



UNIVERSIDAD ESTATAL

PENÍNSULA DE SANTA ELENA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**“FABRICACIÓN DE MÁQUINA DE MOLDEO POR TERMOCOMPRESIÓN
PARA ELABORAR PANELES PLÁSTICOS COMO MATERIAL DE
CONSTRUCCIÓN, PROVINCIA DE SANTA ELENA, ECUADOR”**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Previo a la obtención del título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

AUTORES: Malavé Soriano Erick Javier & Tigrero Parrales Jesús Alberto

TUTOR:

Ing. Darwin Gustavo Jaque Puca, MSc.

La Libertad - Ecuador

2024

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

**TEMA:
“FABRICACIÓN DE MAQUINA DE MOLDEO POR
TERMOCOMPRESIÓN PARA ELABORAR PANELES
PLÁSTICOS COMO MATERIAL DE CONTRUCCIÓN,
PROVINCIA DE SANTA ELENA, ECUADOR”**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

**AUTORES: MALAVÉ SORIANO ERICK JAVIER & TIGRERO
PARRALES JESÚS ALBERTO**

**TUTOR:
ING. DARWIN GUSTAVO JAQUE PUCA, MSc.**

LA LIBERTAD - ECUADOR

2024

UPSE

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Malavé Soriano Erick Javier** y **Tigrero Parrales Jesús Alberto**, como requerimiento para la obtención del título de **ingeniería industrial**.

TUTOR (A)

f. 

Ing. Darwin Gustavo Jaque Puca, MSc.

DIRECTOR DE LA CARRERA

f. 

Ing. Lucrecia Moreno Alcívar, MSc.

La Libertad, a los 27 días del mes de noviembre del año 2024

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación “FABRICACIÓN DE MÁQUINA DE MOLDEO POR TERMOCOMPRESIÓN PARA ELABORAR PANELES PLÁSTICOS COMO MATERIAL DE CONTRUCCIÓN, PROVINCIA DE SANTA ELENA, ECUADOR”, elaborado por MALAVÉ SORIANO ERICK JAVIER y TIGRERO PARRALES JESÚS ALBERTO, 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 GUSTAVOS JAQUE PUCA

La Libertad, a los 27 días del mes de noviembre del año 2024

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, MALAVÉ SORIANO ERICK JAVIER y TIGRERO PARRALES JESÚS ALBERTO

DECLARAMOS QUE:

El Trabajo de Titulación, **Fabricación de máquina de moldeo por termocompresión para elaborar paneles plásticos como material de construcción, provincia de 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.

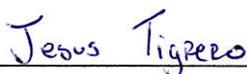
En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

La Libertad, a los 27 días del mes de noviembre del año 2024

AUTORES

f. 

Malavé Soriano Erick Javier

f. 

Tigrero Parrales Jesús Alberto

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Malavé Soriano Erick Javier** y **Tigrero Parrales Jesús Alberto**

Autorizamos a la Universidad Península de Santa Elena la **publicación** en la biblioteca de la Institución del Trabajo de Titulación, **Fabricación de máquina de moldeo por termocompresión para elaborar paneles plásticos como material de construcción, provincia de Santa Elena**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y total autoría.

La Libertad, a los 27 días del mes de noviembre del año 2024

AUTOR:

f. 

Malavé Soriano Erick Javier

f. 

Tigrero Parrales Jesús Alberto

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

En calidad de tutor del trabajo de investigación para titulación del tema “Fabricación de máquina de moldeo por termocompresión para elaborar paneles plásticos como material de construcción, provincia de Santa Elena” elaborado por MALAVÉ SORIANO ERICK JAVIER y TIGRERO PARRALES JESÚS ALBERTO, egresados de la carrera de Ingeniería de Industrial, de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, previo a la obtención del Título de Ingeniero Industrial me permito declarar que una vez analizado en el sistema antiplagio COMPILATIO, luego de haber cumplido con los requerimientos exigidos de valoración, la presente tesis, se encuentra con un 3% de la valoración permitida por consiguiente se procede a emitir el presente informe.

Adjunto reporte de similitud.

Atentamente,



FIRMA DEL TUTOR



f. _____

ING. DARWIN GUSTAVO JAQUE PUCA

CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA

CERTIFICADO DE REVISIÓN DE LA REDACCIÓN Y ORTOGRAFÍA.

Yo, Magíster. Oswaldo Flavio Castillo Beltrán. Certifico: Que he revisado la redacción y ortografía del Trabajo de Integración Curricular: **“FABRICACIÓN DE MÁQUINA DE MOLDEO POR TERMOCOMPRESIÓN PARA ELABORAR PANELES PLÁSTICOS COMO MATERIAL DE CONTRUCCIÓN, PROVINCIA DE SANTA ELENA, ECUADOR”**, elaborado por los egresados. **Malavé Soriano Erick Javier & Tigrero Parrales Jesús Alberto**, previo a la obtención del título de: **INGENIERO INDUSTRIAL**.

Para efecto he procedido a leer y analizar de manera profunda el estilo y la forma del contenido del texto:

- Se denota pulcritud en la escritura en todas sus partes
- La acentuación es precisa
- Se utilizan los signos de puntuación de manera acertada
- En todos los ejes temáticos se evita los vicios de dicción
- Hay concreción y exactitud en las ideas
- No incurre en errores en la utilización de las letras
- La aplicación de la sinonimia es correcta
- Se maneja con conocimiento y precisión de la morfosintaxis
- El lenguaje es pedagógico, académico, sencillo y directo, por lo tanto es de fácil comprensión.

Por lo expuesto y en uso de mis derechos como Magíster en Docencia y Gerencia en Educación Superior, recomiendo la VALIDEZ ORTOGRÁFICA del Trabajo de Integración Curricular, previo a la obtención del Título de Ingeniero Industrial y deja a vuestra consideración el certificado de rigor para los efectos legales correspondientes.

Atentamente,



Dr. Oswaldo Castillo Beltrán. Mg
Registro SENESCYT 1006-11-733293
Cuarto Nivel

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto representa no solo el fruto de nuestro esfuerzo académico, sino también el reflejo del apoyo, la guía y la inspiración que hemos recibido de muchas personas a lo largo de esta etapa. A todas ellas, queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento, sin su ayuda, compañía y aliento, este logro no hubiera sido posible.

Agradecemos profundamente a nuestro tutor de tesis, Ing. Darwin Gustavo Jaque Puca, que con gran paciencia y dedicación nos guio tanto en la elaboración del documento como en la construcción de la máquina. Su conocimiento, apoyo y compromiso fueron fundamentales en cada etapa de este proyecto, brindándonos las herramientas necesarias para superar los desafíos y enriquecer nuestra formación. Su orientación fue invaluable para el logro de nuestros objetivos y para nuestro crecimiento como profesionales.

Agradecemos de corazón a nuestros padres y a toda nuestra familia por su constante apoyo, sus consejos y su respaldo emocional y económico, sin los cuales no habríamos podido culminar este trabajo de integración curricular. También extendemos nuestro agradecimiento al Ing. Enrique Montenegro, cuya experiencia en mecánica fue invaluable; sus recomendaciones y consejos fueron esenciales para mejorar nuestro diseño y avanzar con confianza en este proyecto.

Erick Malavé Soriano.

Jesús Tigrero Parrales.

DEDICATORIA

El presente proyecto está dedicado principalmente a mis padres, quienes con esfuerzo han sacrificado parte de su tiempo para que pueda culminar mis estudios, cada paso recorrido con dedicación es solo un pequeño esfuerzo de mi parte, quiero corresponder aún más al sentimiento de honrar a ellos con mejores logros en esta vida. Seguidamente quiero mencionar a mi abuelito (Papi Checho) que en paz descanse, a mi abuelita (Mami Olga) por apoyarme en incontables situaciones durante mi formación académica. Finalmente, mencionar a mis hermanas y amigos que en algún momento me brindaron su ayuda.

Erick Malavé Soriano.

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a mis padres, hermanos, mis mejores amigos y mi sobrino William por siempre estar a mi lado apoyándome incondicionalmente, dándome consejos y aliento de no desistir y culminar esta etapa académica, Gracias por creer en mí, por sus palabras de ánimo en los momentos difíciles, y por celebrar cada logro a mi lado. Este logro también es suyo, sin su amor, apoyo y motivación constante, no habría sido posible.

Jesús Tigrero Parrales

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. 

Ing. Lucrecia Moreno Alcívar, MSc.
DIRECTOR DE CARRERA

f. 

Ing. Richard Muñoz Bravo, Mgtr
DOCENTE ESPECIALISTA

f. 

Ing. Darwin Gustavo Jaque Puca, MSc.
DOCENTE TUTOR

f. 

Ing. Juan Carlos Muyulema Allaica, MEng.
DOCENTE GUÍA DE LA UIC

ÍNDICE GENERAL

	Págs.
CERTIFICACIÓN	iii
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	iv
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	v
AUTORIZACIÓN	vi
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO	vii
CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA	viii
AGRADECIMIENTOS.....	ix
DEDICATORIA	x
DEDICATORIA	xi
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....	xii
LISTA DE ABREVIATURAS Y TABLA DE SÍMBOLOS.....	xvi
RESÚMEN.....	xix
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	7
MARCO TEÓRICO	7
1.1. Antecedentes investigativos.....	7
1.2. Estado del arte	9
1.2.1 Pregunta de investigación	10
1.2.2 Alcance investigativo	11
1.2.3 Descripción y registro de hechos o circunstancias del caso.....	13
1.2.4 Comparar fenómenos o situaciones similares.....	17
1.2.5 Descripción o interpretación sobre el fenómeno investigado	19
1.2.6 Evaluar el fenómeno.....	20
1.2.7 Conclusión de los hallazgos del método	22
CAPÍTULO II.....	27
MARCO METODOLÓGICO.....	27
2.1 Enfoque de la investigación.....	27
2.2 Diseño de investigación.....	27
2.3 Proceso metodológico del ciclo de diseño mecánico	28

2.4	Métodos e instrumentos de recolección de datos.....	32
2.4.1	Métodos de recolección de datos.....	32
2.4.2	Técnica de recolección de datos por el método de la entrevista	32
2.5	Variables de estudio	34
2.6.	Plan de análisis e interpretación de los resultados	35
CAPÍTULO III.....		37
MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN		37
3.1	Marco de resultados.....	37
3.1.1	Validación por expertos	37
3.1.3	Plantear. Implementación del despliegue de la función de la calidad (QFD)	41
3.1.3.1	Fase 1. Organizar las necesidades o requerimientos del cliente (RC)	41
3.1.3.1.1	Asignar importancia a las necesidades del cliente	42
3.1.3.2	Fase 2. Evaluación de la competencia	43
3.1.3.3	Fase 3. Definir los parámetros y requerimientos técnicos de diseño	45
3.1.3.4	Fase 4. Generación de la matriz de relaciones RTD y RC	46
3.1.3.5	Fase 5. Correlación de los parámetros del diseño	49
3.1.3.6	Fase 6. Indicar el desempeño de los equipos de los competidores.....	49
3.1.3.7	Fase 7. Analizar la puntuación y resultados.....	50
3.1.4.	Definir: diseño conceptual	55
3.1.4.1	Establecimiento de las bases del diseño	55
3.1.4.2	Definir estructura funcional.....	56
3.1.4.3	Diseño del flujo de operaciones.....	57
3.1.4.4	Diseño a detalle	58
3.1.5	Desarrollar modelación 3D	59
3.1.5.1	Rediseño	62
3.1.5.2	Selección de materiales	62
3.1.5.3	Estudio analítico.....	66
3.1.6	Construir: simulación y fabricación de máquina	75
3.1.6.1.	Simulación del análisis térmico.....	75
3.1.6.2.	Análisis estático	76
3.1.6.3.	Procedimiento de construcción y montaje	80
3.1.7	Parámetros de uso y configuración del controlador.....	87
3.2	Consenso de resultados: pruebas del producto final.....	89
CONCLUSIONES		93
RECOMENDACIONES		94

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Págs.
Gráfico 1: Proceso de alcance de la literatura	10
Gráfico 2: Herramientas encontradas en la matriz referencial	20
Gráfico 3: Métodos de desarrollo	23
Gráfico 4: Protocolo del ciclo de diseño mecánico a partir del método QFD.....	23
Gráfico 5: Secuencia de desarrollo de proyectos de diseño mecánico	28
Gráfico 6: Estructura de la casa de la calidad (QFD).....	29
Gráfico 7: Plan direccionado a la recolección de datos	32
Gráfico 8: Proceso de validación de entrevista.....	33
Gráfico 9: Evaluación de los RTD respecto de la competencia	48
Gráfico 10: Objetivo, características y especificaciones del diseño	56
Gráfico 11: Caja negra de funciones de la máquina.....	57
Gráfico 12: Diagrama de flujo de operaciones de la máquina de termocompresión.....	58
Gráfico 13: Boceto del primero prototipo de la máquina.....	58
Gráfico 14: Prototipo 1 en SolidWorks.....	59
Gráfico 15: Propuesta de diseño máquina GoldPlastic V124.....	62
Gráfico 16: Dimensiones de la plancha de polipropileno	66
Gráfico 17: Dimensiones internas del horno	67
Gráfico 18: Temperaturas del horno	75
Gráfico 19: Flujo de calor del horno.....	75
Gráfico 20: Esfuerzo normal en ejes de prensa	77
Gráfico 21: Esfuerzo normal de la estructura.....	78
Gráfico 22: Deformaciones unitarias	79
Gráfico 23: Factor de seguridad	80
Gráfico 24: Estructura base en SolidWorks.....	80
Gráfico 25: Estructura del Horno en SolidWorks	82
Gráfico 26: Estructura de las prensas en SolidWorks	84
Gráfico 27: Interfaz de usuario del controlador.....	88
Gráfico 28: Prueba control de temperatura	89
Gráfico 29: Prueba de accionamiento del gato hidráulico.....	90
Gráfico 30: Panel plástico de la Prueba 2.....	91

ÍNDICE DE TABLAS

	Págs.
Tabla 1: Descripción de exploración de artículos.....	11
Tabla 2: Estudios revisados	13
Tabla 3: Matriz de artículos científicos.....	13
Tabla 4: Matriz de criterios por la metodología Saaty	20
Tabla 5: Matriz normalizada de criterios.....	21
Tabla 6: Veracidad de los datos	21
Tabla 7: Criterios y ponderación.....	22
Tabla 8: Operacionalización de las variables.....	35
Tabla 9: Plan de análisis	35
Tabla 10: Características de los expertos seleccionados	38
Tabla 11: Valoración del contenido de la entrevista.....	39
Tabla 12: Validación del contenido de la entrevista a la docente.....	40
Tabla 13: Validación de la eficacia del contenido de la entrevista al docente	40
Tabla 14: Cuadro de evaluación de los RC.....	42
Tabla 15: Cuadro de evaluación de la competencia respecto de los RC	44
Tabla 16: Interacción entre los requerimientos del cliente y requerimientos del diseño (RTD)	46
Tabla 17: Evaluación de los RTD respecto de la mejora relativa de los RC	47
Tabla 18: Aspectos de diseño y desglose de la calidad	48
Tabla 19: Matriz final de correlación de los RTD.....	49
Tabla 20: Detalles de evaluación técnica de los competidores respecto del fabricante E&J.	50
Tabla 21: Tabla morfológica de alternativas.....	51
Tabla 22: Matriz de ponderación	52
Tabla 23: Matriz de decisión de dimensiones de los moldes.....	52
Tabla 24: Matriz de decisión de sistema de control de temperatura	53
Tabla 25: Matriz de decisión de sistema de calentamiento	53
Tabla 26: Matriz de decisión de sistema de adquisición de datos.....	54
Tabla 27: Matriz de decisión de sistema de conformado	55
Tabla 28: Validación del contenido de la entrevista a la docente.....	61
Tabla 29: Validación de la eficacia del contenido de la entrevista al docente	61
Tabla 30: Listado de materiales y costos.....	63
Tabla 31: Tabla de costos de fabricación.....	65
Tabla 32: Propiedades mecánicas del acero ASTM A36.....	76

Tabla 33: Construcción de la estructura base	81
Tabla 34: Construcción del horno	82
Tabla 35: Construcción de las prensas	84
Tabla 36: Pintado de la maquina completa.....	85
Tabla 37: Ensamble total	86
Tabla 38: Pasos para activar el Auto-tuning	88
Tabla 39: Características de pruebas	90
Tabla 40: Valoración de las características visuales finales del panel plástico.....	92

LISTA DE ABREVIATURAS Y TABLA DE SÍMBOLOS

AHP: Proceso analítico jerárquico

CAD: Diseño asistido por computador

KN: Kilo newton

STEP: Avances de la ciencia en ingeniería térmica

DF: Diseño para la manufactura

QFD: Desglose de la función de la calidad

RC: Requerimientos del cliente

RT: Requerimientos técnicos

EPP: Equipos de protección personal

DOP: Diagrama de operaciones del proceso

RTD: Requerimientos técnicos de diseño

QF: Fusión del polipropileno

PF: Potencia de fusión

PP: Polipropileno

“FABRICACIÓN DE MÁQUINA DE MOLDEO POR TERMOCOMPRESIÓN PARA ELABORAR PANELES PLÁSTICOS COMO MATERIAL DE CONTRUCCIÓN, PROVINCIA DE SANTA ELENA, ECUADOR”

Autores: Malavé Soriano Erick Javier y

Tigrero Parrales Jesús Alberto

Tutor: Ing. Darwin Gustavo Jaque Puca, MSc.

RESÚMEN

A nivel global las industrias destinadas a la producción y fabricación con el uso de materiales plásticos han ido evolucionando con forme pasan los años, esto involucra una creciente innovación en los procesos de termoformado para el tratamiento de los diferentes polímeros y en consecuencia un evidente daño al medio ambiente por contaminación. El presente trabajo de investigación curricular pretende demostrar la viabilidad de la fabricación de una máquina de moldeo por termocompresión en función de elaborar paneles plásticos y su eficiencia como alternativa para materiales destinados al sector de la construcción en la provincia de Santa Elena. El diseño y fabricación de este trabajo se realizó mediante el uso de herramientas como alcance de la teoría y método AHP, los cuales nos permitieron determinar las fases de estudio en función de técnicas de termoformado, desglose de la función de la calidad, diseño conceptual, diseño asistido por computador para simular cualitativamente un equipo muy estimado a la realidad, las mismas que, ayudaron a definir un primer prototipo para luego fabricar la máquina que cumpla con las características técnicas necesarias para producir paneles plásticos. De esta manera, los resultados indican que el diseño es viable, que el tratamiento del polipropileno en el horno de fundición diseñado trabaja con una temperatura de tratamiento de fusión de 220°C en 25 minutos y finalmente pasa al sistema de prensado donde actúa una gata hidráulica de 4 Tn, dando como resultado un panel de 50x40x1 cm con características visuales ideales. La producción resultó ser eficaz dentro de los parámetros establecidos de las máquinas de termoformado.

Palabras claves: (Desglose la función de la calidad, diseño conceptual, simulación cualitativa)

“MANUFACTURE OF A THERMOCOMPRESSION MOLDING MACHINE FOR THE PRODUCTION OF PLASTIC PANELS AS CONSTRUCTION MATERIAL, PROVINCE OF SANTA ELENA, ECUADOR”.

Autores: Malavé Soriano Erick Javier y

Tigrero PARRALES Jesús Alberto

Tutor: Ing. Darwin Gustavo Jaque Puca, MSc.

ABSTRACT

At a global level, the industries destined to the production and manufacture with the use of plastic materials have been evolving as the years go by, this involves a growing innovation in the thermoforming processes for the treatment of the different polymers and consequently an evident damage to the environment due to pollution. This curricular research work aims to demonstrate the feasibility of manufacturing a thermocompression molding machine to produce plastic panels and its efficiency as an alternative for materials for the construction sector in the province of Santa Elena. The design and manufacture of this work was carried out through the use of tools such as scope of theory and AHP method, which allowed us to determine the study phases according to thermoforming techniques, breakdown of the quality function, conceptual design, computer aided design to simulate qualitatively an equipment highly estimated to reality, the same that, helped to define a first prototype to then manufacture the machine that meets the technical characteristics necessary to produce plastic panels. Thus, the results indicate that the machine design is feasible, that the treatment of high-density polyethylene in the designed melting furnace works with a melt treatment temperature of 170-190°C and finally its treatment in the press system should be 35Kpa resulting in a panel with good characteristics. The production of plastic panels proved to be efficient within the established parameters of the thermoforming machines.

Keywords: (quality function breakdown, conceptual design, qualitative simulation)

INTRODUCCIÓN

En el marco de un entorno global, el sector industrial del plástico es uno de los productores más relevantes por generar empleo, satisfacer necesidades y solucionar problemas sanitarios. Sin embargo, éste causa un impacto perjudicial al medio ambiente según Portilla, (2022) por el uso de este material de forma incorrecta se estima que el 79% ya en el peor de los casos al final con el estudio de su ciclo de vida se determina que llegan a los esteros, ríos y vertederos Villegas-Tobar, (2024) la evidente contaminación motiva el inicio de nuevos modelos empresariales fructuosos para elaborar productos sostenibles a base de la importancia de reciclar estos materiales plásticos (González-Fajardo & García-Tamayo, 2024).

A nivel Hispanoamericano Calderón & Sotelo (2021) en su estudio realizado en Colombia destacan que el uso de residuos especialmente como el plástico en proyectos de construcción es una alternativa económica, social y ambiental. Vanegas-Padilla et al. (2021) demuestra mediante la comparación del análisis de ciclo de vida y valoración económica para 200 estibas construidas con madera natural (*Gmelina arborea* Roxb) y madera plástica (70% Pet, 30% Aserrín) destacando que es mucho más económico producir una estiba de madera plástica que de madera natural. Martínez-López et al. (2018) en su estudio realizado en Brasil, indica que para elaborar tableros de madera plástica a partir de residuos madereros y termoplásticos reciclados entre ellos, se recomienda usar polietileno de baja y alta densidad, tereftalato de polietileno y polipropileno, destacando que dichos materiales según las pruebas normalizadas de flexión son aptos para su aplicación en construcciones civiles.

El proceso principal en este estudio es la termocompresión/ termoformado, según Maquinaria (2023) es el proceso de calentar un material a su temperatura de formación y aplicar fuerza sobre un molde. Consta de tres etapas principales: calentamiento, formado y enfriamiento. Morán-Ipiales & Laica-Tulmo (2024) aseguran que con el uso de hornos de resistencia eléctrica permite que el proceso sea útil, resistente y amigable con el ambiente, tienen una potencia de 1200 W, alimentada por una tensión de 220V a 240V. También, empleando sistemas de prensa hidráulica y diseño estructural ergonómico para el factor humano, según Cortez-Olivera et al. (2021) para que un diseño de maquinaria sea viable se debe realizar con herramientas de modelado mecánico en la computadora y así definir el estudio de los materiales, formas y dimensiones que tendría en la realidad.

En Ecuador la producción, el consumo y la generación de desechos plásticos ha crecido de manera descontrolada, ni la generación y aplicación de normativas que regulen el comportamiento de la sociedad ha sido eficiente Portilla-Jiménez (2022). Este es un país que ha empleado una actividad manufacturera con sistemas lineales y en pocas ocasiones circulares, donde los residuos de empresas suelen convertirse en una materia prima preciada para otra organización, Díaz (2021) se recomienda la adopción de un enfoque sostenible que permita beneficiar a los productores haciendo uso de sus propios residuos, (Ministerio de Producción y Comercio Exterior e Inversiones y Pesca 2021).

Suárez-Borbor (2022) en su investigación, menciona que, en la provincia de Santa Elena, la contaminación por desechos de residuos sólidos es preocupante, específicamente en 3 de los sectores más concurridos por turistas como son Salinas, Ballenita y La Carioca, se recolectaron alrededor de 48,5 kg, 35,9 kg y 24,6 kg, donde se determinó que el 77% de los materiales eran de plástico. Herrera et al. (2023) indica que, promover prácticas de reciclaje y el tratamiento de aquellas materias aptas para la recirculación es una de las formas de aprovechamiento de residuos plásticos en la elaboración de piezas (madera plástica) para la edificación.

En la provincia de Santa Elena no se han ejecutado estudios con bases teóricas de termocompresión para el tratamiento de desechos plásticos, con fin de crear productos amigables con el ambiente. En este sentido, es necesario diseñar y fabricar una máquina con las características antes mencionadas para elaborar paneles plásticos y así cumplir con el objetivo de crear un producto que cumpla con las características normadas de resistencia y flexibilidad apropiadas para el ámbito de la construcción civil. De esta manera, se aporta el crecimiento de la península de Santa Elena evitando que residuos plásticos contaminen el ecosistema.

En el contexto actual, el problema de los desechos plásticos afecta de manera directa en la pérdida de los recursos naturales del planeta, no solo porque se desechan de manera incorrecta si no porque también se procesan de manera deficiente en los procesos de producción. Esta no es solo una problemática ambiental, sino también económica y social al no contar dentro de la provincia de Santa Elena con medidas y equipos adecuados para el tratamiento de estos desechos, por ello es indispensable la experimentación mediante la fabricación de equipos que promuevan las practicas sostenibles de manufactura de

termocompresión, con el propósito de incorporar productos eco amigables y reducir la contaminación en un sector determinado como es en las construcciones civiles.

Formulación del problema investigativo

¿La fabricación de la máquina de moldeo por termocompresión mediante técnicas de diseño permitirá la producción de paneles plásticos de alto rendimiento, aptos para su aplicación en construcciones en la provincia de Santa Elena?

Alcance de la investigación

La investigación se centra en la fabricación de una máquina de moldeo por termocompresión, adaptada para la producción de paneles plásticos hechos de materiales reciclados como alternativa de nuevo producto ecológico. El sector asignado para la ejecución del trabajo de titulación se ubica en el taller industrial de la facultad de ciencias de la ingeniería de la universidad estatal península de Santa Elena, provincia de Santa Elena.

Se realizará en un periodo determinado, puesto que se debe diseñar conceptualmente, fabricar en base a los requerimientos del cliente, evaluar aspectos técnicos y de funcionalidad, realizar pruebas normalizadas del producto final y analizar resultados. Así mismo, cabe indicar que este trabajo se debe realizar en un horario disponible y que no cause interrupciones académicas respecto al uso del taller industrial.

La manufactura de productos amigables con el ambiente está en auge a nivel mundial, puesto que su viabilidad demuestra aspectos favorables para evitar la contaminación y el deterioro del medio en el que vivimos. Los productos elaborados a base de polietileno de alta densidad y otros compuestos, han demostrado con el pasar del tiempo su incidencia negativa respecto al ecosistema, tratarlos y devolverlos a una línea de producción sostenible es lo ideal en el proceso logístico de manufactura.

Cierta parte de las empresas en el Ecuador han tomado medidas de responsabilidad social y ambiental, pero pocas han adoptado un sistema de reutilización de los residuos que generan sus productos, por lo que es necesario diseñar procesos y maquinarias optimas que realicen esta labor. Este trabajo de investigación tiene como finalidad indagar en el desarrollo de nuevas tecnologías, que promuevan prácticas sostenibles de fabricación de paneles plásticos aplicables en la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

Nuestro alcance se guía de los siguientes ítems:

- a) **Revisión de la literatura:** se realizará una investigación exhaustiva de fuentes confiables y trabajos dedicados al estudio de técnicas de fabricación de máquinas de moldeo por termocompresión, para determinar herramientas y métodos aplicables a nuestro proyecto.
- b) **Diseño, fabricación y pruebas:** se desarrollará el diseño conceptual de la máquina, tomando en cuenta parámetros como eficiencia en la producción y viabilidad económica, al mismo tiempo, se utilizarán herramientas de diseño asistido por computador (CAD) para la elaboración de planos y análisis de estructuras, también circuitos de control para asegurar el correcto funcionamiento del horno. Seguidamente, se llevará a cabo la construcción de la máquina mediante métodos de seguridad industrial, equipos y materiales disponibles en el taller de ingeniería industrial de la Universidad Estatal Península de Santa Elena.
- c) **Evaluación y discusión de resultados:** se presentará un análisis económico de la implementación de este prototipo de máquina de moldeo por termocompresión y finalmente, se mostrarán los resultados y hallazgos del estudio.

JUSTIFICACIÓN

Desde la creación del primer plástico en la historia de la humanidad se evidencia la importancia del uso de este material como necesario para distintos procesos de envasado y creación de productos, sin embargo, estos afectan de manera directa al ecosistema por su difícil reciclaje y su baja capacidad de degradación (Vicente-Agulló & Bollaín-Pastor, 2019)

En consecuencia, no se desechan de manera correcta, De La Hoz et al. (2017) señala que en los últimos 40 años ha aumentado en un 7562%, siendo considerado un residuo peligroso con poca evidencia de su retorno a una fase de producción. En base a esto, nace la idea de contar con una máquina que haga la operación de termoformado, que facilite el manejo y transformación del plástico reciclado, para que pueda ser reutilizado en procesos de construcción civil en la provincia de Santa Elena.

A medida que la población aumenta, de igual forma crecen sus necesidades y el consumo se vuelve lineal en muchos casos donde la contaminación por plásticos es uno de los factores que atentan contra el bienestar de la salud, según lo menciona Zhang et al. (2020) por lo que se deben tomar medidas de reutilización de residuos, sin embargo, su trascendencia indica que en varios procesos de producción a nivel mundial ya se están fabricando productos como

paneles plásticos por los métodos de inyección, extrusión y compresión para solucionar un problema evidente sobre las construcciones tradicionales costosas, a viviendas sostenibles y de bajo costo, Botero-Jaramillo et al. (2013).

En este sentido, se garantiza la viabilidad este proyecto aportando así con la recuperación de residuos plásticos, transformarlos en paneles que cumplan con las características normadas para ser aplicadas en la construcción civil. La máquina diseñada en base a la revisión de alcance de la literatura, referencias tecnológicas actuales y originalidad con base en evidencias de prototipos hechos a mano, estima crear paneles de 50x40 cm y espesor de 1 cm tal y como lo indica (Nogueira et al. 2022).

Con una capacidad calorífica de hasta 250°C y una prensa que ejerza presión de hasta 50KN, la materia prima necesaria se obtendrá de una maquina extrusora que recicla botellas plásticas comúnmente hechas de tereftalato de polietileno. Esta máquina ayudara a reducir tiempos, costos, manejo y transportación de la materia prima relacionado a este proceso.

La propuesta de la fabricación de una máquina de moldeo por termocompresión se justifica en la necesidad inmediata de crear tecnologías que fomenten el reciclaje, pues la transformación del plástico reciclado genera un nuevo valor añadido a la creación de productos. En el contexto actual, las industrias desarrollan distintas técnicas de manufactura para la creación de estos artículos comerciales, sus estudios reflejan procesos de innovación en la parte de eficiencia energética, viabilidad técnica, calidad y costos asociados.

El principal beneficiario, es la directora del proyecto integral de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, titulada “Prototipo de una Vivienda Sostenible Aplicadas a Regiones Semiárticas”, los indirectos son las comunidades a quienes está destinado generar un impacto positivo con la implementación del nuevo producto denominado panel plástico.

OBJETIVO GENERAL

Fabricar una máquina de moldeo por termocompresión para la elaboración de paneles plásticos como material de construcción, provincia de Santa Elena, Ecuador.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estructurar un estado del arte mediante una revisión de la literatura que permita la identificación de métodos y herramientas para el diseño de la máquina.

- Establecer un marco metodológico que respalde la modelación estructural de la máquina mediante herramientas CAD con base en la evidencia del proceso de diseño, adaptado a la necesidad de producir paneles plásticos.
- Demostrar la viabilidad técnica, eficiencia térmica y calidad del producto final de la máquina de moldeo por termocompresión, en la producción de paneles plásticos a base de material reciclado.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes investigativos

Tupia et al. (2020) en su trabajo de investigación sostiene que el proceso de moldeo por compresión es una nueva forma económica de permitir el empleo de partículas de plástico y otros residuos de compuestos termoplásticos reciclados, para fabricar componentes de geometrías más simples.

Además, de asegurar que trabajar con presión en los moldes da un acabado mucho más uniforme al producto sintetizado, la estrategia implementada se basó en tres pasos fundamentales, primero: definición de temperatura de calentamiento que es 190°C y tiempo de permanencia en el horno de 55 min, segundo: definición de la proporción plástico-madera 70%-30% y finalmente una fuerza de compresión al molde de 34 KN con un tiempo de enfriamiento de 10 min. Dichos parámetros, sirven para producir paneles plásticos de alta calidad.

Por otro lado, Sangucho-Barros et al. (2023) en su trabajo de investigación realizado en Ecuador muestran un estudio relacionando dos organizaciones en la ciudad de Guayaquil dedicadas a la manufactura de productos con reciclados de plásticos, con el objetivo de medir la calidad y su efecto como producto amigable con el ambiente. El primer caso, involucra a la empresa Ecom, esta usa tereftalato de polietileno con adición de cascara de arroz y el segundo caso proviene de la empresa Ecuaplastic, usando polipropileno reciclado de fundas de snacks, costales, entre otros.

Los resultados determinan que el primer caso da un resultado de rigidez adecuada, el segundo es más moldeable ante las mismas cargas, es decir, su aplicación en el país para la economía circular es un claro ejemplo de reutilización, reparación, remanufactura y reciclaje.

Calderón-Manzanillas & Masabanda-Chasi (2021) en su investigación realizada en el grupo GIDETER, definen el diseño y construcción de la primera etapa del termoformado por medio de un horno convencional de tipo cerrado, dispone de diseño térmico con una capacidad de conducción de hasta 240 °C, el objetivo de la creación de este sistema de transferencia de calor es llevar a la temperatura de fundición el plástico en un entorno cerrado, para que este no expulse sus gases tóxicos al medio ambiente, es decir, dentro de

los parámetros de diseño se da solución al proceso común de fundición del plástico en esta empresa y así fomentar la responsabilidad con el medio ambiente.

González-Bernal et al. (2022) menciona en su artículo que, para llevar a cabo un diseño de una prensa hidráulica es necesario el estudio de las presiones y de las temperaturas necesarias para darle forma de manera correcta al plástico. El autor indica que la temperatura del molde en la prensa debe estar en 240 °C y que la fuerza de cierre o presión ejercida sobre el plástico debe ser de 676 KN, estos indicadores determinan la calidad de los materiales a usar para fabricar la prensa, es decir, deben cumplir con los estándares de resistencia de las presiones ejercidas en el trabajo de la máquina.

Diaz-Fuster & Mezarino-Perez (2023) señala en su proyecto que la madera plástica es mucho más económica, tiene mayor número de usos y un costo unitario menor que la madera convencional, al mismo tiempo se detalla que en función de calidad ésta muestra propiedades de densidad, humedad, resistencia a deflexión, compresión paralela y perpendicular. A nivel de costos es rentable y como producto es amigable con el medio ambiente.

Academia - Comunidad de Plásticos Preciosos (2023) muestra en su página web variedad de máquinas diseñadas con el propósito de tratar el plástico reciclado, también motiva a la participación de reconocidos investigadores para que publiquen mejoras u otras opciones de equipos que permitan cumplir con el mismo objetivo. Entre las máquinas más reconocidas esta la shetpress, indica que es de bajo costo producirla y puede crea paneles de plástico de hasta 1mx1m, siendo la primer prensa y sistema que permite calentar y prensar paneles simultáneamente, lo que significa tener una producción mucho más rápida. El autor indica que este diseño es factible para el proceso de desmontaje y construcción.

Vargas-Isaza et al. (2022) indica en su proyecto de investigación que los compuestos de madera plástica son materiales que se encuentran formados por la combinación de dos componentes principales: la matriz polimérica y partículas de refuerzo a base de celulosa (madera o harina) y aditivos (lubricantes, ligantes, aditivos, entre otros.), pues su aplicación en distintos procesos productivos ha ido mejorando en los últimos años. La resistencia a la flexión de cada mezcla se determina por el tamaño de la partícula asociada en la elaboración, pues a menor diámetro aumenta la resistencia a la tensión, esto se utiliza para la conformación de productos finales y así mejorar la adhesión en los compuestos y sus propiedades químicas.

Zorro-Acevedo & Ramírez-Hernández (2022) en su estudio, hace énfasis en el diseño y fabricación de un nuevo producto a base de residuos específico de plásticos como el polietileno de alta densidad, material usado como alternativa en las construcciones modernas y amigables con el medio ambiente. Detalla que pretende reemplazar el concreto de una vivienda tradicional por la madera plástica, al momento de producir y utilizar cemento se produce monóxido de carbono, siendo ese uno de los elementos más contaminantes en el planeta.

Dado el contexto, es evidente que la evolución de las maquinarias de moldeo por termocompresión adaptadas a la necesidad de producir paneles plásticos ha ido mejorando conforme pasan los años. Sin embargo, la falta de exploración detallada en este campo destaca la necesidad de establecer un enfoque metodológico sólido que permita valorar de forma más completa el diseño a detalle de equipos que logren producir con materiales plásticos reciclados un producto para la innovación sostenible en construcciones.

1.2. Estado del arte

El estado del arte, según Molina-Montoya (2005) es un estudio analítico del conocimiento agrupado que hace parte de la investigación documental y que tiene como objetivo inventariar y sistematizar la producción en un área del conocimiento, permite hacer una reflexión profunda sobre las tendencias y vacíos en un área específica de indagación.

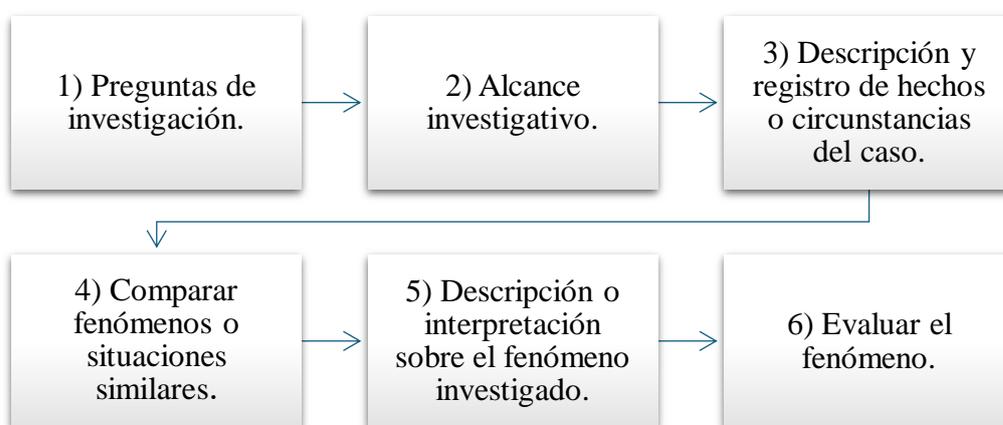
Petticrew & Roberts (2006) sugieren iniciar un trabajo de investigación, realizando revisiones de literatura, proporcionan orientación a las y los investigadores sobre los temas que pretenden investigar a futuro, ofreciéndoles un amplio alcance científico existente sobre un tema en particular. También señalan que dichas revisiones se pueden utilizar para examinar metódicamente las razones por las cuales una misma pregunta de investigación planteada en diversos estudios arroja conclusiones diferentes. Por otro lado, Guirao-Goris (2015) manifiesta que llevar a cabo una revisión bibliográfica es una parte integral de la investigación, esta se considera como función principal para informar y desarrollar la práctica de discusión del trabajo académico.

Una vez definidas las fuentes bibliográficas con información necesaria para la fabricación de la máquina de moldeo por termocompresión, se debe realizar un estudio para validar las metodologías y determinar cuál se acopla con mayor fuerza a nuestro proyecto. Posteriormente, usaremos el método AHP que según Darko et al. (2019) es una herramienta que en los distintos procesos de diseño y construcción ha ganado cada vez más atención por

su compleja forma de toma de decisiones. Según Gómez & Cabrera (2008) este método utiliza una estructuración jerárquica de los problemas en subproblemas homogéneos y, de hecho, el uso de la descomposición jerárquica es una de las grandes virtudes para descomponer una meta u objetivo en factores más simples y cuya escala se divide de números impares (1, 3, 5, 7, 9) y números pares (2, 4, 6, 8).

En el siguiente cuadro (gráfico 1) se muestra el proceso a seguir para determinar las bases de la investigación por el método de alcance de la teoría enfocado al estudio de casos con diseños según (Alonso, 2023). Este contribuye a la estrategia u opción de metodología que acompaña al método cualitativo, teoría fundamentada, investigación-acción, entre otros. Esta metodología consta de identificar una unidad de observación o escenario real, elaborar una o más varias hipótesis o teorías a través del estudio de una realidad, determinar un alcance investigativo, descripción y registro de los hechos o circunstancias del caso, comparar fenómenos y determinar criterios de selección, hacer una descripción o interpretaciones sobre el fenómeno investigado y finalmente evaluar el fenómeno.

Gráfico 1: Proceso de alcance de la literatura



Nota. Elaborado por el autor en base a la investigación de Alonso

1.2.1 Pregunta de investigación

Perero-De La Cruz & Muyulema-Allaica (2024) sostienen que, para formular la pregunta de investigación, se define el propósito general con un enfoque técnico y operativo enfatizado en las cuestiones prácticas y técnicas para la búsqueda eficiente de información. Este estudio tiene como objetivo: Fabricar una máquina de moldeo por termocompresión para elaborar paneles plásticos que sirvan como nueva alternativa de materiales sostenibles para las construcciones civiles en la provincia de Santa Elena. Finalmente, mediante el

proceso de alcance de la literatura se plantea una guía de investigación, cuya secuencia lógica inicia con la siguiente interrogante:

P1: ¿Qué prácticas en el proceso de diseño de una máquina de moldeo por termocompresión para la producción de paneles plásticos de alta calidad que se evidencian en el marco de la literatura científica?

1.2.2 Alcance investigativo

Se realizará una revisión exhaustiva de la literatura relacionada con la fabricación de paneles de plásticos, tecnologías de diseño asistido por computador (CAD), tecnologías de termocompresión utilizadas en la industria, bibliografía con temas de transferencia de calor, resistencia eléctrica, además de los materiales para su producción u otros componentes alternativos que se podrían adicionar para su fabricación, impacto económico y ambiental, finalmente aplicaciones y tendencias futuras. El rango de sondeo radial oscila entre las fechas 01/01/2017 y 20/02/2024 y los motores de búsqueda son: ScienceDirect, Scielo y Scopus

En la tabla 1, se muestra un modelo de exploración en base a los motores de búsqueda antes establecidos, donde se utilizaron los operadores booleanos para ampliar los resultados y mejorar la eficiencia, los estudios fueron seleccionados con un amplio alcance de revisión de la literatura científica, especificando la fuente, la descripción y la delimitación.

Tabla 1: Descripción de exploración de artículos.

Fuentes	Descripción de exploración	Delimitación
ScienceDirect	<ul style="list-style-type: none"> Artículos con interés focal en prototipos de máquinas de moldeo: “prototipe” AND “thermoforming” OR “thermoplastics” AND “compression” AND “thermal analysis” OR “potency” Artículos con interés focal en mecánica de materiales: “plastic” AND “molding” AND “composite” Artículos con interés focal en eficiencia energética: “oven” AND “electric” AND “circuit” OR “heat transfer” 	Engineering STEP (Thermal Science and Engineering Process). Open Access

Scopus	<ul style="list-style-type: none"> • Artículos con interés focal en prototipos de máquinas de moldeo: “prototipe” AND “thermoforming” OR “thermoplastics” AND “compression” AND “thermal analysis” OR “potency” • Artículos con interés focal en eficiencia energética: “oven” AND “electric” AND “circuit” OR “heat transfer” 	Engineering Open Access
Scielo	<ul style="list-style-type: none"> • Artículos relacionados con los términos: “estudio térmico”, “transferencia de calor”, análisis estructural de prensa”, “análisis térmico”. 	Ingeniería e investigación. Acceso abierto

Nota: Elaborado por el autor

Criterios de inclusión

- Todo artículo académico relacionado con la fabricación de paneles plásticos como alternativa de nuevo producto amigable con el ambiente.
- Todo artículo académico que presente tecnologías de diseño asistido por computadora enfocado en el área de construcción de máquinas de moldeo.
- Todo artículo académico que presente tecnologías de termocompresión
- Todo artículo académico que presente información relacionada con la fabricación individual de hornos de fundición de plástico y prensas manuales o hidráulicas.
- Todo artículo académico que determine el tipo y calidad de material para la producción de paneles plásticos.
- Todo artículo académico que discuta sobre el impacto económico y ambiental como medida de control para la fabricación de paneles plásticos.

Criterios de exclusión

- Trabajos de investigación que no tengan relación con la fabricación de paneles plásticos, diseño asistido por computador, termocompresión y normativas legales de termocompresión.
- Trabajos de investigación que no se encuentren dentro del lapso establecido del sondeo radial

- Trabajos de investigación que no demuestren veracidad en su contenido y no cuenten con evidencias científicas dentro del marco de investigación.

1.2.3 Descripción y registro de hechos o circunstancias del caso

En la tabla 2, se evidencia la búsqueda del contenido según la terminología establecida, donde el proceso de recolección de artículos y contenidos relacionados al tema de investigación, se sometieron a un riguroso y exhaustivo procesos de selección que se completó analizando fuentes científicas, excluyendo artículos de los motores de búsqueda que no cumplan con los requisitos de investigación, dejando como resultado 26 artículos con información verídica que, sin duda alguna, puede aportar al desarrollo de este trabajo de investigación.

Tabla 2: Estudios revisados

Base de datos del estudio					
N°	Fuentes	Cantidad	Artículos excluidos	Diferencia	Porcentaje
1	ScienceDirect	444	427	17	65%
2	Scielo	123	120	6	23%
3	Scopus	112	106	3	12%
Artículos revisados		679	653	26	100%

Nota: Elaborado por el autor en base a la investigación de (Bettina, 2023)

Análisis de registros de inclusión primarios

Teniendo en cuenta la revisión literaria y el desglose de artículos excluidos e incluidos, es necesario realizar una matriz de artículos científicos mostrada en la tabla 3, con el contenido necesario que identifique la autoría de años recientes como indica el sondeo radial, las herramientas utilizadas en el estudio y la fuente de donde se extrajo la información, pues este cuadro permite conocer la realidad teórica de las bases de estudios confiables respecto de la fabricación de máquinas de moldeo por termocompresión.

Tabla 3: Matriz de artículos científicos

N°	Autor & Año	Herramientas	Título	Fuente
1	(Friedrich, 2021)	Métodos de estudio de termoformado	Thermoplastic moulding of Wood-Polymer Composites (WPC): A review on physical and	ScienceDirect

			mechanical behaviour under hot-pressing technique	
2	(Castro-Cepeda & Cortés-Llanganate, 2022)	Métodos de estudio de termoformado	Modelo matemático de un horno resistivo para termoformado de láminas de polipropileno	Scopus
3	(Afshariantorghabeh et al., 2023)	Métodos de estudio de termoformado	Thermoformability study of wood flour–HDPE composites with variations in wood content under vacuum forming	SciencDirect
4	(Nardi & Sinke, 2021)	Diseño conceptual	Design analysis for thermoforming of thermoplastic composites: prediction and machine learning-based optimization	ScienceDirect
5	(Kasper et al., 2024)	Plan de producción.	Designing production planning and control in smart manufacturing	Sciencedirect
6	(Turku et al., 2018)	Métodos de estudio de termoformado.	Durability of wood plastic composites manufactured from recycled plastic	Sciencedirect
7	(Mishra & Ullas, 2023)	Diseño en SolidWorks: simulación de calorimetría.	Concept Modelling of Small-Scale Device for Continuous Production of Graphene using Solidworks	Sciencedirect
8	(Hu et al., 2024)	Metodología Quality Function Deployment (QFD)	Construction and application of product optimisation design model driven by user requirements	Scopus
9	(Pasetti-Monizza et al., 2024)	Diseño para la Manufactura (DF)	Exploring applications of Computational Design techniques and design for manufacturability for costs reduction of prefabricated timber-based façades: The ‘LegnAttivo’ design prototype	Sciencedirect
10	(Ormaza-Andrade et al., 2020)	Presupuesto basado en actividades	Maquina bio-recicladora de plástico pet: un emprendimiento	Sciencedirect

			viable. Caso Azogues – Ecuador	
11	(Abdallah et al., 2022)	Diseño Asistido por Computadora (CAD) Solidworks	The use of SolidWorks in the evaluation of wind turbines in Palestine Processing Machines by Extruder Method	Sciencedirect
12	(Vargas-Isaza et al., 2022)	Diseño conceptual	Desempeño Mecánico de Compuestos de Madera Plástica de Matriz Poliiolefínica	ScienceDirect
13	(Chen et al., 2024)	Calorimetría diferencial de barrido (DSC)	A comprehensive investigation on the temperature and strain rate dependent mechanical response of three polymeric syntactic foams for thermoforming and energy absorption applications	ScienceDirect
14	(Sheikhhoshkar et al., 2024)	Plan de producción.	An innovative integrated framework for multi-level production planning and control systems in construction	Sciencedirect
15	(Arbeláez-Toro et al., 2019)	Métodos de estudio de termoformado Calorimetría diferencial de barrido (DSC)	Intervención tecnológica para la reconversión y automatización de una máquina termoformadora por vacío de una sola estación	Scielo
16	(Lee et al., 2024)	Despliegue de la función de la calidad (QFD)	Achieving eco-innovative smart glass design with the integration of opinion mining, QFD and TRIZ	Scopus
17	(Rosales-Davalos et al., 2020)	Diseño conceptual	Diseño e implementación de un sistema de control a lazo cerrado PID para manipular la temperatura en el proceso de termoformado	ScienceDirect

18	(Maynard et al., 2023)	Método de simulación cualitativa. Presupuesto Basado en Actividades (ABC)	Calentamiento por resistencia directa de láminas de aluminio para el conformado superplástico rápido	Sciencedirect
19	(Turan et al., 2022)	SolidWorks: Método de simulación Cualitativa.	Digital twin modelling for optimizing the material consumption: A case study on sustainability improvement of thermoforming process	ScienceDirect
20	(Wale et al., 2021)	Doblado en voladizo con prueba estándar ASTM D790 Extensómetro digital	Applying ASTM Standards to Tensile Tests of Musculoskeletal Soft Tissue: Methods to Reduce Grip Failures and Promote Reproducibility	Scopus
21	(Herrera-German J. et al., 2018)	Diseño conceptual	Modificación de un horno eléctrico doméstico a incubadora de laboratorio controlada con Arduino	Scielo
22	(Castro-Rodríguez et al., 2022)	Matriz de decisión Función de la calidad (QFD)	Despliegue de la función calidad para determinar los requisitos de diseño en biopilas experimentales a escala de banco, evaluadas como alternativa resiliente para la degradación de residuos petrolizados	Scopus
23	(Rodríguez-Acosta, 2018)	Presupuesto basado en actividades (ABC).	El costeo basado en actividades: una tendencia actual	ScienceDirect
24	(Kuzmin et al., 2023)	Diseño conceptual	Mejorar la eficiencia térmica de los equipos de moldeo pequeños para acelerar el inicio de la producción y reducción al consumo de energía	ScienceDirect TSEP

25	(Yu et al., 2021)	Diseño conceptual	Preparación y propiedades de compuestos de madera y plástico con características deseables utilizando álamo y desechos plásticos	Scopus
26	(Tupia et al., 2020)	Ensayos normalizados ASTM del producto final.	Metodología experimental para determinar los parámetros del proceso de moldeo por compresión.	Scielo

Nota. Elaborado por el autor

1.2.4 Comparar fenómenos o situaciones similares

En la tabla 3, los diferentes autores indagan en lo beneficioso que es el diseño de materiales y métodos de producción de productos amigables con el ambiente, puesto que en la actualidad existe una demanda exigente, lo que ocasiona una producción lineal con escaso retorno del producto utilizado. Es por ello, que la implementación de procesos de transformación de materiales reciclados como el polietileno u otros polímeros conlleva a tener beneficios tanto económicos, sociales y ambientales.

Acorde a lo señalado en la tabla 3, en lo que se refiere a las herramientas y métodos que emplean los investigadores para desarrollar equipos, procesos de manufactura y tratamiento de la materia prima como son los plásticos, se tiene que 8, 16 y 22 emplean la metodología despliegue de funciones de calidad o su traducción en inglés Quality Function Deployment (QFD).

Esta consiste en recoger la voz del cliente y la traduce en voz del ingeniero mediante una secuencia de pasos sucesivos, a características de diseño y operación que satisfacen las demandas y expectativas del mercado al que esta direccionado, por lo que, se incorpora al diseño de nuevos productos relacionando las necesidades del cliente (CRS) y las características de ingeniería (EC), según lo evidencian autores como (Hu et al. (2024); Lee et al. (2024); Castro-Rodríguez et al. (2022)).

Las investigaciones 7, 11, 18 y 19 indican que es de suma importancia modelar el equipo o herramienta que se desee construir, con fines de analizar o evaluar partes del diseño antes de su fabricación, la herramienta que en la actualidad está tomando fuerza para el modelado en

3D y presentación de planos de detalles es SolidWorks. En este software se puede validar el diseño creado conceptualmente, por medio de variedad de herramientas para simular su fabricación y funcionamiento, es muy necesario si se pretende crear una máquina de moldeo puesto que, destacan el estudio de simulación cualitativa, (Mishra & Ullas (2023); Meza-de Luna et al. (2022); Abdallah et al. (2022)).

Por otro lado, las investigaciones 12, 24, 25, 4, 17 y 21 realizadas por Nardi & Sinke (2021); Vargas-Isaza et al. (2022); Morán-Ipiales & Laica-Tulmo (2024); Herrera-German J. et al. (2018); Kuzmin et al. (2023); Yu et al. (2021) destacan por basar sus estudios en la metodología de diseño conceptual, que permite analizar y desarrollar un modelo ideal de procesos y diseños de termoformado en la industria de la ingeniería, que comienza con unas especificaciones claras, luego se establecen estructuras funcionales y se buscan los principios de funcionamiento y combinación, finalmente se evalúan variantes conceptuales en función de los criterios técnicos.

Las investigaciones 1, 2, 15, 6 y 3 resaltan el uso de Métodos de estudio de termoformado, los cuales se basan en comparaciones y evaluaciones de los distintos métodos de termoformado, parámetros necesarios para el diseño de moldes, combinaciones de materias primas para la elaboración de paneles de plásticos, entre otros, de tal forma que, este sea un punto de partida para determinar el material, cantidad y proceso a seguir para el diseño y fabricación de cualquier equipo industrial con la finalidad de producir un producto tangible, según destacan los autores (Friedrich (2021); Castro-Cepeda & Cortés-Llanganate (2022); Arbeláez-Toro et al. (2019); Turku et al. (2018); Afshariantorghabeh et al. (2023)).

Las investigaciones 20 y 26 indican que su metodología se basa en medir los parámetros del producto final, que en este caso son los paneles de plásticos mediante la normativa estándar ASTM D747-2 y ASTM D790, esta se caracteriza por realizar pruebas de tracción y flexión por el método de doblado en voladizo, utilizando una prensa y así medir el grado de resistencia de los paneles plásticos producidos a diferentes temperaturas de fundición. Con el fin de, establecer un parámetro de producción y así producir paneles de calidad, según manifiestan los autores (Tupia et al. (2020);Wale et al. (2021)).

Según los autores Villa et al. (2024); Maynard et al. (2023) las investigaciones se desarrollan acorde a un modelo de diseño para la manufactura, esta forma parte como una herramienta de diseño de procesos relacionados al entorno productivo de la fabricación, aquí se crean planos, especificaciones de materiales y alternativas de diseños.

Por otro lado, las investigaciones 10, 23, y 18 hacen énfasis en implementar un modelo de presupuesto basado en actividades (ABC) en los procesos de fabricación de máquinas o equipos destinados a la producción, esto se realiza mediante tablas de control que registren a detalle cada uno de los costos y movimientos o actividades que involucran el proceso de fabricación, precisamente en establecer el costo de fabricación para posteriormente determinar el costo de venta del producto, según indican los autores (Neira-Neira et al. (2020); Rodríguez-Acosta (2018); Maynard et al. (2023)).

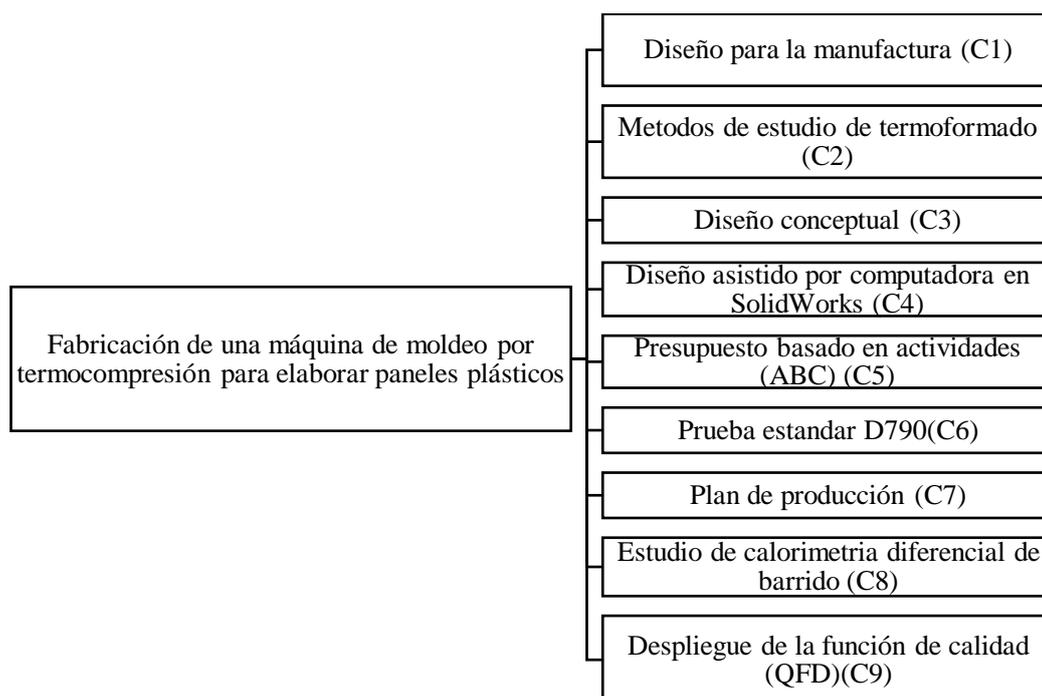
Según los autores Arbeláez-Toro et al. (2019); Chen et al. (2024) los artículos 15 y 13 se desarrollan acorde a un estudio de calorimetría diferencial de barrido (DSC), en el proceso de termocompresión de materiales plásticos, de esta forma con equipos de medición de alta eficiencia se pueden obtener parámetros de transferencia de calor y masa que un cuerpo está experimentando en el proceso de calentamiento por inducción.

Las investigaciones 5 y 14 indican que su metodología empleada es establecer un plan de producción basado en documentación apropiada y detallada de todas las variables elementales del proceso de producción de termoformado, según indican los autores (Sheikhhoshkar et al. 2024); Kasper et al. (2024)).

1.2.5 Descripción o interpretación sobre el fenómeno investigado

Según Kudláč et al. (2017) su investigación sobre la utilización del método Ssaty y FMEA para la evaluación de restricciones de la cadena logística, se proceden a seleccionar las respectivas variables identificadas en el estado del arte para respectivo análisis. De esta forma se pueden determinar las metodologías o herramientas necesarias para la fabricación de la máquina de moldeo por termocompresión, mediante una matriz con sus debidas ponderaciones. C1 corresponde al diseño para la manufactura, C2 al método de estudio de termoformado, C3 al diseño conceptual, C4 al diseño asistido por computador, C5 presupuesto basado en actividades, C6 prueba estándar D790, C7 un plan de producción, C8 estudios de calorimetría diferencial de barrido y Despliegue de la función de la calidad.

Gráfico 2: Herramientas encontradas en la matriz referencial



Nota: Elaborado por el autor

1.2.6 Evaluar el fenómeno

En la siguiente tabla 4, se realizó una matriz de relación y comparación de criterios, esta pretende establecer una similitud a base de criterios Saaty, nos permite ponderar la importancia acorde a la relación entre criterios. Es decir, si se pondera C1 con C2 para conseguir su inversa se establece esta relación C2C1 que será igual a 1/C1C2.

Tabla 4: Matriz de criterios por la metodología Saaty

	Criterios								
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
C1	1	1	1	½	1	1	1	2	1
C2	1	1	1/2	½	2	½	1	1	1/2
C3	1	2	1	2	3	2	2	1	1/3
C4	2	2	1/2	1	2	1	3	2	1
C5	1	½	1/3	½	1	1/5	1	1	1/5
C6	1	2	1/2	1	5	1	1/2	3	1
C7	1	1	1/2	1/3	1	2	1	1	1
C8	1/2	1	1	½	1	1/3	1	1	1/2
C9	1	2	3	1	5	1	1	2	1
Total	10	13	8	7	21	9	11	12	7

Nota: Elaborado por el autor

En la tabla 5, podemos observar los resultados de la matriz normalizada, esta tabla se desarrolló dividiendo cada valor de cada celda entre el total de cada columna, seguido de aquello, encontramos una ponderación realizando un promedio con las filas de los criterios, para determinar que ya existen criterios que destacan como: C9, C4, C3, C2 Y C6

Tabla 5: Matriz normalizada de criterios

Matriz normalizada										Pond
C1	0,11	0,08	0,12	0,07	0,05	0,11	0,10	0,17	0,15	0,11
C2	0,11	0,08	0,06	0,07	0,10	0,06	0,10	0,08	0,08	0,08
C3	0,11	0,16	0,12	0,27	0,14	0,22	0,19	0,08	0,05	0,15
C4	0,21	0,16	0,06	0,14	0,10	0,11	0,29	0,17	0,15	0,15
C5	0,11	0,04	0,04	0,07	0,05	0,02	0,10	0,08	0,03	0,06
C6	0,11	0,16	0,06	0,14	0,24	0,11	0,05	0,25	0,15	0,14
C7	0,11	0,08	0,06	0,05	0,05	0,22	0,10	0,08	0,15	0,10
C8	0,05	0,08	0,12	0,07	0,05	0,04	0,10	0,08	0,08	0,07
C9	0,11	0,16	0,36	0,14	0,24	0,11	0,10	0,17	0,15	0,17

Nota: Elaborado por el autor

En la tabla 6, se puede apreciar el proceso para calcular el índice de consistencia, la consistencia aleatoria y la relación de consistencia, este resultado equivalente a 0,0984 es factible para tomar en consideración los resultados obtenidos, puesto que, si la consistencia CR fuera mayor a 0,1 no sería factible optar por el resultado.

Tabla 6: Veracidad de los datos

	A x P		
		Índice de consistencia	0,1438
C1	1,0259	CI= (nmax-n) / (n-1)	
C2	0,7820		
C3	1,5066	Consistencia aleatoria	1,5400
C4	1,4700	RI= (1.98*(n-2) / n	
C5	0,5651		
C6	1,3680	Relación de consistencia	0,0934
C7	0,9923	CR = CI/RI	
C8	0,7218		
C9	1,7184		
Suma	10,150		

Nota. Elaborado por el autor

En la tabla 7, se presentan en orden jerárquico de los criterios y su respectiva ponderación, ubicando como metodología potencial al QFD como punto de partida para empezar con el diseño de la máquina, seguido del diseño conceptual como punto de apoyo para el apartado creativo, luego el diseño asistido por computador para la simulación cualitativa del equipo y finalmente se considera una prueba de flexibilidad D790 para determinar el rendimiento del producto, le siguen más herramientas y métodos que se pueden considerar para posible investigaciones.

Tabla 7: Criterios y ponderación

C	Criterios	Ponderación
C9	Despliegue de la función de calidad (QFD)	0,17
C3	Diseño conceptual	0,15
C4	Diseño asistido por computadora en SolidWorks	0,15
C6	Prueba estándar ASTM D790	0,14
C2	Métodos de estudio de termoformado	0,08
C1	Diseño para la manufactura (DM)	0,11
C5	Presupuesto basado en actividades (ABC)	0,06
C7	Plan de producción	0,10
C8	Estudio de calorimetría diferencial de barrido (DSC)	0,07

Nota: Elaborado por el autor

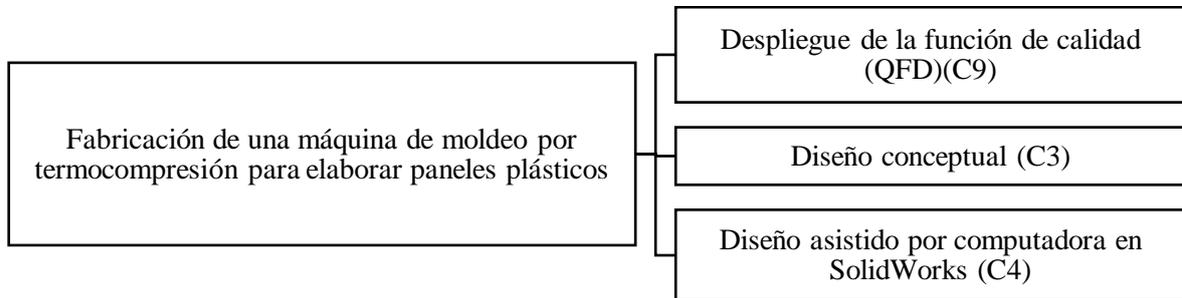
Emplear la metodología de alcance de la literatura permitió identificar, analizar y seleccionar artículos e investigaciones de fuentes confiables relacionadas con la fabricación de una máquina de moldeo por termocompresión. Los motores de búsqueda cumplieron la función de mostrar la información requerida para iniciar con el desarrollo del proyecto. En ese sentido, se encontraron herramientas funcionales para el diseño y fabricación de la máquina de moldeo por termocompresión para la producción de paneles plásticos en la provincia de Santa Elena tales como: Despliegue de la función de calidad (QFD), Diseño conceptual y la validación en SolidWorks.

1.2.7 Conclusión de los hallazgos del método

Analizando el capítulo 1, se pudo desarrollar la metodología de toma de decisiones multicriterio ejecutando el método AHP, el cual sirvió para cuantificar y determinar escalas de preferencia con la base de los criterios de expertos. Enfocados en poder tomar decisiones, este método ayudo a establecer las siguientes herramientas: Metodología Quality Funtion Deployment (QFD) o en español despliegue de la función de calidad con: (Matriz de factor de importancia para características técnicas de la máquina y matriz de selección), diseño conceptual en base a (Propuestas con bocetos técnicos, esquemas y estudios prácticos) y

diseño asistido por computador SolidWorks demostrando (método de simulación cualitativa, análisis estático y térmico), como se muestra en la gráfico 3.

Gráfico 3: Métodos de desarrollo

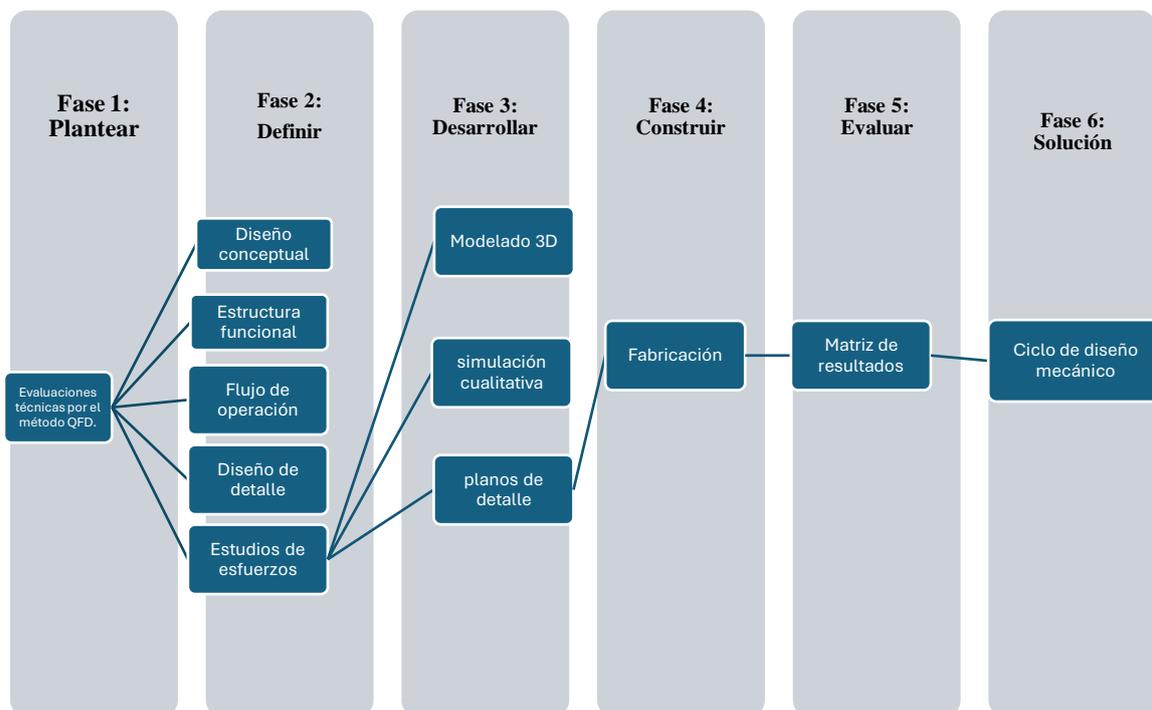


Nota: Elaborado por el autor

Delineación del protocolo:

La delineación de un protocolo representa fundamental para evidenciar la integración de los hallazgos de la investigación teórica, pues este impacta por sistematizar la información y facilitar el análisis de la relación entre los métodos más eficientes para este proyecto. En este sentido, el gráfico 4 muestra el “Protocolo del ciclo de diseño mecánico para la fabricación de una máquina de moldeo por termocompresión”. Resaltando su utilidad para identificar las áreas de trabajo focalizados del desarrollo de la máquina.

Gráfico 4: Protocolo del ciclo de diseño mecánico a partir del método QFD.



Nota: Elaborado por el autor

En el gráfico 4, se muestra el protocolo a seguir para lograr fabricar una máquina de moldeo por termocompresión. El análisis de estudios científicos aporta con la eficacia de encontrar el método más eficiente y su secuencia lógica clasificadas con cada una de sus herramientas de calidad.

Los hallazgos muestran claramente que los autores realizan contribuciones variadas al inferir en métodos para captar y desarrollar técnicamente las necesidades del cliente, pues Castro-Rodríguez et al. (2022) indica un planteamiento con el desarrollo de la casa de la calidad (QFD), el mismo que, utiliza matrices de relaciones para determinar factores cualitativos respecto de todos los requerimientos técnicos asociado. Seguidamente Herrera-German J. et al. (2018), emplea el diseño conceptual lo acopla y se desarrolla con cajas de calidad, diagrama de operaciones, bocetos técnicos y estudios analíticos de esfuerzos estáticos y térmicos. Por otro lado Abdallah et al. (2022) inicia la fabricación por medio de estrategias de mecanizados de piezas sin correr riesgos por siniestros analizando previamente en SolidWorks. Finalmente, se crean matrices de operaciones en función de justificar el buen funcionamiento de la máquina.

Fundamentos teóricos:

Horno eléctrico: es un horno que utiliza electricidad como fuente de energía para producir calor dentro de la cámara de calentamiento. El calor es generado por resistencias eléctricas que se calientan debido a la corriente que pasa por ellas. El principio que explica su funcionamiento es conocido como el efecto Joule. Los principales componentes de un horno eléctrico son: una cabina o cámara, elementos de calentamiento (Resistencias eléctricas), Termocupla, material aislante, un temporizador, un controlador (SkillCat, 2021).

Resistencias tubulares metálicas: se componen de tres elementos, el primero es una funda metálica tubular, que puede estar hecha de metales como INCOLOY, Acero, Acero Inoxidable, cobre, entre otros, el segundo es un material aislante eléctricamente, como el óxido de magnesio de alta calidad, pero con una muy buena conductividad térmica, el tercero, es un alambre metálico enrollado helicoidalmente con una alta resistencia eléctrica. En este tipo de resistencias el alambre es el generador del calor, el óxido de magnesio sirve como aislante eléctrico entre el alambre y la funda metálica, pero conduciendo perfectamente el calor, y por último la funda funciona como un medio de protección para preservar la vida útil de los dos componentes anteriores. Estas resistencias son usadas en diferentes sistemas de calefacción, para calentar aire, líquidos, aceites o superficies, y en hornos y gabinetes de

secado. Se caracterizan por ser compactas, resistentes y poderles conformar fácilmente a cualquier espacio y aplicación (OMEGA Engineering, 2023).

Termocuplas: son sensores elaborados a partir de dos alambres metálicos diferentes, unidos mediante soldadura en un extremo, normalmente de materiales como: hierro, Constantán, Cromel, Alumel, Cobre, entre otros. Estos sensores generan una diferencia de voltaje muy pequeño, del orden de los milivoltios que varía al aplicar calor o frío en el punto de unión de los metales. Existen diferentes tipos de termocuplas, tipo K, T, E, R, S, y B, cada una para trabajar en diferentes rangos de Temperatura, que van de los -200°C a 1700°C . Cada tipo está construido con un par de alambres metálicos diferente (JM Industrial, 2023).

Materiales aislantes: son usados en los hornos para frenar la transferencia de calor de la cámara de calentamiento hacia el ambiente exterior, con el objetivo de conservar el calor producido por los elementos de calentamiento en el interior del horno. Esto permite ahorrar recursos energéticos haciendo el horno más eficiente. También se usan estos materiales para aislar superficies calientes que pueden llegar a ser peligrosas para el usuario que va a usar el horno. Los materiales aislantes térmicamente se caracterizan por tener una conductividad térmica baja. (GSL Industrias, 2021).

Lana mineral de vidrio: es un material fabricado a partir de arenas silíceas y vidrio reciclado. Se utiliza como aislamiento térmico en la construcción de paredes, techos y suelos por su baja conductividad térmica, ser incombustible y no absorber agua. También es utilizado como aislante acústico. La conductividad térmica de la lana de vidrio varía en función de los materiales usados para su fabricación, así como su densidad; pero su valor está en el rango más bajo (Saint-Gobain, 2023).

Sistema de Control en lazo cerrado: en contraste con los sistemas de control en lazo abierto, estos sistemas tienen una realimentación de su salida, que les permite calcular la desviación con respecto al comportamiento deseado y tomar acciones de control correctivas sobre su entrada, asegurando que la salida siempre se mantenga en el valor deseado. Se caracterizan por su precisión, adaptabilidad confiabilidad y eficiencia, requieren de muy poca intervención humana para funcionar, aunque tienen la desventaja de ser más complejos y costosos (Ragno, 2023).

Los componentes que forma un sistema de control en lazo cerrado son: sensor: mide la variable física a controlar en el proceso o planta y la transforma en una señal eléctrica medible por el controlador.

Controlador: recibe el valor deseado de la variable a controlar, calcula el error entre el valor deseado y el valor medido por el sensor en la planta o proceso, con el error calcula la acción de control correctiva y la envía al actuador.

Actuador: recibe la acción de control del controlador y regula la variable de entrada de la planta o proceso. Transforma una señal de baja potencia en una señal de alta potencia

Planta o proceso: es el sistema que se ve obligado a cambiar de estado como consecuencia de la señal de entrada del actuador.

Termoformado: el termoformado es un proceso en el cual una lámina (polímero termoplástico) se calienta hasta su temperatura de ablandamiento; luego, por medio de vacío, presión de aire, fuerza mecánica o gravedad, el polímero ablandado es presionado contra un molde y enfriado rápidamente para duplicar su forma. El proceso finaliza con la remoción de la pieza y el recorte de los excesos de material (Arbeláez-Toro et al., 2019).

CAPÍTULO II

MARCO METODOLÓGICO

2.1 Enfoque de la investigación

Acorde al contexto, es necesario precisar que esta investigación es de tipo cualitativo con un enfoque deductivo, pues este acercamiento metodológico parte de un análisis de postulados donde busca relacionar aspectos que profundicen el entendimiento de cualidades internas de un fenómeno según lo indagan Hernández-Sampieri & Mendoza-Torres (2018), esto se fundamenta con el interés focal de indagar, comprender e interpretar lo que se observa a partir de otros criterios según Ramírez-Elías et al. (2019). En este sentido, se recopila información, se analiza al cliente y otros criterios para definir todos los componentes y funciones del diseño con el propósito de materializar las ideas y satisfacer las necesidades.

El modelo deductivo permite pasar de los principios generales a los particulares, pues esto se traduce a la investigación de los parámetros iniciales de las características técnicas de las máquinas de moldeo por termocompresión, para garantizar la eficiencia y efectividad del análisis, la comprobación y la verificación de que un nuevo equipo diseñado con dichas o mejoradas características funcione.

2.2 Diseño de investigación

Este trabajo sigue el marco de diseño tipo no experimental, pues no se manipulan deliberadamente las variables de estudio, se estudian situaciones ya existentes en su ambiente natural y posee un control menos riguroso que la experimental (Agudelo-Viana & Aignerren-Aburto, 2008). Fuertes-Alvear (2023) indica que, al emplear múltiples enfoques de investigación se pueden llegar a soluciones y análisis de datos eficientes, para la caracterización mecánica y térmica del objeto con el fin de proporcionar información para futuras investigaciones. Por lo que, se empleará el método analítico y descriptivo que se mencionan a continuación.

El método analítico: es el tipo de estudio que permite dar un seguimiento a un proceso evolutivo, desde la aparición de los hipotéticos factores causales hasta que culmine el supuesto efecto Veiga-de Cabo et al. (2008) esto nos permite validar el diseño, optimizar las variables de estudio, analizar matemáticamente y simular cualitativamente el funcionamiento de la máquina antes de su puesta en marcha y finalmente compararlo con el modelo teórico.

El enfoque descriptivo: se analizan y describen todas aquellas características del material objeto de investigación, componentes y procesos causa-efecto entre las variables (Fabricación de máquina de moldeo y elaboración de paneles plásticos).

2.3 Proceso metodológico del ciclo de diseño mecánico

Gracias a los hallazgos del método de revisión de alcance de la literatura, el modelo de secuencia lógica para la fabricación de máquinas de moldeo por termocompresión fueron optimizados, llegando a la conclusión de que la mejor ruta sistemática empieza con un enfoque cualitativo, deductivo con método analítico y descriptivo, fundamentos que dan forma al proceso de diseño mecánico con sus iteraciones correspondientes a: desarrollo de la matriz QFD, diseño conceptual y de detalle, modelado 3D y simulación de análisis cualitativo para finalmente mostrar las fichas de resultados.

Este trabajo de investigación sigue el modelo metodológico del ciclo de diseño mecánico que se hizo referencia en la investigación de Blanco-Romero (2018) el autor indica que se realiza de forma secuencial, pero realizando iteraciones o bucles en las etapas que se ejecuten. Fuertes-Alvear (2023) lo afirma siempre y cuando se lleve un orden logístico de diseño que adapten parámetros como toma de decisiones anticipadas para garantizar el diseño final. En el gráfico 5 se muestra el proceso para la planeación, la definición, el desarrollo por software, la construcción, las pruebas y un campo abierto con preguntas de evaluación para posibles mejoras, descrito por (Ullman, 2010).

Gráfico 5: Secuencia de desarrollo de proyectos de diseño mecánico



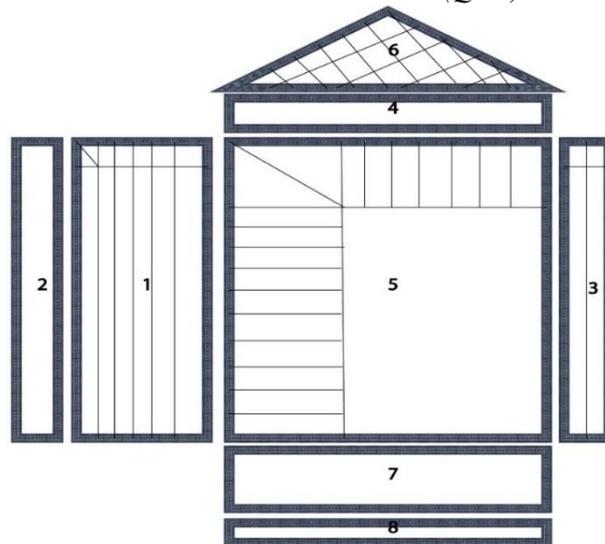
Nota: Elaborado por el autor

- **Plantear: evaluación de especificaciones técnicas**

Según Jiménez-Rodríguez et al. (2020) el despliegue de la función de la calidad (QFD) tiene una perspectiva importante en la evolución de procesos de desarrollo de nuevos productos y servicios, siguiendo una estructura y sistema de ejecución de tareas que conlleven desde la concepción hasta la comercialización, garantizando la transformación de las necesidades del cliente y transformarlos en productos basándose en criterios de ingeniería.

Para su implementación se deben realizar 4 matrices principales vistas en el gráfico 6: la planificación del producto, la planificación de las piezas, la planificación del proceso y el control de la calidad, al desarrollarlas se asemejan a la estructura de una casa y por eso en muchas ocasiones a este método se le conoce como (La casa de la calidad).

Gráfico 6: Estructura de la casa de la calidad (QFD)



Nota: Elaborado por el autor

Las partes principales de desarrollo se centran en las siguientes:

1. Requerimientos del cliente
2. Factor de importancia del cliente
3. Evaluación competitiva del cliente
4. Requerimientos técnicos
5. Matriz de relaciones
6. Correlación entre los requerimientos técnicos
7. Evaluación competitiva técnica

8. Puntuación

Para realizar la matriz vista en el gráfico 5 sobre el desglose de la función de calidad, se deben seguir parámetros de desarrollo que se detallan a continuación:

1. Organizar las necesidades o requerimientos del cliente (RC)
2. Comparar la competencia con los RC
3. Definir los parámetros y requerimientos técnicos de diseño
4. Generar matriz de relaciones
5. Correlacionar los parámetros del diseño
6. Evaluar el desempeño de los equipos competidores en los parámetros de diseño
7. Analizar la puntuación

- Definir: Diseño conceptual del producto final

Morón-González & Morón-Álvarez (2024) define el diseño conceptual como un proceso ideal que se realiza en conjunto con el estudio de factibilidad de los parámetros técnicos, donde se establece el proceso de operación y manufactura operable para el producto deseado.

Esta es la parte más creativa en el proceso de desarrollo de un producto, se centra en la ingeniería del objeto, con el estudio de sus funciones, elementos y características que tomarán forma en la fabricación de este. Sin embargo, el diseño dependerá de muchos factores, tales como la inspiración, la creatividad técnica y el arte de plasmar una idea a un boceto hecho a mano. El esfuerzo creativo también se define con la relación de RT y factores de diseño, donde Niebles-Núñez et al. (2009) indica que se debe seguir un orden logístico de procesos para determinar un diseño final.

- 1. Establecimiento de las bases del diseño:** como punto de inicio del diseño conceptual, se establecen las bases según las características técnicas identificadas en el QFD, de manera que se pueda mostrar en un marco conceptual el objetivo planteado, seguido de las características técnicas de la máquina.
- 2. Definir estructura funcional:** esta es una forma de sintetizar el proyecto utilizando la caja negra de funciones en base a la máquina, donde se especifica: Entrada, Función y Salida.
- 3. Diseño del flujo de operaciones:** aquí se observa la función estructural que debe cumplir la máquina de moldeo por termocompresión para cumplir con el objetivo

de producir paneles plásticos de 50x40cm, mediante un diagrama lógico de operaciones estimadas.

4. **Diseño a detalle:** en esta parte del diseño se procede a la descripción técnica de detalle, considerando los posibles diseños de la máquina, mediante cuadros que indiquen un boceto simulado en el software seleccionado.
5. **Estudio de requerimientos y fuerzas de trabajo:** una vez definidos los bocetos principales, se debe realizar un estudio según los requerimientos de cada parte diseñada, por ejemplo: estudios conceptuales de análisis de térmicos para definir el nivel de potencia que deberá tener el sistema de calentamiento, análisis económico de inversión, entre otros.

- **Desarrollar: modelación 3D + planos de detalle**

Mur-Pérez (2021) en su investigación manifiesta que el procedimiento para la identificación y selección de un mecanismo real va desde la planeación hasta la simulación 3D de su funcionamiento y la realización de un análisis cinemático, mediante la herramienta de modelación. Para la simulación de un prototipo de máquina en SolidWorks Ayala-Morillo (2024) recomienda primero crear las piezas que se requieran en el programa, al ya tener los diseñados se procede a ensamblar todo y en este punto es donde se observara si se deben realizar cambios para corregir el modelo.

- **Construir: simulación y fabricación de la máquina**

En la fabricación de la máquina se utilizarán herramientas de simulación y control como el diagrama PERT, puesto que Caicedo-Paz (2023) nos dice que esta es utilizada para planificar, programar y organizar las tareas. La seguridad será prioridad al momento de construir deberá ser fundamental el uso de los EPP necesarios, según García-Medina et al. (2022) su objetivo principal es proteger contra factores físicos, químicos o biológicos y su uso es importante para garantizar una producción segura, se realizarán diferentes actividades como corte, pulido y soldadura, también será necesario contar con guantes, gafas protectoras, protección de oídos y casco de soldadura.

- **Evaluar: pruebas y ensayos del producto final**

Para evaluar la máquina se determinarán distintas pruebas que análisis, estas estarán detalladas en la tabla de evaluación del funcionamiento, en donde se incluirán las pruebas de ergonomía, pruebas de la seguridad funcional del sistema de control de la máquina,

evaluaciones de la seguridad durante la puesta en servicio de las máquinas y análisis del producto final.

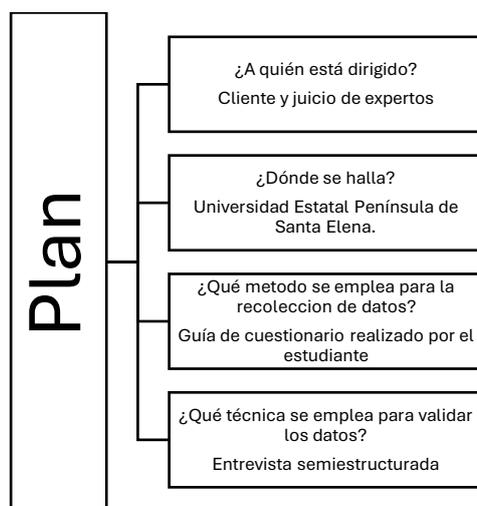
2.4 Métodos e instrumentos de recolección de datos

2.4.1 Métodos de recolección de datos

Se emplea el método deductivo, significa que por medio de la investigación exploratoria o de enfoque ascendente y descriptivo se va de lo general a lo particular, esto ayuda a descubrir patrones y secuencias de eventos para cumplir con la meta de desarrollo de sistemas (Arbulu, 2023). Esto implica determinar las fases de diseño y fabricación para cumplir con el objetivo de este proyecto.

Hernández-Sampieri & Mendoza-Torres (2018) indican que, para tener éxito en la búsqueda de recolección de datos, es necesario tener un modelo direccionado a la planificación que indique la recopilación de información confiable dentro de un marco establecido. En el gráfico 7, se indica el plan a ejecutar.

Gráfico 7: Plan direccionado a la recolección de datos



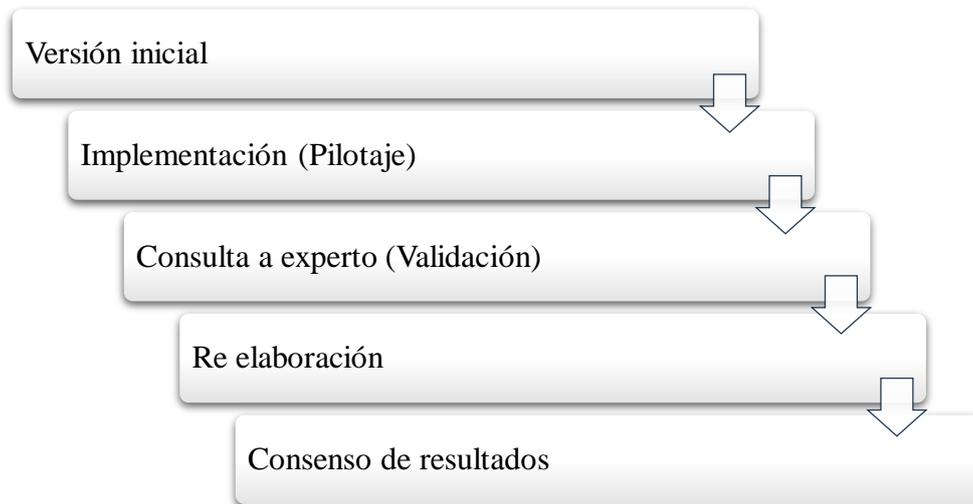
Nota: Elaborado por el autor, basado en la investigación de (Hernández, Sampieri & Mendoza-Torres, 2018)

2.4.2 Técnica de recolección de datos por el método de la entrevista

Con la finalidad de recolectar información confiable que respalde las bases de este estudio, el método más apropiado es la entrevista, pues este cumple con el objetivo de recabar información de manera estratégica debido a sus múltiples ventajas de satisfacer los requerimientos de interacción personal, las mismas que deben seguir un orden logístico de validación que consta de 5 pasos fundamentales como: le versión inicial (conceptualización

de la entrevista), implementación (pilotaje), acercamiento a los expertos, reconceptualización (recomendaciones) y evaluación de criterios (consenso), tal y como se muestra en el gráfico 8 según De la Cruz & Gordillo (2020) este método es necesario para la implementación del QFD en el apartado de identificar los requerimientos del cliente para la fabricación de la máquina.

Gráfico 8: Proceso de validación de entrevista



Nota: Elaborado por el autor

Versión inicial: en este apartado se desarrolla la guía del cuestionario con los ejes temáticos de categorización de las dimensiones de la fabricación del equipo, donde se muestra el orden logístico de formulación de la entrevista en base a los aspectos que se desean conocer de los requerimientos del cliente, los cuales se detallan a continuación:

- Características técnicas generales para la fabricación de una máquina de moldeo por termocompresión, adaptada para la elaboración de paneles plásticos.
- **Dimensión:** funcionamiento, coste, fabricación, seguridad y medio ambiente.
- **Categorías:** funcionamiento (termo formar paneles plásticos, nivel de rendimiento, obtener uniformidad en la superficie de los paneles plásticos, mecanismo de termoformado sencillo y funcional) Coste (bajo coste de fabricación, bajo coste de montaje, bajo coste de mantenimiento y bajo coste de adaptación a otros equipos y maquinas) Fabricación (factibilidad en el montaje, factibilidad en el mantenimiento, factibilidad para la adecuación de nuevos productos, diseño robusto o sencillo, practico y eficiente), seguridad (seguridad operativa y seguridad en maniobras de mantenimiento) y Medio Ambiente (Sin contaminación al medio ambiente y sin contaminación para el molde de termoformado).

- **Preguntas:** cada categoría cuenta con preguntas según el nivel de importancia, dando un total de 10.

Implementación (pilotaje): se realiza una entrevista a un docente experto en el arte del diseño y mecánica de materiales de la carrera de ingeniería industrial de la UPSE, cuyo audio será grabado y se contará con una guía de entrevista, más la descripción general del estudio (título, objetivos, preguntas de investigación y supuestos), aquello se enviará a 4 expertos para su respectiva valoración.

Consulta de expertos (Validación): la selección de expertos se realiza teniendo en consideración que cumplan con las siguientes características de conocimiento, donde especificamos el nivel de formación, especialidad y experiencia en el campo de: fabricación, seguridad, técnico operativo y medio ambiente, para finalmente realizar la respectiva valoración del contenido de la entrevista, adicional para determinar la consistencia interna de la entrevista se usará alfa de Cronbach.

Reelaboración: en esta sección se logra validar con expertos la estructura y los contenidos que, de ser posibles, deben someterse a un cambio para mejorar los datos que se van a tomar en consideración para la fabricación de la máquina.

Consenso de resultados: se analiza nuevamente por medio de la validación con expertos, los cambios efectuados sobre los requerimientos técnicos evaluados, para finalmente establecer aquellas condiciones de diseño que el cliente solicita y que se deben estudiar con el fin de demostrar su viabilidad.

2.5 Variables de estudio

En el presente estudio se pretende comprobar la hipótesis de que la fabricación de una máquina de moldeo por termocompresión con las características técnicas necesarias podrá elaborar paneles plásticos de alto rendimiento para su uso en el sector de la construcción de la provincia de Santa Elena.

Variable independiente. Fabricación de máquina de moldeo.

Variable dependiente. Elaborar paneles plásticos.

En la tabla 8, se muestra la matriz de operacionalización de las variables, en esta se observan las respectivas preguntas para cada variable, presidiéndoles de las dimensiones desglosadas de la siguiente manera: para la variable fabricación de máquina de moldeo,

funcionamiento, coste y fabricación, en tanto a la variable elaborar paneles plásticos, seguridad y medio ambiente con sus respectivas preguntas de análisis y la técnica empleada.

Tabla 8: Operacionalización de las variables

Variables	Dimensiones	Ítems	Técnica e Instrumento
Independiente (Fabricación de máquina de moldeo)	1. Propósito	1,5,13	Guía de entrevista – Grabación de audio
	2. Materiales	2	
	3. Productos	3,4	
	4. Fabricación	6,11	
Dependiente (Elaborar paneles plásticos)	5. Producción	7,8,10	Guía de entrevista – Grabación de audio
	6. Dimensión	9	
	7. Costo	12	

Nota: Elaborado por el autor

2.6. Plan de análisis e interpretación de los resultados

En la tabla 9, se muestra la descripción detallada del sistema implementado con los procedimientos, herramientas y resultados esperados, que se lograron al alcanzar los objetivos específicos establecidos en el estudio de la fabricación de la máquina de moldeo por termocompresión, realizada en las instalaciones de la UPSE mediante las bases de conocimientos de ingeniería industrial y diseño mecánico de los autores.

Tabla 9: Plan de análisis

Objetivos específicos	Método	Instrumento	Resultados	Indicadores
1. Estructurar un estado del arte mediante una revisión de la literatura que permita la identificación de métodos y herramientas para el diseño de la máquina.	Revisión bibliográfica	Alcance de la literatura	Comprender procesos de búsqueda de información.	revisión
	Método AHP	Fuentes de datos: Sciencedirect, scopus y scielo	Fuentes científicas confiables.	Criterios de inclusión y exclusión
	Método Saaty	Matriz de ponderación	Definir herramientas para la fabricación de la máquina.	viabilidad

2. Establecer un marco metodológico que respalde la modelación estructural de la máquina mediante herramientas CAD con base en la evidencia del proceso de diseño, adaptado a la necesidad de producir paneles plásticos.	Planear el método de desarrollo de la máquina.	Proceso de diseño mecánico.	Encontrar la metodología que respalde el diseño y fabricación.	Delimitación
	Explicar la técnica de recolección de datos.	Guía de cuestionario para entrevista semiestructurada	Definir preguntas apropiadas.	Recolección de datos
	Planear la validación de la entrevista.	Validación por expertos.	Obtener información relacionadas con los RC para el desarrollo del diseño.	Validación
3. Demostrar la viabilidad técnica, eficiencia térmica y calidad del producto final de la máquina de moldeo por termocompresión, en la producción de paneles plásticos a base de material reciclado.	Enfoque sistemático de recolección de datos.	Matriz QFD (Despliegue de la función de calidad)	Se transformaron los RC en la concepción técnica del producto a realizar.	Satisfacción del cliente
	Diseño conceptual	-DOP (Diagrama de operaciones del proceso) -Caja negra de funciones. -Bocetos técnicos -Estudios conceptuales de funcionamiento.	Tabulación de datos del diseño objetivo de fabricación.	Originalidad
	Diseño asistido por computadora	SolidWorks 2020	Se desarrollo el diseño en 3D con la simulación del movimiento.	Simulación cualitativa
	Mecanizado y ensamblaje	-EPP (Equipos de protección personal) -Herramientas de corte y pulido -Equipos de soldadura, torneado, perforaciones y doblados	Construcción del diseño objetivo, con las características técnicas establecidas.	Fabricación
	Prueba y análisis de resultados.	-Tabla de costos de materiales y fabricación. -Matriz de calidad del producto final.	Determinar eficacia y conclusiones del proyecto.	Resultados esperados

Nota: Elaborado por el autor

CAPÍTULO III

MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Marco de resultados

En el capítulo II, se logró establecer a detalle todo el proceso metodológico que abarca el desarrollo de este proyecto de fabricación, el cual presenta un enfoque cualitativo, con los métodos analítico, descriptivo y de diseño no experimental, luego se valida por expertos la información referente a los datos para el bosquejo de la máquina como son los requerimientos del cliente, posteriormente se plantea una guía metodológica siguiendo la secuencia del proceso de diseño mecánico, que indica iteraciones entre etapas para llegar a elaborar un equipo que parta de la simulación en software de un mecanizado planificado de alta calidad, para luego implementarlo en las fases de la construcción de la máquina y a su vez estructurar el instrumento de evaluación.

3.1.1 Validación por expertos

Para lograr un consenso de expertos se utilizó el método de rango Inter-percentil ajustado a la simetría Fitch también conocido como IPRAS, que consiste en cinco pasos secuenciales que a su vez evalúan con escalas Likert los registros de las ponderaciones de los expertos antes y después del pilotaje, la organización y coherencia de la información procesada de cada dimensión (De la Cruz & Gordillo, 2020).

Paso uno: versión inicial

Para recolectar la información necesaria y conceptualizarla de tal manera que se logre diseñar una guía de entrevista, se tuvo en cuenta el dimensionamiento de las fases de requerimientos del diseño en el contexto de recabar cualidades que requiera el cliente para el dimensionamiento de la máquina, los cuales se definen como: propósito (15, 13) Materiales (2), productos (3, 4) fabricación (11) producción (7, 8, 10) dimensión (9) y costo (12) en la sección de anexos se evidencia el formato de entrevista empleada. En base a esto hubo la necesidad de evaluar distintos métodos de validación de expertos, donde resalto el estudio de Galicia-Alarcón et al. (2017) quien proporcionó una guía de instrumentos para la validez de los ítems y descriptores.

En primera instancia se elaboró la entrevista a la promotora del proyecto la ingeniera Gricelda Herrera, previo a la selección de los temas y constructores, la cual cuenta con una estructura de visión gráfica que muestra el instrumento, el caso, la dimensión y pregunta. En

base a una matriz de coherencia se crea otra para organizar las preguntas, teniendo en cuenta las categorías y dimensiones la cual se muestra en la (Sección 2.5) específicamente en la tabla 8.

Los datos se evalúan mediante una escala Likert, la cual presenta su primera estructura de ponderación de la siguiente manera: el valor 1 corresponde a inaceptable; el valor 2 deficiente; 3 regular; 4 aceptable, y 5 eficiente. Luego se trabajó en la valoración del contenido de la entrevista para determinar los RC y posteriormente ya con diseños establecidos del primer prototipo se elabora una nueva entrevista con dirección netamente a los expertos para conocer cualidades de mejora del diseño y establecer los RT, en esta sección la escala cambia a una valoración de eficacia del contenido: 1 indica totalmente en desacuerdo; 2 en desacuerdo; 3 neutro; 4 de acuerdo y 5 totalmente de acuerdo.

Paso dos: implementación (Pilotaje)

Se aplicó la entrevista a la Ingeniera Gricelda Herrera, docente de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, promotora del presente proyecto de investigación cuya conversación fue autorizada y grabada. Una vez culminada la reunión, se anexaron los elementos (guía de entrevista y comentarios del audio), más la descripción del estudio en mención a 3 expertos para su respectiva valoración.

Paso tres: consulta a expertos (Primera valoración de los RC)

En este apartado se realizó la selección de los expertos teniendo en cuenta unos parámetros de inclusión que muestren las siguientes características: 1) Conocimiento técnico en el área de diseño mecánico; 2) Experiencia en diseño y simulación; 3) Habilidad para evaluar la factibilidad y calidad técnica; 4) Dominio de conocimientos de la interacción mecánica-eléctrica, tal y como se muestra en la tabla 10.

Tabla 10: Características de los expertos seleccionados

Nivel de formación	Especialidad	Experiencia
Ingeniero Mecánico	PhD en Ciencias Técnicas	30 años
Ingeniero Industrial	Electromecánico	20 años
Ingeniero Industrial	Automatización Industrial	7 años

Nota: Elaborado por el autor

Con el objetivo de lograr una correcta recolección de datos, se realiza una primera valoración del contenido de la entrevista, este diseño tiene un modelo de categorización de variables de estudio y sus respectivas dimensiones, de las cuales se quiere conocer si son aspectos adecuados para la realización de los ítems, este se muestra en la (Sección 2.5) específicamente en la tabla 8.

Con respecto a las categorías del contenido de la entrevista que se plantearon antes de formular el grupo de preguntas, el primer experto valoró 5 categorías como eficientes y dos aceptables. El segundo experto valoró 4 como eficientes y 3 aceptables. El tercer experto valoró 5 como eficientes y 2 aceptables, cada uno expresó su comentario (Tabla 11).

Tabla 11: Valoración del contenido de la entrevista

N° de formulario	Categorías del contenido							Valor	Comentarios
	1	2	3	4	5	6	7		
1	A	E	E	E	A	E	E	33	La selección de categorías para la formulación de la entrevista tiene coherencia.
2	A	A	E	E	E	A	E	32	Se pueden reducir categorías, sin embargo, el caso amerita información complementaria.
3	E	E	A	A	E	E	E	33	Podría utilizar una misma categoría con doble propósito.

Nota: Elaborado por el autor

En ese sentido, las categorías fueron valoradas de manera positiva, en tanto a las partes marcadas con menor puntaje, los expertos manifiestan que se debe complementar con preguntas claves en las categorías, para extender el rango de obtención de información, de igual forma se hicieron las respectivas correcciones para trabajar en la redacción de las preguntas de investigación y determinar los RC sin tener que ser repetitivos o que los ítems no tengan coherencia.

Con respecto a las preguntas relacionadas con las categorías, propósito, materiales, productos, fabricación, producción, dimensión y costo, el primer experto valoró el contenido entre aceptable y eficiente. El segundo valoró de la misma forma y finalmente el tercero valoró 8 cuestiones como eficientes y 5 como aceptables. (ver tabla 12).

Tabla 12: Validación del contenido de la entrevista a la docente

No de formulario	Preguntas													Puntaje total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	1	1	1	
										0	1	2	3	
1	A	E	E	E	E	A	A	E	A	E	E	A	A	59
2	A	A	E	E	A	E	E	E	E	A	E	A	E	65
3	A	A	E	E	E	E	E	A	A	E	E	E	A	60

Nota: Elaborado por el autor

Con el objetivo de valorar la eficacia del contenido de las preguntas, se efectuó la segunda escala de valoración de Likert antes establecida en el paso uno, donde se indica la ponderación del indicador correspondiente. Este pretende conocer que categoría tiene mayor puntaje y expresa de mejor manera los parámetros que el cliente requiere para la fabricación de su máquina (Tabla 13).

Tabla 13: Validación de la eficacia del contenido de la entrevista al docente

No de formulario	Preguntas													Puntaje total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	1	1	1	
										0	1	2	3	
1	4	3	4	5	5	3	4	2	4	5	4	5	3	51
2	5	4	5	5	5	4	4	3	4	5	2	4	5	55
3	4	5	5	4	5	3	4	5	5	5	5	4	5	59

Nota: Elaborado por el autor

Con base en las recomendaciones de los expertos, se logran determinar los parámetros de diseño para comenzar con la primera etapa correspondiente a la sección de planificación y definición, descritos en nuestro método secuencial del ciclo de diseño mecánico mencionando en el apartado 2.3 en el gráfico 4, el cual consta de la implementación del método QFD y diseño conceptual para definir los RT y el modelo del primer prototipo con los expertos.

3.1.3 Plantear. Implementación del despliegue de la función de la calidad (QFD)

3.1.3.1 Fase 1. Organizar las necesidades o requerimientos del cliente (RC)

En esta etapa se deben conocer las necesidades o expectativas de diseño que el cliente requiera para la fabricación de su equipo, en este caso, gracias al proceso de validación del contenido de la entrevista realizada a la docente Ingeniera Gricelda Herrera de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena y promotora del proyecto, se definen los siguientes parámetros:

- **Requerimientos de funcionamiento:** son aquellos que describen las cualidades principales de operación y su relación con la capacidad y objetivos de producción.
 1. Termo formar plástico reciclado
 2. Obtener un rendimiento de 2 paneles por hora
 3. Que sea 80% automatizada
 4. Conseguir uniformidad en los paneles
 5. Lograr un mecanismo sencillo y funcional
- **Requerimientos de costos:** estos se relacionan con el aporte económico asociado a la mano de obra y materiales utilizados para el mecanizado de la máquina.
 1. Bajo costo de fabricación
 2. Bajo costo de montaje
 3. Bajo costo de mantenimiento
 4. Bajo costo de incorporación de dispositivos sofisticados
- **Requerimientos de fabricación:** aquí se mencionan aquellos parámetros importantes para el proceso de desarrollo y mecanizado de piezas.
 1. Factibilidad en el montaje
 2. Factibilidad en la adecuación de nuevos productos
 3. Diseño con apariencia visual atractiva.
 4. Desarrollo con sistema cero residuos
- **Requerimientos de seguridad**

- Señala que es importante implementar medidas de precaución para la operatividad del sistema.
 1. Seguridad operacional
 2. Seguridad en maniobras de mantenimiento
- **Requerimientos medioambientales**
 1. Sin contaminación al medio ambiente
 2. Sin contaminación al panel conformado

3.1.3.1.1 Asignar importancia a las necesidades del cliente

En la tabla 14, se muestra la importancia de los criterios según el nivel de prioridad antes establecido con la escala de Likert con validación de eficiencia con los parámetros: 1 inaceptable; el valor 2 deficiente; 3 regular; 4 aceptable y 5 eficiente, esta es evaluada por el autor para posteriormente ser analizado el resultado de los parámetros técnicos por los expertos.

Tabla 14: Cuadro de evaluación de los RC

	Requerimientos	Importancia	%
Funcionamiento	Termo formar plástico reciclado	4	0,0580
	Obtener un rendimiento de 2 paneles por hora	4	0,0580
	Que sea 80% automatizada	3	0,0435
	Conseguir uniformidad en los paneles	5	0,0725
	Lograr un mecanismo sencillo y funcional	5	0,0725
Costo	Bajo costo de fabricación	4	0,0580
	Bajo costo de montaje	3	0,0435
	Bajo costo de mantenimiento	5	0,0725
	Bajo costo de incorporación de dispositivos sofisticados	4	0,0580
Fabricación	Factibilidad en el montaje	4	0,0580
	Factibilidad en la adecuación de nuevos productos	3	0,0435

	Diseño con apariencia visual atractiva.	5	0,0725
	Desarrollo con sistema cero residuos	3	0,0435
Seguridad	Seguridad operacional	5	0,0725
	Seguridad en maniobras de mantenimiento	4	0,0580
Medio ambiente	Sin contaminación al medio ambiente.	5	0,0725
	Sin contaminación al panel conformado.	3	0,0435
	Total	69	1

Nota: Elaborado por el autor

3.1.3.2 Fase 2. Evaluación de la competencia

En este nivel se identifican a los productores de máquinas que tengan relación con el termoformado, específicamente direccionados a la parte de elaboración de paneles plásticos. La finalidad principal de este paso es tomar en consideración una referencia de diseño en base a los equipos que ya existen y están marcando tendencia a nivel mundial, pues el punto de diseño es mejorar aspectos claves y resaltar la originalidad en el mecanizado de piezas para la máquina de termoformado de plástico reciclado.

En la tabla 15, se muestra una evaluación normalizada de la relación que existe entre los requerimientos del cliente (RC), fabricante E&J y la competencia que en este caso se tomó como referencia a los productores de máquinas de termoformado para plástico: Precious plastic (Sheet press) y Carver con sus modelos 5, 7, 15, 12, 25 y 30 Tn respectivamente. En este proceso se consideró el aspecto para la venta, el cual consta de una ponderación de: 1 corresponde a no publicitable, 1.2 publicitable y 1.5 muy publicitable, luego se determinó la mejora empleada donde se calificó según la escala de Likert de eficacia que tanto puedo mejorar respecto de mis competidores, la mejora relativa, también la importancia absoluta y finalmente la mejora relativa, se muestra el porcentaje y se toma mayor atención en los parámetros altos.

Tabla 15: Cuadro de evaluación de la competencia respecto de los RC

Fabricante E&J	Precious Plastic (Sheet press)	Carver 3690 (Model 7.5,12,25,30-15H)	Aspectos para venta	Mejora esperada	Mejora relativa	Importancia absoluta	Mejora relativa
3	5	5	1,2	4	1,33	6,40	0,06
3	4	5	1	4	1,33	5,33	0,05
2	4	5	1	3	1,50	4,50	0,04
4	5	5	1,5	5	1,25	9,38	0,09
4	5	3	1,5	5	1,25	9,38	0,09
3	4	4	1	4	1,33	5,33	0,05
3	4	5	1	3	1,00	3,00	0,03
4	4	5	1,2	5	1,25	7,50	0,07
2	4	4	1	3	1,50	6,00	0,06
3	5	5	1	4	1,33	5,33	0,05
2	4	3	1,2	3	1,50	5,40	0,05
4	5	3	1,2	5	1,25	7,50	0,07
3	4	4	1	3	1,00	3,00	0,03
4	5	5	1,2	5	1,25	7,50	0,07
2	5	5	1	3	1,50	6,00	0,06
4	5	3	1,5	5	1,25	9,38	0,09
3	4	5	1,2	4	1,33	4,80	0,05
<i>105,73</i>							

Nota: Elaborado por el autor

Una vez completada esta sección de la matriz QFD, se puede mencionar que se debe tomar mayor atención a los parámetros que están entre el 70 y 90 % respectivamente, tales como:

- 1- Conseguir uniformidad en los paneles
- 2- Lograr un mecanismo sencillo y funcional
- 3- Sin contaminación al medio ambiente.
- 4- Bajo costo de mantenimiento
- 5- Diseño con apariencia visual atractiva
- 6- Seguridad operacional

3.1.3.3 Fase 3. Definir los parámetros y requerimientos técnicos de diseño

Las características técnicas que se acogieron como posibles parámetros de diseño, fueron identificadas según cada una de las necesidades del cliente con métodos de calidad y en dependencia de la capacidad de fabricación que se tiene en el taller de la Carrera de Ingeniería Industrial de la UPSE, estas se describen a continuación:

- **RTD 1 (Materia prima):** para el funcionamiento del equipo se usa Polipropileno, obtenido de los residuos (tapas) de los bidones de la empresa agua polar.
- **RTD 2 (Dimensiones de los moldes):** medidas definidas que están relacionadas con la forma que debe adoptar el material tratado, estas deben estar normalizadas según los requerimientos del mercado de los paneles plásticos.
- **RTD 3 (Ciclos de producción):** cantidad de ciclos de termoformado que realiza la máquina en un tiempo estimado
- **RTD 4 (Sistema de control de temperatura):** es aquel mecanismo eléctrico medido en watts de potencia y es una parte fundamental para tratar el plástico reciclado y llevarlo a su punto de fusión.
- **RTD 5 (Sistema de conformado o presión):** resalta el mecanismo capaz de conformar el material plástico a uno en estado sólido.
- **RTD 6 (Tiempo de reemplazo del molde):** se refiere al tiempo estimado donde haya cumplido su vida útil el molde, que sometido a varios cambios de temperatura podría llegar a deteriorarse.
- **RTD 7 (Disponibilidad de piezas de repuesto):** se centra en la adquisición de los productos locales que son de utilidad o reemplazo de los componentes de la máquina.
- **RTD 8 (Resistencia a la corrosión):** son aquellas acciones de recubrimiento apropiados para preservar el material de los componentes de la máquina.
- **RTD 9 (Consumo de lubricantes):** es aquel mantenimiento preventivo relacionado con dotar de sustancias para el correcto mecanizado de las piezas móviles.
- **RTD 10 (Consumo eléctrico):** es el consumo energético que involucra la parte de la etapa de fundición del plástico.
- **RTD 11 (Selección del material aislante):** es aquel material cuya proporción por capas, va a permitir en reducir la capacidad de transmisión calorífica de un cuerpo a otro, para centrar la temperatura en el material.
- **RTD 12 (Costo de panel procesado):** se refiere al estudio de costo unitario que conlleva la fabricación de un panel con el diseño de la máquina.

- **RTD 13 (Costo de mano de obra):** es el valor relacionado con la manipulación del equipo.
- **RTD 14 (Costo de mantenimiento):** es aquel costo que involucra al compra o adquisición de mano de obrar calificada para efectuar una revisión y calibración de los componentes
- **RTD 15 (Costo de fabricación):** son todos aquellos valores que involucran al desarrollo de cada pieza y ensamblaje de la máquina.

3.1.3.4 Fase 4. Generación de la matriz de relaciones RTD y RC

En la tabla 16, se observa la interacción que existe entre cada uno de los requerimientos del cliente con los parámetros de diseño que el fabricante E&J están en capacidad de desarrollar, estos se dividen en los siguientes ejes temáticos: Operación, mantenimiento, consumo y costos, que a su vez son evaluados con la ponderación normalizada, donde 1 implica un nivel de relación baja, 5 media y 9 presenta un nivel fuerte. Esta es la parte central del método QFD, pues define las relaciones que existen entre los RC y los RTD.

Tabla 16: Interacción entre los requerimientos del cliente y requerimientos del diseño (RTD)

RC	RTD 1	RTD 2	RTD 3	RTD 4	RTD 5	RTD 6	RTD 7	RTD 8	RTD 9	TRD 10	RTD 11	RTD 12	RTD 13	RTD 14	RTD 15
1	9	5	1	5	5	1			1	1	1	9	5	1	5
2			9	5	5				1	5	5	1	5	1	5
3			5	5	1				1	5		1	9	5	5
4	1	9	1	5	9	5	1	5	5	1	1	5	1	1	5
5		9	5	5	5	1	5	1	5	1	1	1	5	5	5
6	1	5	1	5	5	1	9	5	1	1	5	1		5	9
7		1	1	5	5	1	5	1	1		5			1	5
8		5	1	5	5	5	5	5	1	1	5			9	5
9				1	1	1	5								1
10		1	1	5	5	1	5	1	1		5			1	5
11				1	1	1	5								1
12		9	1	1	5		1	1	1	1	1				5
13	1	5	5	1	1					1			1	1	1
14		5	1	5	5	1				5	5		5	5	5
15	1	5	1	1	5	5	1	5	1	1	5		1	5	
16	5	5	1	9	5	1	1	5	5	5	5			1	1
17		9	1	5	5	1	1	9	1						1

Nota: Elaborado por el autor

Para analizar la interacción realizada, se debe generar un valor normalizado que muestre el grado de importancia y defina en porcentaje que aspectos técnicos debo considerar respecto de las necesidades evaluadas. En la tabla 17, se evidencia el puntaje significativo centrado en la multiplicación de la mejora relativa de la apreciación de la competencia respecto de los RC y la interacción directa de los RTD con los RC, dando como resultado lo siguiente: Dimensiones de los moldes (12%), sistema de control de temperatura (11%), sistema de conformado o presión (12) y costos de fabricación (10).

Tabla 17: Evaluación de los RTD respecto de la mejora relativa de los RC

Importancia absoluta de los RTD															
RTD1	RTD2	RTD3	RTD4	RTD5	RTD6	RTD7	RTD8	RTD9	RTD10	RTD11	RTD12	RTD13	RTD14	RTD15	Total
1,2	4,8	1,9	4,2	4,6	1,6	2,5	2,4	1,8	1,7	2,6	1,2	1,9	2,5	3,8	39,
12	55	34	99	40	73	36	24	57	78	44	20	10	81	37	401

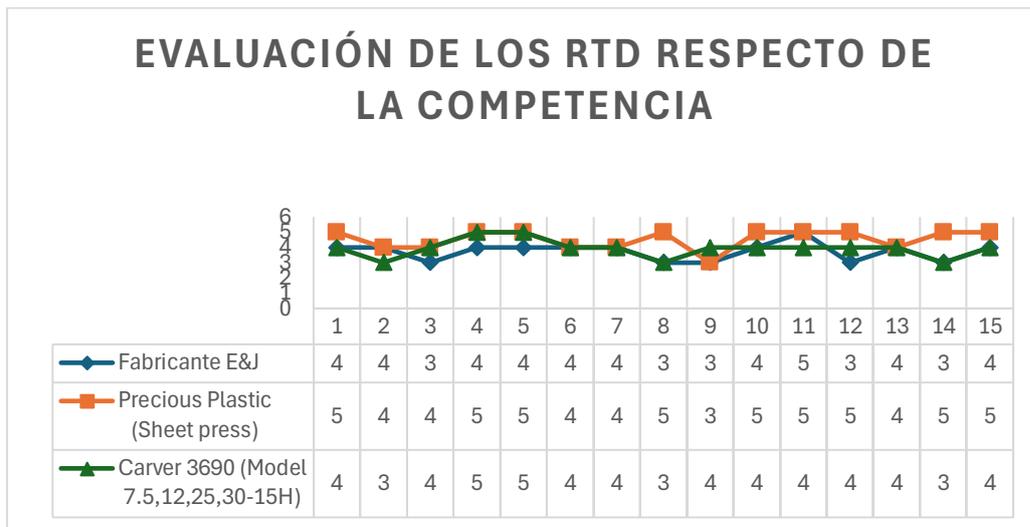
Mejora relativa de los RTD

3	12	5%	11	12	4%	6%	6%	5%	5%	7%	3%	5%	7%	10
%	%		%	%										%

Nota: Elaborado por el autor

Dado los resultados, para llegar a un consenso de parámetros de diseño con un grado de viabilidad más alto, se obtuvo la evaluación combinada de los RTD respecto de la competencia. En el gráfico 9, se utiliza la valoración por escala de Likert de eficiencia antes mencionada con los valores del 1 hasta el 5, cuyos resultados nos muestran la línea de interacción de los RTD, por ejemplo, en la sección 6 resalta en cuenta de que mis parámetros de reemplazo de los moldes en mal estado van de la mano con la vida útil del mercado, con una ponderación de 4 cada uno, aquello puedo mejorar siempre y cuando se logre un diseño y selección del material adecuado.

Gráfico 9: Evaluación de los RTD respecto de la competencia



Nota: Elaborado por el autor

Finalmente, en la tabla 18, resaltan las características estimadas para el diseño, obtenidas de la revisión bibliográfica, pues son aquellas que consideramos como punto de partida para la primera etapa de modelado. Estas se deben categorizar según el grado de incidencia STB el cual indica que mientras más alto es su valor es mejor, luego está el LTB indicando que si su valor es pequeño es mejor y finalmente el NTB que considera el valor nominal como mejor. Con los cálculos respectivos, los resultados favorecen con un 32% a la mejora del sistema de control de temperatura, 28% a la adecuación de un sistema de conformado a presión y con un 29% considerar los costos para la fabricación.

Tabla 18: Aspectos de diseño y desglose de la calidad

RTD	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Indicadores de valor	100% HDPE; 100% PP	500x400 mm	12 paneles por día	Muy controlada	Tradicional	Cada 1 año	Repuestos locales	Pintura de hasta 260°C	Grasa anti calórica	220V	Lana de vidrio	\$15 por panel	4\$ por panel	\$800	\$1500
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	5	23	8	32	28	5	8	7	6	5	5	4	6	12	29

Nota: Elaborado por el autor

3.1.3.5 Fase 5. Correlación de los parámetros del diseño

En el apartado de la parte superior de la matriz del método QFD denominado (Techo), este indica la correlación de los RTD y es fundamental para la aplicación del ingenio técnico en satisfacer los conflictos objetivos, puntuada con un (1) que significa correlación positiva (ambos RTD se mueven en la misma dirección), un (-1) que indica correlación negativa (que van en sentido contrario) por ejemplo, el RTD 3 tiene correlación positiva respecto del RTD 4 pues mientras más eficiente sea el sistema de control de temperatura, los ciclos de producción se van a desarrollar eficazmente, ver tabla 19.

Tabla 19: Matriz final de correlación de los RTD

MATRÍZ DE CORRELACIÓN															
RTD/RTD	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1															
2	1														
3	1														
4	1		1												
5	1		1												
6		-1	-1	1	-1										
7		-1	-1		1	1									
8		1	-1		1	-1									
9			1		-1										
10			1	-1											
11				1						1					
12	1				1					-1					
13			1	1	1							1			
14		-1	-1		-1	-1	-1	1	1		1	-1	-1		
15	1	1		1	1	1		1	-1						

Nota: Elaborado por el autor

3.1.3.6 Fase 6. Indicar el desempeño de los equipos de los competidores

En esta fase se muestra la evaluación técnica de la competencia que se ha considerado para el estudio, donde se muestra la información teórica de las características de los equipos

que proporciona el fabricante, incluido datos del funcionamiento tal y como se muestra en la **tabla 20**.

Tabla 20: Detalles de evaluación técnica de los competidores respecto del fabricante E&J

Evaluación técnica				
Características técnicas de las máquinas		Precious Plastic (Sheet press V1)	Carver 3690	E&J Máquina 1
Plásticos probados		HDPE, LDPE, PP,	HDPE, LDPE	HDPE, PP
1	Temperatura máxima (°C)	300°	340°	350°
2	Fuerza de sujeción (Toneladas estadounidenses)	4	5	4
3	Peso (Kg)	450	408	
4	Voltaje (V)	400	220	230
5	Tiempo máximo de ejecución, horas.	8	8	8
6	Tamaño de la hoja (mm)	1000x1000	300x300	500x400
7	Espesor de hoja (mm)	4-35	4-35	4-35
8	Hojas por día con sistema completo (20 mm)	10	7	12
9	Entrada entre placas (mm)	300	200	150
10	Dimensión de la máquina	1620x1620x1780	812.8x711.2x904	
11	Precio de la máquina (dólares estadounidenses)	3,763.15	32,647.00	

Nota: Elaborado por el autor

3.1.3.7 Fase 7. Analizar la puntuación y resultados

Una vez establecidas las necesidades y requerimientos técnicos, se utilizó la matriz morfológica para visualizar los atributos a cumplir y las alternativas que engloban campos de soluciones convenientes de las funciones del sistema, pues su objetivo es evaluar su desempeño respecto de los requerimientos de diseño de la máquina, esta cuenta con 3 opciones de diseño y se describe que tipo de mecanismo realiza, tal y como se muestra en la tabla 21.

Tabla 21: Tabla morfológica de alternativas

Alternativas Función	A1	A2	A3
Dimensiones de los moldes	Molde autocomprimible de bordes de aluminio.	Molde modo encaje de matriz tipo macho-hembra.	Molde de inyección.
Sistema de control de temperatura	Termocupla tornillo tipo K EBC.	Cámara termográfica.	Termistor de resistencia positiva
Sistema de calentamiento	Conducción	Convección	Combustión
Sistema de adquisición de datos	Arduino UNO	TCN4S-24R D/P 48X48 SAL RELE+SSR	DTA4848V0
Sistema de conformado	Hidráulica	Mecánica	Al vacío

Nota: Elaborado por el autor

En base a la tabla morfológica, se desarrolla la matriz de decisión con el propósito de evaluar cualitativamente las alternativas de solución al factor de importancia de diseño, esta se rige bajo los indicadores: desempeño, mantenimiento, accesibilidad a repuestos, seguridad, operatividad y costos. Este proceso cuenta con una ponderación para los criterios, las que serán pieza clave para la relación con el factor de importancia con valores de la escala: 1 que corresponde a malo, 2 regular, 3 bueno, 4 muy bueno y 5 excelente.

En la tabla 22, se establece una matriz de ponderación donde se determinan calificaciones en relación de importancia, cada criterio va acorde con los parámetros de mejora y sus cualidades de evaluación respecto del diseño de la máquina, donde cada valoración refleja el nivel de prioridad que se va a usar en las matrices de toma de decisiones.

Tabla 22: Matriz de ponderación

Matriz de ponderación	Desempeño	Mantenimiento	Accesibilidad a repuestos	Seguridad	Operatividad	Costo	Total	Ponderación
Desempeño	1	1,1	1,25	1,33	1,43	2	8,11	0,21
Mantenimiento	0,7	1	0,7	0,8	0,89	1,4	5,49	0,14
Accesibilidad a repuestos	0,5	0,56	1	0,63	0,71	0,67	4,07	0,11
Seguridad	0,8	0,89	1,07	1	1,14	1,6	6,5	0,17
Operatividad	0,9	1,13	1,2	1,29	1	1,8	7,32	0,19
Costo	0,93	1,12	1,4	0,98	1,28	1	6,71	0,18
							Total	38,2

Nota: Elaborado por el autor

En la tabla 23, se observan las alternativas A1, A2 y A3 correspondientes a molde autocomprimible, de modo encaje con matriz tipo macho-hembra y de inyección de plástico respectivamente, aquellos fueron evaluados respecto de indicadores de calidad y el resultado más favorable recae sobre la alternativa A2 con una valoración de 3,87 de viabilidad.

Tabla 23: Matriz de decisión de dimensiones de los moldes

Dimensiones de los moldes		A1		A2		A3	
Indicadores	Ponderación	Evaluación	Valor	Evaluación	Valor	Evaluación	Valor
Desempeño	0,21	3	0,63	4	0,84	3	0,63
Mantenimiento	0,14	3	0,42	4	0,56	3	0,42
Accesibilidad a repuestos	0,11	2	0,22	3	0,33	2	0,22
Seguridad	0,17	2	0,34	5	0,85	3	0,51
Operatividad	0,19	4	0,76	3	0,57	2	0,38
Costo	0,18	3	0,54	4	0,72	2	0,36
Total	1	17	2,91	23	3,87	15	2,52

Nota: Elaborado por el autor

En la tabla 24, de igual forma se evidencia la evaluación de las alternativas del sistema de control de temperatura A1, A2 y A3 respecto de indicadores de calidad. El resultado más favorable esta vez recae sobre la alternativa A1 correspondiente a la implementación de las termocuplas tornillo tipo K EBC con un resultado de 3,88 de viabilidad.

Tabla 24: Matriz de decisión de sistema de control de temperatura

Sistema de control de temperatura		A1		A2		A3	
Indicadores	Ponderación	Evaluación	Valor	Evaluación	Valor	Evaluación	Valor
Desempeño	0,21	4	0,84	4	0,84	3	0,63
Mantenimiento	0,14	4	0,56	3	0,42	2	0,28
Accesibilidad a repuestos	0,11	3	0,33	2	0,22	1	0,11
Seguridad	0,17	4	0,68	3	0,51	2	0,34
Operatividad	0,19	3	0,57	3	0,57	2	0,38
Costo	0,18	5	0,9	4	0,72	3	0,54
Total	1	23	3,88	19	3,28	13	2,28

Nota: Elaborado por el autor

En la tabla 25, con mención al sistema de calentamiento y su evaluación con 3 alternativas respecto de los indicadores de calidad ya establecidos, indica que es más favorable trabajar con la alternativa A1, correspondiente a la implementación de un sistema de calentamiento por conducción, es decir por contacto directo con el material que se pretende calentar, esta muestra un valor superior de 4,02 de viabilidad

Tabla 25: Matriz de decisión de sistema de calentamiento

Sistema de calentamiento		A1		A2		A3	
Indicadores	Ponderación	Evaluación	Valor	Evaluación	Valor	Evaluación	Valor
Desempeño	0,21	5	1,05	4	0,84	4	0,84

Mantenimiento	0,14	4	0,56	4	0,56	2	0,28
Accesibilidad a repuestos	0,11	4	0,44	3	0,33	4	0,44
Seguridad	0,17	4	0,68	4	0,68	2	0,34
Operatividad	0,19	3	0,57	4	0,76	3	0,57
Costo	0,18	4	0,72	3	0,54	3	0,54
Total	1	24	4,02	22	3,71	18	3,01

Nota: Elaborado por el autor

En la tabla 26, la matriz de decisión hace referencia a la evaluación de las alternativas del sistema de adquisición de datos para la parte de control del horno de fundición, los resultados indican que es más eficiente utilizar el dispositivo TCN4S-24R D/P 48X48 SAL RELE+SSR que permite el monitoreo en tiempo real del rango de temperatura, su valoración respecto de los indicadores de calidad fue muy aceptable con 3,9 de viabilidad.

Tabla 26: Matriz de decisión de sistema de adquisición de datos

Sistema de adquisición de datos		A1		A2		A3	
Indicadores	Ponderación	Evaluación	Valor	Evaluación	Valor	Evaluación	Valor
Desempeño	0,21	2	0,42	4	0,84	4	0,84
Mantenimiento	0,14	3	0,42	4	0,56	4	0,56
Repuestos	0,11	3	0,33	3	0,33	3	0,33
Seguridad	0,17	2	0,34	4	0,68	3	0,51
Operatividad	0,19	3	0,57	5	0,95	3	0,57

Costo	0,18	4	0,72	3	0,54	2	0,36
Total	1	17	2,8	23	3,9	19	3,17

Nota: Elaborado por el autor

Finalmente, en la tabla 27, se muestra el resultado de la evaluación del sistema de conformado del material plástico, donde se comparan 3 alternativas y se escoge la que tiene mayor valor de viabilidad, aquella corresponde a la implementación de un sistema hidráulico de prensado con una valoración de 4,03.

Tabla 27: Matriz de decisión de sistema de conformado

Sistema de conformado		A1		A2		A3	
Indicadores	Ponderación	Evaluación	Valor	Evaluación	Valor	Evaluación	Valor
Desempeño	0,21	4	0,84	3	0,63	4	0,84
Mantenimiento	0,14	3	0,42	2	0,28	3	0,42
Accesibilidad	a 0,11	4	0,44	3	0,33	3	0,33
repuestos							
Seguridad	0,17	5	0,85	1	0,17	5	0,85
Operatividad	0,19	4	0,76	2	0,38	4	0,76
Costo	0,18	4	0,72	2	0,36	3	0,54
Total	1	24	4,03	13	2,15	22	3,74

Nota: Elaborado por el autor

3.1.4. Definir: diseño conceptual

3.1.4.1 Establecimiento de las bases del diseño

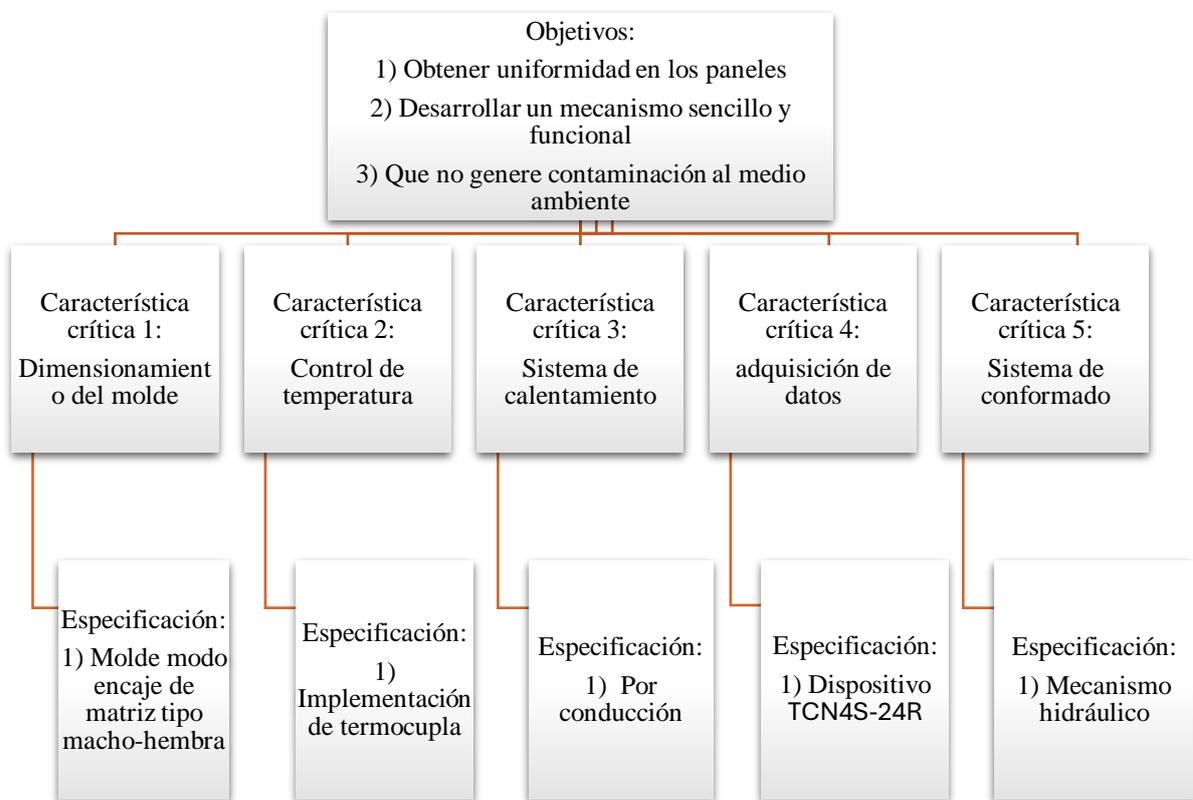
A partir de esta sección comienza la parte creativa y analítica de acoger la información obtenida del método QFD de la sección 3.1.3, para diseñar como tal una máquina de termocompresión para elaborar paneles plásticos que serán utilizados como

superficies en las construcciones civiles, mediante los criterios técnicos y características críticas del caso.

Para obtener una vista general de las bases del diseño, se crea un mapa conceptual donde se evidencian los objetivos, características críticas y especificaciones complementarias que debe tener la máquina de moldeo por termocompresión antes de crear los bocetos técnicos.

3.1.4.2 Definir estructura funcional

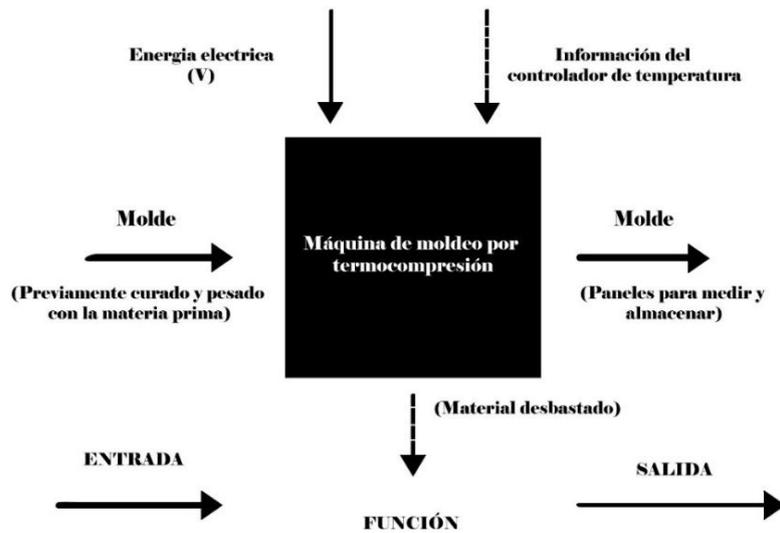
Gráfico 10. Objetivo, características y especificaciones del diseño



Nota: Elaborado por el autor

En base al grupo de características y especificaciones ya definidos para cumplir con los objetivos de diseño, se debe sintetizar la función objetivo de la máquina mediante la caja negra de funciones mostrada en el gráfico 11, donde se observa el funcionamiento lógico que debe cumplir desde la entrada con la preparación del molde con la materia prima, su función de termocompresión y la salida de paneles plásticos ya para medir y almacenar.

Gráfico 11: Caja negra de funciones de la máquina



Nota: Elaborado por el autor

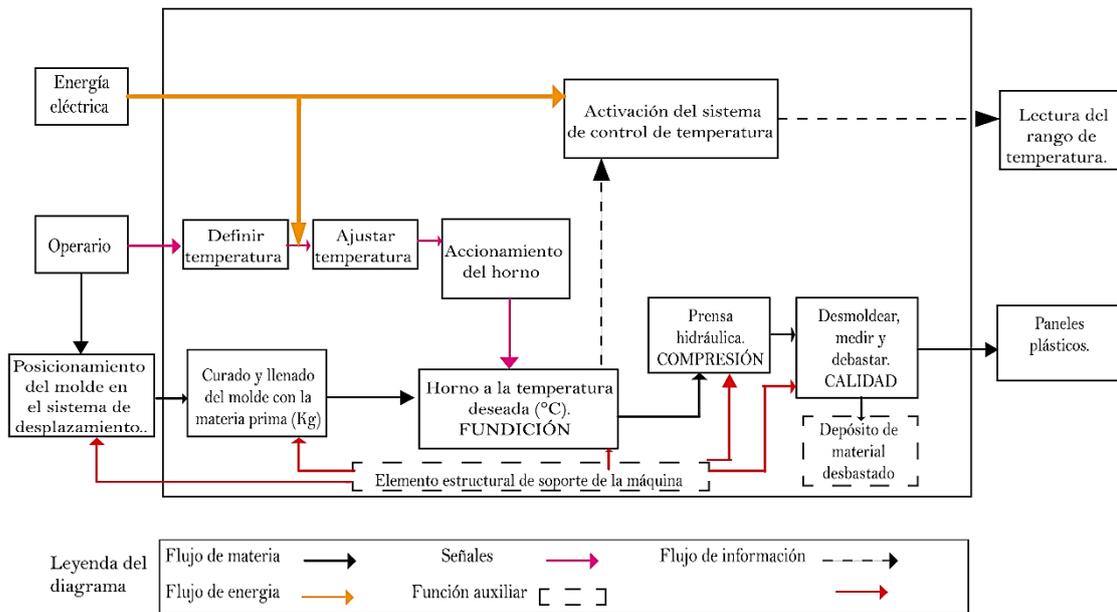
3.1.4.3 Diseño del flujo de operaciones

El esquema que se muestra en el gráfico 12, indica el proceso de operaciones de la máquina de moldeo por termocompresión, el cual se basa en la estructura de la caja negra mostrado en el gráfico 11, la cualidad de este esquema radica en el desglose de las funciones en subfunciones, mostrándonos una alternativa secuencial del flujo de las actividades que se realizan en el entorno productivo del equipo.

En el inicio tenemos el ingreso de energía hacia la máquina, la misma que es suministrada hacia los diferentes componentes o dispositivos eléctricos, posterior a ello, tenemos a un operario con la importante tarea de definir y ajustar la temperatura de trabajo del horno, mientras este se encuentra calentando, el operador realiza la labor de curar el molde y llenarlo de la materia prima previamente pesada al rango de kilogramos que requiera.

Una vez que el horno tenga la temperatura deseada, la cual fue monitoreada por el sensor de temperatura y la lectura en un dispositivo, se traslada el molde al horno para empezar con el proceso de fundición, luego se traslada a la parte de la prensa hidráulica para compactar y enfriar, finalmente, se retira de la prensa para desmoldear, medir y desbastar, de esta forma logramos obtener paneles plásticos con un mecanismo sencillo y funcional.

Gráfico 12: Diagrama de flujo de operaciones de la máquina de termocompresión

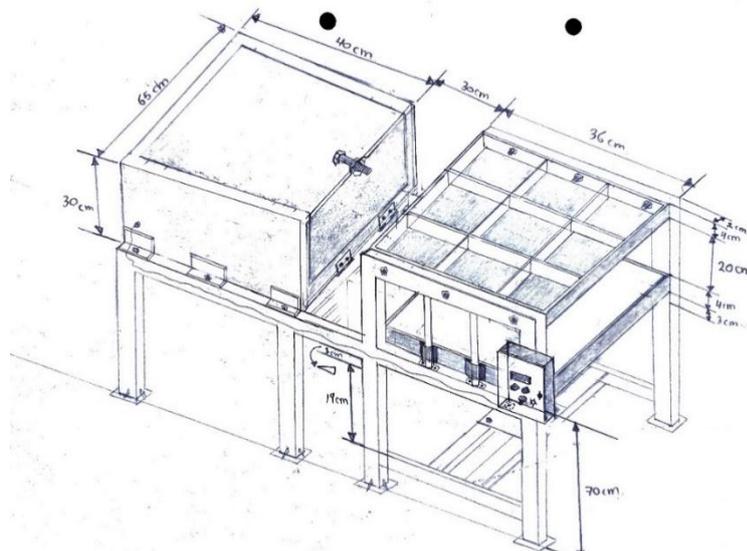


Nota: Elaborado por el autor

3.1.4.4 Diseño a detalle

Con la finalidad de tener una representación gráfica, se crea el primer boceto a mano alzada mostrado en el gráfico 13, este refleja el proceso creativo e investigativo en cumplir con los objetivos del diseño y el flujo de operaciones establecido, pues este será objeto de evaluación por expertos para determinar viabilidad técnica respecto de los requerimientos de diseño en este primer prototipo.

Gráfico 13: Boceto del primero prototipo de la máquina.

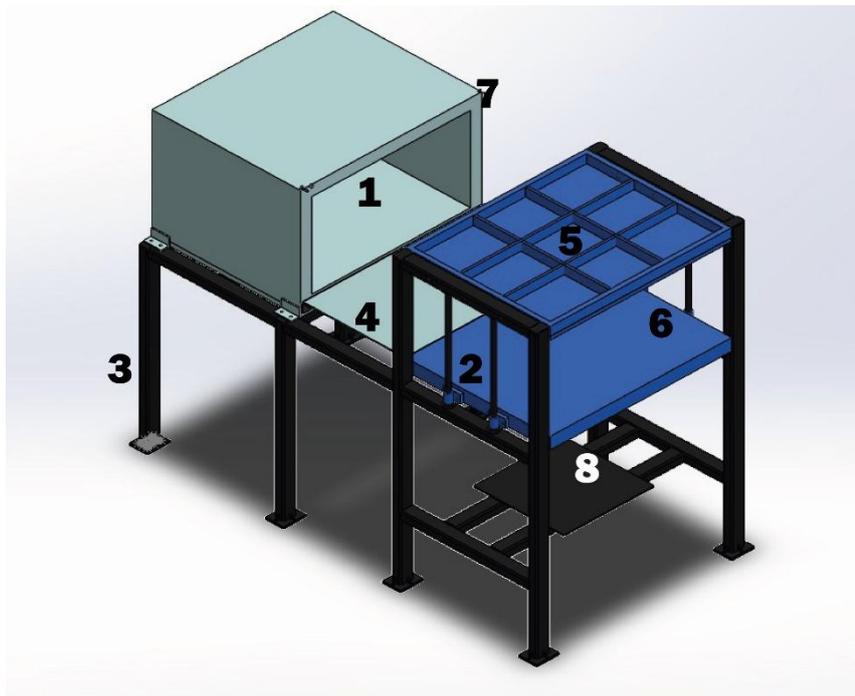


Nota: Elaborado por el autor

3.1.5 Desarrollar modelación 3D

Posteriormente, se utiliza SolidWorks para modelar el boceto del gráfico 11 y así representar el diseño con las características de simulación de componentes y materiales que brinda el software, esto implica analizar estructuralmente cada componente identificado anteriormente como los requerimientos técnicos del diseño y lograr una ilustración técnica estimada a la realidad visual (ver gráfico 14).

Gráfico 14: Prototipo 1 en SolidWorks



Nota: Elaborado por el autor

1. Características del horno: es de tipo resistivo, utiliza resistencias eléctricas para elevar la temperatura de un material por conducción, la capa interna es de acero galvanizado de 3mm de espesor, le sigue un espacio hueco de 5cm de espesor recubierto por material aislante lana de vidrio y finalmente una capa protectora de acero galvanizado de 1/32.
2. Características de los ejes: son requeridos como guías de sujeción para el desplazamiento de la prensa móvil, es de material varilla de acero laminado 5/8, se ubican dos en cada extremo.

3. Características de las columnas de soporte y plataformas de trabajo: constituidas de tubo de acero 4x4 de 1.5mm de espesor, cada una está diseñada para distribuir las cargas del peso de cada componente de la máquina.
4. Características de la plataforma con acceso al horno y prensa: de acero galvanizado con 2mm de espesor, comprende una superficie de trabajo para desplazar manualmente el molde del horno a la prensa.
5. Características del tipo de plato de prensado fija: elaborada con ángulos y platinas de 4cm de ancho con espesor de 3mm, unidas uniformemente en forma rectangular para darle mayor rigidez y resistencia a la compresión.
6. Características del tipo de plato de prensado móvil: elaborada con ángulos y platinas de 4cm de ancho con espesor de 3mm, adicional un sistema de soporte que resista la compresión, distribuya las fuerzas y evite la deformación del plato.
7. Características de la puerta de acceso del horno: únicamente hecha con acero galvanizado de 2mm de espesor, la forma de cierre con desplazamiento hacia abajo consta de dos pernos con sus respectivas tuercas para el ajuste necesario.
8. Características de la prensa: Gata hidráulica de 2Tn

Paso 4. Reelaboración (Segunda implementación de la entrevista para el rediseño)

Con el objetivo de valorar el diseño del primer prototipo se desarrolla una nueva entrevista, dirigida a los expertos mencionados en tabla 8, en base a sus conocimientos y experiencias se pretende obtener criterios de mejora para los sistemas ya establecidos del equipo, las herramientas utilizadas fueron: grabador de audio y guía de entrevista.

En base a la entrevista planteada, se desarrolla una etapa de validación, donde el primer experto valoró las partes del primer prototipo como aceptable, regular, deficiente y eficiente. El segundo valoró entre aceptable, regular y deficiente. El tercero valoró entre aceptable, regular, deficiente y eficiente, en este caso se observa el comentario de mejora para desarrollar un nuevo prototipo funcional. (ver tabla 28).

Tabla 28: Validación del contenido de la entrevista a la docente

No de formulario	Preguntas								Puntaje total	Comentario
	1	2	3	4	5	6	7	8		
1	A	R	R	D	E	A	D	A	27	Es recomendable usar un sistema adicional para el traslado del molde.
2	R	R	A	D	A	A	D	R	25	Diseñar un nuevo sistema de puerta que permita el deslizamiento de la compuerta hacia arriba y evitar molestias de operación.
3	A	R	R	D	E	D	D	R	24	Cantidad excesiva de ejes, es recomendable usar una sola línea guía y calibrar para evitar tambaleo. Usar una prensa de mayor tonelaje.

Nota: Elaborado por el autor

Con el objetivo de valorar la eficacia del contenido de las preguntas, se efectuó la segunda escala de Likert, donde se indica la ponderación de la valoración correspondiente: 1 totalmente en desacuerdo; 2 en desacuerdo; 3 neutro; 4 de acuerdo y 5 totalmente de acuerdo. Este pretende conocer que categoría tiene mayor puntaje y expresa de mejor manera los parámetros de mejora del diseño para la fabricación de la máquina, aquellos son: el criterio 2 y 3 para mejorar la puerta y los ejes (tabla 29).

Tabla 29: Validación de la eficacia del contenido de la entrevista al docente

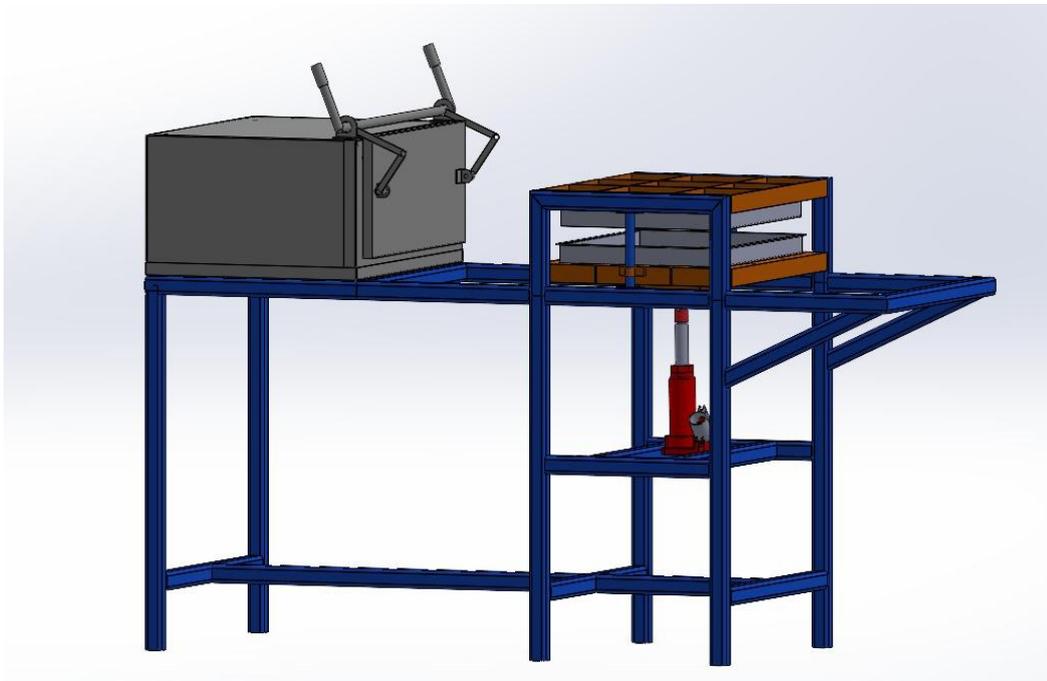
No de formulario	Preguntas								Puntaje total
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1	4	3	3	2	4	2	2	3	23
2	3	4	3	2	3	3	2	4	24
3	3	4	4	3	2	3	2	3	24

Nota: Elaborado por el autor

3.1.5.1 Rediseño

En el gráfico 15, se muestra el nuevo diseño de la máquina modelado con las especificaciones técnicas del método QFD, creatividad del autor y recomendaciones de expertos, esta cuenta con un sistema de tipo semi industrial donde existe la interacción hombre máquina para el proceso de termoformado de plástico, el mecanismo es sencillo con expectativas de un alto rendimiento de producción una vez puesto en marcha, pues se divide en dos etapas de procesos: Fundición (horno a altas temperaturas) y conformado (prensa manual de 4Tn). Tiene una dimensión de 1650x1540x700 mm con un sistema controlador de temperatura para la operatividad del horno y un mecanismo de ejes guías para la elevación de la prensa móvil.

Gráfico 15: Propuesta de diseño máquina GoldPlastic V124



Nota: Elaborado por el autor

3.1.5.2 Selección de materiales

Para la construcción de la estructura principal de la máquina, se utilizó el tubo cuadrado de 4x4 cm con un espesor de 1.5 cm, fabricado en acero ASTM A36. La selección de la forma nos proporciona una distribución uniforme de las tensiones a lo largo de sus paredes, lo que es ideal para resistir tanto fuerzas de compresión como de flexión. Además, el acero ASTM A36 proporciona una combinación óptima de resistencia y ductilidad, lo que mejora la durabilidad de la estructura bajo condiciones de carga variables. Este tipo de tubo es un material comúnmente disponible en el mercado lo que facilita su adquisición. También

en la fabricación de las prensas se utiliza ángulos de 40x4 mm de acero ASTM A36 debido a las características descritas anteriormente.

En la fabricación del horno se seleccionó los materiales en cuestión de disminuir costos, el acero negro de 3 mm para elaborar las paredes internas, con ayuda de una pintura de alta temperatura mantendrá una buena eficiencia térmica, en las paredes externas del horno se utilizó el acero galvanizado de 1.5 mm de espesor, este nos brinda una protección contra la corrosión La utilización de estos materiales garantiza propiedades idóneas para resistencias térmicas, anticorrosivas y aplicaciones en la fabricación.

Para el aislamiento térmico de la parte interna del horno se utiliza lana de vidrio, este material tiene un alto porcentaje de resistencia al calor, además de que se estableció un espesor de 5cm para poder maximizar el rendimiento. Adicional, las paredes internas cuentan con un recubrimiento de pintura anti calórica resistente hasta los 260 °C de temperatura.

De los cálculos obtenidos en el análisis térmico se determinó que el horno necesita una potencia de 1745.5 W, por lo que se estableció que se requerirán dos resistencias de 900 W para alcanzarla. Estas son tipo tubular de 3/8 ϕ por 165 cm de largo con dobles en M de 35x35 cm con tensión de 220V, fabricadas en acero inoxidable.

1. Listado de materiales

Los materiales utilizados para la construcción de cada una de las partes de la máquina (Estructura principal, horno y prensas) se describen en la tabla 30, en donde se detalla la cantidad y coste total, además de los materiales principales, también se incluyen elementos complementarios, pintura de alta temperatura y materiales de aislamiento, esenciales para el montaje final de la máquina. Este desglose detallado facilita la evaluación de la viabilidad económica del proyecto y permite identificar posibles áreas de optimización de costos.

Tabla 30: Listado de materiales y costos

Ítem	Material	Cantidad	Costo Unitario	Subtotal	Costo Total
1	Gata Jack 4 TON T/Botella	1	21,74	21,74	25,00
2	Perno AC Inox 3/8 X 1 1/4	13	0,39	5,09	5,85
3	Tuerca AC Inox 3/8	13	0,10	1,24	1,43
4	Perno AC Inox 1/2 X 2 1/2	8	1,13	9,04	10,40
5	Tuerca AC Inox 1/2	8	0,30	2,43	2,79

6	Disco Corte Norton	12	1,39	16,68	19,18
7	Disco Flap	12	1,78	21,36	24,56
8	Broca 1/2	4	4,35	17,40	20,01
9	Broca 3/8	4	2,61	10,44	12,01
10	Tubo Cuadrado 1 1/2 X 1.5 6 metros	3	12,96	38,87	44,70
11	Plancha Gal 0,70 - 1/32 1,22X2,44	1	17,07	17,07	19,63
12	Angulo 40X4 6 m	1	16,12	16,12	18,54
13	Angulo 40X4 3 m	2	2,82	8,45	9,72
14	Tubo R/Inox 1/2	1	5,56	5,56	6,39
15	Desoxidante LT	2	3,43	6,86	7,89
16	Aluminio liquido reflectivo alta temperatura GL	0,25	45,74	11,44	13,15
17	Control de temp TCN4S-24R D/P48X48MM	1	61,20	61,20	70,38
18	Relé SSR 85-250vac carga 75-480vac 40A	1	21,93	21,93	25,22
19	Termocupla tornillo tipo k 2mt EBC	1	8,36	8,36	9,61
20	Funda de electrodos	1	30	30,00	34,50
21	Enchufe 220V	2	4	8,00	9,20
22	Pinturas para estructura, horno y prensas	1	50	50,00	57,50
23	1/2 plancha negro 2mm	1	20,76	20,76	23,87
24	Cable eléctrico 3x10	6	3,70	22,20	25,53
25	Breaker 30A	1	30,00	30,00	34,50
26	Cable eléctrico # 12	3	3,30	6,30	7,25
27	Cable eléctrico de asbesto AWG #10	5	5,50	27,50	31,63
28	Lana de vidrio aislante térmico	6	2,00	12,00	13,80
29	Barra Inox 304	1	7,43	7,43	8,55
30	Resistencias tipo tubular de 3/8 x 165 cm de largo con dobles en M de 35 x 35 cm 220V 900W	2	50	100	100
				Costo Total:	692,78

Nota: Elaborado por el autor

2. Costos de fabricación

En la tabla 31, se presentan los valores generales asociados a la fabricación de la máquina de moldeo por termocompresión, está compuesta por los costos de mano de obra considerando la remuneración diaria que implica la construcción, equipos y herramientas alquiladas, materia prima solicitada a empresas y finalmente el costo por transporte de materiales. En total el valor final se refleja en 4205,78 dólares.

Tabla 31: Tabla de costos de fabricación

C.	U.	Horas	Descripción	Días/Hombre	Costo/Día (\$)	Costo/Hora (\$)	Total (\$)
Costo de mano de obra							
1			Mecanizado de piezas y soldadura	50	25	3.12	1250
1			Mecanizado de piezas y sistema eléctrico	50	25	3.12	1250
Costo de equipos y herramientas							
1		5	*Torno			6	30
1		10	*Dobladora			3	30
1		20	*Esmeril			2	40
1		6	*Compresor			3	18
2		35	Taladro			5	350
2		35	Amoladora			4	280
1		45	*Soldadora			4	180
		55	Herramientas menores			1	55
Costo de materia prima							
5	Kg		Polipropileno (tapas recicladas de botellones de agua de la empresa Agua Polar): 1.8 Kg cada saco				5
Costo de transporte							
1			Transporte de materiales				25
(*) Los costos de estas herramientas reflejan un valor estimado Total							4205,78

Nota: Elaborado por el autor

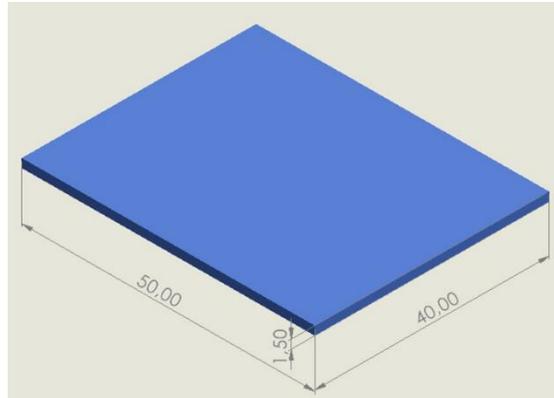
3.1.5.3 Estudio analítico

1. Análisis térmico

Calor de fusión del polipropileno

Para establecer el porcentaje de calor ideal en la fundición del polipropileno, determinamos las características dimensionales específicas del panel, tales como: largo (l_p) = 50 cm, ancho (a_p) = 40cm y espesor (e_p) = 1.5 cm, estas especificaciones están representadas en el gráfico 16, el cual está realizado en SolidWorks. A partir de estas dimensiones se realizarán los cálculos para determinar el volumen de polipropileno necesario y posterior el calor de fusión requerido para el proceso.

Gráfico 16: Dimensiones de la plancha de polipropileno



Nota: Elaborado por el autor en software SolidWorks

El calor de fundición del polipropileno (Q_f) se obtiene con la ecuación

$$Q_f = m * C_p * (T_f - T_a) \quad (1)$$

Donde:

m : masa total de las planchas de polipropileno

C_p : calor específico del polipropileno = 1925 J/kg*K (Çengel & Ghajar, 2011)

T_f : temperatura de calentamiento final del polipropileno = 200°C = 473K

T_a : temperatura inicial del ambiente = 22°C = 295.15 K

La masa se obtiene a partir del volumen total de las planchas (V_p) y de la densidad del polipropileno (δ_p):

$$\delta_p = 910 \text{ kg/m}^3 \text{ (Yanus \& Afshin, 2011: p. 887)}$$

$$m = V * \delta_p = l_p * a_p * e_p * \delta_p = 0.50 \text{ m} * 0.40 * 0.015 \text{ m} * 910 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 2.73 \text{ kg}$$

$$Q_f = 2.73 \text{ kg} * 1925 \frac{\text{J}}{\text{kg} * \text{K}} * (473 - 295.15) \text{ K} = 9.346 \times 10^5 \text{ J}$$

Para determinar la potencia de fusión (Pf) se necesita del tiempo de calentamiento (t_c), el cual vamos a considerar de 10 minutos (600 s).

$$Pf = \frac{Q_f}{t_c} \quad (2)$$

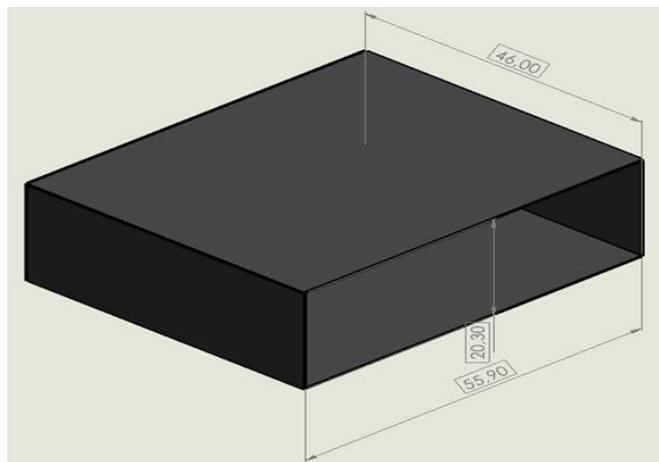
$$Pf = \frac{9.346 \times 10^5 J}{600s} = 1557 W = 2.14 Hp$$

Transferencia de calor en el horno

Temperatura de pared interna

En la gráfica 17, se presentan las dimensiones internas del horno, información necesaria para realizar el siguiente paso, en el cual se efectuarán los cálculos de las temperaturas necesarias dentro del horno durante el proceso de termoformado, estas dimensiones proporcionan un marco de referencia para que la distribución de calor sea adecuada y uniforme, permitiendo así un calentamiento eficaz del polipropileno en las etapas de moldeo.

Gráfico 17: Dimensiones internas del horno



Nota: Elaborado por el autor en software SolidWorks

Luego de calcular la temperatura de la superficie interior del horno (T'_{si}), se va a considerar que la transferencia de calor de la fuente de generación (resistencias) se produce únicamente por radiación unidireccional dentro del mismo, debido a que no existirá flujo de aire, lo cual generaría una transferencia de calor por convección despreciable. Dicha rapidez de transferencia de calor sería equivalente a la potencia de fusión (Pf). Para el cálculo de su valor se utiliza la ecuación (18) de definición de la transferencia de calor por radiación (\vec{q}_{rad}):

$$q_{rad} = Pf = \varepsilon * \sigma * A_p * (T_{si}^4 - T_f^4) \quad (3)$$

Donde:

ε : emisividad de la pared con pintura gris = 0,98 (Çengel & Ghajar, 2011)

σ : constante de Stefan-Boltzmann = $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 * \text{K}^4$

A_p : área de transferencia de calor hacia las planchas = $2 * l_p * a_p = 2 * 0.5 \text{ m} * 0.4 \text{ m} = 0.4 \text{ m}^2$

$$T_{si} = \sqrt[4]{\frac{Pf}{\varepsilon * \sigma * A_p} + T_f^4}$$

$$T_{si} = \sqrt[4]{\frac{1557 \text{ W}}{0.98 * (5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 * \text{K}^4) * 0.4 \text{ m}^2} + (473)^4} = 514.46 \text{ K} = 241.31 \text{ }^\circ\text{C}$$

Coefficiente de convección exterior

Para calcular las pérdidas de calor del horno, hay que encontrar el valor medio del coeficiente de transferencia de calor por convección exterior (h), haciendo las siguientes consideraciones: se producirá una convección libre, es decir que el flujo de aire no será forzado. La temperatura de la superficie exterior (T_{se}) del horno podrá ser máximo de 50°C (323K) para evitar quemaduras en la piel de los usuarios.

La temperatura del aire externo (T_∞) será la mínima posible, es decir de 5°C (278K) para obtener coeficientes máximos posibles y a su vez pérdidas máximas. Se calcularán 3 coeficientes de convección: uno para la superficie superior horizontal (h_{sh}), uno para la superficie inferior horizontal (h_{ih}) y uno para las superficies laterales (h_v), con los cuales se calculará un coeficiente medio para poder trabajar un solo valor en los cálculos posteriores. Se establece que las dimensiones interiores del horno serán de largo (lh) = 0.46 m, ancho (ah) = 0.559 m, y altura (zh) = 0,20 m.

$$h = \frac{NuL * k}{L} \quad (4)$$

Donde:

NuL : número de Nusselt.

k_a : conductividad térmica del aire a temperatura media de convección.

$$k_a = 0,0263 \text{ W/m} * \text{K}$$

$$L = \frac{A_s}{P} = \frac{l_h * a_h}{2 * (l_h + a_h)} \quad (5)$$

Donde

L: espesor de pared

A_s : Área superficial perpendicular a la transferencia de calor

P: perímetro del área superficial

Con una de las ecuaciones (6a), (6b), (6c), (6d) o (6e) se obtiene el número de Nusselt:

$$NuL = 0,54 * RaL^{1/4} \quad (10^4 \leq RaL \leq 10^7) \quad (6a)$$

$$NuL = 0,15 * RaL^{1/3} \quad (10^7 \leq RaL \leq 10^{10}) \quad (6b)$$

$$NuL = 0,27 * RaL^{1/4} \quad (10^5 \leq RaL \leq 10^{10}) \quad (6c)$$

$$NuL = 0.68 + \frac{0.670 * RaL^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + (0.492/Pr)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{4}{9}}} \quad RaL \leq 10^9 \quad (6d)$$

$$NuL = \left[0.825 + \frac{0.387 * RaL^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + (0.492/Pr)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{8}{27}}}\right]^2 \quad (6e)$$

Donde:

RaL : número de Rayleigh.

Pr : número de Prandtl del aire a $T_m = 0.706$

Las ecuaciones (6a) y (6b) se utilizan para superficies horizontales superiores, la ecuación (6c) se emplea para superficies horizontales inferiores y las ecuaciones (6d) y (6e) se aplican cuando existen superficies verticales. El número de Rayleigh se calcula con la ecuación (7):

$$RaL = \frac{g * \beta * (T_{se} - T_{\infty}) * L^3}{a_a * v_a} \quad (7)$$

Donde:

g : aceleración de la gravedad = 9.8 m/s^2

β : coeficiente de expansión = $\frac{1}{T_m} = \frac{2}{300.5 \text{ K}} = 3.328 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$

a_a : difusividad térmica del aire a $T_m = 2.25 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

v_a : viscosidad cinemática del aire a $T_m = 1.59 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

En los siguientes cálculos de las diferentes variables se emplearán los subíndices “ sh ” (superficie superior horizontal), “ ih ” (superficie inferior horizontal) y “ v ” (superficies verticales). Mediante la ecuación (5) se encuentra los siguientes valores:

$$L_{sh} = \frac{A_s sh}{P sh} = \frac{l_h * a_h}{2 * (l_h + a_h)} = \frac{0.46 * 0.559}{2 * (0.46 + 0.559)} = 0.126 m$$

$$L_{ih} = \frac{A_s ih}{P ih} = \frac{l_h * a_h}{2 * (l_h + a_h)} = \frac{0.46 * 0.559}{2 * (0.46 + 0.559)} = 0.126 m$$

$$L_v = \frac{A_s v}{P v} = \frac{l_h * z_h}{2 * (l_h + z_h)} = \frac{0.46 * 0.20}{2 * (0.46 + 0.2)} = 0.06969 m$$

Y con la ecuación (7) se determina:

$$Ra_{L sh} = \frac{\left(9.81 \frac{m}{s^2}\right) * (3.328 \times 10^{-3} K^{-1}) * (323 - 278)K * (0.126)^3}{2.25 \times 10^{-5} \frac{m}{s^2} * 1.59 \times 10^{-5} \frac{m}{s^2}} = 8.2147 \times 10^6$$

$$Ra_{L ih} = \frac{\left(9.81 \frac{m}{s^2}\right) * (3.328 \times 10^{-3} K^{-1}) * (323 - 278)K * (0.126)^3}{2.25 \times 10^{-5} \frac{m}{s^2} * 1.59 \times 10^{-5} \frac{m}{s^2}} = 8.2147 \times 10^6$$

$$Ra_{L v} = \frac{\left(9.81 \frac{m}{s^2}\right) * (3.328 \times 10^{-3} K^{-1}) * (323 - 278)K * (0.06969)^3}{2.25 \times 10^{-5} \frac{m}{s^2} * 1.59 \times 10^{-5} \frac{m}{s^2}} = 1.3899 \times 10^6$$

El número de Nusselt de la superficie superior horizontal se determina con la ecuación (6b), el de la superficie horizontal inferior se halla con la ecuación (6c), mientras que el de las superficies laterales se calcula con la ecuación (6d):

$$u_{L sh} = 0.15 * (8.2147 \times 10^6)^{\frac{1}{3}} = 30.266$$

$$Nu_{L ih} = 0.27 * (8.2147 \times 10^6)^{\frac{1}{4}} = 14.454$$

$$NuL = 0.68 + \frac{0.670 * (1.3899 \times 10^6)^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + (0.492/0.706)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{4}{9}}} = 18.325$$

Entonces los coeficientes de convección se calculan mediante la ecuación (4):

$$h_{sh} = \frac{30.266 * 0.0263 \frac{W}{m * K}}{0.126 m} = 6.317 \frac{W}{m^2 * K}$$

$$h_{ih} = \frac{14.454 * 0.0263 \frac{W}{m * K}}{0.126 m} = 3.016 \frac{W}{m^2 * K}$$

$$h_v = \frac{18.325 * 0.0263 \frac{W}{m * K}}{0.06969 m} = 6.915 \frac{W}{m^2 * K}$$

Para simplificar los cálculos posteriores se va a unificar los coeficientes transferencia de calor por convección en las paredes horizontales (h_h).

$$h_h = \frac{h_{sh} + h_{ih}}{2} = \frac{(6.317 + 3.016)}{2} \frac{W}{m^2 * K} = 4.6665 \frac{W}{m^2 * K}$$

Pérdidas de calor del horno

Las pérdidas de calor se van a calcular de acuerdo con las direcciones horizontales y verticales, donde se utilizarán los subíndices “h” y “v” respectivamente para denotar las diferentes variables. Aplicando el balance de energía entre la superficie interior del horno y el aire ambiente exterior, se determina que la transferencia de calor o pérdidas de calor (\vec{q}_h y \vec{q}_v) es constante entre cualquier dos de sus puntos, y haciendo analogía con un circuito eléctrico, el cual se aplica para las paredes horizontales y verticales.

$$q_h = \frac{T_{si} - T_{\infty}}{\sum R_t} \quad ; \quad q_v = \frac{T_{si} - T_{\infty}}{\sum R_t} \quad (8)$$

Donde:

$\sum R_t$: Resistencia térmica resultante, la cual hay que determinar de la misma forma que en los circuitos eléctricos, es decir: en los circuitos en serie se suman las resistencias, mientras que, en circuitos en paralelo, se suman los inversos de las resistencias:

$$R_t = R_1 + R_2 + \dots + R_n \quad \text{circuitos en serie (transferencia por conducción)}$$

$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad \text{circuitos en paralelo (transferencia de calor por convección y radiación)}$$

Las resistencias para cada forma de transferencia de calor se definen de la siguiente manera:

$$R_{conduccion} = \frac{L_1}{k_i * A_i} \quad (9a)$$

$$R_{conveccion} = \frac{1}{h_i * A_i} \quad (9b)$$

$$R_{radicacion} = \frac{1}{h_{ri} * A_i} \quad (9c)$$

L_1 espesor de la pared de conducción, $L_{ag} = 0.003 \text{ m}$; $L_{ai} = 0.0016 \text{ m}$

$L_{lv} = 0 - 05 \text{ m}$ (espesores de pared comunes).

k_i conductividad térmica de la pared

$$k_{ag} = 51.83 \frac{W}{m * K} \quad (\text{acero simple a } T_{si})$$

$$k_{lv} = 0.038 \frac{W}{m \cdot K}$$

$$k_{ai} = 51.83 \frac{W}{m \cdot K}$$

A_i : área de la pared perpendicular a la dirección de la transferencia de calor

$$A_i = lh * ah = 0.46 m * 0.559 m = 0.257 m^2$$

$$A_v = lh * zh = 0.46 m * 0.20 m = 0.092 m^2$$

h_i : coeficiente de transferencia de calor por convección, se utilizará los h_v y h_h calculados

h_{ri} : coeficiente de transferencia de calor por radiación.

$$h_r = \varepsilon i * \sigma * (T_{se} + T_{\infty})(T_{se}^2 + T_{\infty}^2) \quad (10)$$

Donde:

εi : emisividad de la pared externa = 0,22

σ : constante de Stefan-Boltzmann.

Se calcula el coeficiente de transferencia de calor por radiación, donde se va a considerar inicialmente una temperatura máxima de pared exterior (T'_{se}) de 50°C, con este valor se podrá encontrar las pérdidas de calor. Mediante la ecuación (10) se determinó lo siguiente:

$$h_r = 0.22 * 5.67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 * K^4} * ((323 + 278)K * (323^2 + 278^2)K^2) = 1.362 \frac{W}{m^2 * K}$$

Al aplicar las ecuaciones (8), (9a), (9b) y (9c) entre la superficie interior del horno y el aire ambiente exterior se tiene lo siguiente:

$$q_h = \frac{T_{si} - T_{\infty}}{R_{ac} + R_{lv} + R_{ai} + \left(\frac{1}{R_{conv}} + \frac{1}{R_{rad}}\right)^{-1}} = \frac{A_h * (T_{si} - T_{\infty})}{\frac{L_{ag}}{k_{ag}} + \frac{L_{lv}}{k_{lv}} + \frac{L_{ai}}{k_{ai}} + \frac{1}{h_h + h_r}}$$

$$q_v = \frac{T_{si} - T_{\infty}}{R_{ac} + R_{lv} + R_{ai} + \left(\frac{1}{R_{conv}} + \frac{1}{R_{rad}}\right)^{-1}} = \frac{A_v * (T_{si} - T_{\infty})}{\frac{L_{ag}}{k_{ag}} + \frac{L_{lv}}{k_{lv}} + \frac{L_{ai}}{k_{ai}} + \frac{1}{h_v + h_r}}$$

$$q_h = \frac{0.257 m^2 (590.7 - 278)}{\frac{3 \times 10^{-3} m}{51.83 \frac{W}{m \cdot K}} + \frac{0.05 m}{0.038 \frac{W}{m \cdot K}} + \frac{16 \times 10^{-4}}{51.83 \frac{W}{m \cdot K}} + \frac{1}{4.66 \frac{W}{m^2 \cdot K} + 1.36 \frac{W}{m^2 \cdot K}}} = 54.23 W$$

$$q_v = \frac{0.092 \text{ m}^2(590.7 - 278)}{\frac{3 \times 10^{-3} \text{ m}}{51.83 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} + \frac{0.05 \text{ m}}{0.038 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} + \frac{16 \times 10^{-4}}{51.83 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} + \frac{1}{6.91 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} + 1.36 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}}}$$

$$= 20.02 \text{ W}$$

Temperaturas de las superficies

Con el valor de las pérdidas de calor q_h y q_v , se procede a calcular las temperaturas T_1 , T_2 y T_{se} verticales y horizontales, aplicando el principio del valor constante de transferencia de calor:

$$q_h = \frac{T_{si} - T_{1h}}{R_{ag}} = \frac{T_{1h} - T_{2h}}{R_{lv}} = \frac{T_{2h} - T_{se h}}{R_{ai}} = \frac{T_{se h} - T_{\infty}}{\left(\frac{1}{R_{conv h}} + \frac{1}{R_{rad h}}\right)^{-1}} \quad (11a)$$

$$q_v = \frac{T_{si} - T_{1v}}{R_{ag}} = \frac{T_{1v} - T_{2v}}{R_{lv}} = \frac{T_{2v} - T_{se v}}{R_{ai}} = \frac{T_{se v} - T_{\infty}}{\left(\frac{1}{R_{conv v}} + \frac{1}{R_{rad v}}\right)^{-1}} \quad (11b)$$

Al despejar las temperaturas de las ecuaciones (11a) y (11b):

$$T_{1h} = T_{si} - q_h * R_{ag} = T_{si} - \frac{q_h * L_{ag}}{k_{ag} * A_h} = 590.7 - \frac{54.23 \text{ W} * 3 \times 10^{-3} \text{ m}}{51.83 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} * 0.257 \text{ m}^2} = 590.69 \text{ K}$$

$$T_{1v} = T_{si} - q_v * R_{ag} = T_{si} - \frac{q_v * L_{ag}}{k_{ag} * A_v} = 590.7 - \frac{20.02 \text{ W} * 3 \times 10^{-3} \text{ m}}{51.83 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} * 0.092 \text{ m}^2} = 590.69 \text{ K}$$

$$T_{2h} = T_{1h} - q_h * R_{lv} = T_{1h} - \frac{q_h * L_{lv}}{k_{lv} * A_h} = 590.69 - \frac{54.23 \text{ W} * 0.05 \text{ m}}{0.038 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} * 0.257 \text{ m}^2} = 313.02 \text{ K}$$

$$T_{2v} = T_{1v} - q_v * R_{lv} = T_{1v} - \frac{q_v * L_{lv}}{k_{lv} * A_v} = 590.69 - \frac{20.02 \text{ W} * 0.05 \text{ m}}{0.038 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} * 0.092 \text{ m}^2} = 304.31 \text{ K}$$

$$T_{se h} = T_{2h} - q_h * R_{ai} = T_{2h} - \frac{q_h * L_{ai}}{k_{lv} * A_h} = 313.02 \text{ K} - \frac{54.23 \text{ W} * 16 \times 10^{-4} \text{ m}}{51.83 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} * 0.257 \text{ m}^2}$$

$$= 313.01 \text{ K} = \mathbf{39.86 \text{ }^\circ\text{C}}$$

$$T_{se v} = T_{2v} - q_v * R_{ai} = T_{2v} - \frac{q_v * L_{ai}}{k_{lv} * A_v} = 304.31 \text{ K} - \frac{20.02 \text{ W} * 16 \times 10^{-4} \text{ m}}{51.83 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} * 0.092 \text{ m}^2}$$

$$= 304.30 \text{ K} = \mathbf{31.15 \text{ }^\circ\text{C}}$$

Se puede ver que las temperaturas $T_{se h}$ y $T_{se v}$ son menores que la Temperatura impuesta T_{se} , por lo tanto, los espesores de los materiales están dentro del rango recomendado para un buen funcionamiento del horno. Ahora al reemplazar los valores reales de $T_{se h}$ y $T_{se v}$, se obtiene un coeficiente de radiación medio y las pérdidas de calor q_h y q_v con el mismo procedimiento aplicado anteriormente:

$$h_r = 0.22 * 5.67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 * K^4} * ((308.66 + 278)K * (308.66^2 + 278^2)K^2)$$

$$= 1.26 \frac{W}{m^2 * K}$$

$$q_h = 54.23 W$$

$$q_v = 20.01 W$$

Debido a que prácticamente no varía las pérdidas de calor al actualizar la temperatura de la pared exterior del horno (T'_{se}), las temperaturas determinadas se mantendrán. Además, se aprecia que en las paredes verticales y horizontales las temperaturas se asemejan.

Potencia de generación requerida

La potencia de generación necesaria (potencia de resistencias de calentamiento) para el funcionamiento correcto del horno se obtiene con la ecuación (12):

$$P_{\Omega} = P_f + 2 * q_h + 4 * q_v \quad (12)$$

$$P_{\Omega} = 1557 W + 2 * 54.23 W + 4 * 20.01 W = 1745.5 W = 2.34 hp$$

Si se utiliza 220 V de tensión eléctrica (V), mediante la ley de ohm se puede encontrar valores de corriente (I) y resistencia eléctrica (R) necesarios:

$$I = \frac{P_r}{V} = \frac{1745.5 W}{220V} = 7.93 A$$

$$R = \frac{V}{I} = \frac{220 V}{7.93 A} = 27.74 \Omega$$

Eficiencia térmica del horno

La eficiencia térmica del horno (η) se calcula al relacionar el calor de generación útil (P_f) y el calor total de generación (P_{Ω}):

$$\eta = \frac{P_f}{P_{\Omega}} = \frac{1557 W}{1745 W} = 89.22 \%$$

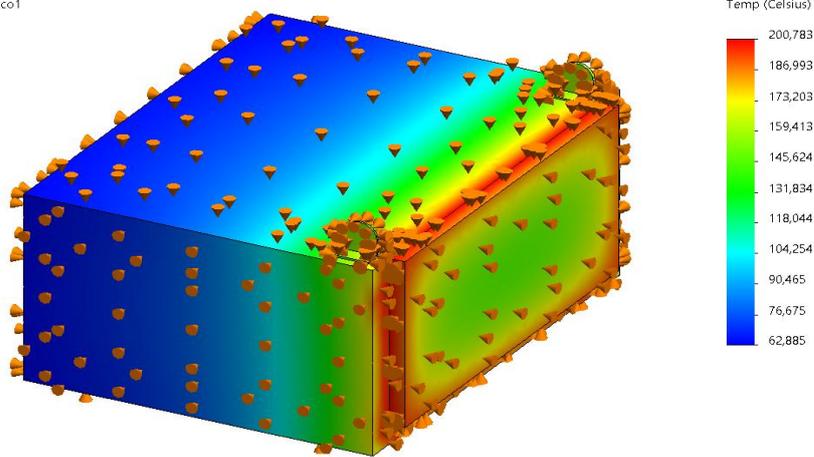
3.1.6 Construir: simulación y fabricación de máquina

3.1.6.1. Simulación del análisis térmico

La validación se realizó mediante el uso del software SolidWorks con su herramienta de simulación térmico, en el que se establecieron los parámetros de temperatura a las cuales el horno va a estar sometido durante el proceso de termoformado. En el gráfico 18, se observa los valores de temperatura que tendrá el horno, mientras está en funcionamiento observamos que en la parte de la puerta es donde está más caliente y la que podría presentar un riesgo, mientras que en gráfico 19, se ve el flujo de calor que tendrá el horno durante el proceso de termoformado.

Gráfico 18: Temperaturas del horno

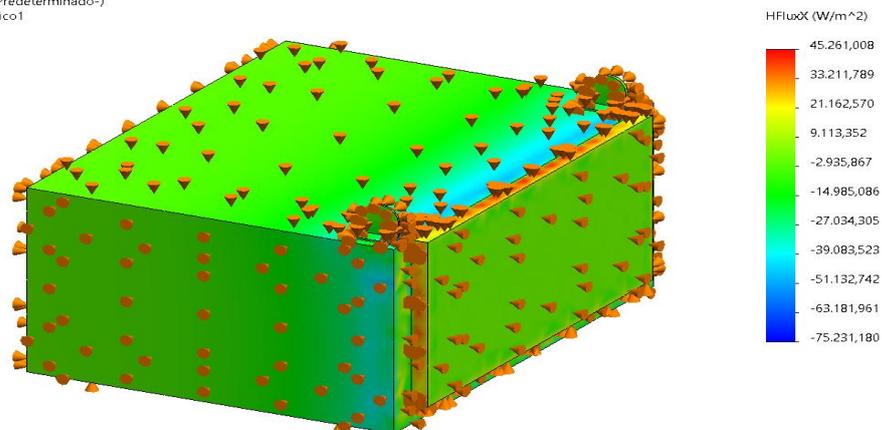
Nombre del modelo: para analisis
Nombre de estudio: Térmico 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Térmico Térmico1
Paso de tiempo: 1



Nota: Elaborado por el autor en software SolidWorks

Gráfico 19: Flujo de calor del horno

Nombre del modelo: para analisis
Nombre de estudio: Térmico 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Térmico Térmico1
Paso de tiempo: 1



Nota: Elaborado por el autor en software SolidWorks

3.1.6.2. Análisis estático

1. Análisis de esfuerzo

- Esfuerzo normal en las guías de la prensa

Para realizar el cálculo del esfuerzo normal ejercido en los ejes guía en donde estará ubicado la prensa, se procede a obtener la carga que en este caso es el peso de la prensa multiplicado por la fuerza de gravedad, además de también encontrar el área transversal de las guías cilíndricas, obteniendo los resultados se procede a calcular el esfuerzo normal.

$$W = 15kg * 9.81 \text{ m/s}^2 = 147.15 \text{ N}$$

$$A = \pi * r^2 = \pi * (0.01)^2 = 0.00031415 \text{ m}^2$$

$$\sigma = \frac{W \text{ (carga)}}{A \text{ (área transversal)}}$$

$$\sigma = \frac{147.15 \text{ N}}{0.00031415 \text{ m}^2}$$

$$\sigma = 468392,99 \text{ N/m}^2 = 468.4 \text{ kPa}$$

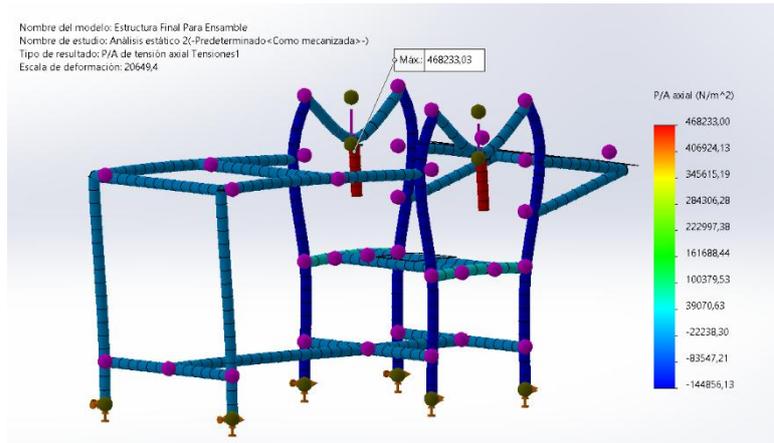
Tabla 32: Propiedades mecánicas del acero ASTM A36

Resistencia a la tracción, MPa	400-550(58-80)
(ksi)	
Limite elástico, MPa	250
	220
Módulo de corte, GPa	79.3

Nota: Elaborado por el autor

Como resultado se obtuvo que el esfuerzo normal máximo será de 468.4 kPa, el cual esta muy por debajo del límite elástico del material de los ejes guías, que es de 200 MPa, mostrado en la tabla 32. Estos resultados obtenidos aseguran que los ejes pueden soportar la carga sin riesgo de deformación y en el gráfico 20, podemos observar la validación de los cálculos mediante el software SolidWorks.

Gráfico 20: Esfuerzo normal en ejes de prensa



Nota: Elaborado por el autor

En el gráfico 20, se presenta la validación del esfuerzo normal en SolidWorks, analizando estos resultados se determina que las guías representadas con color rojo están en máximo esfuerzo de $468233,03 \text{ N/m}^2$ por lo que, comparando con el límite elástico del material utilizado, que es de 200 MPa, concluimos que la estructura es capaz de resistir el esfuerzo aplicado sin verse comprometida.

- Esfuerzo normal en la estructura

El análisis realizado de forma analítica inicia definiendo el material, el cual será un tubo cuadrado de 40x40x1.5 mm de acero ASTM A36. En el proceso se definió el peso del horno en aproximadamente 19kg, como la carga aplicada sobre la estructura. Mediante las fórmulas de esfuerzo normal los resultados fueron los siguientes.

$$\sigma = \frac{W}{A}$$

$$\sigma = \text{Esfuerzo normal } \left(\frac{N}{m^2}\right)$$

$$W = \text{Fuerza normal (N)}$$

$$A = \text{Area (m}^2\text{)}$$

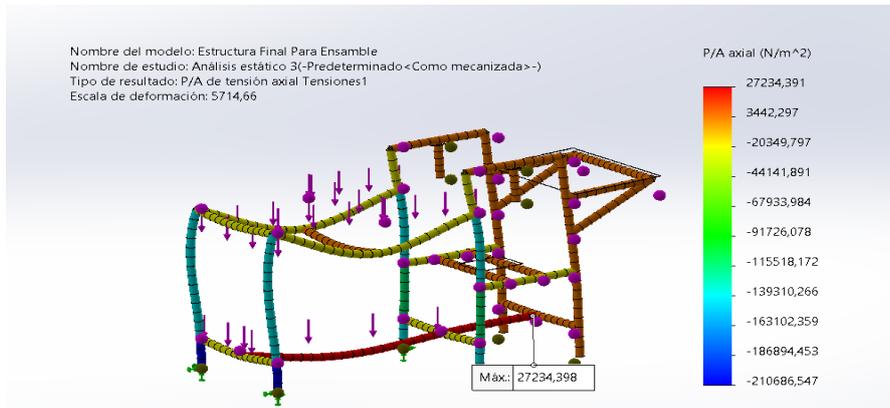
$$W = 19\text{kg} * 9.81 \text{ m/s}^2 = 46,5975 \text{ N}$$

$$\sigma = \frac{46,5975 \text{ N}}{0.04^2 \text{ m}^2}$$

$$\sigma = 29123,4375 \text{ N/m}^2$$

Los resultados del análisis analítico mostraron que el esfuerzo máximo alcanzado fue de $29123,4375 \text{ N/m}^2$. Estos valores se encuentran muy por debajo del límite elástico del acero ASTM A36, que es de 250 MPa, lo que indica que la estructura puede soportar la carga sin verse afectada.

Gráfico 21: Esfuerzo normal de la estructura



Nota: Elaborado por el autor en software SolidWorks

El gráfico 21, nos presenta la validación del esfuerzo normal en el software SolidWorks el cual coincide con los resultados obtenidos analíticamente, esta concordancia entre ambos resultados nos garantiza que la estructura, puede soportar las cargas sin alcanzar el límite elástico del material, evitando así fallas significativas.

- **Análisis de deformaciones**

Módulo de Young

$$\gamma = \sigma / \epsilon$$

$$\gamma = \text{Modulo de young } \left(\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right)$$

$$\sigma = \text{Esfuerzo normal } \left(\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right)$$

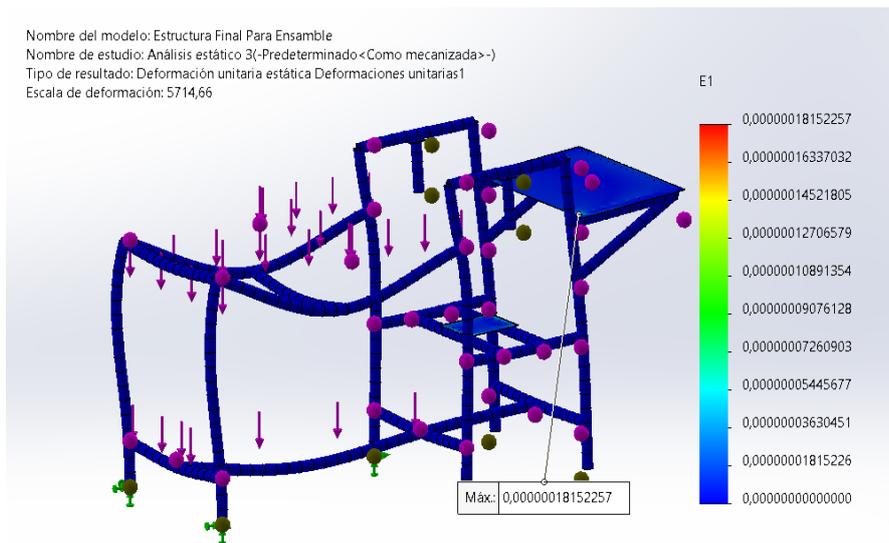
$$\epsilon = \text{Deformación unitaria}$$

De forma analítica se realiza el cálculo de deformaciones unitarias de la estructura con la formula anterior de la cual debemos despejar $\epsilon = \text{Deformación unitaria}$ y sabiendo de que el módulo de Young del material seleccionado es 200000 N/mm^2 .

$$\epsilon = \frac{29123,4375 \text{ N/m}^2}{2 \times 10^{11} \text{ N/m}^2}$$

$$\epsilon = \mathbf{0,00000014561}$$

Gráfico 22: Deformaciones unitarias



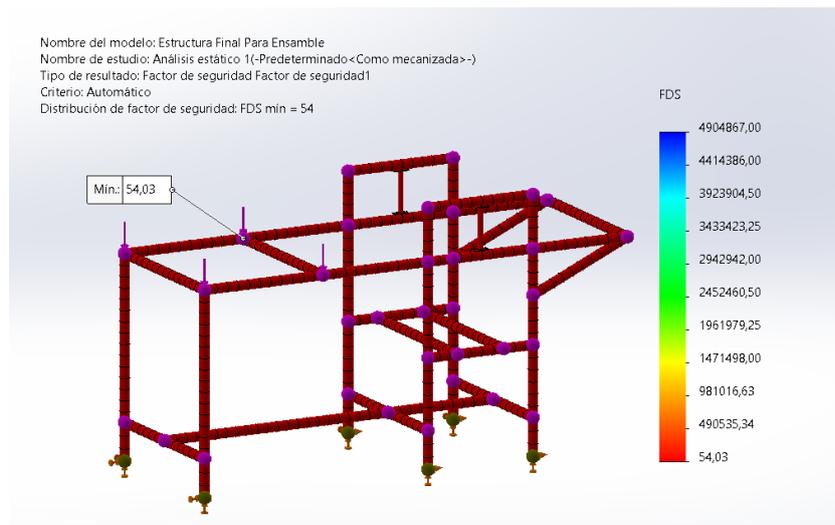
Nota: Elaborado por el autor en software SolidWorks

En el gráfico 22, presenta la validación de las deformaciones unitarias en el software SolidWorks y coinciden con los valores encontrados analíticamente. Estos resultados nos garantizan que la estructura mantendrá su forma y alineación bajo las cargas aplicadas, además de que nos confirma que el material seleccionado es el ideal para este tipo de estructura.

- Factor de seguridad

La simulación del factor de seguridad nos dio como resultado 54, la interpretación de este valor nos dice que la estructura tiene una gran capacidad para soportar cargas mayores de las esperadas, dándonos un amplio margen de fiabilidad y durabilidad del diseño. Esto garantiza el funcionamiento óptimo y estable durante el proceso productivo al que está dirigido.

Gráfico 23: Factor de seguridad



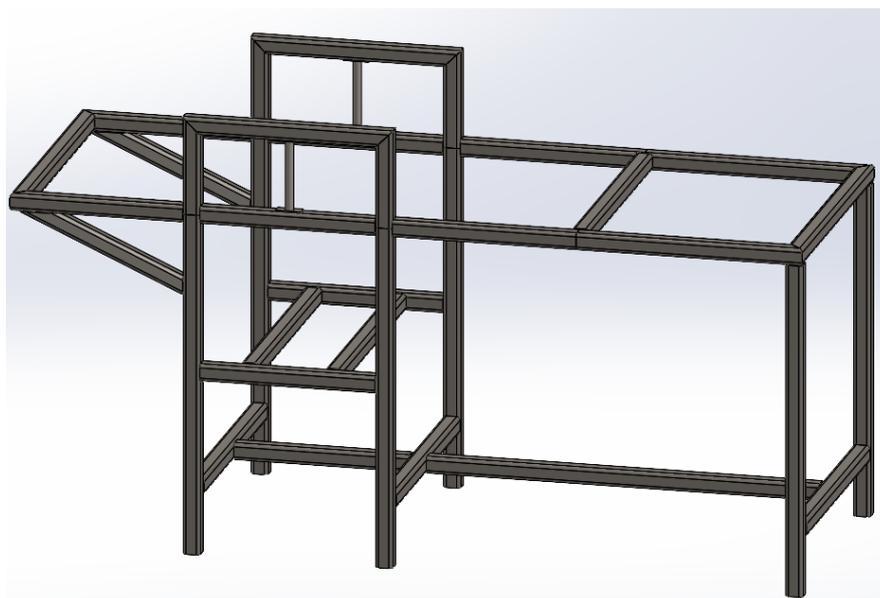
Nota: Elaborado por el autor en software SolidWorks

3.1.6.3. Procedimiento de construcción y montaje

A continuación, se describen detalladamente los procedimientos llevados a cabo para la construcción y ensamble de los distintos componentes del proyecto: estructura base, horno y prensas. En cada paso se explicará el proceso de la mecánica de los materiales y el correcto uso de las herramientas utilizadas en el taller de Ingeniería Industrial de la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

1. Construcción de la estructura base

Gráfico 24: Estructura base en SolidWorks



Nota: Elaborado por el autor en software SolidWorks

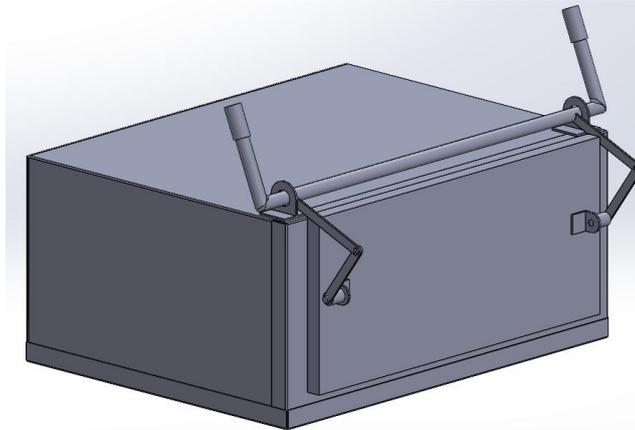
Tabla 33: Construcción de la estructura base

Estructura base		
Ítem	Descripción	Ilustración grafica
1	<p>Medición del material: Se realiza la medición del material, tubo cuadrado de 40x40x1,5mm para las 4 columnas de la prensa de 110 cm con filos achaflanados a 45°, 2 columnas de 87 cm (detallar medidas de los otros cortes). Las herramientas necesarias para realizar este proceso son: flexómetro, escuadra y lápiz.</p>	
2	<p>Corte del material: Se realiza el corte del material de las vigas y columnas que se midió previamente. La herramienta necesaria para realizar este proceso es la amoladora con un disco de corte e implementos de seguridad como gafas, guantes y mandil.</p>	
3	<p>Pulido de las superficies cortadas: A continuación, se realiza el pulido de las limallas y rebabas que se forman producto del corte. Este paso se lleva a cabo con la utilización de la amoladora con un disco de pulir.</p>	
4	<p>Alineación y nivelación: Previo al soldado se realiza la alineación y nivelación de las vigas superiores con las columnas que han sido preparadas. Las herramientas necesarias para este paso son las escuadras, el nivel y un martillo.</p>	
5	<p>Soldado de las uniones: Se ejecuta el proceso de soldadura de las juntas de los perfiles alineados y nivelados previamente. Para ello se utiliza la máquina soldadora con electrodo.</p>	

Nota: Elaborado por el autor

2. Construcción del horno

Gráfico 25: Estructura del Horno en SolidWorks



Nota: Elaborado por el autor en software SolidWorks

Tabla 34: Construcción del horno

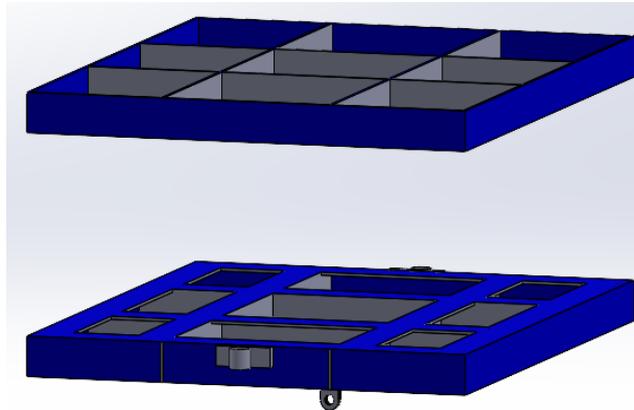
Horno		
Ítem	Descripción	Ilustración grafica
1	<p>Medición del material: Se realiza la medición del material para realizar el horno interno se ocupa media plancha de acero negro de 3mm para el contorno del horno se utiliza una plancha de acero de 1.6mm, para los soportes del horno se utilizarán ángulos. Para este proceso se utiliza: el flexómetro, escuadra y lápiz.</p>	
2	<p>Corte del material: Se realiza el corte del material que ha sido medido y trazado previamente. La herramienta que se utiliza en este proceso es la amoladora con un disco de corte.</p>	
3	<p>Pulido de las superficies cortadas: Luego del corte se realiza el pulido de las imperfecciones que se forman en las superficies cortadas. Se emplea la amoladora con un disco de pulir para realizar el proceso de pulido.</p>	

4	<p>Doblado del material: Se realiza el doblado del material cortado de 1,6 mm para realizar el contorno del horno.</p>	
5	<p>Alineación y nivelación: Se lleva a cabo con el material de acero de 3 mm para formar un rectángulo que formara la parte interna del horno. Las herramientas útiles para este paso son las escuadras, el nivel y el martillo.</p>	
6	<p>Soldado de las uniones: Se realiza el soldado de los cortes del horno interior además de unir los soportes al horno previamente alineados y nivelados.</p>	
7	<p>Pulido de la soldadura: Luego de soldar se debe pulir todas las uniones. La herramienta usada en esta etapa es la amoladora con un disco de pulir.</p>	
8	<p>Ensamble del horno: Se une mediante remaches la parte interior y exterior del horno para formarlo. Las herramientas usadas son remachadoras, remaches y taladro.</p>	

Nota: Elaborado por el autor

3. Construcción de las prensas

Gráfico 26: Estructura de las prensas en SolidWorks



Nota: Elaborado por el autor en software SolidWorks

Tabla 35: Construcción de las prensas

Horno		
Ítem	Descripción	Ilustración grafica
1	<p>Medición del material: Se realiza la medición del material, ángulos de 30x30x1,5 mm, 4 de 40 cm y 4 de 50 cm con filos achaflanados a 45°. Las herramientas necesarias para realizar este proceso son: flexómetro, escuadra y lápiz.</p>	
2	<p>Corte del material: Se realiza el corte del material que se midió previamente. La herramienta necesaria para realizar este proceso es la amoladora con un disco de corte e implementos de seguridad como gafas, guantes y mandil.</p>	
3	<p>Pulido de las superficies cortadas: A continuación, se realiza el pulido de las limallas y rebabas que se forman producto del corte. Este paso se lleva a cabo con la</p>	

	utilización de la amoladora con un disco de pulir.	
4	Alineación y nivelación: Previo al soldado se realiza la alineación y nivelación. Las herramientas necesarias para este paso son las escuadras, el nivel y un martillo	
5	Soldado de las uniones: Se realiza el soldado de los cortes para las prensas previamente alineados y nivelados.	
6	Pulido de la soldadura: Se procede a pulir todas las juntas que han sido soldadas. La herramienta necesaria para este proceso es la amoladora con un disco de pulir.	

Nota: Elaborado por el autor

Tabla 36: Pintado de la maquina completa

Pintado		
Ítem	Descripción	Ilustración grafica
1	Aplicación de desoxidante fosfatizante a la estructura base, horno y prensa, con el objetivo de eliminar óxidos.	 

2	Lavado con agua y detergente para eliminar completamente los residuos de desoxidante fosfatizante de la estructura, horno y prensa, garantizando que no queden restos químicos que puedan afectar los procesos posteriores	
3	Pintado de la parte interna del horno utilizando una pintura especial de alta temperatura, diseñada para soportar condiciones extremas de calor sin degradarse.	
4	Aplicación de una capa de fondo a la estructura, horno y prensa, con el propósito de proteger las superficies metálicas contra la corrosión y mejorar la adherencia de las capas de pintura.	
5	pintado de la estructura, horno y prensa	

Nota: Elaborado por el autor

Tabla 37: Ensamble total

Ensamble		
Ítem	Descripción	Ilustración grafica
1	Recorte y colocación del aislamiento térmico lana de vidrio en el horno.	

2	Armado y colocación del aislante térmico a la puerta del horno.	
3	Ensamble del sistema de la puerta del horno.	
4	Montaje de la prensa a la estructura base.	
5	Montaje del horno a la estructura base.	
6	Integración y anclaje de las resistencias al horno.	
7	Instalación del circuito eléctrico	

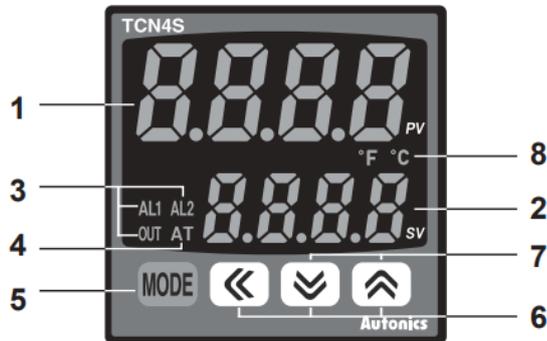
Nota: Elaborado por el autor

3.1.7 Parámetros de uso y configuración del controlador

El dispositivo que se utilizó en esta máquina es el controlador TCN4S, es un dispositivo utilizado para controlar la temperatura en procesos industriales, fabricado por autonics, es

un equipo sólido, precisamente diseñado para diferentes aplicaciones que requieran de la intervención para el manejo de temperaturas en hornos de fundición. Este modelo se destaca por su configuración sencillo y práctico.

Gráfico 27: Parte frontal del controlador



Nota: Elaborado por el autor

En el gráfico 27, se puede apreciar una pantalla con comandos de interacción para el control de la temperatura del sistema, la marca del dispositivo es TNC4S Autonics, y cada parte marcada con una línea de referencia dispone de una numeración, que se describen a continuación:

1. Valor de temperatura actual
2. Valor de temperatura ajustable
3. Alertas de alarma y salida
4. Auto-tuning activado
5. Tecla mode
6. Teclas de entrada digital
7. Indicador de unidad de temperatura

La configuración primordial que requiere este controlador es la del Auto-tuning, esta permite que el dispositivo ajuste automáticamente los parámetros de control PID para alcanzar y conservar la temperatura deseada de manera óptima. Se activará esta configuración seguiremos los pasos detallados en la tabla 38.

Tabla 38: Pasos para activar el Auto-tuning

		Tecla	Display Rojo	Display Verde
1	Mantener presionado la tecla MODE durante 2 segundos para acceder al primer grupo de parámetros.	MODE	PAr 1	

2	Presionando MODE nos desplazamos por todos los parámetros hasta encontrar la de Auto-tuning, para este caso presionando 3 veces encontraremos el parámetro.	MODE	At	OFF
3	Con las teclas de flechas cambiamos el parámetro del display verde a on para activarlo.		At	on
4	Presionamos la tecla MODE hasta regresar al menú principal.	MODE		
5	En el display del controlador parpadeará At además de encender y apagar la salida OUT, así iniciando el proceso de auto-tuning.			

Nota: Elaborado por el autor

Una vez realizado los pasos detallados en la tabla 38, el controlador empezará a ajustar la salida de temperatura, observando la respuesta del sistema. Es normal que la temperatura oscile alrededor del valor establecido durante este proceso. Al culminar la configuración el controlador guardará automáticamente los parámetros calculados y comenzará a operar con estos valores. Para cambiar la temperatura requerida se utilizarán las teclas digitales mostradas en el gráfico 27.

3.2 Consenso de resultados: pruebas del producto final

Antes de iniciar con las pruebas de producto final se realizaron verificaciones para que la maquina esté funcionando correctamente, una de ellas fue que la temperatura no sobrepase la requerida como se muestra en el gráfico 28, la temperatura se estableció en 50 °C y cómo podemos observar es la que mantiene oscilando entre más menos 1°C. También se verifico que la prensa realice la compresión del material, como se muestra en el gráfico 29, la prensa cumple con lo requerido sin ningún tipo de esfuerzo.

Gráfico 28: Prueba control de temperatura



Nota: Elaborado por el autor

Gráfico 29: Prueba de accionamiento del gato hidráulico



Nota: Elaborado por el autor

Las pruebas comienzan ajustando la temperatura en el controlador del horno, el cual parte a temperatura ambiente de aproximadamente 22 °C y alcanza la temperatura programada tras un tiempo determinado. Mientras el horno se calienta, el material se coloca en el molde. Una vez que el horno ha alcanzado la temperatura requerida, se introduce el molde para llevar el material a su punto de fusión.

Después de un tiempo específico en el horno, el molde se retira y se traslada a la prensa, donde se aplica una fuerza sobre el material para asegurar que adquiera las dimensiones deseadas. Luego, se espera hasta que el material se enfríe completamente. Una vez enfriado, el molde se retira de la prensa y se lleva a la mesa de trabajo, donde, con la ayuda de espátulas, se extrae la pieza cuidadosamente del molde, asegurándose de no dañar su superficie.

Para optimizar el proceso de termoformado y asegurar la obtención de un producto de calidad. Se realizaron múltiples pruebas en las que se modificaron variables clave, tales como la cantidad de material, la temperatura, el tiempo de exposición en el horno y el de enfriamiento para elaborar un panel con grosor estimado de 1cm. Los valores específicos ajustados en cada una de ellas se presentan en la tabla 39.

Tabla 39: Características de pruebas

	Temperatura del horno (°C)	Tiempo en alcanzar la temperatura (minutos)	Cantidad de material utilizado (kg)	Tiempo en el horno (minutos)	Tiempo de enfriamiento en prensa. (minutos)	Resultado (Foto)
Prueba 1: Material plástico sin triturar	150	13	0,85	6	10	

Prueba 2: Material plástico sin triturar	140	12	1,145	10	25	
Prueba 3: Material plástico triturado	140	12	1,836	30	30	
Prueba 4: Material plástico triturado	200	17	1,8	30	30	
Prueba 5: Material plástico triturado	220	21	1,8	25	30	

Nota: Elaborado por el autor

El gráfico 30, muestra el panel plástico obtenido en la prueba 2, en este se observan desviaciones con respecto a las especificaciones requeridas. Este panel no cumple con las dimensiones y además presenta una superficie irregular, lo que no garantiza un acabado de calidad. Estos factores negativos sugieren que los parámetros empleados en esta prueba sean modificados para una siguiente experimentación.

Gráfico 30: Panel plástico de la Prueba 2



Nota: Elaborado por el autor

Cada prueba permitió observar cómo estos factores temperatura y presión, influían en la uniformidad, homogeneidad, resistencia y apariencia de los paneles, aspectos fundamentales para el producto final. Ajustando el tiempo de exposición a la temperatura del horno, se consiguió un equilibrio en la fusión del material que evitaba tanto el sobrecalentamiento como la insuficiente unión de las partículas plásticas. En la tabla 40, se evaluaron estas características con una escala Likert de eficiencia, obteniendo así un

promedio de calidad para cada panel plástico: el valor 1 corresponde a inaceptable; el valor 2 deficiente; 3 regular; 4 aceptable, y 5 eficiente.

Tabla 40: Valoración de las características visuales finales del panel plástico

	Uniformidad en Grosor y Dimensiones (50X40)	Superficie Lisa y Homogénea	Resistencia a flexión	Apariencia estética	Total	%
Prueba 1	2	3	1	2	8	0,11
Prueba 2	3	3	3	3	12	0,17
Prueba 3	4	4	4	3	15	0,22
Prueba 4	4	4	4	4	16	0,23
Prueba 5	5	5	4	5	19	0,27
Sumatoria					70	1

Nota: Elaborado por el autor

Analizando las valoraciones presentadas en la tabla 40, se demuestra que la prueba 5 alcanzo un promedio altamente satisfactorio, con una valoración del 27% de eficiencia respecto de los otros análisis. Esto sugiere que los ajustes realizados en las variables claves, como la temperatura (170 °C), el tiempo de exposición (12 minutos) y la cantidad de material (1.8 Kg) detallados en la tabla 39, fueron correctos, lo que asegura que se obtendrá un panel de plástico que cumpla con las características visuales apropiadas para su implementación como material de construcción.

CONCLUSIONES

1. Gracias a la investigación realizada, el proceso de revisión de la literatura científica en base a las practicas más eficientes para la fabricación de máquinas que efectúen el termoformado de plásticos reciclados, permitió determinar que el método ideal de plantear una propuesta de diseño es realizando un estudio de desglose la función de la calidad, luego un diseño conceptual y finalmente la validación con el software tendencia SolidWorks.
2. Se estableció un marco metodológico para el proceso de diseño y fabricación de la máquina, consistió en seguir la secuencia del ciclo de diseño mecánico, este se adaptó a las herramientas desglose de la función de la calidad, diseño conceptual y el uso del SolidWorks en los pasos de planear, definir y simular respectivamente, permitiendo establecer una guía para desarrollar y validar la máquina de moldeo por termocompresión.
3. Se constató la viabilidad técnica mediante el análisis de simulación cualitativa en el software SolidWorks, esta dio una comparación óptima con el funcionamiento mecánico de los componentes fabricados. Los estudios analíticos demuestran que la capacidad térmica del horno está en un 89.22 %, alcanzando una temperatura ideal de fusión del PP de 220 °C en 20 minutos. Finalmente, se elaboró un panel con dimensiones 50x40x1cm con aspectos visuales ideales para su aplicación en construcciones.

RECOMENDACIONES

En este punto, gracias a la experiencia adquirida al efectuar el presenta trabajo de integración curricular, consultas a expertos, prácticas de mecanizado de piezas, soldadura, entre otras. Se detallan las recomendaciones que incluyen enfoques de mejora descritos por el autor y que por la falta de financiamiento económico no se pudieron realizar.

- En función de tener una revisión bibliográfica de la literatura más efectiva, sería de gran utilidad realizar una comparación más detallada donde resalten las características más importantes de los conceptos o términos que se desea investigar. En este trabajo se realizó un cuadro comparativo donde se define el método que utilizan ciertos autores para realizar sus trabajos de investigación relacionados con la fabricación de máquinas o equipos dedicados a la termocompresión de materiales plásticos.
- Respecto al funcionamiento de la máquina, se recomienda cambiar el molde hembra y la estructura interna del horno por el material de acero inoxidable, con el fin de evitar el desecho de moldes desgastados y que las paredes internas presenten mayor durabilidad y resistencia a las altas temperaturas. En la construcción de estos componentes se utilizó acero negro de 3mm, pues se cumplió con el espesor requerido pero debido a un escaso financiamiento económico se optó por un material medianamente económico.
- Se recomienda profundizar en el proceso del conformado del plástico, ampliar el estudio a un método de diseño de experimentos que determine la cantidad de plásticos y otros compuestos necesarios para destacar la calidad de los paneles procesados en la máquina. Este estudio se enfocó en la materialización de las ideas de diseño, se comprobó que el mecanismo funciona y elabora paneles plásticos de buen grosor para ser aplicados a la construcción.
- Este proyecto se dio con fines académicos para el apoyo a proyectos de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, se consideró la parte de automatización de todo el sistema, sin embargo, no fue un índice focal en el método QFD pues relaciona este requerimiento con los del mercado y tiene poca influencia, gran parte de estas máquinas siguen en dependencia de la intervención hombre-máquina, con fines de mejorar este diseño, se recomienda realizar un estudio direccionado a la automatización de este modelo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdallah, R., Alsurakji, T., Juaidi, A., Abdel-Fattah, S., Sayyed, mohammad, Haniyeh, M., Albatayneh, A., & Çamur, H. (2022). The use of SolidWorks in the evaluation of wind turbines in Palestine. *Energy Nexus*, 7, 100135. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100135>
- Academia - Comunidad de Plásticos Preciosos*. (s. f.). Recuperado 26 de agosto de 2024, de <https://community.preciousplastic.com/academy/intro.html>
- Afshariantorghabeh, S., Kärki, T., & Leminen, V. (2023). Thermoformability study of wood flour–HDPE composites with variations in wood content under vacuum forming. *Heliyon*, 9(11), e22174. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2023.E22174>
- Agudelo-Viana, L. G., & Aignerren-Aburto, J. M. (2008). *Diseños de investigación experimental y no-experimental*. <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/2622>
- Alonso, M. M. (2023). El Estudio de Casos como método de investigación cualitativa: Aproximación a su estructura, principios y especificidades. *Diversidad Académica*, 2(2), 243–267. <https://diversidadacademica.uaemex.mx/article/view/20623>
- Arbeláez-Toro, J. J., Loaiza, L. A., Rodríguez-Ledezma, C. A., Hincapié-Zuluaga, D. A., Leon-Simanca, P., & Torres-López, 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>
- Arbulu, C. (2023). Definición de método de investigación inductivo. *ResearchGate*.
- Ayala-Morillo, M. F. (2024). *Fabricación de una máquina texturizadora tipo laboratorio con partes diseñadas en solidworks y generadas en una impresora 3D*. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/15514>
- Blanco-Romero, M. E. (2018). *Metodología de diseño de máquinas apropiadas para contextos de comunidades en desarrollo*.
- Botero-Jaramillo, E., Romo-Organista, M. P., Méndez-Urquidez, B. C., & González-Blandon, C. M. (2013). Desarrollo de un material compuesto ultraligero para construir la plataforma de una mesa vibradora. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 14(4), 595–611. [https://doi.org/10.1016/S1405-7743\(13\)72269-8](https://doi.org/10.1016/S1405-7743(13)72269-8)
- Caicedo-Paz, B. A. (2023). Influencia del diagrama de PERT en empresas nariñenses. *Travesía Emprendedora*, 7(1), 11–16. <https://doi.org/10.31948/travesiaemprendedora.vol7-1.art1>
- Calderón, M., & Sotelo, T. (2021). *La economía circular en el desarrollo de proyectos de transformación de plástico en el sector de la construcción en Colombia: un análisis comparativo de las buenas prácticas internacionales*. <https://doi.org/https://doi.org/10.22490/ECBTI.5623>
- Calderón-Manzanillas, E. R., & Masabanda-Chasi, L. E. (2021). *Diseño y construcción del horno en la primera etapa del proceso de termoformado para el grupo de investigación Gideter*. <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/15153>
- Castro-Cepeda, L., & Cortés-Llanganate, J. (2022). Modelo matemático de un horno resistivo para termoformado de láminas de polipropileno. *Ingenius*, 28, 80–91. <https://doi.org/10.17163/ings.n28.2022.08>

- Castro-Rodríguez, D. J., Jiménez-González, Y., Gutiérrez-Benítez, O., Viera-Ribot, O. M., Rabassa-Rabassa, D., Casals-Pérez, E., & Demichela, M. (2022). Despliegue de la función calidad para determinar los requisitos de diseño en biopilas experimentales a escala de banco, evaluadas como alternativa resiliente para la degradación de residuos petrolizados. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 30(3), 439–454. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052022000300439>
- Çengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2011). *Transferencia de calor y masa*.
- Chen, Y., Quino, G., & Pellegrino, A. (2024). A comprehensive investigation on the temperature and strain rate dependent mechanical response of three polymeric syntactic foams for thermoforming and energy absorption applications. *Polymer Testing*, 130, 108287. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2023.108287>
- Cortez-Olivera, R., Martínez-Cosgalla, J. J., & Sánchez, F. D. (2021). *Los métodos experimentales y su importancia en la enseñanza de la ingeniería mecánica como complemento al diseño asistido por computadora*. https://www.revistaelectronica-ipn.org/ResourcesFiles/Contenido/26/TECNOLOGIA_26_001016.pdf
- Darko, A., Chan, A., & Ameyaw, E. (2019). Revisión de la aplicación del proceso analítico jerárquico (AHP) en la construcción. *revista de construcción...*, 19(5), 436–452. <https://doi.org/10.1080/15623599.2018.1452098>
- De la Cruz, V., & Gordillo, E. (2020). Validación de entrevistas por juicio de expertos en el estudio de la inclusión educativa en el área de lenguas extranjeras. *RIDE. Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 11(21), 110. <https://doi.org/10.23913/RIDE.V11I21.710>
- De La Hoz, E., Vélez, J., & López, L. (2017). Multiobjective linear programming model for reverse logistics in the polypropylene plastics industry. *Informacion Tecnologica*, 28(5), 31–36. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000500005>
- Díaz, P. (2021). *Simbiosis Industrial EC: La herramienta idónea para el ejercicio de una economía circular*. <https://revistaindustrias.com/simbiosis-industrial-ec-la-herramienta-idonea-para-el-ejercicio-de-una-economia-circular/>
- Díaz-Fuster, M. A., & Mezarino-Perez, M. J. (2023). Análisis comparativo del encofrado con madera convencional y madera plástica a nivel de costo, calidad y ambiente, Lima - 2023. *Repositorio Institucional - UTP*. <http://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/7464>
- Friedrich, D. (2021). Thermoplastic moulding of Wood-Polymer Composites (WPC): A review on physical and mechanical behaviour under hot-pressing technique. *Composite Structures*, 262, 113649. <https://doi.org/10.1016/J.COMPSTRUCT.2021.113649>
- Fuertes-Alvear, J. A. (2023). Caracterización mecánica y térmica de TPU (Thermoplastic Polyurethane) para impresión 3D del guardapolvo de palanca de cambios del Nissan Sentra b13. En *FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS APLICADAS*. <http://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/5107>
- Galicia-Alarcón, L. A., Balderrama-Trápaga, J. A., & Navarro, R. E. (2017). *Validez de contenido por juicio de expertos: propuesta de una herramienta virtual Content validity by experts judgment: Proposal for a virtual tool*. <https://doi.org/10.32870/Ap.v9n2.993>
- García-Medina, L. C., Núñez-Cordero, R. de F., Gallón-Estrada, D., Batista-Utria, L. A., Chiriboga-Pazmiño, C. E., Carvajal-Rodríguez, G. G., Bustamante-Montenegro, J. M., & Contento-Suescun, G. (2022). Manifestaciones cutáneas por el uso de EPP en el personal de la salud.

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, 6(4), 2536–2550.
https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i4.2779

- Gómez, J. C. O., & Cabrera, J. P. O. (2008). El proceso de análisis jerárquico (AHP) y la toma de decisiones multicriterio. Ejemplo de aplicación. *Scientia et Technica*, 2(39).
<https://doi.org/10.22517/23447214.3217>
- González-Bernal, R., Zamudio-Guerrero, C. A., Piña-Castillo, J. J., Trujillo-Jiménez, J. C., & Tinoco-Reyes, 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>
- González-Fajardo, P. A., & García-Tamayo, J. A. (2024). *Transformación y recuperación del plástico desde la mirada de los costos*.
<https://repository.ucc.edu.co/entities/publication/eddadda9-0c99-4be8-bcd9-24138be17490>
- GSL Industrias. (2021, octubre 31). *Materiales aislantes de calor*.
<https://industriasgsl.com/blogs/automatizacion/materiales-aislantes-de-calor>
- Guirao-Goris, S. J. A. (2015). Utilidad y tipos de revisión de literatura. *Ene*, 9(2), 0–0.
<https://doi.org/10.4321/S1988-348X2015000200002>
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza-Torres, C. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*.
- Herrera, J. P., Bedoya-Ruiz, D., & Hurtado, J. E. (2023). Recycled Plastic Lumber walls for one and two-story housing: An assessment of their seismic performance. *Journal of Building Engineering*, 65, 105822. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.105822>
- Herrera-German J., Mercedes-Chávez L., & Vásquez-Villalobos V. (2018). *Modificación de un horno eléctrico doméstico a incubadora de laboratorio controlada con Arduino*.
- Hu, Z., Jia, D., Qiao, X., & Zhang, N. (2024). Construction and application of product optimisation design model driven by user requirements. *Scientific Reports*, 14(1), 16381.
<https://doi.org/10.1038/s41598-024-67406-x>
- Jiménez-Rodríguez, R. A., Macías-Socarrás, I., & Núñez, P. (2020, junio). *Aplicación del QFD a productos de una fábrica de conservas*.
https://www.researchgate.net/publication/343166383_Aplicacion_del_QFD_a_productos_de_una_fabrica_de_conservas_Application_of_the_QFD_to_products_from_a_cannery
- JM Industrial. (2023). *Termocupla*. <https://www.jmi.com.mx/termocupla/>
- Kasper, A., Land, M., Bertrand, W., & Wijngaard, J. (2024). Designing production planning and control in smart manufacturing. *Computers in Industry*, 159–160, 104104.
<https://doi.org/10.1016/j.compind.2024.104104>
- Kudlác, Š., Štefancová, V., & Majerčák, J. (2017). Using the Saaty Method and the FMEA Method for Evaluation of Constraints in Logistics Chain. *Procedia Engineering*, 187, 749–755.
<https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2017.04.433>
- Kuzmin, A., Pinchuk, V., Alberto Garcia Arango, D., Carmelo Castellanos Polo, O., & Pinchuk, S. (2023). Improving the thermal efficiency of small molding equipment to speed up the start of production and reduce energy consumption. *Thermal Science and Engineering Progress*, 44, 102067. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2023.102067>

- Lee, C. K. M., Tsang, Y. P., Chong, W. W., Au, Y. S., & Liang, J. Y. (2024). Achieving eco-innovative smart glass design with the integration of opinion mining, QFD and TRIZ. *Scientific Reports*, 14(1), 9822. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-58867-1>
- Maquinaria, A. (2023). *El proceso de termoformado en plasticos*. <https://www.aristegui.info/el-proceso-de-termoformado-en-plasticos>
- Martínez-López, Y., Paes, J. B., & Martínez-Rodríguez, E. (2018). Propiedades ignífugas de tableros de madera plástica producidos con diferentes especies forestales y termoplásticos reciclados. *Madera y Bosques*, 24(2). <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2421495>
- Maynard, V., Landry-Blais, A., Francoeur, D., Bombardier, N., Chapdelaine, A., & Picard, M. (2023). Direct Resistance Heating of Aluminum Sheets for Rapid Superplastic Forming. *The 15th International Aluminium Conference*, 40. <https://doi.org/10.3390/engproc2023043040>
- Meza-de Luna, A., García-Reyes, E., González-Herrada, R., Sierra-Ortiz, R. B., Chávez-Valdivia, F., & Reyes-Cortés, R. (2022). Diseño y construcción de extrusora de PET reciclado. *Conciencia Tecnológica*, 63. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94472192003>
- Ministerio de Producción y Comercio Exterior e Inversiones y Pesca. (2021). *Libro Blanco de Economía Circular de Ecuador*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2021/05/Libro-Blanco-final-web_mayo102021.pdf
- Mishra, S., & Ullas, A. V. (2023). Concept Modelling of Small Scale Device for Continuous Production of Graphene using Solidworks. *Materials Today: Proceedings*, 79, 345–348. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.12.034>
- Molina-Montoya, N. (2005). ¿ Qué es el estado del arte? *Ciencia y Tecnología para la salud Visual y Ocular*, 5, 73–75.
- Morán-Ipiales, P. A., & Laica-Tulmo, B. F. (2024). *Diseño e implementación de un sistema de control y monitoreo de temperatura en hornos eléctricos para la quema de cerámica en los laboratorios de diseño gráfico*. <http://dspace.epoch.edu.ec/handle/123456789/21958>
- Morón-González, Y., & Morón-Álvarez, C. J. (2024, febrero 31). *Diseño conceptual de una tecnología para la obtención del HNO₃ al 99 % en peso*. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852024000100214&lang=es
- Mur-Pérez, H. (2021). *Modelos virtuales de mecanismos diversos: Modelación, simulación y análisis mediante SolidWorks*. <http://hdl.handle.net/2117/346980>
- Nardi, D., & Sinke, J. (2021). Design analysis for thermoforming of thermoplastic composites: prediction and machine learning-based optimization. *Composites Part C: Open Access*, 5, 100126. <https://doi.org/10.1016/J.JCOMC.2021.100126>
- Neira-Neira, M. L., Giler-Escandón, L. V., & Quevedo-Vázquez, J. O. (2020). Maquina bio-recicladora de plástico pet: un emprendimiento viable. Caso Azogues – Ecuador. *Telos*, 22(2), 395–409. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=99364322011>
- Niebles-Núñez, E. E., Quesada T., F., Santamaria D., H., Méndez-Muñoz, D. J., & Ruiz-Rodríguez, A. A. (2009). *Metodología para el diseño y construcción de una máquina para medición del desgaste abrasivo basado en la norma astM g-65*. 7(1), 53–58. <https://www.redalyc.org/pdf/4962/496250975008.pdf>
- Nogueira, N. D., Narciso, C. R. P., de Lima Felix, A., & Farinassi Mendes, R. (2022). Pressing Temperature Effect on the Properties of Medium Density Particleboard Made with Sugarcane

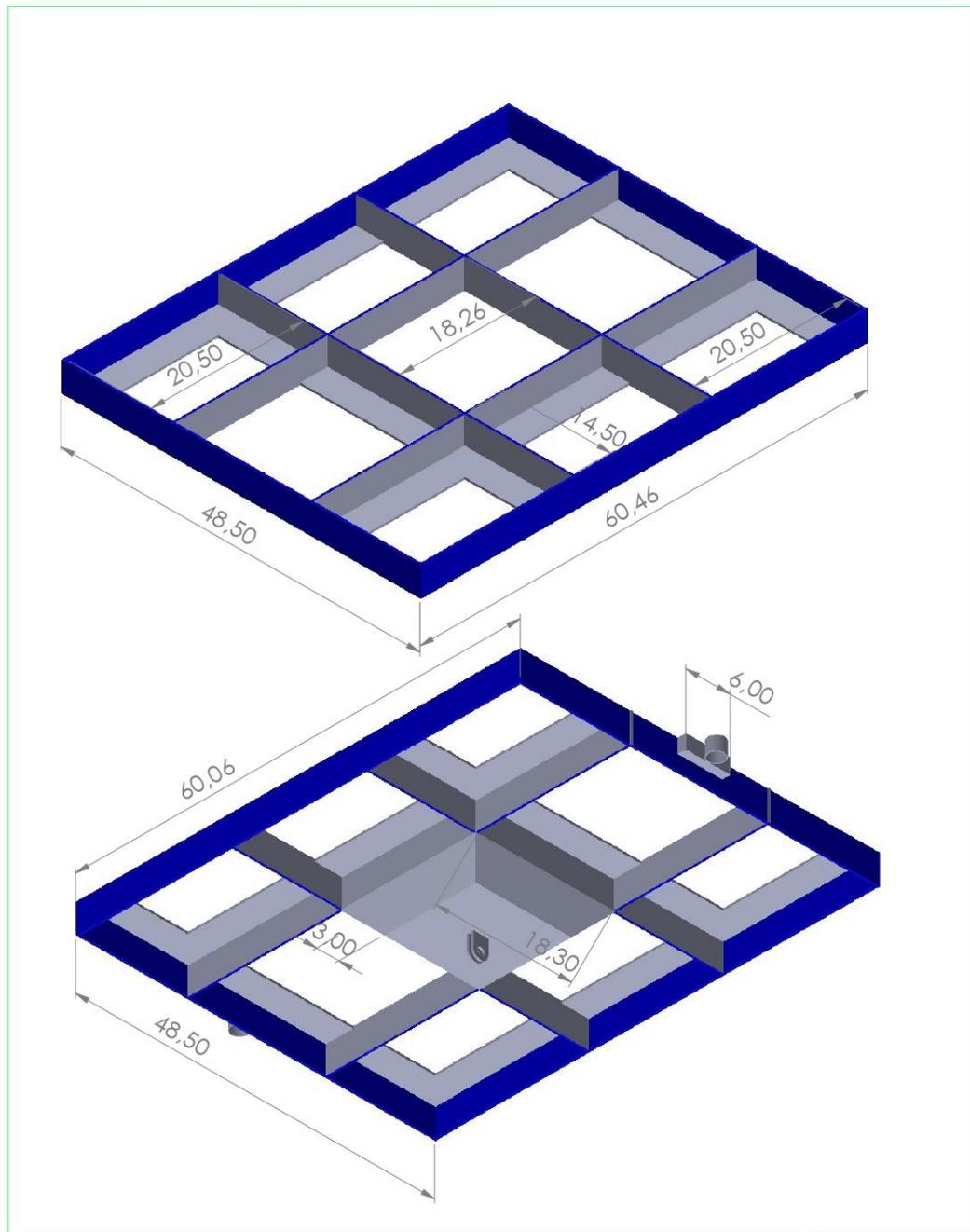
- Bagasse and Plastic Bags. *Materials Research*, 25, e20210491. <https://doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2021-0491>
- OMEGA Engineering. (2023). *Calentadores tubulares eléctricos*. <https://www.omega.co.uk/prodinfo/tubular-heaters.html#>
- Ormaza-Andrade, J. E., Neira-Neira, M. L., Giler-Escandon, L. V., & Quevedo-Vázquez, J. O. (2020). Maquina bio-recicladora de plástico pet: un emprendimiento viable. Caso Azogues – Ecuador. *Telos Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales*, 22(2), 395–409. <https://doi.org/10.36390/TELOS222.11>
- Pasetti-Monizza, G., Di-Blasio, I., & Matt, D. T. (2024). Exploring applications of Computational Design techniques and design for manufacturability for costs reduction of prefabricated timber-based façades: The ‘LegnAttivo’ design prototype. *Developments in the Built Environment*, 19, 100489. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2024.100489>
- Perero-De La Cruz, J. I., & Muyulema-Allaica, J. C. (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>
- Petticrew, M., & Roberts, H. (2006). *Systematic Reviews in the Social Sciences*. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9780470754887>
- Portilla, J. (2022). Análisis del Marco Normativo de Economía Circular en Ecuador Orientado al Sector de los Plásticos. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 13(1), 38–47. <https://doi.org/10.29166/REVFIG.V13I1.3364>
- Portilla-Jiménez, J. G. (2022). Análisis del Marco Normativo de Economía Circular en Ecuador Orientado al Sector de los Plásticos. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 13(1). <https://doi.org/10.29166/revfig.v13i1.3364>
- Ragno, M. (2023, agosto 9). *Descripción de los sistemas de control de bucle abierto y cerrado: características, ejemplos y aplicaciones*. <https://www.rteng.com/blog/open-loop-vs-closed-loop-control-systems>
- Ramírez-Elías, A., Arbesú-García, M. I., Ramírez-Elías, A., & Arbesú-García, M. I. (2019). El objeto de conocimiento en la investigación cualitativa: un asunto epistemológico. *Enfermería universitaria*, 16(4), 424–435. <https://doi.org/10.22201/ENEO.23958421E.2019.4.735>
- Rodríguez-Acosta, A. (2018). El costeo basado en actividades: una tendencia actual. *Cofin Habana*, 12(2), 204–213. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2073-60612018000200014&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Rosales-Davalos, J., Gil-Antonio, L., Mastache-Mastache, J. E., & López-Ramírez, 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>
- Saint-Gobain. (2023, marzo 28). *Lana de vidrio o lana de roca, ¿qué diferencias presentan?*
- Sangucho-Barros, D. S., Velasco-Cevallos, D. A., & Viera-Arroba, L. P. (2023). Propiedades físicas y mecánicas de reciclados de plásticos producidos en Ecuador como material de construcción. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 16(2), 58–69. <https://doi.org/10.29166/REVFIG.V16I2.4495>
- Sheikhkhoshkar, M., Bril El-Haouzi, H., Aubry, A., Hamzeh, F., & Sakikhales, M. (2024). An innovative integrated framework for multi-level production planning and control systems in

- construction. *Developments in the Built Environment*, 19, 100524.
<https://doi.org/10.1016/j.dibe.2024.100524>
- SkillCat. (2021). *Todo lo que necesitas saber sobre los hornos*.
<https://www.skillcatapp.com/post/the-ultimate-oven-guide>
- Suárez-Borbor, J. J. (2022). *Contaminación por residuos sólidos en tres playas: Chipipe, La Carioca y Ballenita, provincia de Santa Elena – Ecuador, abril- agosto 2022*.
<https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/8872>
- Tupia, W., Brañez Haro, L. E., Arribasplata, A., & Acosta, J. (2020). Metodología experimental para determinar los parámetros del proceso de moldeo por compresión de materiales compuestos de termoplástico reciclado y madera recuperada. *Matéria (Rio de Janeiro)*, 25(3), e-12788. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620200003.1088>
- Turan, E., Konuşkan, Y., Yıldırım, N., Tunçalp, D., İnan, M., Yasin, O., Turan, B., & Kerimoğlu, V. (2022). Digital twin modelling for optimizing the material consumption: A case study on sustainability improvement of thermoforming process. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 35, 100655. <https://doi.org/10.1016/J.SUSCOM.2022.100655>
- Turku, I., Kärki, T., & Puurtinen, A. (2018). Durability of wood plastic composites manufactured from recycled plastic. *Heliyon*, 4(3), e00559. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00559>
- Ullman, D. G. (2010). *The Mechanical Design Process. Fourth edition*, 130–150.
- Vanegas-Padilla, A. P., Fuentes-Fuentes, K. D., & Torres-Cervera, K. P. (2021). Comparación del ACV de 2 estibas construidas con madera natural y madera plástica en Simapro 8.4.0. *Revista Politécnica*, 17(34), 9–29. <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v17n34a1>
- Vargas Isaza, C. A., Urrego Yepes, W., & Mena, J. (2022). Desempeño Mecánico de Compuestos de Madera Plástica de Matriz Poliolefínica. *Revista Lasallista de Investigación*, 19(1), 265–284. <https://doi.org/10.22507/rli.v19n1a16>
- Vargas-Isaza, C. A., Urrego-Yepes, W., & Mena, J. (2022). Desempeño Mecánico de Compuestos de Madera Plástica de Matriz Poliolefínica. *Revista Lasallista de Investigación*, 19(1), 265–284. <https://doi.org/10.22507/RLI.V19N1A16>
- Veiga-de Cabo, J., de la Fuente-Díez, E., & Zimmermann-Verdejo, M. (2008). Modelos de estudios en investigación aplicada: conceptos y criterios para el diseño. *Med Segur Trab*, 210, 81–88. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2581381&orden=0&info=link>
- Vicente-Agulló, D., & Bollaín-Pastor, C. (2019). *Presencia de microplásticos en aguas y su potencial impacto en la salud pública*.
https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57272019000100012
- Villa, A., Mónica, A., Jean, C., Jeison, C., & Vanessa, R. (2024). *Selección de elementos y diseño de una máquina lavadora de ajonjolí con una capacidad de procesamiento de 400 kg/h*.
- Villegas-Tobar, A. E. (2024). *Análisis de la contaminación por plásticos y su relación con los macroinvertebrados en la cuenca del Río Tahuando*.
<https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/16085>
- Wale, M. E., Nesbitt, D. Q., Henderson, B. S., Fitzpatrick, C. K., Creechley, J. J., & Lujan, T. J. (2021). Applying ASTM Standards to Tensile Tests of Musculoskeletal Soft Tissue: Methods to Reduce Grip Failures and Promote Reproducibility. *Journal of Biomechanical Engineering*, 143(1). <https://doi.org/10.1115/1.4048646>

- Yu, Q., Wang, Y., Ye, H., Sheng, Y., Shi, Y., Zhang, M., Fan, W., Yang, R., Xia, C., & Ge, S. (2021). Preparation and Properties of Wood Plastic Composites with Desirable Features Using Poplar and Five Recyclable Plastic Wastes. *Applied Sciences*, *11*(15), 6838. <https://doi.org/10.3390/app11156838>
- Zhang, Q., Zhao, Y., Li, J., & Shi, H. (2020). Microplastics in Food: Health Risks. *Handbook of Environmental Chemistry*, *95*, 343–356. https://doi.org/10.1007/698_2020_453
- Zorro-Acevedo, P. A., & Ramírez-Hernández, L. D. (2022). *La madera plástica como alternativa para construcción de viviendas rurales*. <https://hdl.handle.net/10983/30401>

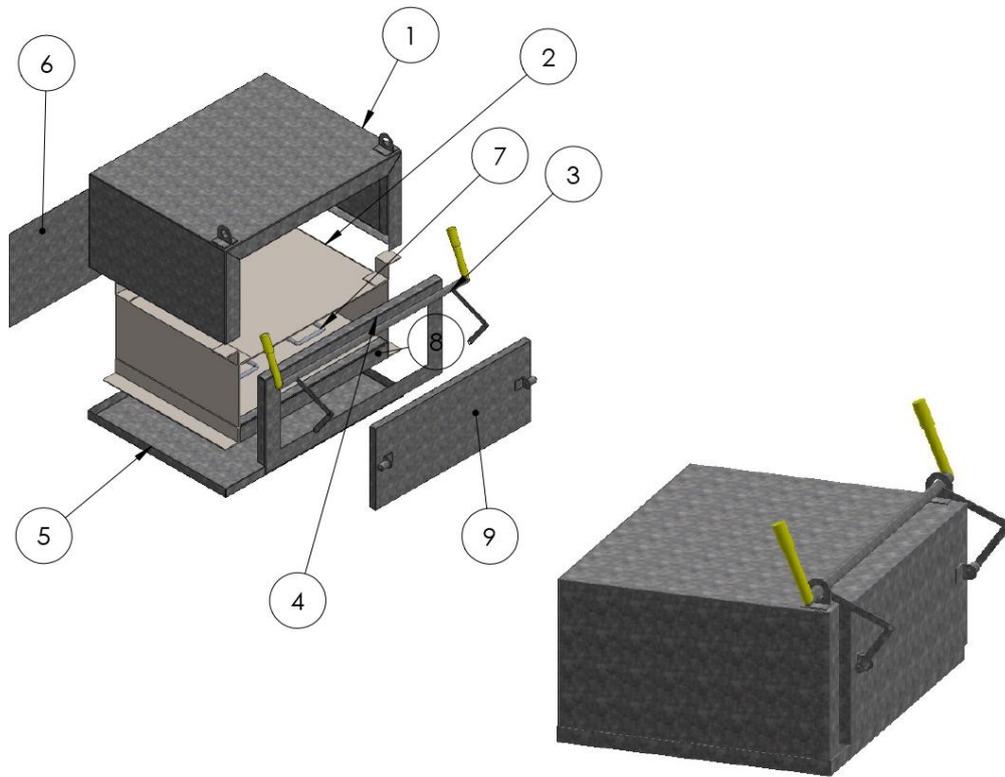
ANEXOS

Anexo A



<p align="center">UPSE FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL</p>		Datos	Nombre	Fecha:	Firma
		Dibujó:	Erick Malave Jesus Tigrero		
<p align="center">IMPRESIÓN 3D</p>		Revisó:	Ing. D. Jaque		
		Aprobó:	Ing. D. Jaque		
Escala:	Sistema: 	Tolerancia: ±0.1	Peso:	Material: Angulo de 40x4 Acero ASTM A36	Nº 03

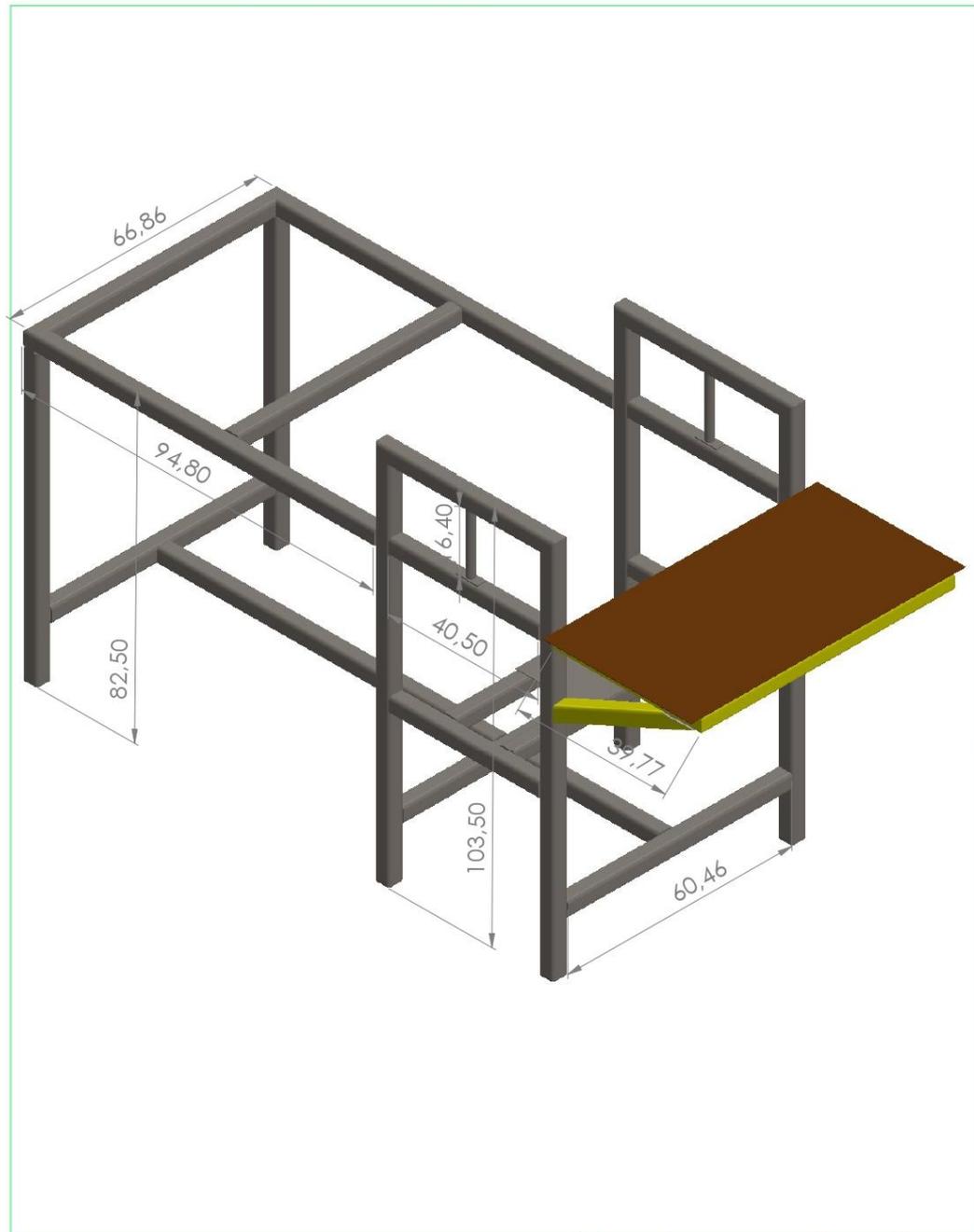
Anexo B



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Horno U	1
2	Horno Interior	1
3	Palanca Puerta	1
4	Tapa Delantera	1
5	Tapa inferior	1
6	Tapatrasera	1
7	Resistencia	2
8	Tapa de abajo	1
9	puerta	1
10	Soporte de eje	2
11	Palanca Adicional 2	2
12	Adicional Puerta	2

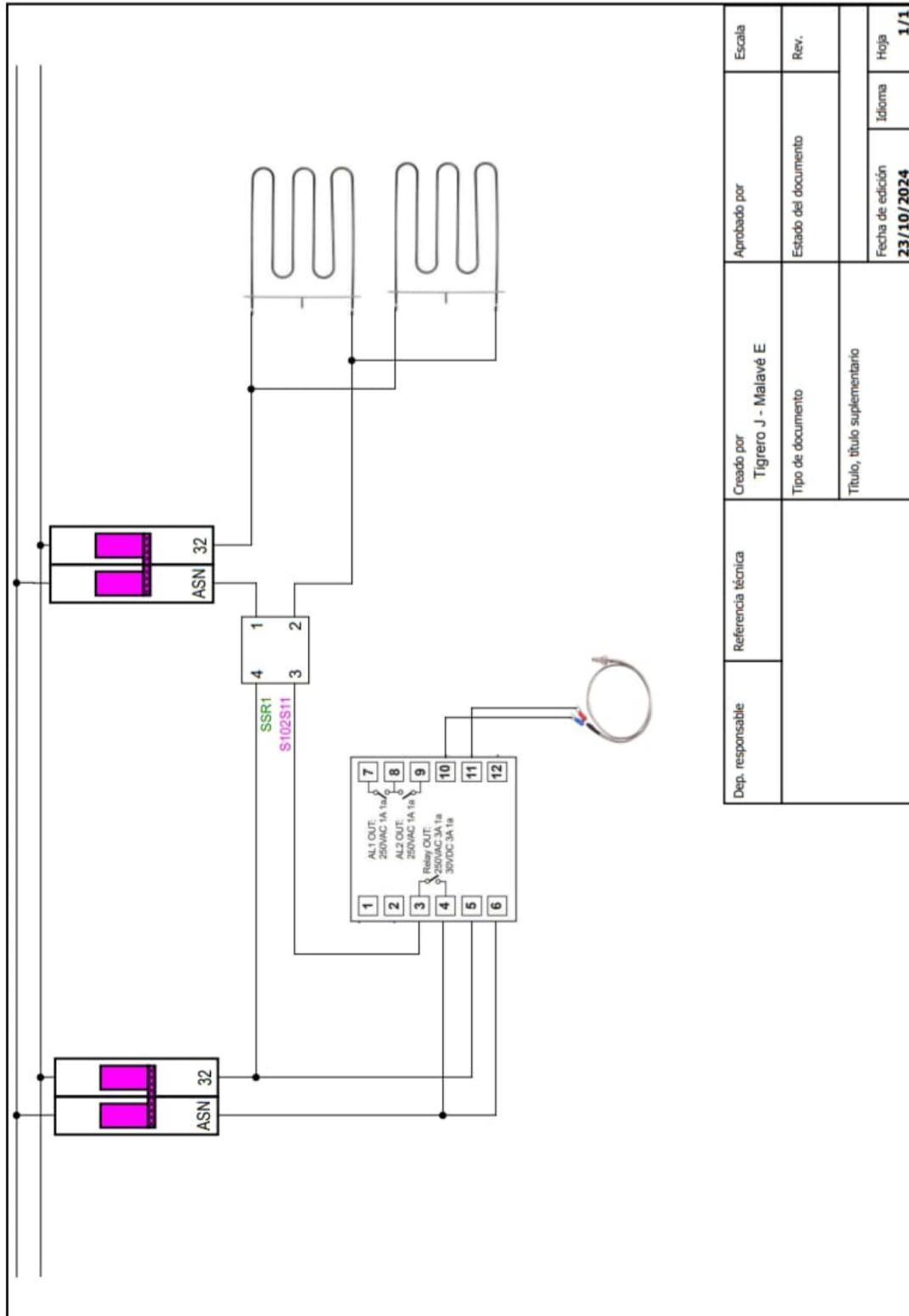
<p align="center">UPSE FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL</p>		Datos	Nombre	Fecha:	Firma
		Dibujó:	Erick Malave Jesus Tigrero		
<p align="center">IMPRESIÓN 3D</p>		Revisó:	Ing. D. Jaque		
		Aprobó:	Ing. D. Jaque		
Escala:	Sistema: 	Tolerancia: ±0.1	Peso: 15 Kg	Material: Acero negro 3mm Acero galvanizado 1.5 mm	
				Nº 01	

Anexo C



<p align="center">UPSE FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL</p>		Datos	Nombre	Fecha:	Firma
		Dibujó:	Erick Malave Jesus Tigrero		
<p align="center">IMPRESIÓN 3D</p>		Revisó:	Ing. D. Jaque		
		Aprobó:	Ing. D. Jaque		
		Escala:	Sistema: 	Tolerancia: ± 0.1	Peso:

Anexo D: Esquema eléctrico del horno.



Dep. responsable	Referencia técnica	Creado por Tigreiro J - Malavé E	Aprobado por	Escala
		Tipo de documento	Estado del documento	Rev.
		Título, título suplementario	Fecha de edición 23/10/2024	Idioma
				Hoja 1/1

Anexo E: Evidencia de validación por expertos.



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



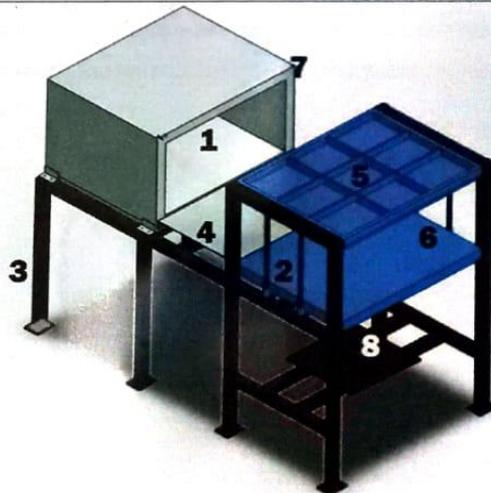
Asunto: Validación por expertos.

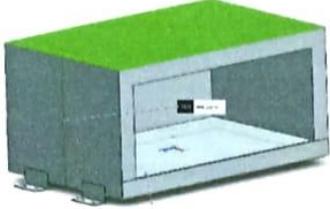
Opinión: Yo, Alejandro Velazquez, con C.I. 0908182280; requerido por los estudiantes de ingeniería industrial, Tigreiro Parrales Jesús Alberto, con C.I. 0928168715 y Malavé Soriano Erick Javier con C.I. 2450538141, para evaluar las características técnicas del diseño de un primer prototipo de máquina de moldeo por termocompresión contenido en su trabajo de integración curricular, específicamente en el apartado de desarrollo del diseño conceptual.

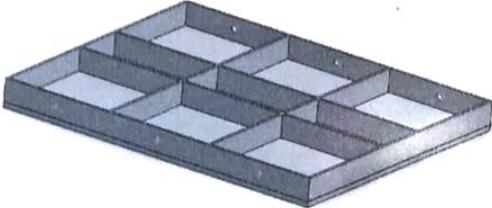
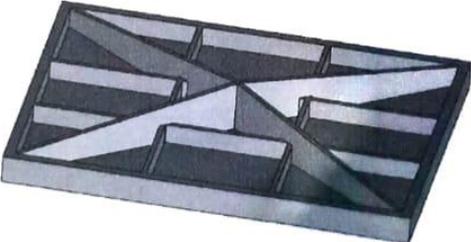
Firma:

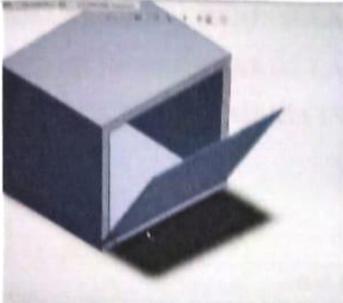
TEMA: FABRICACIÓN DE UNA MAQUINA DE MOLDEO POR TERMOCOMPRESIÓN PARA ELABORAR PANELES PLÁSTICOS COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA, ECUADOR.

Propuesta de diseño #1



N°	PREGUNTAS	RESPUESTA DEL EXPERTO
1	 <p data-bbox="443 730 1110 891">¿Considera apropiado para el horno en contar con un sistema de calentamiento por resistencias y el uso de acero negro galvanizado de 3mm y lana de vidrio como capa de aislamiento térmico?</p>	A
2	 <p data-bbox="443 1223 1110 1339">¿Cómo evalúa el sistema de guías de sujeción con el que cuenta la prensa móvil al estar acoplada para que transmita presión hacia arriba?</p>	P
3	 <p data-bbox="443 1693 1110 1776">¿Cómo evalúa la distribución de cargas y esfuerzos de cada estación de trabajo de la estructura?</p>	P

4		D
	<p>¿La superficie de trabajo ubicada entre el horno y la prensa, es apropiada para el desplazamiento de los moldes entre las secciones del proceso de manufactura?</p>	
5		E
	<p>¿Piensa que el diseño del plato de la prensa fija cumple con la característica de capacidad de resistencia a la presión? (Está hecho de ángulos y platinas de 3mm).</p>	
6		A
	<p>¿Considera que el diseño del plato de la prensa móvil es adecuado y estable para cumplir con el objetivo de distribuir la fuerza ejercida por la gata? (Está hecho de ángulos y platinas de 3mm).</p>	

7		D
<p>¿Considera que la forma de la puerta del horno tiene una apariencia estilizada, funcional y de cierre con sellado de alta eficiencia? (Vidrio templado)</p>		
8		A
<p>¿Estima que la implementación de un sistema de gata hidráulica de 2 toneladas es adecuada para ejercer presión sobre el molde?</p>		

Escala de valoración Likert			Datos del Experto	
1	Inaceptable	I	Identificación.	0908182280.
2	Deficiente	D	Años de experiencia.	30+
3	Regular	R	Teléfono.	0996866782
4	Aceptable	A	Correo.	aviluz@ups.edu.ec
5	Eficiente	E	Fecha de validación.	15/10/2024

Anexo F: Evidencia de validación por expertos



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

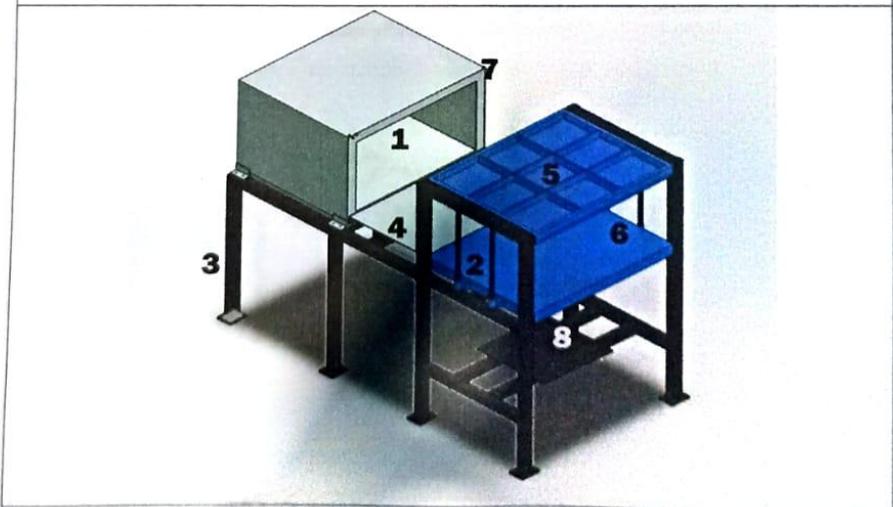


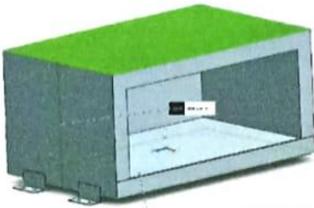
Asunto: Validación por expertos.
Opinión: Yo, Marco Bermeo García, con C.I. 1707326843; requerido por los estudiantes de ingeniería industrial, Tigreiro Parrales Jesús Alberto, con C.I. 0928168715 y Malavé Soriano Erick Javier con C.I. 2450538141, para evaluar las características técnicas del diseño de un primer prototipo de máquina de moldeo por termocompresión contenido en su trabajo de integración curricular, específicamente en el apartado de desarrollo del diseño conceptual.

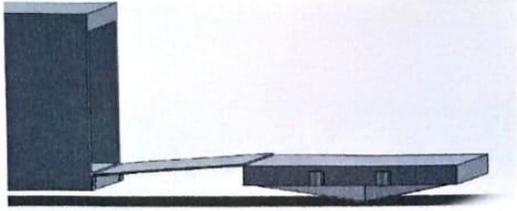
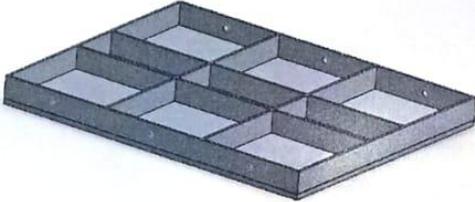
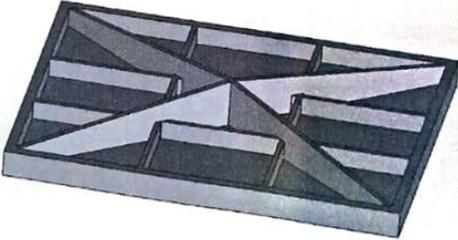
Firma:

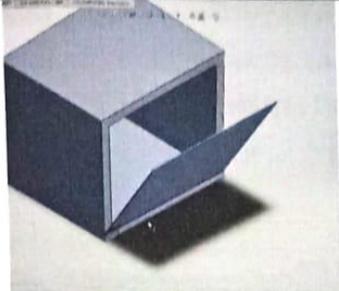
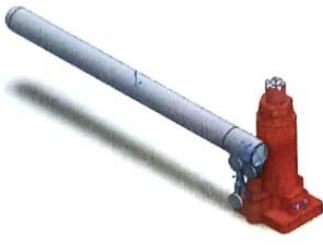
TEMA: FABRICACIÓN DE UNA MAQUINA DE MOLDEO POR TERMOCOMPRESIÓN PARA ELABORAR PANELES PLÁSTICOS COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA, ECUADOR.

Propuesta de diseño #1



N°	PREGUNTAS	RESPUESTA DEL EXPERTO
1	 <p data-bbox="373 703 1013 864">¿Considera apropiado para el horno en contar con un sistema de calentamiento por resistencias y el uso de acero negro galvanizado de 3mm y lana de vidrio como capa de aislamiento térmico?</p>	R
2	 <p data-bbox="373 1173 1013 1290">¿Cómo evalúa el sistema de guías de sujeción con el que cuenta la prensa móvil al estar acoplada para que transmita presión hacia arriba?</p>	R
3	 <p data-bbox="373 1637 1013 1711">¿Cómo evalúa la distribución de cargas y esfuerzos de cada estación de trabajo de la estructura?</p>	A

4		D
	<p>¿La superficie de trabajo ubicada entre el horno y la prensa, es apropiada para el desplazamiento de los moldes entre las secciones del proceso de manufactura?</p>	
5		L
	<p>¿Piensa que el diseño del plato de la prensa fija cumple con la característica de capacidad de resistencia a la presión? (Está hecho de ángulos y platinas de 3mm.</p>	
6		L
	<p>¿Considera que el diseño del plato de la prensa móvil es adecuado y estable para cumplir con el objetivo de distribuir la fuerza ejercida por la gata? (Está hecho de ángulos y platinas de 3mm.</p>	

7		D
<p>¿Considera que la forma de la puerta del horno tiene una apariencia estilizada, funcional y de cierre con sellado de alta eficiencia? (Vidrio templado)</p>		
8		R
<p>¿Estima que la implementación de un sistema de gata hidráulica de 2 toneladas es adecuada para ejercer presión sobre el molde?</p>		

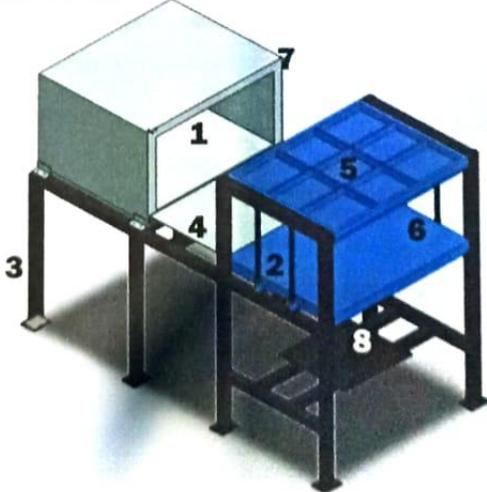
Escala de valoración Likert			Datos del Experto	
1	Inaceptable	I	Identificación.	1707326813
2	Deficiente	D	Años de experiencia.	20
3	Regular	R	Teléfono.	0985033821
4	Aceptable	A	Correo.	mbermeo@upse.edu.ec
5	Eficiente	E	Fecha de validación.	15 Octubre 2024

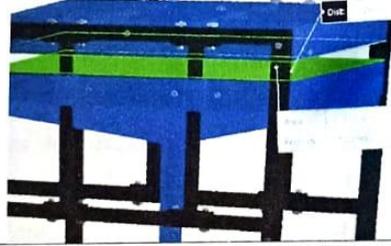
Anexo G: Evidencia de validación por expertos

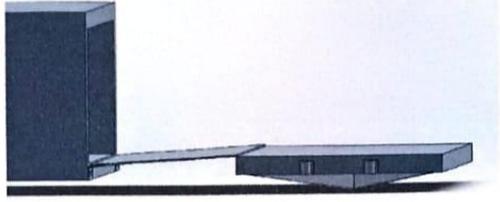
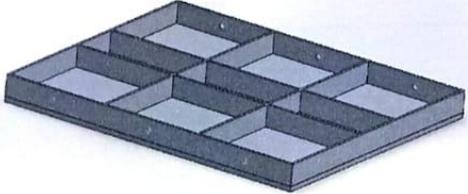
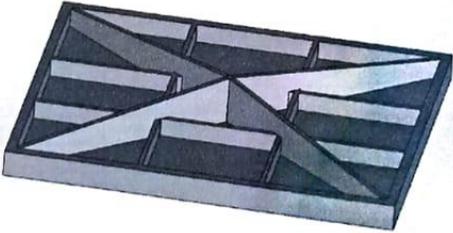


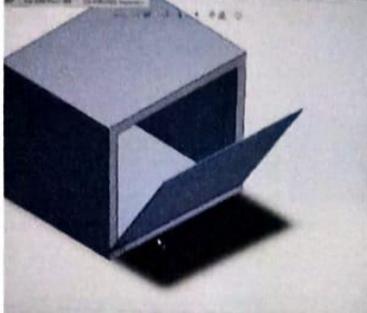
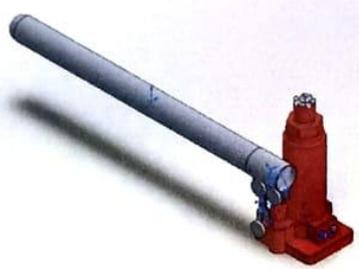
UNIVERSIDAD ESTADAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



<p>Asunto: Validación por expertos.</p> <p>Opinión: Yo, <u>Wison Mac Barrantes</u>, con C.I. <u>1804310636</u>; requerido por los estudiantes de ingeniería industrial, Tigrero Parrales Jesús Alberto, con C.I. 0928168715 y Malavé Soriano Erick Javier con C.I. 2450538141, para evaluar las características técnicas del diseño de un primer prototipo de máquina de moldeo por termocompresión contenido en su trabajo de integración curricular, específicamente en el apartado de desarrollo del diseño conceptual.</p>
<p>Firma: </p>
<p>TEMA: FABRICACIÓN DE UNA MAQUINA DE MOLDEO POR TERMOCOMPRESIÓN PARA ELABORAR PANELES PLÁSTICOS COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA, ECUADOR.</p>
<p>Propuesta de diseño #1</p> 

N°	PREGUNTAS	RESPUESTA DEL EXPERTO
1	 <p data-bbox="383 683 1013 840">¿Considera apropiado para el horno en contar con un sistema de calentamiento por resistencias y el uso de acero negro galvanizado de 3mm y lana de vidrio como capa de aislamiento térmico?</p>	A
2	 <p data-bbox="383 1153 1013 1265">¿Cómo evalúa el sistema de guías de sujeción con el que cuenta la prensa móvil al estar acoplada para que transmita presión hacia arriba?</p>	R
3	 <p data-bbox="383 1601 1013 1680">¿Cómo evalúa la distribución de cargas y esfuerzos de cada estación de trabajo de la estructura?</p>	R

4	 <p data-bbox="371 636 986 748">¿La superficie de trabajo ubicada entre el horno y la prensa, es apropiada para el desplazamiento de los moldes entre las secciones del proceso de manufactura?</p>	D
5	 <p data-bbox="371 1032 986 1144">¿Piensa que el diseño del plato de la prensa fija cumple con la característica de capacidad de resistencia a la presión? (Está hecho de ángulos y platinas de 3mm.</p>	I
6	 <p data-bbox="371 1458 986 1615">¿Considera que el diseño del plato de la prensa móvil es adecuado y estable para cumplir con el objetivo de distribuir la fuerza ejercida por la gata? (Está hecho de ángulos y platinas de 3mm.</p>	D

7	 <p data-bbox="311 672 997 795">¿Considera que la forma de la puerta del horno tiene una apariencia estilizada, funcional y de cierre con sellado de alta eficiencia? (Vidrio templado)</p>	D
8	 <p data-bbox="311 1108 997 1198">¿Estima que la implementación de un sistema de gata hidráulica de 2 toneladas es adecuada para ejercer presión sobre el molde?</p>	R

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

Datos del Experto	
Identificación.	1804570636
Años de experiencia.	7 años
Teléfono.	0763292501
Correo.	ebueno@upse.edu.ec
Fecha de validación.	15 de octubre 2019

Anexo H: Evidencia de validación por expertos



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



Asunto: Validación por expertos.
Opinión: Yo, Alexandro C. Veloz Aguayo con C.I. 0908182280; requerido por los estudiantes de ingeniería industrial, Tigrero Parrales Jesús Alberto, con C.I. 0928168715 y Malavé Soriano Erick Javier con C.I. 2450538141, para evaluar la pertinencia de las preguntas contenidas en una guía de entrevista con los ejes temáticos de funcionamiento, costo, fabricación, seguridad y medio ambiente, para determinar los requerimientos del cliente, dirigido a la Ing. Griselda Herrera Phd, Docente de la Carrera de Ingeniería Civil y Directora del proyecto integral de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería titulada “Prototipo de una Vivienda Sostenible Aplicadas a Regiones Semiáticas”, teniendo la necesidad de la fabricación de una máquina de moldeo por termocompresión para producir paneles de madera plástica.

Firma:

TEMA: FABRICACIÓN DE UNA MAQUINA DE MOLDEO POR TERMOCOMPRESIÓN PARA ELABORAR PANELES PLÁSTICOS COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA, ECUADOR.

Nº	PREGUNTAS	RESPUESTA DEL EXPERTO
1	¿Qué le motiva a construir una vivienda sostenible y a qué sector poblacional está dirigido este proyecto?	A
2	¿Qué material resalta como fundamental dentro de las viviendas sostenibles, que respalden las prácticas del reciclaje?	E
3	¿Qué productos desea obtener con la adquisición de una máquina fabricada para la producción haciendo uso de altas temperaturas y presión?	E
4	¿Qué parámetros del producto requerido estima obtener considerando tamaño, uniformidad, textura y resistencia?	E
5	¿Cuál es el objetivo que desea lograr con la implementación de esta máquina para lograr satisfacer la necesidad hallada?	E

6	¿Considera necesario la implementación de un sistema cero residuos que implique gestionar la fabricación de la máquina con parámetros que eviten la generación de desechos al medio ambiente?	A
7	¿Cuál sería la capacidad estimada de producción diaria o mensual que requiere para cumplir con la meta planteada?	A
8	¿Qué nivel de automatización considera importante para la correcta manipulación hombre-máquina?	E
9	¿Qué requisitos deberá cumplir la máquina en tanto a las dimensiones del espacio de operatividad, para el diseño pertinente de los componentes y su límite de seguridad?	A
10	¿Existen requisitos de eficiencia energética respecto al sistema de fundición que deba mencionar, para adaptar el sistema eléctrico antes de su fabricación?	E
11	¿Qué aspectos considera necesario que deba cumplir la máquina, para que contribuya a reducir el impacto ambiental y se sume al mercado de equipos que no generan contaminación cruzada?	E
12	¿Qué importancia le da a la adquisición de una máquina ya establecida en el mercado en comparación con una diseñada y fabricada a medida?	A
13	¿Como considera que la máquina va a contribuir al éxito de su proyecto de investigación?	A

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

Identificación.	0908182280
Años de experiencia.	30+
Teléfono.	0996866782
Correo.	aveloz@upse.edu.ec
Fecha de validación.	15/10/2024

Anexo I: Evidencia de validación por expertos



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



Asunto: Validación por expertos.

Opinión: Yo, Mareo Bermeo Corcía, con C.I. 1707326813; requerido por los estudiantes de ingeniería industrial, Tigrero Parrales Jesús Alberto, con C.I. 0928168715 y Malavé Soriano Erick Javier con C.I. 2450538141, para evaluar la pertinencia de las preguntas contenidas en una guía de entrevista con los ejes temáticos de funcionamiento, costo, fabricación, seguridad y medio ambiente, para determinar los requerimientos del cliente, dirigido a la Ing. Griselda Herrera Phd, Docente de la Carrera de Ingeniería Civil y Directora del proyecto integral de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería titulada "Prototipo de una Vivienda Sostenible Aplicadas a Regiones Semiáridas", teniendo la necesidad de la fabricación de una máquina de moldeo por termocompresión para producir paneles de madera plástica.

Firma:

TEMA: FABRICACIÓN DE UNA MAQUINA DE MOLDEO POR TERMOCOMPRESIÓN PARA ELABORAR PANELES PLÁSTICOS COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA, ECUADOR.

Nº	PREGUNTAS	RESPUESTA DEL EXPERTO
1	¿Qué le motiva a construir una vivienda sostenible y a qué sector poblacional está dirigido este proyecto?	A
2	¿Qué material resalta como fundamental dentro de las viviendas sostenibles, que respalden las prácticas del reciclaje?	A
3	¿Qué productos desea obtener con la adquisición de una máquina fabricada para la producción haciendo uso de altas temperaturas y presión?	E
4	¿Qué parámetros del producto requerido estima obtener considerando tamaño, uniformidad, textura y resistencia?	E
5	¿Cuál es el objetivo que desea lograr con la implementación de esta máquina para lograr satisfacer la necesidad hallada?	A

6	¿Considera necesario la implementación de un sistema cero residuos que implique gestionar la fabricación de la máquina con parámetros que eviten la generación de desechos al medio ambiente?	E
7	¿Cuál sería la capacidad estimada de producción diaria o mensual que requiere para cumplir con la meta planteada?	E
8	¿Qué nivel de automatización considera importante para la correcta manipulación hombre-máquina?	E
9	¿Qué requisitos deberá cumplir la máquina en tanto a las dimensiones del espacio de operatividad, para el diseño pertinente de los componentes y su límite de seguridad?	E
10	¿Existen requisitos de eficiencia energética respecto al sistema de fundición que deba mencionar, para adaptar el sistema eléctrico antes de su fabricación?	A
11	¿Qué aspectos considera necesario que deba cumplir la máquina, para que contribuya a reducir el impacto ambiental y se sume al mercado de equipos que no generan contaminación cruzada?	E
12	¿Qué importancia le da a la adquisición de una máquina ya establecida en el mercado en comparación con una diseñada y fabricada a medida?	A
13	¿Como considera que la máquina va a contribuir al éxito de su proyecto de investigación?	E

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

Datos del Experto	
Identificación.	1707326813
Años de experiencia.	20
Teléfono.	0985033825
Correo.	mbarme@upse.edu.ec
Fecha de validación.	15 Octubre 2021.

Anexo J: Evidencia de validación por expertos



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



Asunto: Validación por expertos.		
Opinión: Yo, <u>Edison Neiza Quevedo</u> , con C.I. <u>180421063-6</u> ; requerido por los estudiantes de ingeniería industrial, Tigrero Parrales Jesús Alberto, con C.I. 0928168715 y Malavé Soriano Erick Javier con C.I. 2450538141, para evaluar la pertinencia de las preguntas contenidas en una guía de entrevista con los ejes temáticos de funcionamiento, costo, fabricación, seguridad y medio ambiente, para determinar los requerimientos del cliente, dirigido a la Ing. Griselda Herrera Phd, Docente de la Carrera de Ingeniería Civil y Directora del proyecto integral de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería titulada “Prototipo de una Vivienda Sostenible Aplicadas a Regiones Semiáridas”, teniendo la necesidad de la fabricación de una máquina de moldeo por termocompresión para producir paneles de madera plástica.		
Firma: 		
TEMA: FABRICACIÓN DE UNA MAQUINA DE MOLDEO POR TERMOCOMPRESIÓN PARA ELABORAR PANELES PLÁSTICOS COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA, ECUADOR.		
Nº	PREGUNTAS	RESPUESTA DEL EXPERTO
1	¿Qué le motiva a construir una vivienda sostenible y a qué sector poblacional está dirigido este proyecto?	A
2	¿Qué material resalta como fundamental dentro de las viviendas sostenibles, que respalden las prácticas del reciclaje?	E
3	¿Qué productos desea obtener con la adquisición de una máquina fabricada para la producción haciendo uso de altas temperaturas y presión?	E
4	¿Qué parámetros del producto requerido estima obtener considerando tamaño, uniformidad, textura y resistencia?	E
5	¿Cuál es el objetivo que desea lograr con la implementación de esta máquina para lograr satisfacer la necesidad hallada?	E

6	¿Considera necesario la implementación de un sistema cero residuos que implique gestionar la fabricación de la máquina con parámetros que eviten la generación de desechos al medio ambiente?	A
7	¿Cuál sería la capacidad estimada de producción diaria o mensual que requiere para cumplir con la meta planteada?	E
8	¿Qué nivel de automatización considera importante para la correcta manipulación hombre-máquina?	A
9	¿Qué requisitos deberá cumplir la máquina en tanto a las dimensiones del espacio de operatividad, para el diseño pertinente de los componentes y su límite de seguridad?	A
10	¿Existen requisitos de eficiencia energética respecto al sistema de fundición que deba mencionar, para adaptar el sistema eléctrico antes de su fabricación?	E
11	¿Qué aspectos considera necesario que deba cumplir la máquina, para que contribuya a reducir el impacto ambiental y se sume al mercado de equipos que no generan contaminación cruzada?	E
12	¿Qué importancia le da a la adquisición de una máquina ya establecida en el mercado en comparación con una diseñada y fabricada a medida?	E
13	¿Como considera que la máquina va a contribuir al éxito de su proyecto de investigación?	A

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

Identificación.	.80457063-6
Años de experiencia.	7 años
Teléfono.	0393292901
Correo.	ebuenano@upse.edu.ec
Fecha de validación.	15-10-2024

Anexo K: Características del controlador de temperatura

Dual Display, PID Control Temperature Controller

■ Features

- Realizes ideal temp. controlling with newly developed PID control algorithm and 100ms high speed sampling
- Built-in relay output or SSR drive output selectable : Enables to phase control and cycle control with SSR drive output (SSRP function)
- Dramatically increased visibility using wide display part
- Enhanced convenience of wiring and maintenance by connector plug type (TCN4S-□-P)
- Mounting space saving with compact design : Approx. 38% reduced size compared with existing model (depth-based)



⚠ Please read "Safety Considerations" in the instruction manual before using.



■ Ordering Information

T	CN	4	S	-	2	4	R	-	P
<p>Wiring method: P Bolt wiring method; Connector plug connection method^{※1}</p> <p>Control output: R Relay contact output+SSR drive output^{※2}</p> <p>Power supply: 2 24VAC 50/60Hz, 24-48VDC; 4 100-240VAC 50/60Hz</p> <p>Auxiliary output: 2 Alarm1+Alarm2 output</p> <p>Size: S DIN W48×H48mm; M DIN W72×H72mm; H DIN W48×H96mm; L DIN W96×H96mm</p> <p>Digit: 4 9999 (4-digit)</p> <p>Setting type: CN Dual display type, set by touch switch</p> <p>Item: T Temperature controller</p>									

※1: Only for TCN4S model.

※2: In case of the AC voltage model, SSR drive output method (standard ON/OFF control, cycle control, phase control) is available to select.

■ Specifications

Series	TCN4S	TCN4M	TCN4H	TCN4L
Power supply	AC power 100-240VAC~ 50/60Hz	AC/DC power 24VAC~ 50/60Hz, 24-48VDC=		
Allowable voltage range	90 to 110% of rated voltage			
Power consumption	AC power Max. 5VA (100-240VAC 50/60Hz)	AC/DC power Max. 5VA (24VAC 50/60Hz), max. 3W (24-48VDC)		
Display method	7-segment (PV: red, SV: green), Other display (green, red) LED			
Character size	PV (W×H) 7.0×15.0mm	9.5×20.0mm	7.0×14.6mm	11.0×22.0mm
Character size	SV (W×H) 5.0×9.5mm	7.5×15.0mm	6.0×12.0mm	7.0×14.0mm
Input type	RTD DP1100Ω, Cu50Ω (allowable line resistance max. 5Ω per a wire)	Thermocouple K(CA), J(IC), L(IC), T(CC), R(PR), S(PR)		
Display accuracy ^{※1}	RTD • At room temperature (23°C ±5°C): (PV ±0.5% or ±1°C, select the higher one) ±1-digit • Out of room temperature range: (PV ±0.5% or ±2°C, select the higher one) ±1-digit For TCN4S-□-P, add ±1°C by accuracy standard.	Thermocouple		
Control output	Relay 250VAC~ 3A, 30VDC= 3A, 1a	SSR 12VDC= ±2V 20mA Max.		
Alarm output	AL1, AL2 Relay output: 250VAC 1A 1a			
Control method	ON/OFF control, P, PI, PD, PID control			
Hysteresis	1 to 100°C/°F (0.1 to 50.0°C/°F) variable			
Proportional band (P)	0.1 to 999.9°C/°F			
Integral time (I)	0 to 9999 sec			
Derivative time (D)	0 to 9999 sec			
Control period (T)	0.5 to 120.0 sec			
Manual reset	0.0 to 100.0%			
Sampling period	100ms			

※1: ① At room temperature (23°C ±5°C)

- Thermocouple R (PR), S (PR), below 200°C: (PV ±0.5% or ±3°C, select the higher one) ±1-digit
- Thermocouple R (PR), S (PR), over 200°C: (PV ±0.5% or ±2°C, select the higher one) ±1-digit
- Thermocouple L (IC), RTD Cu50Ω: (PV ±0.5% or ±2°C, select the higher one) ±1-digit

② Out of room temperature range

- Thermocouple R (PR), S (PR), below 200°C: (PV ±1.0% or ±6°C, select the higher one) ±1-digit
- Thermocouple R (PR), S (PR), over 200°C: (PV ±0.5% or ±5°C, select the higher one) ±1-digit
- Thermocouple L (IC), RTD Cu50Ω: (PV ±0.5% or ±3°C, select the higher one) ±1-digit

For TCN4S-□-P, add ±1°C by accuracy standard.

SENSORS

CONTROLLERS

MOTION DEVICES

SOFTWARE

(J) Temperature Controllers

(K) SSRs

(L) Power Controllers

(M) Counters

(N) Timers

(O) Digital Panel Meters

(P) Indicators

(Q) Converters

(R) Digital Display Units

(S) Sensor Controllers

(T) Switching Mode Power Supplies

(U) Recorders

(V) HMIs

(W) Panel PC

(X) Field Network Devices

Autonics

J-107

Anexo L: Características del sensor de temperatura

2000.00.625 a 2000.00.626

EBCHQ

SENSORES DE TEMPERATURA



REF	TIPO	RANGO DE TRABAJO	Ø BULBO	MONTAJE	EXTENSIÓN
56000	Termocupla tipo J Clase 1 precisión ±1.5°C	0 a 450°C	3/16" x 10cm	Tornillo	Fibra de vidrio enmallada 2m
56100				Bayoneta	
56120				Racor 5/16"	
56200	Termocupla tipo K Clase 1 precisión ±1.5°C	-50 a 260°C	3/16" x 10cm	Tornillo	
56300				Bayoneta	
56320				Racor 5/16"	
56727*	RTD Pt-100	0 a 200°C	3mm x 20cm	-----	Fibra de vidrio enmallada 80cm
56732*				-----	Teflón 1m
TW-R(PT100)			3/16" x 5cm	-----	Fibra de vidrio enmallada 80cm Autonics

*Extensión con conector miniatura

Anexo M: Desarrollo del método QFD en Excel.

