónico	<u>chiriguaya@upse.edu.ec</u>
		Fecha de validación	<u>23-4-2025</u>


Dirección: Campus Mañá, La Libertad - prov. Santa Elena - Ecuador  
 Código Postal: 240204 - Teléfono: (05) 2 781732  
 www.upse.edu.ec


**Facultad de Ciencias de la Ingeniería**  
 Ingeniería Industrial

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
 FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
 CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**Asunto:** Validación por expertos.


**Opinión:** Yo Carlos Alberto Sánchez con C.I. 180520236 requerido por los estudiantes de ingeniería industrial, Lainez Apolinario Ronald Wladimir, con C.I. 2450355074 y Chiriguaya Intriago John Jaime con C.I. 2450730854, para evaluar la pertinencia de las preguntas contenidas en una guía de entrevista enfocada en los ejes temáticos de automatización, funcionamiento, requerimientos técnicos, sostenibilidad y eficiencia energética, con el objetivo de identificar los requerimientos del cliente y validar técnicamente las necesidades para la implementación del sistema automatizado en el prototipo de termo-compresión.

**Firma:** 

**TEMA:** SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO DEL PROTOTIPO DE TERMO COMPRESIÓN PARA FABRICAR PANELES PLÁSTICOS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL, SANTA ELENA, ECUADOR

Nº	Preguntas	Respuesta del experto
1	¿Considera necesario el monitoreo de variables críticas (como temperatura y posición) en el proceso de termo-compresión para garantizar la calidad del producto final?	S
2	¿Cree usted que es indispensable utilizar una unidad central de control industrial (como un PLC) para el funcionamiento eficiente y seguro de esta máquina?	S
3	¿Considera importante que la máquina automatizada cuente con un sistema de monitoreo que registre el número de placas producidas y el seguimiento de cada etapa del proceso?	S
4	¿Considera necesario optimizar el sistema de movimiento transversal de la máquina en términos de precisión y fiabilidad para asegurar una operación automatizada eficiente?	S
5	¿Considera usted necesario la incorporación de un mecanismo de entrada automatizado del molde al horno, como parte del proceso productivo?	S
6	¿Cómo calificaría la implementación de un sistema de transporte motorizado para trasladar automáticamente el molde entre las diferentes estaciones del proceso?	S

Dirección: Campus Mañá, La Libertad - prov. Santa Elena - Ecuador  
 Código Postal: 240204 - Teléfono: (05) 2 781732  
 www.upse.edu.ec


**Facultad de Ciencias de la Ingeniería**  
 Ingeniería Industrial

7	¿Cree que automatizar la etapa de prensado de los moldes, mediante el uso de una gata electrohidráulica, es adecuado para mejorar la fuerza aplicada y la eficiencia del proceso? (3 Toneladas)	S
8	¿Considera necesario diseñar un sistema que permita una transición fluida y precisa mediante rodachines entre las etapas del horno, la prensa y la separación final del molde?	S
9	¿Opina que el diseño estructural en acero galvanizado proporciona la resistencia y durabilidad necesarias para un sistema industrial de este tipo?	S
10	¿Considera que este sistema automatizado puede ser replicado o escalado fácilmente en entornos industriales o académicos, con mínimas adaptaciones?	S
11	¿Considera que la incorporación de un sistema automatizado como este podría contribuir al éxito de proyectos académicos, de investigación o de impacto social?	S

Escala de valoración Likert		Datos del Experto	
1	Inaceptable I	Identificación	<u>180520236</u>
2	Deficiente D	Especialidad/área de conocimiento	<u>Sistemas Automatizados de Control Eléctrico y Automatización</u>
3	Regular R	Años de experiencia	<u>7 años</u>
4	Aceptable A	Teléfono	<u>0993782502</u>
5	Eficiente E	Correo electrónico	<u>chiriguaya@upse.edu.ec</u>
		Fecha de validación	<u>23-4-2025</u>

Dirección: Campus Mañá, La Libertad - prov. Santa Elena - Ecuador  
 Código Postal: 240204 - Teléfono: (05) 2 781732  
 www.upse.edu.ec

Facultad de Ciencias de la Ingeniería  
Ingeniería Industrial  
UPSE

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Asunto: Validación por expertos.  
Opinión: Yo Alfonso C. Veloz Aguayo, con C.I. 008192280, requerido por los estudiantes de ingeniería industrial, Lainez Apolinario Ronald Wladimir, con C.I. 2450355074 y Chiriguaya Intriago John Jaime con C.I. 2450730854, para evaluar la pertinencia de las preguntas contenidas en una guía de entrevista enfocada en los ejes temáticos de automatización, funcionamiento, requerimientos técnicos, sostenibilidad y eficiencia energética, con el objetivo de identificar los requerimientos del cliente y validar técnicamente las necesidades para la implementación del sistema automatizado en el prototipo de termo-compresión.

Firma: [Firma]

TEMA: SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO DEL PROTOTIPO DE TERMO COMPRESIÓN PARA FABRICAR PANELES PLÁSTICOS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL, SANTA ELENA, ECUADOR

Nº	Preguntas	Respuesta del experto
1	¿Considera necesario el monitoreo de variables críticas (como temperatura y posición) en el proceso de termo-compresión para garantizar la calidad del producto final?	5
2	¿Cree usted que es indispensable utilizar una unidad central de control industrial (como un PLC) para el funcionamiento eficiente y seguro de esta máquina?	5
3	¿Considera importante que la máquina automatizada cuente con un sistema de monitoreo que registre el número de placas producidas y el seguimiento de cada etapa del proceso?	5
4	¿Considera necesario optimizar el sistema de movimiento transversal de la máquina en términos de precisión y fiabilidad para asegurar una operación automatizada eficiente?	5
5	¿Considera usted necesario la incorporación de un mecanismo de entrada automatizado del molde al horno, como parte del proceso productivo?	5
6	¿Cómo calificaría la implementación de un sistema de transporte motorizado para trasladar automáticamente el molde entre las diferentes estaciones del proceso?	5

Dirección: Campus Militar, La Libertad - prov. Santa Elena - Ecuador  
Código Postal: 240201 - Teléfono: (09) 2-781732  
www.upse.edu.ec

Facultad de Ciencias de la Ingeniería  
Ingeniería Industrial  
UPSE

7	¿Cree que automatizar la etapa de prensado de los moldes, mediante el uso de una gata electrohidráulica, es adecuado para mejorar la fuerza aplicada y la eficiencia del proceso? (5 Toneladas)	5
8	¿Considera necesario diseñar un sistema que permita una transición fluida y precisa mediante rodachines entre las etapas del horno, la prensa y la separación final del molde?	5
9	¿Opina que el diseño estructural en acero galvanizado proporciona la resistencia y durabilidad necesarias para un sistema industrial de este tipo?	5
10	¿Considera que este sistema automatizado puede ser replicado o escalado fácilmente en entornos industriales o académicos, con mínimas adaptaciones?	5
11	¿Considera que la incorporación de un sistema automatizado como este podría contribuir al éxito de proyectos académicos, de investigación o de impacto social?	5

Datos del Experto

Identificación	<u>Alfonso C. Veloz Aguayo</u>
Especialidad/área de conocimiento	<u>Ind. Mecánica</u>
Años de experiencia	<u>30+</u>
Teléfono	<u>0996864782</u>
Correo electrónico	<u>a.veloz@upse.edu.ec</u>
Fecha de validación	<u>22/04/2025</u>

Escala de valoración Likert

1	Inaceptable	I
2	Deficiente	D
3	Regular	R
4	Aceptable	A
5	Eficiente	E

Dirección: Campus Militar, La Libertad - prov. Santa Elena - Ecuador  
Código Postal: 240201 - Teléfono: (09) 2-781732  
www.upse.edu.ec

Facultad de Ciencias de la Ingeniería  
Ingeniería Industrial  
UPSE

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Asunto: Validación por expertos.  
Opinión: Yo Franklin González V. con C.I. 0103817060, requerido por los estudiantes de ingeniería industrial, Lainez Apolinario Ronald Wladimir, con C.I. 2450355074 y Chiriguaya Intriago John Jaime con C.I. 2450730854, para evaluar la pertinencia de las preguntas contenidas en una guía de entrevista enfocada en los ejes temáticos de automatización, funcionamiento, requerimientos técnicos, sostenibilidad y eficiencia energética, con el objetivo de identificar los requerimientos del cliente y validar técnicamente las necesidades para la implementación del sistema automatizado en el prototipo de termo-compresión.

Firma: [Firma]

TEMA: SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO DEL PROTOTIPO DE TERMO COMPRESIÓN PARA FABRICAR PANELES PLÁSTICOS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL, SANTA ELENA, ECUADOR

Nº	Preguntas	Respuesta del experto
1	¿Considera necesario el monitoreo de variables críticas (como temperatura y posición) en el proceso de termo-compresión para garantizar la calidad del producto final?	E
2	¿Cree usted que es indispensable utilizar una unidad central de control industrial (como un PLC) para el funcionamiento eficiente y seguro de esta máquina?	E
3	¿Considera importante que la máquina automatizada cuente con un sistema de monitoreo que registre el número de placas producidas y el seguimiento de cada etapa del proceso?	E
4	¿Considera necesario optimizar el sistema de movimiento transversal de la máquina en términos de precisión y fiabilidad para asegurar una operación automatizada eficiente?	E
5	¿Considera usted necesario la incorporación de un mecanismo de entrada automatizado del molde al horno, como parte del proceso productivo?	E
6	¿Cómo calificaría la implementación de un sistema de transporte motorizado para trasladar automáticamente el molde entre las diferentes estaciones del proceso?	E
7	¿Cree que automatizar la etapa de prensado de los moldes, mediante el uso de una gata electrohidráulica, es adecuado para mejorar la fuerza aplicada y la eficiencia del proceso? (5 Toneladas)	E

Dirección: Campus Militar, La Libertad - prov. Santa Elena - Ecuador  
Código Postal: 240201 - Teléfono: (09) 2-781732  
www.upse.edu.ec

Facultad de Ciencias de la Ingeniería  
Ingeniería Industrial  
UPSE


8	¿Considera necesario diseñar un sistema que permita una transición fluida y precisa mediante rodachines entre las etapas del horno, la prensa y la separación final del molde?	E
9	¿Opina que el diseño estructural en acero galvanizado proporciona la resistencia y durabilidad necesarias para un sistema industrial de este tipo?	E
10	¿Considera que este sistema automatizado puede ser replicado o escalado fácilmente en entornos industriales o académicos, con mínimas adaptaciones?	E
11	¿Considera que la incorporación de un sistema automatizado como este podría contribuir al éxito de proyectos académicos, de investigación o de impacto social?	E

Escala de valoración Likert

1	Inaceptable	I
2	Deficiente	D
3	Regular	R
4	Aceptable	A
5	Eficiente	E


Datos del Experto

Identificación	<u>MSc. Franklin González V.</u>
Especialidad/área de conocimiento	<u>Producción Industrial Ingeniería y construcción</u>
Años de experiencia	<u>15</u>
Teléfono	<u>09 69 75 77 37</u>
Correo electrónico	<u>fgonzalez706@upse.edu.ec</u>
Fecha de validación	<u>21 de abril de 2025</u>


**Facultad de Ciencias de la Ingeniería**  
 Ingeniería Industrial  
 UPSE

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
 FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
 CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL


**Asunto:** Validación por expertos.  
**Opinión:** Yo Ing. Luis Enrique Chuquimarca Jiménez Mgtr., con C.I. 1104610132; requerido por los estudiantes de ingeniería industrial, Lainez Apolinario Ronald Wladimir, con C.I. 2450355074 y Chiriguaya Intriago John Jaime con C.I. 2450730854, para evaluar la pertinencia de las preguntas contenidas en una guía de entrevista enfocada en los ejes temáticos de automatización, funcionamiento, requerimientos técnicos, sostenibilidad y eficiencia energética, con el objetivo de identificar los requerimientos del cliente y validar técnicamente las necesidades para la implementación del sistema automatizado en el prototipo de termo-compresión.

**Firma:** 

**TEMA:** SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO DEL PROTOTIPO DE TERMO COMPRESIÓN PARA FABRICAR PANELES PLÁSTICOS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL, SANTA ELENA, ECUADOR

Nº	Preguntas	Respuesta del experto
1	¿Considera necesario el monitoreo de variables críticas (como temperatura y posición) en el proceso de termo-compresión para garantizar la calidad del producto final?	E
2	¿Cree usted que es indispensable utilizar una unidad central de control industrial (como un PLC) para el funcionamiento eficiente y seguro de esta máquina?	E
3	¿Considera importante que la máquina automatizada cuente con un sistema de monitoreo que registre el número de placas producidas y el seguimiento de cada etapa del proceso?	E
4	¿Considera necesario optimizar el sistema de movimiento transversal de la máquina en términos de precisión y fiabilidad para asegurar una operación automatizada eficiente?	E
5	¿Considera usted necesario la incorporación de un mecanismo de entrada automatizado del molde al horno, como parte del proceso productivo?	E
6	¿Cómo calificaría la implementación de un sistema de transporte motorizado para trasladar automáticamente el molde entre las diferentes estaciones del proceso?	E

Dirección: Campus marít. La Libertad - prov. Santa Elena - Ecuador  
 Código Postal: 240204 - Teléfono: (04) 2-781732  
 www.upse.edu.ec



**Facultad de Ciencias de la Ingeniería**  
 Ingeniería Industrial  
 UPSE

7	¿Cree que automatizar la etapa de prensado de los moldes, mediante el uso de una gata electrohidráulica, es adecuado para mejorar la fuerza aplicada y la eficiencia del proceso? (5 Toneladas)	E
8	¿Considera necesario diseñar un sistema que permita una transición fluida y precisa mediante rodachines entre las etapas del horno, la prensa y la separación final del molde?	E
9	¿Opina que el diseño estructural en acero galvanizado proporciona la resistencia y durabilidad necesarias para un sistema industrial de este tipo?	A
10	¿Considera que este sistema automatizado puede ser replicado o escalado fácilmente en entornos industriales o académicos, con mínimas adaptaciones?	R
11	¿Considera que la incorporación de un sistema automatizado como este podría contribuir al éxito de proyectos académicos, de investigación o de impacto social?	A

Escala de valoración Likert	
1	Inaceptable I
2	Deficiente D
3	Regular R
4	Aceptable A
5	Eficiente E

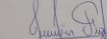
Datos del Experto	
Identificación	1104610132
Especialidad/área de conocimiento	MASTER EN INGENIERIA ELECTRONICA
Años de experiencia	14
Teléfono	0996030218
Correo electrónico	lchuquimarca@upse.edu.ec
Fecha de validación	23/04/2025

Dirección: Campus marít. La Libertad - prov. Santa Elena - Ecuador  
 Código Postal: 240204 - Teléfono: (04) 2-781732


**Facultad de Ciencias de la Ingeniería**  
 Ingeniería Industrial  
 UPSE

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
 FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
 CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL


**Asunto:** Validación por expertos.  
**Opinión:** Yo ~~Juan Carlos~~ Luis Enrique Chuquimarca Jiménez Mgtr., con C.I. ~~1104610132~~ 1104610132; requerido por los estudiantes de ingeniería industrial, Lainez Apolinario Ronald Wladimir, con C.I. 2450355074 y Chiriguaya Intriago John Jaime con C.I. 2450730854, para evaluar la pertinencia de las preguntas contenidas en una guía de entrevista enfocada en los ejes temáticos de automatización, funcionamiento, requerimientos técnicos, sostenibilidad y eficiencia energética, con el objetivo de identificar los requerimientos del cliente y validar técnicamente las necesidades para la implementación del sistema automatizado en el prototipo de termo-compresión.

**Firma:** 

**TEMA:** SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO DEL PROTOTIPO DE TERMO COMPRESIÓN PARA FABRICAR PANELES PLÁSTICOS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL, SANTA ELENA, ECUADOR

Nº	Preguntas	Respuesta del experto
1	¿Considera necesario el monitoreo de variables críticas (como temperatura y posición) en el proceso de termo-compresión para garantizar la calidad del producto final?	5
2	¿Cree usted que es indispensable utilizar una unidad central de control industrial (como un PLC) para el funcionamiento eficiente y seguro de esta máquina?	5
3	¿Considera importante que la máquina automatizada cuente con un sistema de monitoreo que registre el número de placas producidas y el seguimiento de cada etapa del proceso?	5
4	¿Considera necesario optimizar el sistema de movimiento transversal de la máquina en términos de precisión y fiabilidad para asegurar una operación automatizada eficiente?	5
5	¿Considera usted necesario la incorporación de un mecanismo de entrada automatizado del molde al horno, como parte del proceso productivo?	5
6	¿Cómo calificaría la implementación de un sistema de transporte motorizado para trasladar automáticamente el molde entre las diferentes estaciones del proceso?	5

Dirección: Campus marít. La Libertad - prov. Santa Elena - Ecuador  
 Código Postal: 240204 - Teléfono: (04) 2-781732  
 www.upse.edu.ec


**Facultad de Ciencias de la Ingeniería**  
 Ingeniería Industrial  
 UPSE

7	¿Cree que automatizar la etapa de prensado de los moldes, mediante el uso de una gata electrohidráulica, es adecuado para mejorar la fuerza aplicada y la eficiencia del proceso? (5 Toneladas)	5
8	¿Considera necesario diseñar un sistema que permita una transición fluida y precisa mediante rodachines entre las etapas del horno, la prensa y la separación final del molde?	5
9	¿Opina que el diseño estructural en acero galvanizado proporciona la resistencia y durabilidad necesarias para un sistema industrial de este tipo?	5
10	¿Considera que este sistema automatizado puede ser replicado o escalado fácilmente en entornos industriales o académicos, con mínimas adaptaciones?	5
11	¿Considera que la incorporación de un sistema automatizado como este podría contribuir al éxito de proyectos académicos, de investigación o de impacto social?	5

Escala de valoración Likert	
1	Inaceptable I
2	Deficiente D
3	Regular R
4	Aceptable A
5	Eficiente E

Datos del Experto	
Identificación	0802820183
Especialidad/área de conocimiento	Automatización y Control Industrial
Años de experiencia	13
Teléfono	0979156804
Correo electrónico	lchuquimarca@upse.edu.ec
Fecha de validación	24-04-2025

Dirección: Campus marít. La Libertad - prov. Santa Elena - Ecuador  
 Código Postal: 240204 - Teléfono: (04) 2-781732  
 www.upse.edu.ec

Facultad de Ciencias de la Ingeniería  
Ingeniería Industrial  
UPSE

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Asunto: Validación por expertos. Yo con C.I. 0911390977+

Opinión: Yo Yo requiero por los estudiantes de ingeniería industrial, Lainez Apolinario Ronald Wladimir, con C.I. 2450355074 y Chiriguaya Intriago John Jaime con C.I. 2450730854, para evaluar la pertinencia de las preguntas contenidas en una guía de entrevista enfocada en los ejes temáticos de **automatización, funcionamiento, requerimientos técnicos, sostenibilidad y eficiencia energética**, con el objetivo de identificar los requerimientos del cliente y validar técnicamente las necesidades para la implementación del sistema automatizado en el prototipo de termo-compresión.

Firma: [Firma]

TEMA: SISTEMA DE CONTROL/AUTOMATIZADO DEL PROTOTIPO DE TERMO COMPRESIÓN PARA FABRICAR PANELES PLÁSTICOS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL, SANTA ELENA, ECUADOR

Nº	Preguntas	Respuesta del experto
1	¿Considera necesario el monitoreo de variables críticas (como temperatura y posición) en el proceso de termo-compresión para garantizar la calidad del producto final?	5
2	¿Cree usted que es indispensable utilizar una unidad central de control industrial (como un PLC) para el funcionamiento eficiente y seguro de esta máquina?	1
3	¿Considera importante que la máquina automatizada cuente con un sistema de monitoreo que registre el número de placas producidas y el seguimiento de cada etapa del proceso?	5
4	¿Considera necesario optimizar el sistema de movimiento transversal de la máquina en términos de precisión y fiabilidad para asegurar una operación automatizada eficiente?	3
5	¿Considera usted necesario la incorporación de un mecanismo de entrada automatizado del molde al horno, como parte del proceso productivo?	5
6	¿Cómo calificaría la implementación de un sistema de transporte motorizado para trasladar automáticamente el molde entre las diferentes estaciones del proceso?	1

Dirección: Campus main, La Libertad - prov. Santa Elena - Ecuador  
Código Postal: 240204 - Teléfono: (04) 2-781732  
www.upse.edu.ec

Facultad de Ciencias de la Ingeniería  
Ingeniería Industrial  
UPSE

7	¿Cree que automatizar la etapa de prensado de los moldes, mediante el uso de una gata electrohidráulica, es adecuado para mejorar la fuerza aplicada y la eficiencia del proceso? (5 Teneladas)	3
8	¿Considera necesario diseñar un sistema que permita una transición fluida y precisa mediante rodachines entre las etapas del horno, la prensa y la separación final del molde?	5
9	¿Opina que el diseño estructural en acero galvanizado proporciona la resistencia y durabilidad necesarias para un sistema industrial de este tipo?	3
10	¿Considera que este sistema automatizado puede ser replicado o escalado fácilmente en entornos industriales o académicos, con mínimas adaptaciones?	4
11	¿Considera que la incorporación de un sistema automatizado como este podría contribuir al éxito de proyectos académicos, de investigación o de impacto social?	3

Datos del Experto

Identificación	<u>Carlos Sánchez</u>
Especialidad/área de conocimiento	<u>Automatización</u>
Años de experiencia	<u>&gt;10 años</u>
Teléfono	<u>091174074</u>
Correo electrónico	<u>carlos@paper-ide.ec</u>
Fecha de validación	<u>24-04-2025</u>

Escala de valoración Likert

1	Inaceptable	I
2	Deficiente	D
3	Regular	R
4	Aceptable	A
5	Eficiente	E

Dirección: Campus main, La Libertad - prov. Santa Elena - Ecuador  
Código Postal: 240204 - Teléfono: (04) 2-781732  
www.upse.edu.ec

Facultad de Ciencias de la Ingeniería  
Ingeniería Industrial  
UPSE

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Asunto: Validación por expertos. Yo con C.I. 0922584321

Opinión: Yo Yo requiero por los estudiantes de ingeniería industrial, Lainez Apolinario Ronald Wladimir, con C.I. 2450355074 y Chiriguaya Intriago John Jaime con C.I. 2450730854, para evaluar la pertinencia de las preguntas contenidas en una guía de entrevista enfocada en los ejes temáticos de **automatización, fabricación de paneles plásticos, sostenibilidad, eficiencia energética y funcionamiento del prototipo**, con el objetivo de recopilar criterios especializados que respalden el desarrollo e implementación del sistema de control automatizado aplicado a la máquina de termo-compresión, en el marco del proyecto de titulación que actualmente se encuentra en ejecución.

Firma: [Firma]

TEMA: SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO DEL PROTOTIPO DE TERMO COMPRESIÓN PARA FABRICAR PANELES PLÁSTICOS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL, SANTA ELENA, ECUADOR

Nº	Preguntas	Respuesta del experto
1	¿Considera que la termo-compresión es un método adecuado para la fabricación de paneles plásticos reciclados en términos de calidad y resistencia del producto?	5
2	¿Qué características cree que deben cumplir los paneles plásticos para su uso en sectores como la construcción o mobiliario (tamaño, textura, espesor, rigidez)?	4
3	¿Cree usted que la uniformidad y acabado del panel final depende directamente del control preciso de la temperatura, presión y tiempo de compresión?	5
4	¿Considera que el sistema automatizado facilita la obtención de productos más estandarizados y repetibles en cada ciclo de fabricación?	4
5	¿Qué tan importante considera el uso de materiales reciclados para la elaboración de productos de aplicación técnica o constructiva como los paneles plásticos?	5
6	¿En qué sectores considera que podrían aplicarse los paneles plásticos fabricados mediante esta máquina (construcción, decoración, mobiliario, etc.)?	3

Dirección: Campus main, La Libertad - prov. Santa Elena - Ecuador  
Código Postal: 240204 - Teléfono: (04) 2-781732  
www.upse.edu.ec

Facultad de Ciencias de la Ingeniería  
Ingeniería Industrial  
UPSE

7	¿Qué tipo de pruebas cree que se deberían realizar para validar la calidad de los paneles (resistencia mecánica, flexión, humedad, abrasión, etc.)?	1
8	¿Considera viable fabricar paneles con distintos tipos de plástico sin una clasificación estricta, utilizando la versatilidad del proceso de termo-compresión?	3
9	¿Cree que la reducción de residuos y desperdicio de material en este tipo de proceso favorece la sostenibilidad ambiental y la economía circular?	5
10	¿Considera que los paneles producidos podrían competir con materiales tradicionales si el proceso garantiza calidad y bajos costos?	5
11	¿Qué aspectos considera clave para que los paneles plásticos reciclados logren aceptación en el mercado o en proyectos sociales/académicos?	3

Datos del Experto

Identificación	<u>0922584321</u>
Especialidad/área de conocimiento	<u>Ingeniería Industrial</u>
Años de experiencia	<u>12 años</u>
Teléfono	<u>0997451379</u>
Correo electrónico	<u>vinicio@cupse.edu.ec</u>
Fecha de validación	<u>20/04/2025</u>

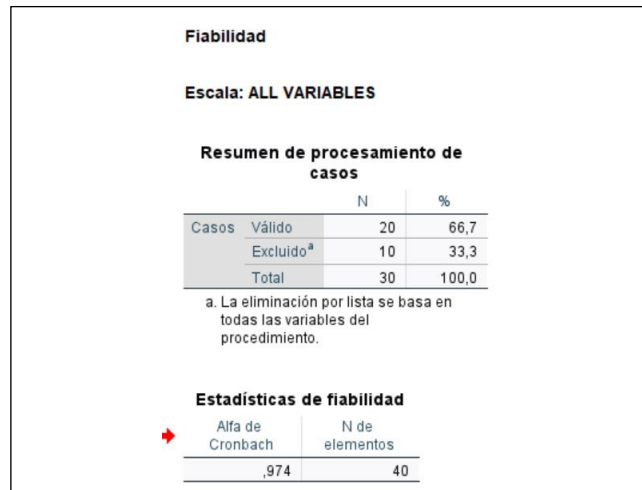
Escala de valoración Likert

1	Inaceptable	I
2	Deficiente	D
3	Regular	R
4	Aceptable	A
5	Eficiente	E

Dirección: Campus main, La Libertad - prov. Santa Elena - Ecuador  
Código Postal: 240204 - Teléfono: (04) 2-781732  
www.upse.edu.ec

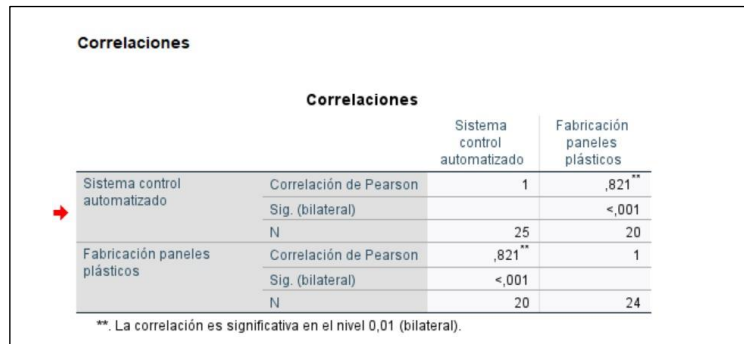
Nota. Elaborado por los autores.

**Anexo N:** Fiabilidad alfa de Cronbach.



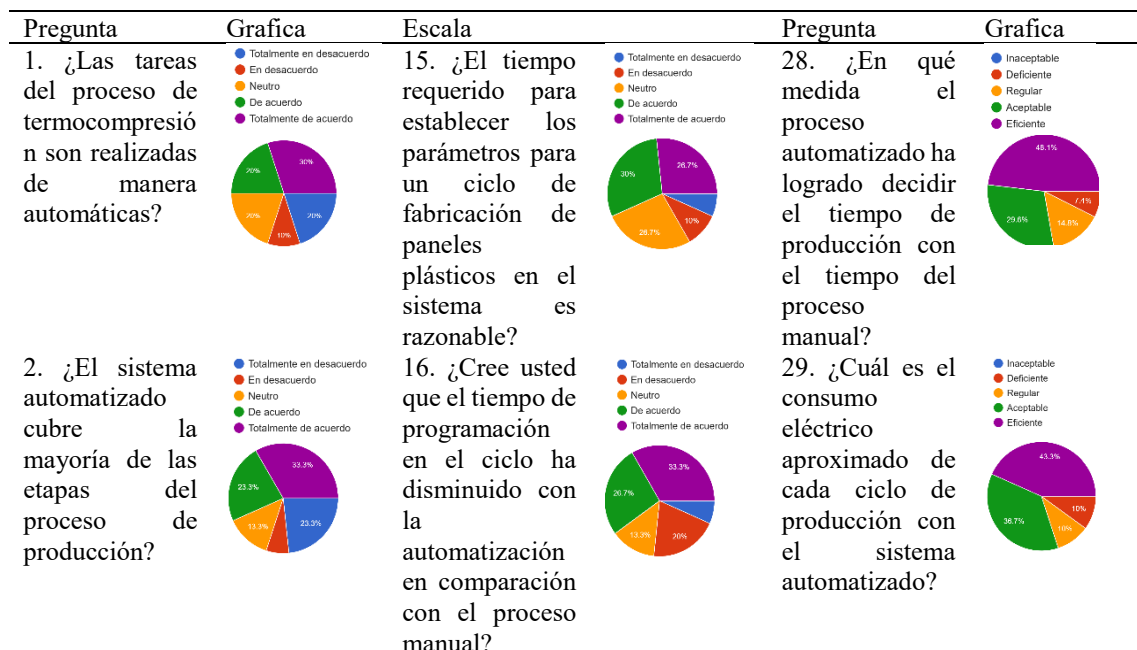
Nota. Elaborado por los autores.

**Anexo O:** Correlación de Pearson.

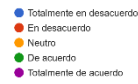


Nota. Elaborado por los autores.

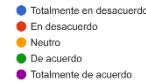
**Anexo P:** Datos ponderados de la encuesta.



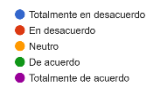
3. ¿Es necesario intervenir manualmente durante el proceso de fabricación de paneles?



4. ¿El sistema automatizado reduce la necesidad de intervención manual en el proceso de fabricación?



5. ¿La temperatura durante el ciclo de termocompresión, se mantiene cerca de los valores programados?



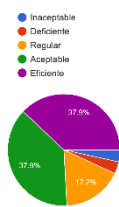
6. ¿Cuál es el margen de error que observas en la temperatura durante el proceso de termocompresión?



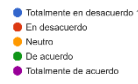
7. ¿La presión generada durante el sistema se mantiene dentro de los parámetros establecidos durante la producción de los paneles?



8. ¿Qué tan consistente es la presión durante cada ciclo de termocompresión?



17. ¿Es viable visualizar el tiempo real del proceso de cada ciclo de fabricación?



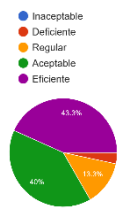
18. ¿Qué tan apropiado es el monitoreo en tiempo real para garantizar la correcta ejecución en el proceso de producción?



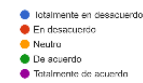
19. ¿Es importante que el sistema guarde o presente datos históricos del proceso, como temperatura, presión y tiempo de ciclo?



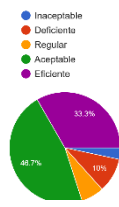
20. ¿Qué tan eficiente es el registro y acceso a los datos de operación del sistema durante la fabricación de paneles?



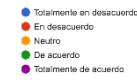
21. ¿Los paneles fabricados deben tener un espesor uniforme a lo largo de toda su superficie?



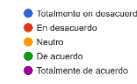
22. ¿Cómo calificarías la frecuencia de defectos visibles en los paneles automatizados?



30. ¿El consumo energético ha aumentado o disminuido con el sistema de termocompresión?



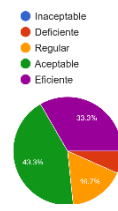
31. ¿Existe alguna variación en el consumo energético entre los diferentes ciclos de producción automatizado?



32. ¿El consumo energético es constante durante los ciclos de termocompresión automatizado?



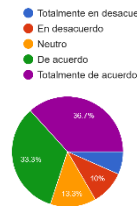
33. ¿Con qué frecuencia ocurren fallos operativos debido a errores humanos en el proceso de fabricación?

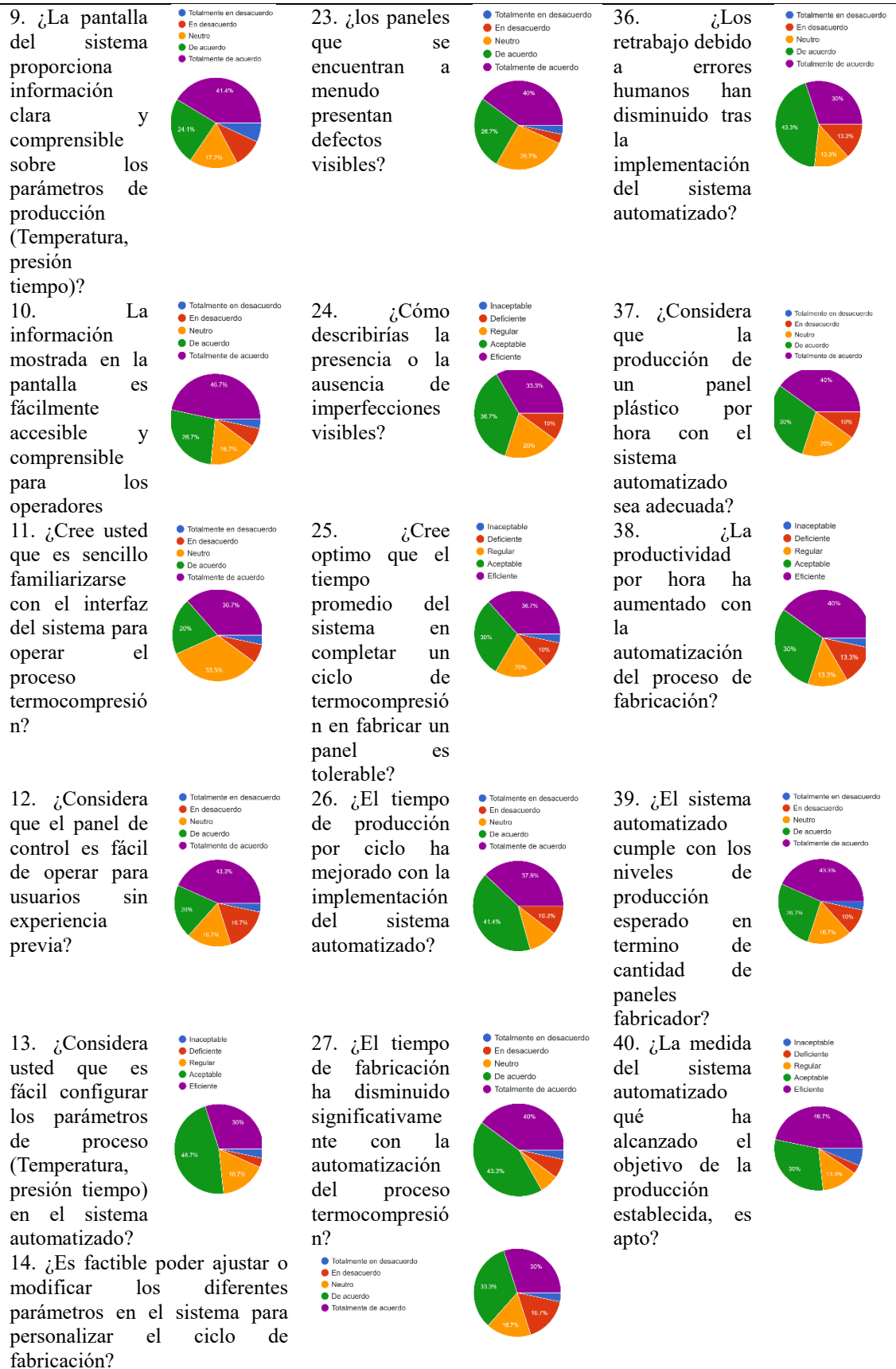


34. ¿El sistema automatizado ha reducido la ocurrencia de errores operativos durante la producción de paneles?




35. ¿Se realizan frecuentes retrabajos debido a errores operativos manuales?



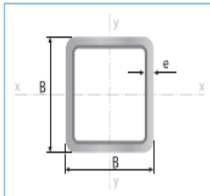


Nota. Elaborado por los autores.

## Anexo Q: Fichas técnicas.

Equipo	Datos	
<b>Gata electrohidráulica</b>		
	Color	naranja
	Material	acero, ABS
	Medidas del maletín	40x27,5x18 cm (LxANxAL)
	Medidas del conector	32x13 cm (LxAN)
	Altura de elevación eléctrica	15,5-36 cm
	Altura de elevación manual	15,5-45 cm
	Voltaje	12V
	Potencia	180W
	Certificaciones	CE (EMC, ROHS, EMD)
	Referencia	C20-047V000G

### Tubo galvanizado

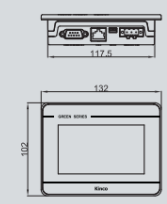


Designaciones	Área	Peso	Propiedades Estáticas			
			Momento de inercia	Eje x-x = y-y Módulo de resistencia	Radio de giro	
B	e	A	P	I	W	i
mm	mm	cm <sup>2</sup>	kg/m	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm
20	1,40	0,99	0,78	0,56	0,56	0,75
	1,50	1,05	0,83	0,58	0,58	0,75
	1,80	1,23	0,96	0,66	0,66	0,73
	2,00	1,34	1,05	0,70	0,70	0,72
40	1,40	2,11	1,66	5,18	2,59	1,57
	1,50	2,25	1,77	5,49	2,75	1,58
	1,80	2,67	2,09	6,39	3,19	1,55
	2,00	2,94	2,31	6,95	3,47	1,54
	2,50	3,59	2,82	8,23	4,12	1,51
	3,00	4,21	3,30	9,36	4,68	1,49
	4,00	5,35	4,20	11,18	5,59	1,45

### Pantalla HMI KINCO



GREEN Series HMI  
GL043/GL043E

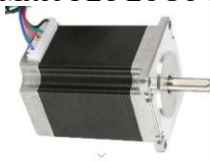
Model	GL043	GL043E	Mechanical Dimensions (Unit: mm)
Performance specification			
Display size	4.3" TFT		
Display area	95.04mm(W)x53.86mm(H)		
Resolution	480*272 pixels		
Display color	16.7M color		
Display angle of view	70/70/50/70(left/right/up/down)		
Contrast ratio	500:1		
Backlight	LED		
Brightness	450cd/m <sup>2</sup>		
Backlight life	More than 30000 hours		
Touch panel	4 line precision resistance network (surface hardness 4H)		
CPU	ARM RISC 32Bit 792MHz		
Storage	128MB NAND Flash Memory+128MB DDR3 Memory		
RTC	Built-in		
Extensible memory	None		

### Micro PLC LOGO 8



Producto	
Número de artículo (número de mercado)	6ED1052-1HB08-0BA2
Descripción de producto	LOGO! 24RCE, logic module, display power supply / I/O: 24 V AC/24 V DC/relay, 8 DI/4 DO, memory 400 blocks, modularly expandable, Ethernet, integrated web server, data log, user-defined web pages, standard microSD card for LOGO! Soft Comfort V8.4 or higher, older projects executable cloud connection, MQTT in all LOGO! 8.4 basic units
Familia de producto	> LOGO! Módulos básicos con display
Ciclo de vida del producto (PLM)	PM300 Producto activo
Datos de precio	
Region Specific PriceGroup / Grupo de precios de Casa Matriz y local	200 / 200
List Price	> Mostrar precios
Precio de cliente	> Mostrar precios
Recargo del metal	Ninguno
Factor del metal	Ninguno

### Micro PLC LOGO 8



### NEMA23 57HD6013-03 Motor paso a paso

#### Características

- Código: 57HD6013-03
- Inercia del rotor: 480 g.cm<sup>2</sup>
- Ángulo de paso: 1,8°
- Longitud del motor: 76 mm
- Par de retención: 1,8 Nm
- Corriente nominal/fase: 3A
- Resistencia de fase: 0,9 Ω ± 10 %
- Tensión nominal: 2,7 V CC
- Inductancia/Fase: 3,5 mH ± 20 % (1 KHz)
- Peso: 1050 g

### Controlador TB6600



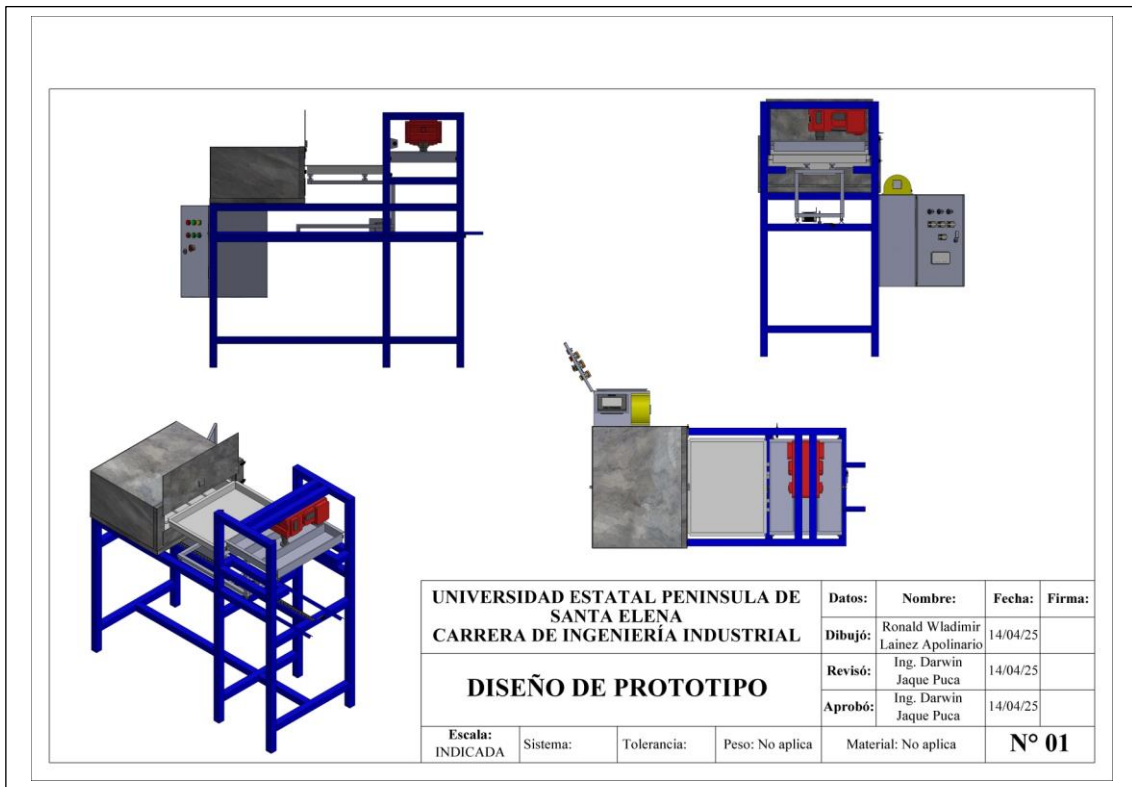
### TB6600 Driver para motor paso a paso

#### Características:

- Alimentación: 9 - 42VDC
- Corriente máxima: 4A
- 6 modos de microstepping
- Aislamiento photoeléctrico
- Tamaño: 96 x 56 x 33mm
- Peso: 200g

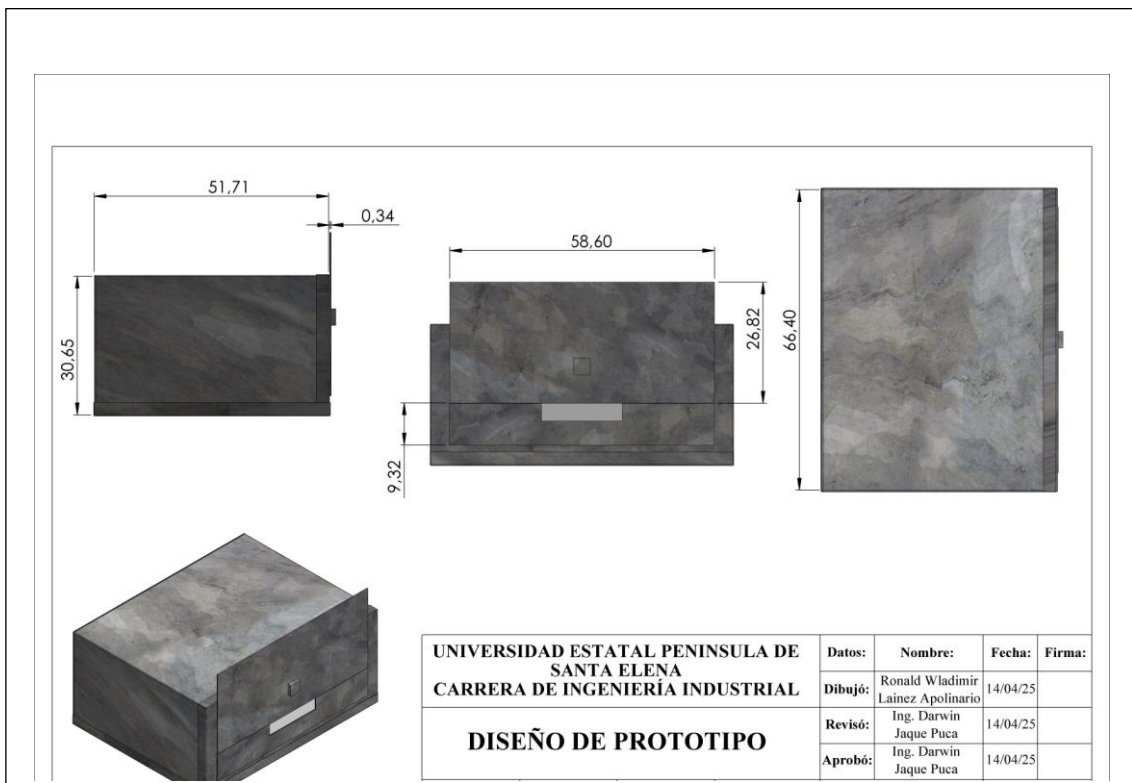
Nota. Elaborado por los autores.

**Anexo R:** Diseño de componentes en SolidWorks 1.



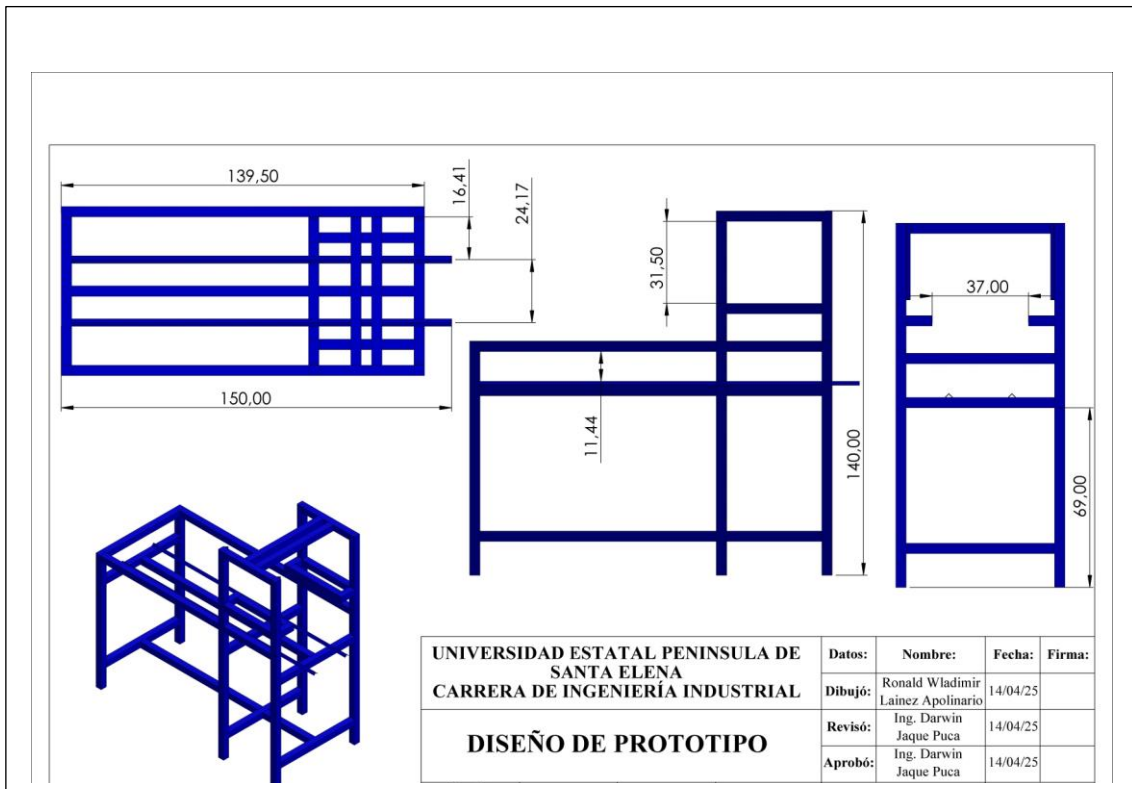
*Nota.* Elaborado por los autores.

**Anexo S:** Diseño de componentes en SolidWorks 2.



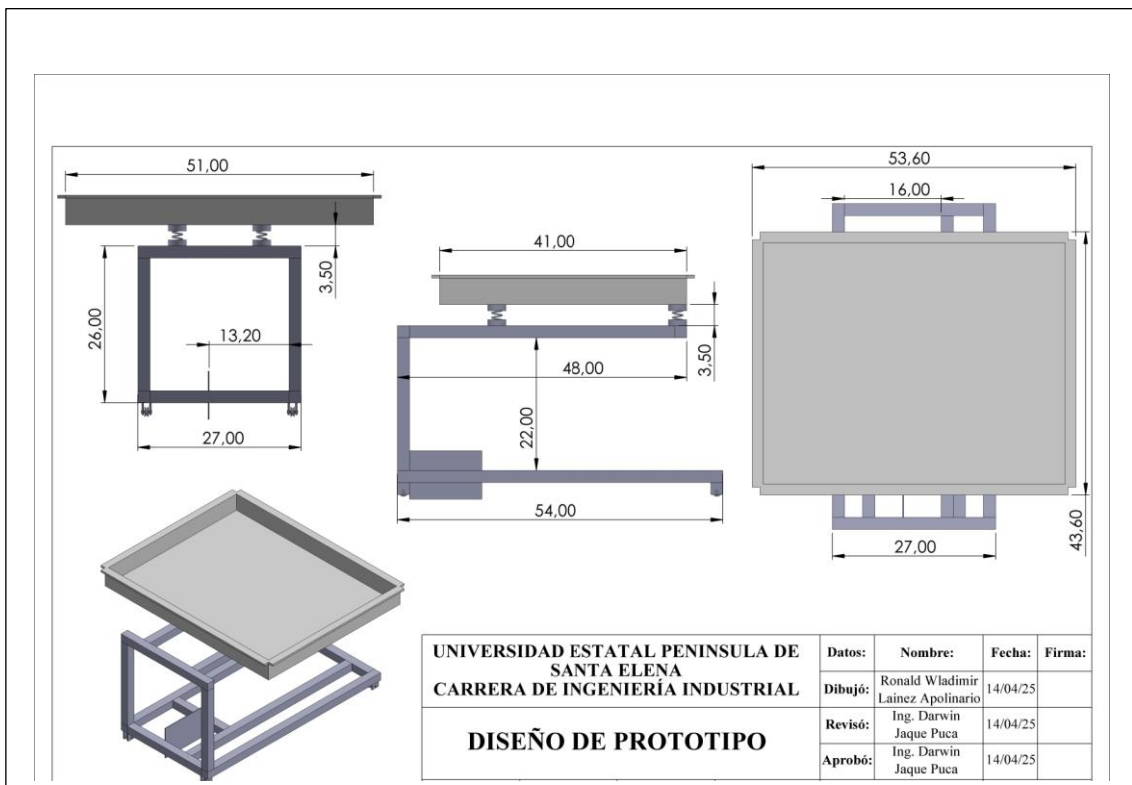
*Nota.* Elaborado por los autores.

**Anexo T:** Diseño de componentes en SolidWorks 3.



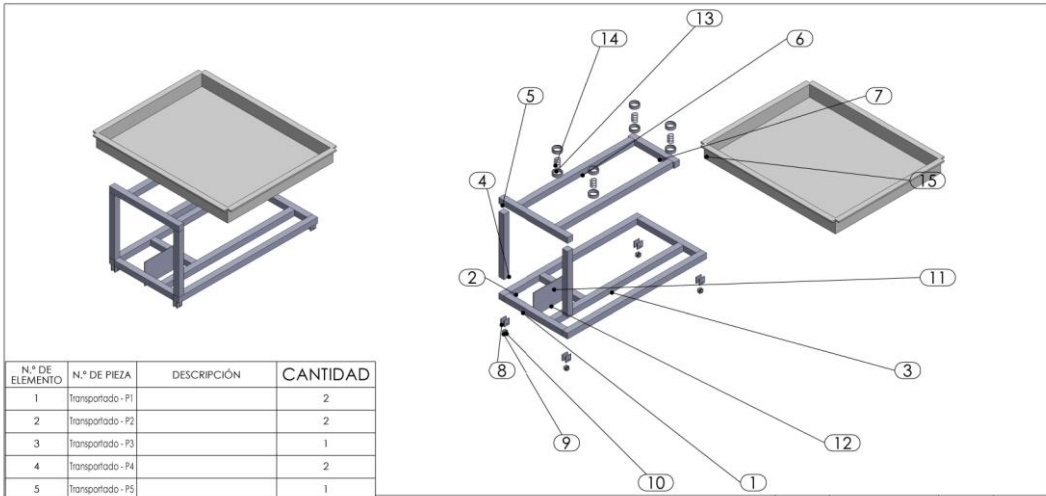
*Nota.* Elaborado por los autores.

**Anexo U:** Diseño de componentes en SolidWorks 4.



*Nota.* Elaborado por los autores.

**Anexo V: Diseño de componentes en SolidWorks 5.**

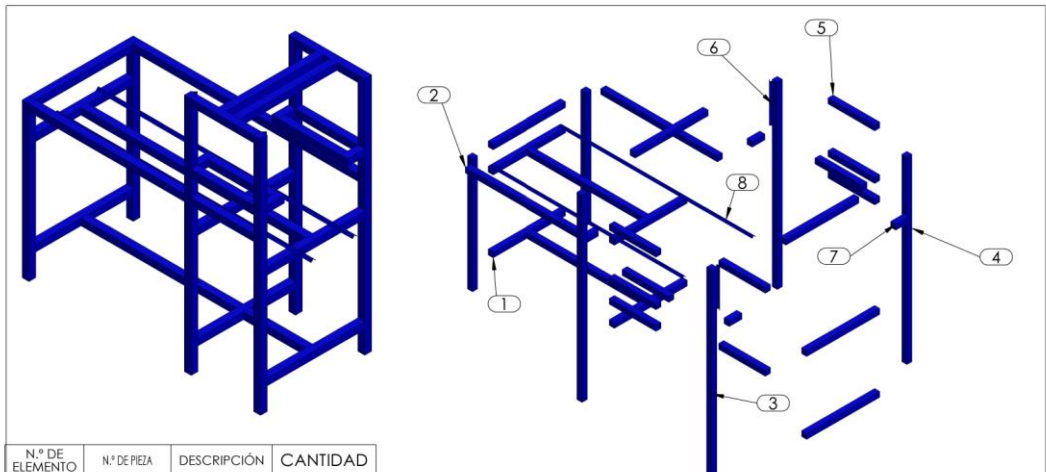


N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Transportado - P1		2
2	Transportado - P2		2
3	Transportado - P3		1
4	Transportado - P4		2
5	Transportado - P5		1
6	Transportado - P6		2
7	Transportado - P7		1
8	Transportado - P8		8
9	Transportado - P9		4
10	Transportado - P10		4
11	Transportado - P11		1
12	Transportado - P12		1
13	Transportado - P13		8
14	Transportado - P14		4
15	Transportado - P15		1

<b>UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL</b>				Datos:	Nombre:	Fecha:	Firma:
<b>DISEÑO DE PROTOTIPO</b>				Dibujó:	Ronald Wladimir Lainez Apolinario	14/04/25	
<b>DISEÑO DE PROTOTIPO</b>				Revisó:	Ing. Darwin Jaque Puca	14/04/25	
				Aprobó:	Ing. Darwin Jaque Puca	14/04/25	
Escala: INDICADA	Sistema:	Tolerancia:	Peso: No aplica	Material: No aplica	<b>Nº 01</b>		

*Nota. Elaborado por los autores.*

**Anexo W: Diseño de componentes en SolidWorks 6.**



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Estructura - Pata 2		9
2	Estructura - Pata 3		4
3	Estructura - Pata 1		6
4	Estructura - Superior 1		4
5	Estructura - Superior 2		10
6	Estructura - guías		4
7	Estructura - Superior 3		4
8	Estructura - Guías carrito		2

<b>UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL</b>				Datos:	Nombre:	Fecha:	Firma:
<b>DISEÑO DE PROTOTIPO</b>				Dibujó:	Ronald Wladimir Lainez Apolinario	14/04/25	
<b>DISEÑO DE PROTOTIPO</b>				Revisó:	Ing. Darwin Jaque Puca	14/04/25	
				Aprobó:	Ing. Darwin Jaque Puca	14/04/25	
Escala: INDICADA	Sistema:	Tolerancia:	Peso: No aplica	Material: No aplica	<b>Nº 01</b>		

*Nota. Elaborado por los autores.*

**Anexo X:** Construcción del prototipo 1.



*Nota.* Elaborado por los autores.

**Anexo Y:** Construcción del prototipo 2.



*Nota.* Elaborado por los autores.

**Anexo Z:** Construcción del prototipo 3.



*Nota.* Elaborado por los autores.

**Anexo AA:** Construcción del prototipo 4.



*Nota.* Elaborado por los autores.