



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN MECATRÓNICA

TEMA:

“PRENSA DE CALOR PARA TERMOFORMADO DE DESECHOS PLÁSTICOS
CON EL FIN DE TRANSFORMARLOS EN PLANCHAS”

AUTOR:

FABRICIO ISRAEL MANCHIMBA ILES

DIRECTOR:

PhD. DAVID ALBERTO OJEDA PEÑA

Ibarra, 2025



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100333185-5		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Manchimba Iles Fabricio Israel		
DIRECCIÓN:	Ibarra, Barrio San Francisco del Tejar		
EMAIL:	fimanchimbai@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	062625019	TELF. MOVIL	0997004251

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Prensa de calor para termoformado de desechos plásticos con el fin de transformarlos en planchas
AUTOR (ES):	Manchimba Iles Fabricio Israel
FECHA:	2025/02/24
SOLO PARA TRABAJOS DE TITULACIÓN	
PROGRAMA:	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/>
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Mecatrónico
DIRECTOR:	PhD. David Alberto Peña Ojeda
ASESOR:	MSc. Cosme Damián Mejía Echeverría

AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Fabricio Israel Manchimba Iles, con cédula de identidad Nro. 1003331855, en calidad de autor (es) y titular (es) de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de integración curricular descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

Ibarra, a los 24 días del mes de febrero de 2025

EL AUTOR:



.....

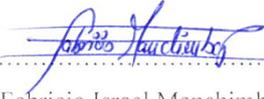
Nombre: Fabricio Israel Manchimba Iles

CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 24 días, del mes de febrero de 2025

EL AUTOR:



Nombre: Fabricio Israel Manchimba Iles

**CERTIFICACIÓN DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN
CURRICULAR**

Ibarra, 24 de febrero de 2025

PhD. David Alberto Peña Ojeda

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de titulación “Prensa de calor para termoformado de desechos plásticos con el fin de transformarlos en planchas”, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Unidad Académica de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.



.....
PhD. David Alberto Peña Ojeda

C.C.: 1757898489

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Tribunal Examinador del trabajo de titulación “Prensa de calor para termoformado de desechos plásticos con el fin de transformarlos en planchas” elaborado por Fabricio Israel Manchimba Iles, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecatrónico, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:



.....
David Alberto Ojeda Peña
C.C.: 1757898489



.....
Cosme Damián Mejía Echeverría
C.C.: 1002641288

DEDICATORIA

Esta tesis la dedico a mi familia por haberme apoyado y acompañado siempre, en especial a mis padres quienes han sido el pilar fundamental en mi vida. Quienes me han sabido apoyar a pesar de mis errores para poder cumplir la meta de llegar a ser un profesional, gracias por ser los mejores padres del mundo.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a todas y cada una de las personas que he conocido en mi vida universitaria, quienes me han apoyado de una u otra manera para terminar esta etapa de mi vida.

A mis padres por haberme dado su apoyo para tener una educación digna y superarme personal y profesionalmente.

A mis compañeros, quienes se volvieron grandes amigos y supieron ayudarme con palabras o acciones durante esta etapa universitaria.

A cada docente que me brindó su conocimiento para desarrollarme profesionalmente, quienes más que docentes también fueron amigos y muchas veces consejeros.

RESUMEN

Debido al creciente aumento de residuos plásticos generados por diversos sectores económicos y su bajo índice de reciclaje, se presenta el diseño e implementación de un sistema de prensado con calor para plásticos termoformables. Con este dispositivo se pretende ofrecer una herramienta para la reutilización de los residuos plásticos al transformarlos en planchas, las cuales pueden tener un uso posterior en aplicaciones de maquetería, diseño de elementos decorativos mediante procesos de corte y grabado láser, o procesos de moldeo por vacío con el objetivo de darles nuevas formas. Para el diseño se llevó a cabo una investigación de sistemas similares en el mercado y posteriormente el desarrollo de un sistema enfocado en la problemática planteada, con base en esta investigación previa se plantearon alternativas de solución según las características de los materiales a procesar. Aplicando la metodología de Diseño para la Manufactura y el Ensamble (DFMA) se realizó un diseño asistido por computadora (CAD) para obtener un producto fácil de implementar, modificar y dar mantenimiento; proceso previo a la implementación de una prensa vertical la cual mediante calor controlado en su parte superior inicia un proceso de termoformado de residuos triturados de polimetilmetacrilato (PMMA) y polietileno de alta densidad (HDPE) conformándolos en una plancha homogénea. Se establecieron los parámetros de diseño mecánico y eléctrico para asegurar que la máquina pueda cumplir con los objetivos planteados y que además, brinde un nivel de seguridad hacia los operarios de la misma. Finalmente, se realizó un análisis del costo de construcción del sistema versus sistemas comerciales disponibles.

Palabras clave: Residuos, Polimetilmetacrilato, Poliestireno de alta densidad, Termoformado, DFMA, CAD.

ABSTRACT

Due to the growing increase of plastic waste generated by various economic sectors and its low recycling rate, the design and implementation of a heat pressing system for thermoformable plastics is presented. The purpose of this device is to offer a tool for the reuse of plastic waste by transforming it into sheets, which can be further used in machining applications, design of decorative elements through laser cutting and engraving processes, or vacuum molding processes in order to give them new shapes. For the design, an investigation of similar systems in the market was carried out and then the development of a system focused on the problem posed, based on this previous investigation, alternative solutions were proposed according to the characteristics of the materials to be processed. Applying the Design for Manufacturing and Assembly (DFMA) methodology, a computer aided design (CAD) was carried out to obtain a product easy to implement, modify and maintain; process prior to the implementation of a vertical press which by means of controlled heat in its upper part starts a thermoforming process of polymethylmethacrylate (PMMA) and high density polyethylene (HDPE) shredded waste, forming them into a homogeneous sheet. The mechanical and electrical design parameters were established to ensure that the machine could meet the proposed objectives and provide a level of safety for the machine operators. Finally, an analysis of the construction cost of the system versus commercially available systems was performed.

Keywords: Waste, Polymethylmethacrylate, High-density polystyrene, Thermoforming, DFMA, CAD.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA	1
AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD	2
CONSTANCIAS	3
CERTIFICACIÓN DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	4
APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR	5
DEDICATORIA.....	6
AGRADECIMIENTO	7
RESUMEN	8
ABSTRACT	9
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	10
ÍNDICE DE FIGURAS	14
ÍNDICE DE TABLAS.....	17
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	18
1.1 Planteamiento del problema	18
1.2 Objetivo General.....	20
1.3 Objetivos Específicos	20
1.4 Alcance	20
1.5 Justificación	21
CAPÍTULO 2: MARCO REFERENCIAL	22
2.1 Antecedentes.....	22
2.2 Bases Teóricas	23
2.2.1 Prensa	23
2.2.1.1 Prensa mecánica.....	23
2.2.1.2 Prensa Hidráulica.....	24
2.2.1.3 Prensa Neumática	25

2.2.2	Plato térmico.....	25
2.2.2.1	Aluminio.....	26
2.2.2.2	Resistencias.....	26
2.2.3	Control de temperatura.....	29
2.2.3.1	Control de temperatura ON/OFF.....	30
2.2.3.2	Control de temperatura proporcional.....	30
2.2.3.3	Controlador de temperatura PID.....	31
2.2.4	Sensores.....	31
2.2.5	Polímeros Sintéticos (Plásticos).....	34
2.2.5.1	Termoestables.....	34
2.2.5.2	Termoplásticos.....	35
2.2.6	Reciclaje Plástico.....	37
2.2.6.1	Métodos de reciclaje plástico.....	37
2.2.7	Elementos de protección eléctrica en tableros.....	38
2.2.7.1	Disyuntor MCB.....	38
2.2.7.2	Diferencial RCCB.....	39
2.2.7.3	RCBO - Disyuntor de corriente residual con sobrecarga.....	40
2.2.7.4	Puesta a Tierra.....	41
CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO.....		42
3.1	Modelo de la investigación.....	42
3.2	Diseño de la investigación.....	42
3.2.1	Fase 1: Análisis de requisitos.....	42
3.2.2	Fase de diseño.....	43
3.2.3	Fase de implementación.....	43
3.2.4	Fase de evaluación.....	44
3.2.5	Fase de validación.....	44
CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y ANÁLISIS.....		45

4.1	Especificaciones del sistema	45
4.2	Planteamiento de alternativas de solución.....	47
4.2.1	Selección de la alternativa más eficiente mediante el uso de criterios ponderados	48
4.2.2	Especificaciones del sistema a diseñar	49
4.2.2.1	Sistema de calentamiento	49
4.2.2.2	Estructura	50
4.2.2.3	Sistema eléctrico y de control.....	52
4.3	Cálculos y análisis	52
4.3.1	Análisis estático de la estructura	52
4.3.2	Sistema de prensado	55
4.3.3	Sistema de calentamiento	59
4.3.3.1	Potencia calorífica requerida	59
4.3.3.2	Simulación térmica	61
4.3.4	Sistema eléctrico y de control.....	70
4.3.4.1	Consumo eléctrico	72
4.3.4.2	Selección de conductor AWG	72
4.3.4.3	Programación del controlador de temperatura REX-C100.....	73
4.4	Implementación del sistema	76
4.5	Pruebas	76
4.5.1	Pruebas de calentamiento	79
4.5.1.1	Prueba 1: Calentamiento en vacío	80
4.5.1.2	Prueba 2: Estabilización de temperatura en vacío	83
4.5.1.3	Prueba 3: Calentamiento a 165 °C, modo Auto Tuning (AT)	84
4.5.1.4	Prueba 4: Termoformado 1 de PMMA, modo AT	87
4.5.1.5	Prueba 5: Termoformado 2 de PMMA, modo AT	90
4.5.1.6	Prueba 6: Termoformado de HDPE.....	92

4.5.2	Resultados.....	95
4.6	Costos	97
4.6.1	Estructura.....	98
4.6.2	Componentes	99
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		101
4.7	Conclusiones.....	101
4.8	Recomendaciones	102
BIBLIOGRAFÍA		104
ANEXOS		111

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1 Alternativa comercial de la empresa CR Clarke[7].....	22
Fig. 2.2. Prensa mecánica de simple efecto [9]	24
Fig. 2.3. Prensa Hidráulica [10].....	24
Fig. 2.4 Plato con resistencia para impresión transfer [11]	25
Fig. 2.5 Resistencias tubulares industriales [15]	27
Fig. 2.6 Resistencias de banda [16]	28
Fig. 2.7 Resistencia de cartucho [17].....	28
Fig. 2.8 Modelos de controladores de temperatura [18].....	29
Fig. 2.9 Sensores termopares [20]	33
Fig. 2.10 Sensores RTD [20]	33
Fig. 2.11 Clasificación de los plásticos [21].....	34
Fig. 2.12 Simbología y códigos de identificación para reciclaje plástico [24]...	35
Fig. 2.13 Tipos de plásticos y sus ejemplos [25].....	36
Fig. 2.14 Simbología de un Disyuntor Magnetotérmico [28].....	39
Fig. 2.15 Simbología de un interruptor diferencial [31].....	40
Fig. 2.16 Simbología de un interruptor diferencial [32]	40
Fig. 4.1 Conjunto de resistencias de cartucho y matrices de aluminio para inserción.....	49
Fig. 4.2 Alternativa 1 de solución estructural (descartada)	50
Fig. 4.3 Alternativa 2 de solución estructural (seleccionada).....	51
Fig. 4.4 Desplazamientos en la estructura	53
Fig. 4.5 Factor de seguridad de la estructura sometida a una fuerza de 75 N ...	54
Fig. 4.6 Análisis de la estructura sometida a una fuerza de 2250 N.....	54
Fig. 4.7 Análisis estático de la estructura con un espesor de pared de 1,2 mm y sometida a una fuerza de 2250 N.....	55
Fig. 4.8 Propiedades físicas del ensamble de la mesa elevadora.....	57
Fig. 4.9 Vista en explosión del sistema de prensado	58
Fig. 4.10 Sistema de prensado en vista axonométrica	58
Fig. 4.11 Simulación inicial de la distribución térmica en la matriz a los 3 minutos	64
Fig. 4.12 Distribución térmica a los 10 minutos.....	64
Fig. 4.13 Distribución térmica a los 10 minutos, vista seccionada.....	65

Fig. 4.14 Distribución térmica sobre la placa de calor	66
Fig. 4.15 Distribución de matriz/resistencias (rojo) y zonas de calor (naranja) en la placa	66
Fig. 4.16 Análisis térmico de la distribución realizada	67
Fig. 4.17 Simulación térmica, vista superior	68
Fig. 4.18 Simulación térmica, vista inferior	68
Fig. 4.19 Vista explosionada del sistema de calentamiento	69
Fig. 4.20 Vista isométrica del sistema de calentamiento.....	69
Fig. 4.21 Diagrama de conexiones de los elementos del sistema	71
Fig. 4.22 Diagrama multifilar del sistema eléctrico	72
Fig. 4.23 Calibres de conductor y amperaje máximo según norma NEC.....	73
Fig. 4.24 Pantalla principal del controlador REX-C100.....	74
Fig. 4.25 Cambio de parámetros de ON/OFF a PID.....	74
Fig. 4.26 Parámetros recomendados para un control ON/OFF eficiente.....	75
Fig. 4.27 Sistema eléctrico, vista en explosión.....	75
Fig. 4.28 Prensa de calor y sus subsistemas, vista en explosión	76
Fig. 4.29 HDPE triturado (izquierda), PMMA triturado (derecha)	77
Fig. 4.30 Regresión logarítmica para la estimación del tiempo de termoformado del HDPE	78
Fig. 4.31 Ubicación de la termocupla, vista lateral con transparencias.....	79
Fig. 4.32 Ubicación de la termocupla, vista isométrica con transparencias	80
Fig. 4.33 Gráfico de prueba de calentamiento en vacío	82
Fig. 4.34 Gráfico de la prueba de estabilización de temperatura.....	84
Fig. 4.35 Comportamiento de la temperatura en modo AT.....	86
Fig. 4.36 Comportamiento de la temperatura en la prueba 1 de termoformado con PMMA	89
Fig. 4.37 Resultado obtenido de la prueba de termoformado 1 con PMMA.....	90
Fig. 4.38 Comportamiento de la temperatura para la prueba 2 de termoformado con PMMA	91
Fig. 4.39 Material obtenido de la prueba de termoformado 2 con PMMA	92
Fig. 4.40. Comportamiento de la temperatura durante la prueba de termoformado de HDPE	94
Fig. 4.41 Material obtenido de prueba de termoformado con HDPE.....	94
Fig. 4.42 Consumo del sistema (en espera izquierda, en trabajo derecha)	96

Fig. 4.43 Temperatura máxima en los conductores	96
Fig. 4.44. Temperatura promedio en los conductores.....	97

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Especificaciones de los materiales más comunes en resistencias tubulares [15]	27
Tabla 2.2 Tipos de termocuplas	32
Tabla 2.3 Tabla de relación intensidad-corriente considerada mortal	40
Tabla 4.1 Requerimientos del dispositivo	46
Tabla 4.2 Matriz Morfológica.....	47
Tabla 4.3 Ponderación de criterios para las alternativas existentes	48
Tabla 4.4 Cálculo criterios vs peso	48
Tabla 4.5 Tabla comparativa ventajas vs desventajas de la solución propuesta.	51
Tabla 4.6 Temperatura de fusión y densidad de diferentes materiales termoplásticos [39], [40].....	56
Tabla 4.7. Dimensiones físicas de los elementos de la plancha	59
Tabla 4.8. Calor específico de los materiales de la plancha. [42], [43].....	60
Tabla 4.9 Compendio de valores de resistencias más comunes investigadas.....	62
Tabla 4.10 Tiempo de termoformado vs espesor para HDPE a 220 °C	78
Tabla 4.11. Prueba de calentamiento en vacío.....	81
Tabla 4.12 Prueba de estabilización de temperatura en vacío.	83
Tabla 4.13 Prueba de AT a 165 °C del controlador de temperatura.....	85
Tabla 4.14 Prueba 1 de termoformado con PMMA	88
Tabla 4.15 Prueba de termoformado 2 de PMMA	90
Tabla 4.16 Prueba de termoformado de HDPE	93
Tabla 4.17. Propiedades térmicas consultadas sobre los materiales utilizados. [51], [52], [53], [54], [55]	95
Tabla 4.18 Dimensiones de los elementos de la estructura	98
Tabla 4.19 Elementos de sujeción utilizados y costos.....	98
Tabla 4.20 Componentes del sistema (mecánicos y eléctricos)	99
Tabla 4.21 Costo final del proyecto.....	100

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

En la actualidad, los plásticos son utilizados para una gran variedad de aplicaciones debido a su versatilidad, facilidad de producción y bajo peso. Sin embargo, al ser la mayoría de estos de un solo uso, los residuos plásticos generados son un problema que está afectando al ecosistema debido a que su tiempo de degradación es muy alto, ocasionando así un impacto ambiental alto. Según recientes estudios los plásticos están afectando a la salud al acumularse en la cadena trófica.

Según datos del INEC, en el 2018 en Ecuador se arrojaron 12.739,01 toneladas de basura diarias, siendo el 11,43% de éstas plástico, lo cual representa 531.461 toneladas anuales de plásticos [1]. La gran mayoría de estos son desechados en rellenos sanitarios debido a la falta de políticas de reciclaje en el país, el 96% de la basura es acumulado en los rellenos sanitarios y solo llega a reciclarse el 4% del total de basura generada.

Al problema de un inadecuado manejo de los desechos se suma la mala gestión de las instituciones relacionadas con la gestión de residuos, que aplican criterios y estrategias distintas para atender situaciones comunes. Los residuos que se generan en las ciudades se disponen en su gran mayoría en rellenos sanitarios a cielo abierto, representando una fuente significativa de contaminación del suelo, del agua y del aire, con un alto riesgo a la salud pública en el corto y mediano plazo.

Del porcentaje de plásticos desechados, mediante procesos mecánicos de separación se pueden separar los plásticos de un solo uso de los termoplásticos, los termoplásticos como tal tienen una alta capacidad de reutilización que, en gran medida no es aprovechada debido a la poca cultura de reciclaje y una escasa política de concientización e industrialización sobre el tema. Las pocas iniciativas de reciclaje tienen como fin su reutilización en formas de extrusión o inyección, necesitando para estos procesos de maquinaria y moldes que pueden aumentar los costos del proceso de reciclaje y disminuyendo aún más los escasos márgenes de ganancia que estas iniciativas producen, disminuyendo su atractivo hacía posibles PYMES que podrían surgir para resolver las necesidades de reciclaje.

En el país, lo que se recupera en mayor cantidad y posee un significativo valor de mercado para los recicladores son los envases de PET, que se utilizan principalmente para

las bebidas como refrescos y aguas. Este tipo de plástico recibe un estímulo para su reciclaje, lo que lo convierte en una opción comercialmente interesante tanto para los recicladores como para la industria. Asimismo, el polietileno de alta densidad y el polietileno de baja densidad también son reciclados comúnmente [2]. Dentro de la industria agrícola uno de los materiales más utilizados es el HDPE (polietileno de alta densidad) más conocido comúnmente como geomembrana, el cual se lo usa para contener volúmenes de agua para riego de plantaciones y como una forma de almacenar el gas o productos provenientes de sistemas de biodigestores. Las geomembranas de polietileno ya sean de alta o baja densidad, se diseñan principalmente para prevenir la infiltración de sustancias nocivas y contaminantes en el suelo. También funcionan como una barrera impermeable en infraestructuras hidráulicas, como reservorios para la agricultura, estanques, canales, plantas de tratamiento, balsas de evaporación y criaderos de peces, entre otros [3].

Este material al ser usado para cubrir grandes extensiones no tiene otras formas de aprovechamiento luego de haber recortado sus excedentes y es desechado cuando tiene tamaños menores a 2 metros cuadrados. Además, existen termoplásticos como el PMMA (plexiglás o acrílico), el cuál es uno de los más usados en el Ecuador por la industria publicitaria al ser este un material con una alta resistencia mecánica y fácil de mecanizar mediante calor o corte láser. Sin embargo, durante su proceso de maquinado para los diversos fines requeridos se produce una alta cantidad de desechos de este, los cuáles son desechados como cualquier otro residuo, sin darles la oportunidad de volver a formar parte de la cadena productiva pese a su elevado costo.

Tomando en cuenta los antecedentes sobre el reciclaje en el Ecuador, se puede asumir que es una iniciativa que está en auge y tiene el potencial de desarrollarse en diferentes sectores productivos mientras a la vez, cumple con una causa socio ambiental presente, que es la de reducir la cantidad de desechos plásticos destinados a los vertederos de basura y generar ingresos para las personas que se dedican al proceso de reciclaje. Las personas dedicadas al proceso de reciclaje han sido tradicionalmente rezagados e identificados como un grupo humano en estado de vulnerabilidad, y según cifras de la Iniciativa Regional de Reciclaje (IRR) (2015), se identificó que su conocimiento sobre reciclaje ha sido empírico, ya que el 82% indicó que no ha recibido algún tipo de formación académica sobre reciclaje o para desempeñar su trabajo. [4]

Dado lo anterior, desde la Carrera de Ingeniería en Mecatrónica, se aprecia que es necesario propiciar el incremento del reciclaje plástico y fomentar emprendimientos para mejorar la gestión de desechos plásticos, además del reciclaje de polietilenos se debe incentivar, en la medida de lo posible, el reciclaje del resto de materiales plásticos que también son desechados por las diversas industrias y aprovecharlos para darles una segunda vida a través del reciclaje, y mientras se hace esto se pueden generar beneficios económicos para las personas involucradas en el proceso.

1.2 Objetivo General

Construir una prensa de calor para termoformado de desechos plásticos con el fin de transformarlos en planchas.

1.3 Objetivos Específicos

- Establecer los parámetros y requerimientos del diseño.
- Diseñar el sistema mecánico y de control eléctrico de la prensa.
- Implementar el diseño del modelo para el termoformado de planchas plásticas.
- Evaluar el funcionamiento de la máquina.

1.4 Alcance

La prensa estará diseñada para producir prototipos de planchas plásticas, las cuáles posteriormente podrán utilizadas para aplicaciones de maquetería, señalización, llaveros, etc. Esta constará de un sistema electrónico para un control térmico que tiene como objetivo variar la temperatura en función de la materia prima. El desarrollo de diseño implicará el diseño de un modelo 3D de la prensa y sus componentes, la construcción será un prototipo experimental que permitirá producir las planchas a partir de restos triturados de materiales termoplásticos.

El sistema constará de una parte mecánica que involucra tanto la estructura de soporte de sus principales partes; los elementos de calefacción y los de prensado, como también de un sistema eléctrico y de control para la alimentación del área de calentamiento. El sistema de alimentación funcionará a 120V de corriente alterna mientras que la parte de control y monitoreo trabajará a 24V de corriente directa. Y contará con un sistema de seguridad que incluye protecciones contra cortocircuitos y

sobrevoltajes, como también protección contra corrientes de fuga que puedan poner en riesgo a los operarios.

1.5 Justificación

En la actualidad, el crecimiento del uso de materiales plásticos y su bajo nivel de reciclaje ha ocasionado un problema medioambiental serio. Los plásticos representan el 10,9% del total nacional de desechos, los cuales luego van a botaderos a cielo abierto o rellenos sanitarios. Para las pocas iniciativas de reciclaje un problema común es el almacenamiento de estos, ya que la gran mayoría de los plásticos son envases de bebidas y esto aporta un gran volumen respecto a su peso.

Bajo esta premisa se propone el diseño de prensa térmica la cual mediante la aplicación de calor controlado y presión fundirá los materiales plásticos en forma de láminas, las cuales luego de este proceso pueden ser utilizadas en diversas aplicaciones en la industria publicitaria, de acabados de interiores, etc.

Las diversas industrias de consumo producen una gran cantidad de desechos plásticos, la más común siendo la industria de alimentos en la cual los principales productos de desechos son las botellas de PET, sin embargo, se dejan de lado residuos de PVC, PS, PP entre otros que también cumplen con las características de ser reciclados, y en menor medida el PMMA el cual se produce residuos en gran cantidad en la industria publicitaria, los cuáles no son aprovechados a diferencia de los anteriormente mencionados.

Para el PET, la ventaja económica de reciclar este material radica en que principalmente es usado para botellas de agua en diferentes presentaciones, por lo cual, en la mayoría de los casos no requiere de procesos extra de lavado del material para su preparación previa al proceso de reciclaje, disminuyendo así los costos de reciclaje de este material frente a otros termoplásticos. Esta característica comparte con el PMMA (acrílico/plexiglás).

CAPÍTULO 2: MARCO REFERENCIAL

2.1 Antecedentes

Dispositivos como prensas térmicas enfocadas hacia el reciclaje de materiales plásticos no existen como una alternativa tecnificada en el mercado. Se ha realizado una búsqueda de antecedentes de estos equipos, encontrándose dispositivos de construcción artesanal para iniciativas de reciclaje, una de las pocas documentadas en formatos audiovisuales se encuentra en la comunidad de PreciousPlastic [5], la cual es una comunidad global enfocada en la reutilización de plásticos a través de la construcción de máquinas térmicas para transformarlos en material reutilizable.

En relación con procesos de reciclaje similares, se han identificado estudios enfocados en aplicaciones básicas, pero no en dispositivos capaces de generar directamente formas terminadas, como el prototipo planteado. Lo más parecido a este concepto son las planchas de impresión por transferencia para textos, las cuales utilizan calor para estampar imágenes y letras en superficies extensas [6]. Se ha identificado tan solo un dispositivo comercial diseñado específicamente para tal fin el cual se puede ver en la Fig. 2.1, éste a ha sido desarrollada por la empresa británica CR Clarke, la cual basa su modelo productivo de negocios en sistemas de conformado plástico.



Fig. 2.1 Alternativa comercial de la empresa CR Clarke[7]

En la búsqueda de bibliografía sobre el tema la misma es escasa debido a que un proyecto como el planteado, pese a ser implementado en otros países como forma de reciclaje no ha sido documentado técnicamente, siendo más bien un proyecto desarrollado

empíricamente por grupos interrelacionados a través de GitHub y foros, que aportan cada uno sus experiencias sobre el tema, y sus propuestas de modelos diseñados.

Sobre estos datos, se va a diseñar un prototipo teniendo en cuenta los dispositivos ya existentes dentro de las iniciativas de reciclaje a nivel mundial, una de las más conocidas es PreciousPlastic, la cual aporta una valiosa cantidad de información sobre el tema en su GitHub OneArmy [8], en el cual se encuentra información sobre los procesos de reciclaje, diseño y construcción, y aplicaciones posteriores de los productos obtenidos, todo esto de manera empírica. Como tal, se diseñará un modelo tomando como base un sistema de calentamiento similar a las planchas de sublimación usadas en la industria gráfica.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Prensa

Estas máquinas herramienta se caracterizan por suministrar grandes cantidades de energía de manera controlada. Están compuestas por un bastidor que sostiene una bancada y un ariete, junto con una fuente de potencia, que puede ser manual, mecánica, hidráulica o neumática. Además, cuentan con un mecanismo que permite el movimiento lineal del ariete en ángulos rectos respecto a la bancada. Según su fuente de potencia, las prensas se clasifican en mecánicas, neumáticas e hidráulicas.

2.2.1.1 Prensa mecánica

Consiste en un motor eléctrico que impulsa un volante de inercia, el cual actúa como acumulador de energía. Esta energía se transfiere a la sección móvil de la prensa (carro) a través de un dispositivo de embrague o conexión. La transmisión de la energía se realiza de manera rápida, utilizando en cada impacto una pequeña parte de la energía almacenada. Son utilizadas para tareas de corte, estampado, forjado y ciertas embuticiones pequeñas [9].



Fig. 2.2. Prensa mecánica de simple efecto [9]

2.2.1.2 Prensa Hidráulica

Su funcionamiento se fundamenta en el principio de Pascal, utilizando un fluido a alta presión y bajo caudal para alimentar un pistón de gran diámetro, lo que genera fuerzas resultantes muy elevadas. Tanto la fuerza como la velocidad pueden regularse en todo momento, permitiendo un control preciso del proceso. Aplicando una fuerza reducida sobre un pistón de menor tamaño, es posible obtener una fuerza significativamente mayor en el pistón de mayor diámetro. La prensa hidráulica tiene múltiples aplicaciones, como el ensamblaje de piezas, sujeción, colocación de bujes, ajuste de amortiguadores, corte, compresión y laminado [10].

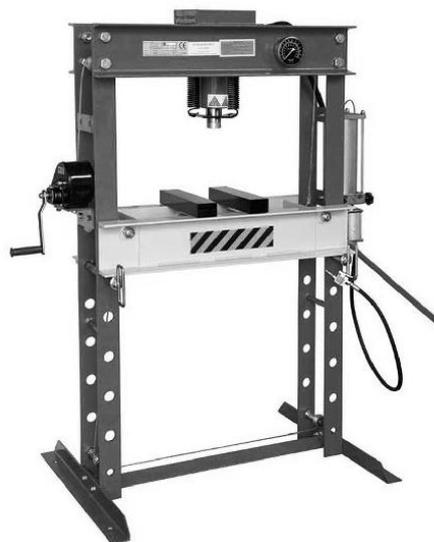


Fig. 2.3. Prensa Hidráulica [10]

2.2.1.3 Prensa Neumática

Se trata de un tipo de prensa que opera aplicando fuerza a través de energía neumática, es decir, mediante el flujo de aire comprimido. Su funcionamiento se basa en generar una corriente de aire dirigida bajo presión. Este tipo de prensa se emplea en diversas aplicaciones, como el inflado de neumáticos y objetos similares, así como en el troquelado de materiales como goma, cartón y plástico [10].

2.2.2 Plato térmico

Son dispositivos de transferencia de calor comúnmente utilizados en prensas de impresión transfer en la industria del diseño gráfico. Están fabricados en aleación de aluminio fundido, y en su interior contienen una resistencia térmica hecha de nicromo, una aleación de níquel (80%) y cromo (20%) recubierta en cobre. Su función es transformar la energía eléctrica en energía calorífica, de acuerdo con la ley de Joule, de manera similar a como ocurre en hornos industriales, estufas, secadores, entre otros. En la Fig. 2.4 se muestra un ejemplo típico de un plato térmico.

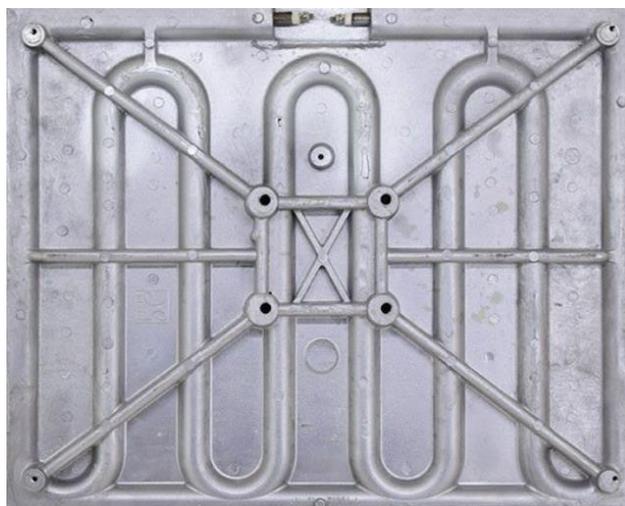


Fig. 2.4 Plato con resistencia para impresión transfer [11]

En la fabricación de cada plato, se verifica la resistencia antes de ser incorporada a la aleación de aluminio que creará el disco térmico, operando eficazmente durante muchos años hasta que sea necesario cambiarla. Cuando la resistencia se rompe debido al estrés térmico, al estar integrada en el bloque de aluminio, no se puede reemplazar, lo que obliga a cambiar todo el plato térmico [11].

2.2.2.1 Aluminio

El aluminio es un metal que no presenta propiedades ferromagnéticas y ocupa el tercer lugar como el elemento más frecuente en la corteza terrestre. Es el más utilizado dentro del grupo de metales no féreos en el sector industrial. Se caracteriza por su facilidad de conformado, alta conductividad térmica y eléctrica, y mantiene su ductilidad sin volverse quebradizo a bajas temperaturas. Además, no es perjudicial para la salud y puede ser reciclado utilizando aproximadamente el 5% de la energía que se necesita para producirlo a partir de la alúmina [12]. Su bajo peso ($2,70 \text{ g/cm}^3$) y la resistencia mecánica de muchas de sus aleaciones lo convierten en un material ideal para una amplia variedad de aplicaciones en ingeniería y manufactura. Además, su fácil manipulación lo hace ideal para el reciclaje al final de su ciclo de vida. La utilización de materiales reciclados en las fábricas para crear nuevas aleaciones de aluminio posibilita una considerable reducción del consumo energético, que puede ser de hasta un 90%, si se compara con la energía requerida para obtener aluminio de fuentes naturales [13].

El aluminio puro tiene una aplicación limitada debido a su baja resistencia mecánica y su naturaleza blanda. No obstante, al combinarse con otros elementos en aleaciones, su resistencia se incrementa y puede adquirir propiedades específicas que dependen de los materiales aleantes empleados [13]. La aleación aluminio comúnmente procesada por los fabricantes de latas para bebidas es la aleación 3104, aleación de forja que corresponde a la serie 3000 Al/Mg por su gran formabilidad [14]. Los Aluminios 3104 o 5182 son los tipos de aluminios más usados para para la manufactura de latas y tapas para bebidas, el aluminio 3104 constituye cerca del 60 al 65% del costo total de conversión de una lata para bebidas.

2.2.2.2 Resistencias

La resistencia eléctrica es la capacidad de los materiales para oponerse al flujo de la corriente eléctrica, representando una de las propiedades eléctricas básicas. Esta está estrechamente relacionada con la corriente y el voltaje. La resistencia eléctrica impide que los electrones se desplacen sin obstáculos como ocurre en los conductores, lo que provoca colisiones que generan calor. Utilizando esta propiedad, se producen variados tipos de resistencias industriales adaptadas a los requerimientos específicos y a su forma de operación.

Resistencias Tubulares

Las resistencias tubulares son muy comunes en la industria y están entre las más comercializadas. Se emplean en aplicaciones como calefacción combinada, fundición de metales, entre otras. Entre las características clave de las resistencias tubulares se destacan su capacidad para generar gran cantidad de calor, así como su resistencia a vibraciones y la corrosión, entre otras propiedades. Estas resistencias eléctricas industriales pueden ser elaboradas en diversas configuraciones, soldadas con plata o acero, entre otros metales, y su diámetro o dimensiones pueden variar según el uso previsto (ver Fig. 2.5) [15].



Fig. 2.5 Resistencias tubulares industriales [15]

En la Tabla 2.1 se pueden ver los componentes más comunes que forman parte de las resistencias de este tipo.

Tabla 2.1 Especificaciones de los materiales más comunes en resistencias tubulares [15]

TUBO	TEMP. MAX.	W/Pulg	W/cm
Cobre	350 °F (180 °C)	65	10
Acero	750 °F (400 °C)	20	3
Acero Inox.	1200 °F (650 °C)	30	5
Incoloy	1600 °F (870 °C)	40	6

Resistencias de banda

Se usan principalmente en procesos de inyección, extrusión y soplado; tienen forma de abrazadera para acoplarse a los tubos de salida del material que se requiere trabajar y pueden trabajar hasta los 700 °C, también cuentan con una alta durabilidad.

Estas se fabrican en diferentes diámetros y anchos según la potencia que requiera su aplicación (ver Fig. 2.6).



Fig. 2.6 Resistencias de banda [16]

Resistencias de cartucho

Se emplean comúnmente para elevar la temperatura de las piezas metálicas al introducirlas en los orificios perforados. Para facilitar su colocación, los calentadores son diseñados un poco más reducidos en comparación con su diámetro designado. Las resistencias de cartucho se producen a través de un método de compactación interna de todos sus elementos con el fin de prolongar su duración.

El hilo conductor está dispuesto en espiral alrededor de un núcleo de cerámica duro, al que se conecta el cable conductor sin necesidad de empalmes. Se incorporan discos y cabezales cerámicos para proporcionar aislamiento y protección. Todo el conjunto se recubre con óxido de magnesio puro, con una granulometría controlada, para garantizar el llenado completo del cartucho [17].



Fig. 2.7 Resistencia de cartucho [17]

2.2.3 Control de temperatura

En múltiples operaciones industriales, es fundamental contar con un dispositivo para el control térmico. Este dispositivo recibe datos de un sensor de temperatura y envía señales a un mecanismo de ajuste, ya sea un calefactor o un ventilador. Para mantener la temperatura del sistema de forma exacta, el controlador de temperatura utiliza como entrada un sensor, que puede ser un termopar o un RTD. Compara la temperatura actual con la temperatura objetivo o el punto de ajuste (SV), y genera una señal para un elemento de control, como un relé de estado sólido. Al elegir un controlador de temperatura, es importante tener en cuenta varios aspectos:

- 1) Tipo de sensor de entrada (termopar, RTD) y rango de temperatura
- 2) Tipo de salida requerida (relé electromecánico, SSR, salida analógica)
- 3) Algoritmo de control necesario (encendido/apagado, control proporcional, controlador PID)
- 4) Número y tipo de salidas (calor, frío, alarma, límite)

Existen tres tipos básicos de algoritmos de control de temperatura: PID, ON/OFF y proporcional. La elección de uno u otro depende del sistema que se esté controlando, ya que cada tipo es más adecuado para diferentes procesos y necesidades de regulación de temperatura.



Fig. 2.8 Modelos de controladores de temperatura [18]

2.2.3.1 Control de temperatura ON/OFF

Un control ON/OFF es la manera más básica de regular la temperatura. La salida del dispositivo de control está en un estado de encendido o apagado, sin niveles intermedios; el regulador modifica la salida únicamente cuando la temperatura supera el valor establecido. En el caso del calentamiento, la salida se activa si la temperatura se encuentra bajo el valor programado y se desactiva al sobrepasarlo. Cada vez que la temperatura pasa el valor de referencia, el estado de la salida varía, haciendo que la temperatura del proceso fluctúe constantemente alrededor del punto establecido.

En situaciones donde el ciclo ocurre de manera rápida, se implementa un diferencial de encendido y apagado, conocido como "histéresis", para proteger los contactores y válvulas de posibles daños. Este diferencial asegura que la temperatura deba superar un valor predeterminado antes de que el controlador vuelva a activar o desactivar el sistema. La función ON/OFF ayuda a prevenir alternancias rápidas en la salida cuando los ajustes se realizan en intervalos cortos. Este tipo de control se aplica generalmente en escenarios donde no se requiere control preciso, en sistemas que no toleran cambios frecuentes de encendido y apagado, o en aquellos cuya masa es tan considerable que las variaciones de temperatura son muy lentas, así como para activar alarmas de temperatura.

2.2.3.2 Control de temperatura proporcional

Un controlador proporcional ajusta la potencia media que recibe el calentador al acercarse a la temperatura deseada. Como resultado, la energía del calentador se reduce a medida que se alcanza el punto de ajuste, sin excederlo, lo que permite mantener una temperatura constante.

Este tipo de control se logra mediante la alternancia entre el encendido y el apagado de la salida en cortos intervalos de tiempo. La regulación proporcional en tiempo ajusta la duración de los períodos de "ON" y "OFF" para gestionar la temperatura, y este control se lleva a cabo dentro de una banda proporcional alrededor la temperatura deseada. Fuera de este rango, el controlador de temperatura actúa como un dispositivo ON/OFF convencional, manteniendo la salida en un estado completamente encendido (cuando está por debajo de la banda) o completamente

apagado (cuando está por encima de la banda). Sin embargo, dentro de esta banda, la activación del regulador se controla encendiendo y apagando la salida según la diferencia respecto a la temperatura de referencia. En el punto medio de la banda, la relación entre el tiempo de apagado y encendido es de 1:1, lo que significa que ambos tiempos son equivalentes. Si la temperatura se aleja del punto establecido, el ciclo de encendido y apagado se ajustará en función de la diferencia de temperatura. Cuando la temperatura se encuentra por debajo del punto de ajuste, la salida permanecerá encendida durante un tiempo más prolongado; en contraste, si la temperatura supera el límite deseado, la salida estará predominantemente apagada.

2.2.3.3 Controlador de temperatura PID

El control de temperatura PID combina el control proporcional con los controles integral y derivativo. PID simboliza el control Proporcional Integral Derivativo, este control fusiona el control proporcional con dos ajustes adicionales que permiten que la unidad se ajuste automáticamente a los cambios en el sistema. Estos ajustes, conocidos como integral y derivativo, se expresan en unidades basadas en el tiempo y también se les denomina RATE y RESET, respectivamente. Es esencial que los parámetros de proporcionalidad, integralidad y derivatividad se calibren de forma individual, empleando un proceso de prueba y error.

Este control ofrece el nivel de control más exacto y constante entre los tres tipos de algoritmos de control de temperatura. Se emplea frecuentemente en sistemas que poseen una masa más reducida, lo que les permite responder de manera rápida a variaciones en la energía que se introduce en el proceso. Se sugiere su uso en configuraciones donde la carga varía con frecuencia y no se anticipa que el controlador ajuste esto de forma automática, debido a los cambios constantes en el punto de referencia, la cantidad de energía que se puede utilizar o la masa que se debe gestionar.

2.2.4 Sensores

Un sensor eléctrico es un dispositivo que convierte una magnitud física (como temperatura, posición, intensidad de luz, entre otras) en una magnitud eléctrica, generalmente voltaje. Esta señal eléctrica puede luego integrarse en un sistema de

procesamiento de señales, transformando así las variables no eléctricas en datos que pueden ser medidos eléctricamente a través de voltajes o corrientes [19].

Sensores de Temperatura

Se componen de un componente bimetálico que consiste en la unión de dos metales con diferentes coeficientes de expansión térmica. Al experimentar un cambio de temperatura, la pieza se curva formando un arco, de tal modo que el radio de curvatura se ajusta de forma inversamente proporcional a la variación de temperatura entre ambos metales. Este fenómeno produce una diferencia de potencial que se relaciona con el grado de deformación, la cual posteriormente es captada por los dispositivos de medición.

Los sensores de temperatura varían según su mecanismo de operación y la forma en que convierten las señales. Básicamente, se pueden clasificar en tres grupos: Sensores RTD como PT100 y PT1000, termistores, termopares e infrarrojos [20].

- **Termopar o termocupla**

El termopar es el sensor más utilizado en los sistemas de medición de temperatura debido a su bajo costo, facilidad de instalación y precisión adecuada para diversos procesos. Aunque su desempeño es satisfactorio, su respuesta puede ser más lenta en comparación con otros tipos de sensores de temperatura.

El principio de operación de los termopares radica en la conexión de dos alambres de diferentes metales en un extremo, conocido como la junta caliente, que sirve como punto de medida. El extremo opuesto se denomina junta fría. Cuando hay una variación de temperatura entre las dos juntas, se genera una diferencia en el voltaje, la cual constituye la señal que se transmite al equipo electrónico. Dentro de estos sensores, se encuentran diferentes tipos de termopares según los materiales de los que estén compuestos [20]. Los más comunes se observan en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2 Tipos de termocuplas

Tipo	Descripción	Rango (°C)
J	Hecho de una combinación de hierro y constantan (aleación de cobre y níquel). De uso limitado en entornos oxidantes.	0 a 750

T	Se compone de un alambre de cobre y otro de constatan, su uso recomendado en entornos de humedad.	-250 a 350
K	Compuesto de una junta de Chromega (aleación de cromo y níquel) y Alomega (aleación de aluminio y níquel), es el sistema de medición de temperatura más extendido.	-200 a 1250
E	Su combinación de materiales incluye chromega y constatan	-200 a 900



Fig. 2.9 Sensores termopares [20]

- **Sensores RTD**

El funcionamiento de estos sensores radica en la capacidad del material para resistir cambios de temperatura. Su diseño habitual consiste en un cable enrollado cuidadosamente, rodeado por un núcleo de vidrio o cerámica, o bien en capas de cerámica. Estos sensores son ideales para su uso en ambientes industriales, dado que son resistentes a interferencias eléctricas. Los materiales más comunes utilizados para su fabricación incluyen el níquel y el platino [20].



Fig. 2.10 Sensores RTD [20]

2.2.5 Polímeros Sintéticos (Plásticos)

Los plásticos son materiales cuyos componentes están formados por sustancias orgánicas macromoleculares que se originan mediante síntesis o por transformación de productos naturales. Bajo determinadas circunstancias (calor, presión) pueden adoptar forma plástica [21]. Los plásticos son materiales de origen orgánico con un alto peso molecular, formados por largas cadenas de polímeros. Se producen mediante procesos que transforman el petróleo en sus derivados. Son maleables a ciertas temperaturas, lo que permite moldearlos en objetos sólidos de diversas formas. Debido a esta capacidad de moldeo, los plásticos tienen una amplia gama de aplicaciones. Los tipos más comunes de plásticos utilizados en la industria incluyen el polietileno (PE) y sus variantes, polipropileno (PP), poliestireno (PS), policloruro de vinilo (PVC), tereftalato de polietileno (PET) y poliuretano (PU). Se distinguen entre tres grandes grupos de materiales plásticos mostrados en la Fig. 2.11.

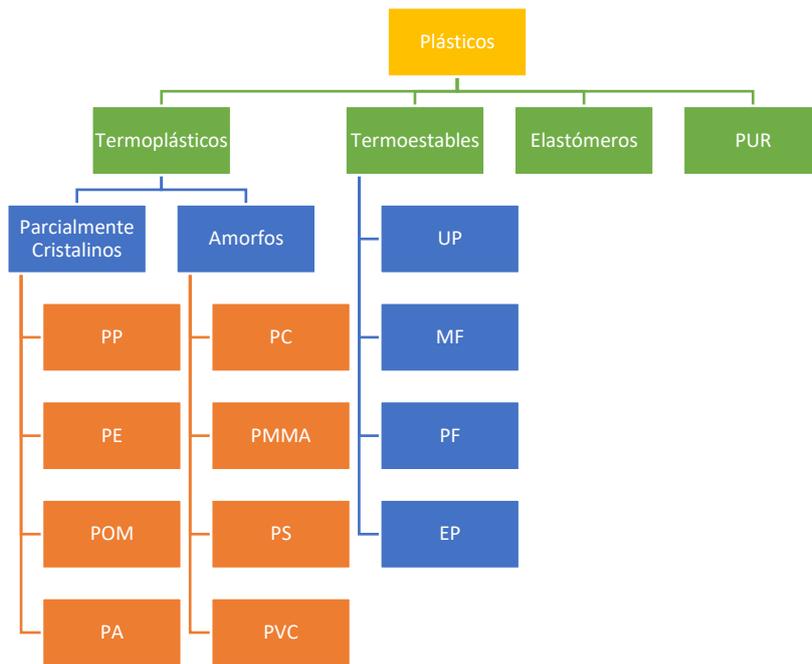


Fig. 2.11 Clasificación de los plásticos [21]

2.2.5.1 Termoestables

Los compuestos termoestables se combinan directamente en los moldes destinados a la producción de los productos deseados. Tienen masas molares extremadamente altas y, por lo general, un elevado nivel de entrecruzamiento. Al igual

que los elastómeros, los termoestables no son solubles y no se derriten cuando se exponen a temperaturas elevadas, en su lugar, se degradan y queman, lo que hace imposible volver a moldearlos [22].

2.2.5.2 Termoplásticos

Los termoplásticos son materiales que, a temperaturas normales, tienen una consistencia sólida, pero al aumentar la temperatura se vuelven maleables o flexibles. Al ser calentados, se funden, y al enfriarse, recuperan su rigidez. Estos materiales presentan cadenas principalmente lineales que tienen pesos moleculares altos pero limitados. A diferencia de los elastómeros o termoestables, los termoplásticos pueden ser rehechos y remodelados tras su calentamiento. No obstante, es importante señalar que la capacidad de los termoplásticos para mantener sus características físicas tiende a deteriorarse si son fundidos y moldeados múltiples veces [22]. La presencia de enlaces secundarios, que son débiles, permite que estos materiales se fundan al aplicar calor, lo que los convierte en materiales reciclables [23]. Para su reciclaje los termoplásticos se identifican con siguientes códigos mostrados en la Fig. 2.12:



Fig. 2.12 Simbología y códigos de identificación para reciclaje plástico [24]

- **PET (Polietileno tereftalato):** Se utiliza principalmente en botellas para agua y bebidas y algunos tarros de comida.
- **HDPE (Polietileno de alta densidad):** Se utiliza principalmente para botellas de leche, envases de comida, aceite y cajas de almacenaje. También se utiliza en algunos juguetes, cubos, contenedores de basura, entre otros.
- **PVC (Policloruro de vinilo):** Este plástico es muy difícil de reciclar. Las tarjetas de crédito, tuberías, revestimiento de cables, entre otros productos, están compuestos de este material.

- **LDPE (Polietileno de baja densidad):** Este plástico se utiliza principalmente para el papel film, botellas flexibles, bolsas de basura, burbujas de aislamiento, entre otros. Es posible reciclar este plástico para hacer más bolsas de basura, pero siempre será mejor evitarlo y usar bolsas reutilizables.
- **PP (Polipropileno):** Tapas de botellas, bombillas, freezers portátiles, algunas fibras de tejido, pañales, toallas higiénicas, lonas, entre otros, son hechos de este tipo de plástico.
- **PS (Poliestireno):** Este plástico utilizado en vasos térmicos, bandejas de comida, colgadores de ropa, aislantes, entre otros.
- **PMMA:** El PMMA o polimetilmetacrilato es uno de los plásticos más utilizados debido a sus excelentes propiedades ópticas y mecánicas. También es conocido con otros nombres: metacrilato, plexiglás o cristal acrílico son los más populares.
- **Otros:** Los demás plásticos no categorizados normalmente son mezclas de los tipos de plástico antes mencionados y son muy difíciles de gestionar y normalmente no es posible reciclarlos, por lo cual hay que rechazarlos al máximo.



Fig. 2.13 Tipos de plásticos y sus ejemplos [25]

2.2.6 Reciclaje Plástico

El uso de plásticos creció de manera desmedida desde finales de la década de 1990 hasta principios del siglo XXI. Esta expansión se debió a su adopción a gran escala tanto en la vida cotidiana como en el ámbito industrial, donde reemplazaron a otros materiales en varios usos y dieron lugar a la creación de productos innovadores. Sin embargo, en tiempos recientes, el consumo de plásticos ha alcanzado un punto de equilibrio [23]. El incremento constante en la producción de plásticos ha dado lugar a un aumento proporcional de desechos plásticos. La opción de desechar plásticos en rellenos sanitarios ha dejado de ser viable, dado que son materiales de bajo peso y gran volumen, siendo la mayoría generados por la industria del envasado y embalaje. [23].

2.2.6.1 Métodos de reciclaje plástico

Los materiales plásticos pueden someterse a diferentes métodos de reciclado, entre los que destacan:

- **Reciclado de los desechos de producción**

Los propios desechos que se generan en un proceso de producción pueden ser susceptibles de reciclado, incorporándolos de nuevo como materias primas (recicladadas) al proceso productivo.

- **Reciclado mecánico**

Siempre que el plástico lo permita, es conveniente volverlo a fundir y reconformarlo, obteniendo de esta manera una pieza de producto reciclado.

- **Aprovechamiento energético**

Las estructuras orgánicas reaccionan con el oxígeno en las llamadas reacciones de combustión, en las que se desprende gran cantidad de calor que puede emplearse con fines energéticos.

- **Pirólisis/Quimiólisis**

La pirólisis o quimiólisis es una de las últimas alternativas en el proceso de reciclaje, ya que implica romper las cadenas poliméricas para obtener productos líquidos

y gaseosos orgánicos, que luego pueden reiniciar el proceso de fusión o simplemente ser comercializados.

Lo ideal sería que cada fabricante se encargara de reciclar los residuos generados en su producción. Una vez que los productos alcanzan el fin de su utilidad, el método más eficaz es el reciclaje mecánico. En cuanto a la generación de energía, las instalaciones de incineración siguen enfrentando problemas medioambientales en la actualidad. La quimiólisis es un método extremadamente complicado y costoso, pero junto con la pirólisis, son los métodos más adecuados para los elastómeros y termoestables, dado que estos materiales no se pueden fundir aplicando calor. La eficacia del reciclaje mecánico de plásticos depende en gran parte de su estructura, particularmente de los tipos de enlaces que mantienen cohesionada la matriz plástica [23].

2.2.7 Elementos de protección eléctrica en tableros

Los tableros eléctricos permiten gestionar el proceso de control de un dispositivo de manera más eficaz, al contar con elementos de control y potencia en su interior, sin embargo, cuando se trabaja con electricidad es indispensable contar con elementos de protección a fin de evitar diversos inconvenientes que pueden poner en peligro nuestra seguridad personal o al equipo. Los principales puntos con los que debe contar un tablero son los siguientes:

- **Prevención de Sobrecargas:** Los tableros eléctricos protegen los circuitos de sobrecargas eléctricas que pueden dañar equipos y cables eléctricos, lo que a su vez reduce el riesgo de incendios [26].
- **Seguridad de las Personas:** La protección adecuada evita la exposición de personas a corrientes eléctricas peligrosas en caso de fallas en el sistema [26].

2.2.7.1 Disyuntor MCB

Para salvaguardar los sistemas eléctricos, es habitual utilizar disyuntores, también conocidos como MCB. Estos dispositivos operan de forma automática y detienen de manera segura el paso de corriente ante cualquier mal funcionamiento. Generalmente, se les denomina breaker, automático, magnetotérmico o taco. Los interruptores termomagnéticos son esenciales para resguardar circuitos, equipos y cableado de las sobrecargas, utilizando dos tipos de protección. La protección térmica se encarga de

prevenir sobrecargas y su tiempo de respuesta es considerablemente más lento en comparación con la otra. En contraste, la protección magnética se ocupa de los cortocircuitos y su tiempo de reacción es mucho más rápido que el de la protección térmica [27].

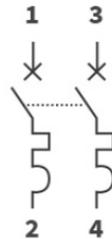


Fig. 2.14 Simbología de un Disyuntor Magnetotérmico [28]

2.2.7.2 Diferencial RCCB

El diferencial es un aparato diseñado específicamente para la protección del usuario, es obligatorio colocar en todas las instalaciones y que tiene como misión interrumpir el circuito cuando se produzca una derivación evitando de esta forma cualquier accidente de las personas [29]. El diferencial protege de fugas a tierra y corrientes residuales y protege al usuario contra descargas eléctricas, sin embargo, la protección contra sobrecarga y cortocircuito no está integrada en los RCCB por lo que se debe utilizar en conjunto con un MCB [30].

Los RCCB se ofrecen únicamente en configuraciones de dos y cuatro polos. Existen rangos para la detección de corriente de fuga que incluyen 30 mA, 100 mA y 300 mA. Asimismo, cuentan con clasificaciones de corriente continua, que son 25A, 40A, 63A, 80A, 100A y 125A. Los RCCB carecen de una clasificación para resistencia a cortocircuitos, dado que no brindan protección específica contra estos eventos. Por este motivo, se aconseja la instalación de un dispositivo de protección contra cortocircuitos, como un MCB o MCCB, en serie con el RCCB, ya que un cortocircuito en la zona que el RCCD protege podría causarle daños fácilmente. [30].

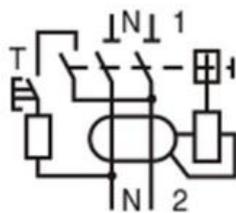


Fig. 2.15 Simbología de un interruptor diferencial [31]

Se considera que un valor de corriente de 30mA es peligroso para el ser humano, sin embargo, esto también depende del tiempo de exposición a la corriente, en la Tabla 2.3 se muestran los rangos de valores peligrosos para una persona.

Tabla 2.3 Tabla de relación intensidad-corriente considerada mortal

Intensidad	Tiempo
15 mA	2 min
20 mA	60 s
30 mA	35 s
100 mA	3 s
500 mA	110 ms
1A	30 ms

2.2.7.3 RCBO - Disyuntor de corriente residual con sobrecarga

El disyuntor de corriente residual con sobrecarga (RCBO) es una combinación de un MCB y un RCCB. Este incluye protección tanto contra cortocircuito, sobrecarga además de protección para corriente residual. Está construido para soportar corrientes de cortocircuito y contiene rampas de arco. Son ideales para aplicaciones donde no hay mucho espacio para ubicar un disyuntor y un diferencial a la vez, ya que cumple ambas funciones éste permite ahorrar espacio en gabinetes, sin embargo, tiene un costo más elevado.

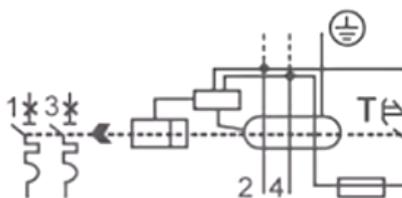


Fig. 2.16 Simbología de un interruptor diferencial [32]

2.2.7.4 Puesta a Tierra

Para evitar una descarga eléctrica se exige que todos los equipos con partes metálicas dispongan de conexión para toma de tierra. Identificada por los colores amarillo/verde [29].

CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO

3.1 Modelo de la investigación

El desarrollo del presente trabajo de titulación requiere un enfoque de investigación aplicada con un diseño experimental, se lleva a cabo un proceso investigativo estructurado que abarca desde la revisión teórica hasta la implementación práctica del sistema. Inicialmente, se realiza una investigación exploratoria y descriptiva, donde se estudian los principios del termoformado, las propiedades de los plásticos reciclados y las tecnologías existentes para su transformación. Se analizan fuentes científicas y experiencias previas en el reciclaje térmico de plásticos para establecer las bases del diseño de la máquina y su implementación tiene como objetivo abordar el problema de la generación de residuos plásticos y dar una solución determinada al mismo, como se expuso en el desarrollo de este documento.

Posteriormente, se aplica un enfoque experimental en el cual se determinan los parámetros de funcionamiento de la prensa, como temperatura y tiempos de operación; a través de pruebas y simulaciones CAD se validan la viabilidad estructural y la distribución térmica del sistema, optimizando el diseño antes de su construcción. A continuación, en la fase de implementación se fabrica la estructura y se ajustan los componentes mecánicos y eléctricos de la prensa con base en datos obtenidos en la fase experimental.

Este proyecto se ejecuta bajo la metodología de tipo cascada, ya que inicialmente se definen los objetivos, y posterior a esto se desarrollan los procesos a ejecutarse en forma secuencial a fin de conseguir los objetivos marcados. Esta metodología sigue un proceso lineal en la cual cada fase está vinculada a la anterior, de manera que el trabajo se desarrolla en forma secuencial ayudando de esta manera a encaminar el proyecto.

3.2 Diseño de la investigación

A continuación se presenta una descripción de las fases planteadas para el diseño e implementación del sistema de prensa térmica.

3.2.1 Fase 1: Análisis de requisitos

En esta fase se realiza la planificación, análisis y especificación de requisitos para proponer una solución.

- **Actividad 1:** Investigación acerca de la clasificación de los termoplásticos y sus características físicas.
- **Actividad 2:** Búsqueda de información sobre propuestas anteriores o similares a la planteada, máquinas de funcionalidad similar o de diferente aplicación que puedan ser tomadas como base para el diseño.

3.2.2 Fase de diseño

Esta fase se enfoca en cumplir con todas las especificaciones y requisitos previos establecidos en los objetivos, de manera que se logre cumplirlos a través de la selección de elementos óptimos para el funcionamiento del sistema y del establecimiento de las consideraciones de diseño.

- **Actividad 1:** Establecimiento de las especificaciones de funcionamiento del sistema en base a los objetivos planteados.
- **Actividad 2:** Establecimiento de las especificaciones estructurales y dimensionales en función de las especificaciones de funcionamiento.
- **Actividad 3:** Planteamiento de alternativas de los elementos a usarse en el diseño y manufactura del proyecto.
- **Actividad 4:** Planteamiento de alternativas de solución al problema planteado.
- **Actividad 5:** Selección de elementos estructurales normalizados y elementos eléctricos y de control.
- **Actividad 6:** Cálculo analítico de los elementos de calentamiento.
- **Actividad 7:** Diseño CAD de cada uno de los elementos estructurales.
- **Actividad 8:** Ensamblaje 3D de la estructura.
- **Actividad 9:** Estudio térmico de los elementos de calentamiento.
- **Actividad 10:** Verificación y ajustes del sistema estructural.
- **Actividad 11:** Verificación y ajustes del sistema de calentamiento.
- **Actividad 12:** Implementación del control eléctrico y electrónico del sistema en compatibilidad con el diseño estructural.

3.2.3 Fase de implementación

En esta fase se establece un plan en forma específica y cronológica de cómo se van a llevar a cabo las tareas para alcanzar los objetivos planificados.

- **Actividad 1:** Contabilización y cotización de elementos estructurales y eléctricos.
- **Actividad 2:** Adquisición de los elementos necesarios para integrar el sistema, importación de los elementos no existentes en el mercado local.
- **Actividad 3:** Construcción del sistema de calentamiento.
- **Actividad 4:** Construcción de la estructura.
- **Actividad 5:** Implementación del sistema eléctrico y de control.
- **Actividad 6:** Puesta a punto de los subsistemas del proyecto.

3.2.4 Fase de evaluación

En esta fase se realizan pruebas de todos los subsistemas integrados en busca de errores de diseño no previstas o mal funcionamiento de sus partes.

- **Actividad 1:** Pruebas de funcionamiento del sistema mecánico: desplazamiento de la mesa.
- **Actividad 2:** Pruebas de funcionamiento del sistema eléctrico: conexiones, mandos, sistema de seguridad, control de temperatura.
- **Actividad 3:** Prueba de funcionamiento del sistema de calentamiento: medición de tiempo vs temperatura, y tiempo de estabilidad de transferencia de calor de las resistencias a la plancha.
- **Actividad 4:** Verificación y corrección de errores de los subsistemas y el sistema conjunto.

3.2.5 Fase de validación

En esta última fase se realizan pruebas de funcionamiento del sistema en aplicación real con termoplásticos.

- **Actividad 1:** Prueba de funcionamiento del sistema con materiales termo formables, obtención de datos de tiempo y temperatura.
- **Actividad 2:** Evaluación y análisis de los datos obtenidos en las pruebas de termo formado.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y ANÁLISIS

Este capítulo inicia con la descripción de las especificaciones de requerimientos necesarias para la construcción de un dispositivo de termoformado plástico, a partir de criterios y restricciones propuestas en función de las características esperadas del dispositivo. Posteriormente se plantean alternativas que cubren las funciones del dispositivo, y se selecciona la alternativa que cumple de manera más eficiente las funcionalidades planteadas, esta selección se realizará mediante una selección de criterios ponderados. Finalmente se presenta el proceso de diseño.

Considerando los parámetros de diseño, entre ellos la estabilidad, funcionalidad, temperatura máxima; se realiza varios diseños iniciales de la forma y la distribución de los componentes que tendrá el sistema de prensado. Para este fin se analizaron los diseños de trabajos previos y máquinas de características similares en el mercado a fin de llegar a un diseño final óptimo, que cumpla la metodología de Diseño para la Manufactura y Ensamble (DFMA) con el objetivo de ser de fácil fabricación y mantenimiento.

Posterior a esto se continua con un estudio a detalle dentro del sistema diseñado, la parte mecánica del dispositivo se somete a un análisis de esfuerzo con elementos finitos (FEA) en un software CAD. Finalmente, se presentan los resultados obtenidos, el proceso de fabricación y costo del dispositivo.

4.1 Especificaciones del sistema

Se plantea la construcción un dispositivo mecatrónico que tiene la capacidad de termo formar residuos plásticos en planchas, este dispositivo controla la temperatura generada mediante un controlador PID y su accionamiento en la parte mecánica es de manera manual, en la Tabla 4.1 se observan los requerimientos específicos para la construcción del dispositivo, obtenidos luego de un análisis de los procesos de funcionamiento de dispositivos con funcionalidades similares existentes, investigación de materiales y procesos de manufactura para lograr el objetivo planteado.

Tabla 4.1 Requerimientos del dispositivo

Análisis de requerimientos del dispositivo	
Requerimiento	Descripción
Alimentación	El dispositivo debe funcionar con un voltaje que le permita alcanzar la temperatura correcta y a la vez, permita usarlo en diferentes ubicaciones sin restricciones.
Geometría	Las dimensiones de la estructura se ajustan al tamaño de la plancha térmica planteada (40x40 cm ²). El marco de la estructura tiene una altura de 1,20 m para facilitar la manipulación de la prensa sin comprometer la ergonomía del usuario.
Precio	El costo del dispositivo debe ser lo más reducido posible, no se dispone de un valor referencial en el mercado nacional; pero el límite es el valor comercial existente en el mercado internacional, siendo este 4000 dólares. Se optimiza el diseño para ser lo más económico posible sin mermar el funcionamiento del dispositivo.
Diseño	Se debe optimizar el diseño para evitar las deformaciones por esfuerzos en el material y mantenerse sobre un factor de seguridad de 2 que es el mínimo recomendado. Sin embargo, se debe considerar que al aumentar el factor de seguridad los costos del proyecto aumentan proporcionalmente, es necesario tener esto en cuenta al momento de la selección de materiales y el diseño.
Seguridad	El dispositivo debe contar con protección para el sistema eléctrico de control y fuerza, y también debe ofrecer protección para el operario.
Materiales	La selección de componentes para el dispositivo se da comparando la línea comercial existente, con base a su disponibilidad en el mercado nacional o internacional, priorizando la adquisición dentro del mercado nacional; sin embargo, si algún componente no existe o su precio es significativamente mayor en el mercado nacional se realiza una importación desde el extranjero.

4.2 Planteamiento de alternativas de solución

A través de los criterios y restricciones planteados se proponen dos alternativas para el sistema de calentamiento que solventan la problemática del presente estudio. A continuación, se describen detalladamente cada una de las alternativas en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2 Matriz Morfológica

Función	Alternativa 1	Alternativa 2
Temperatura	Resistencia tubular	Resistencia de cartucho
Plancha térmica	Embebida	Independiente
Estructura	Sistema de calentamiento fijo	Sistema de calentamiento móvil
Alimentación	120V	220v
Seguridad	Disyuntor RCBO	MCB + Puesta a tierra

Alternativa 1 (color azul): La fuente de calor seleccionada es una resistencia de tipo tubular, fabricada a medida y fundida dentro de una matriz de aluminio única. El sistema de calentamiento es móvil, permitiendo así mayor libertad a la hora de manipular el material. El sistema trabaja a 220V facilitando de esta manera el manejo de amperajes más altos para alcanzar las temperaturas deseadas. Finalmente, el sistema de seguridad consta de un MCB para la protección de los elementos eléctricos y una puesta a tierra para la protección del usuario.

Alternativa 2 (color rojo): La fuente de calor son resistencias de tipo cartucho, las cuales van insertadas en matrices de aluminio independientes entre sí para facilitar la transferencia térmica. El sistema de calentamiento es fijo, reduciendo así posibles inconvenientes al momento de las conexiones eléctricas. El dispositivo trabaja con un voltaje de 120V debido a que es el voltaje estándar en todos los hogares, por tanto, se puede realizar las pruebas de funcionamiento sin tener que movilizar el dispositivo a lugares que dispongan de alimentación a 220V para su funcionamiento y utiliza un

disyuntor diferencial (RCBO) para la protección del usuario y del dispositivo simultáneamente.

Alternativa 3 (color verde): La fuente de calor es una resistencia de tipo tubular, fabricada a medida que va montada sobre una placa de aluminio. El sistema de calentamiento es fijo, evitando así posibles problemas con las conexiones eléctricas. El sistema funciona a 220V facilitando de ésta manera el manejo de amperajes más altos para alcanzar las temperaturas deseadas, finalmente, el sistema de seguridad consta de un MCB para la protección de los elementos eléctricos y una puesta a tierra para la protección del usuario.

4.2.1 Selección de la alternativa más eficiente mediante el uso de criterios ponderados

Tabla 4.3 Ponderación de criterios para las alternativas existentes

Criterio	Peso	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Temperatura	0,2	9	9	9
Plancha térmica	1,5	7	8	7
Estructura	1,5	7	8	8
Alimentación	0,2	8	9	8
Seguridad	0,2	9	9	7

Tabla 4.4 Cálculo criterios vs peso

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
	9*0,2	9*0,2	9*0,2
	7*1,5	8*1,5	7*1,5
	7*1,5	8*1,5	8*1,5
	8*0,2	9*0,2	8*0,2
	9*0,2	9*0,2	7*0,2
TOTAL	26,2	29,4	27,3

Con base en los datos obtenidos a través del método de ponderación de criterios se obtuvieron los siguientes resultados: Para la alternativa 1 un valor de 26,2 puntos. La alternativa 2 un valor de 29,4 puntos, y finalmente la alternativa 3 obtuvo un valor de 27,3 puntos. Por tanto, se concluye que la mejor alternativa de fabricación es la número 2; la cual propone el uso de alimentación a 120V, un RCBO como método de protección conjunto y un sistema de calentamiento modular.

4.2.2 Especificaciones del sistema a diseñar

El dispositivo de termoformado está compuesto por 3 partes: el sistema mecánico que incluye la estructura y la mesa de material donde se realiza el proceso de prensado, el sistema de calentamiento el cuál proporciona la temperatura necesaria para el proceso de termoformado, y el sistema eléctrico y de control que se encarga de alimentar el sistema de calentamiento y controlar el ajuste de temperatura.

4.2.2.1 Sistema de calentamiento

Como fuente de calor se utiliza resistencias de cartucho industriales cuya potencia y dimensiones se definen más adelante, este tipo de resistencias son utilizadas en actividades industriales donde pueden ser fácilmente reemplazadas en caso de avería. Con el fin de mejorar la transmisión térmica entre la resistencia y el resto de los componentes del sistema se perfora matrices de aluminio dentro de las cuales van introducidas las resistencias; se utiliza una pasta con una conductividad térmica de $0.7 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ [33], con el objetivo de mejorar la transferencia térmica entre las resistencia y las matrices de aluminio. En la Fig. 4.1 se puede observar un ejemplo típico de este sistema resistencia-matriz.



Fig. 4.1 Conjunto de resistencias de cartucho y matrices de aluminio para inserción

La temperatura teórica máxima de trabajo es de $220 \text{ }^\circ\text{C}$, esta se distribuye entre varias resistencias cuyo número varía en función de los análisis de transferencia térmica posteriores. La placa de calentamiento está hecha de aluminio ASTM 1200, del proveedor de materiales DIPAC [34]; sus dimensiones son de $40 \times 40 \text{ cm}^2$ y 3 mm de espesor. Sobre esta van ubicadas las matrices de aluminio en conjunto con las resistencias, con el fin de

maximizar el área de contacto entre las resistencias y la placa para mejorar la transmisión de calor. Estas tendrán forma rectangular y sus dimensiones se optimizarán según el estudio térmico.

Las matrices van ubicadas en intervalos regulares y su número es variable, en función del índice de transferencia que estas puedan aplicar. La placa de aluminio lleva una placa de acero inoxidable AISI 201 [34] de 1 mm de espesor en su cara inferior, con el fin de protegerla del desgaste y rayaduras que podría ocasionar la materia prima.

4.2.2.2 Estructura

Para la estructura se consideraron 2 alternativas posibles, siendo la primera (ver Fig. 4.2) un diseño minimalista que optimiza el material en la estructura; sin embargo, esta terminó siendo descartada debido a que su centro de gravedad se encontraba muy alto, lo cual generaba inestabilidad en el sistema y la dificultad en las conexiones eléctricas al ser la parte móvil la que va conectada a la alimentación. La solución final para la estructura se puede observar en la Fig. 4.3.

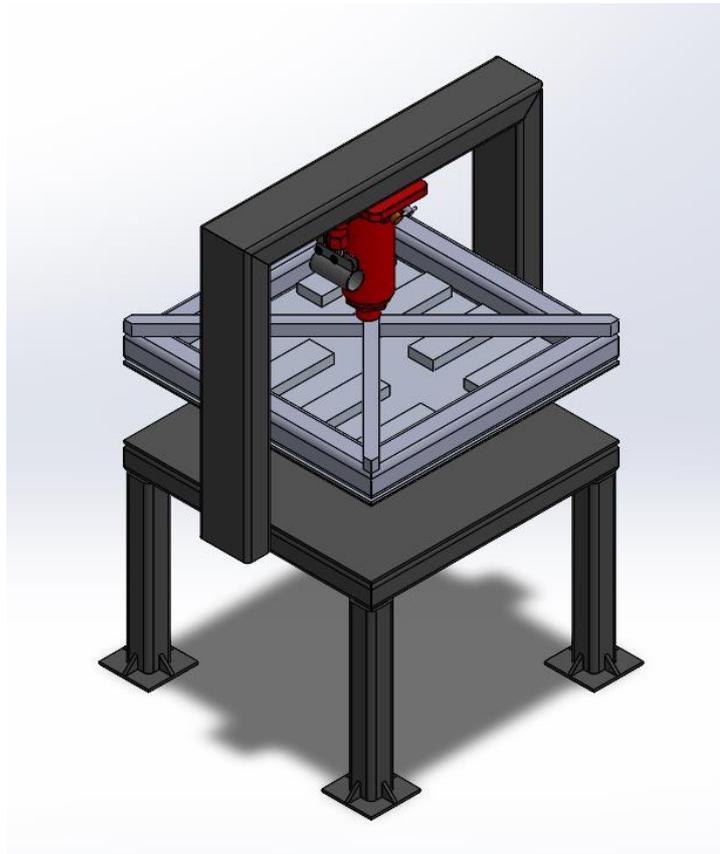


Fig. 4.2 Alternativa 1 de solución estructural (descartada)

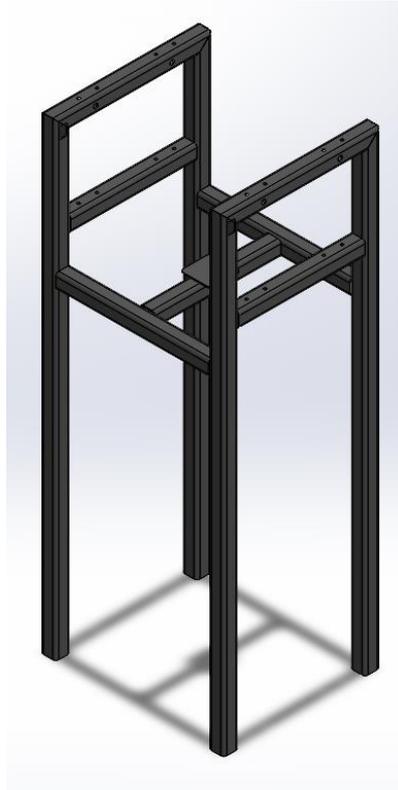


Fig. 4.3 Alternativa 2 de solución estructural (seleccionada)

Tabla 4.5 Tabla comparativa ventajas vs desventajas de la solución propuesta

Ventajas	Desventajas
Elementos de control, mecánicos y de calentamiento ubicados en orden ascendente sin interferencia entre ellos.	Aumento de la cantidad de material estructural necesario para su construcción respecto a otras propuestas.
Diseño modular, facilita el mantenimiento y corrección de los subsistemas del equipo.	Se requiere elementos adicionales de sujeción para los subsistemas que conforman la propuesta.

En la Tabla 4.5 se pueden observar las ventajas y desventajas de la alternativa seleccionada; la cual tiene un costo ligeramente más alto en cuestión de materiales, sin embargo, su diseño modular brinda facilidades respecto al mantenimiento del sistema. La estructura se construye en acero SAEJ403-1008, el tipo de perfil estructural seleccionado se encuentra denotado en el catálogo del proveedor DIPAC como: Acero estructural cuadrado de 40 mm de lado y 2 mm de espesor de pared [34]. Si en análisis posteriores se concluye que el espesor de pared es insuficiente para obtener una factor de seguridad mínimo de 2, este espesor se irá incrementado con el fin de obtener el resultado deseado.

4.2.2.3 Sistema eléctrico y de control

La máquina funciona a un voltaje de trabajo de 120V, el sistema está conformado por un tablero dieléctrico que alberga los sistemas de fuerza y control; el encendido del equipo se realiza mediante un selector de 2 posiciones NA, para el control de temperatura se usa un controlador PID modelo REX C-100 que controla mediante pulsos DC un relé de estado sólido con salida AC (SSR DA), el cual permite el flujo de corriente hacia las resistencias, el mando para el inicio del proceso se acciona a través de un pulsador NA de enclavamiento con piloto led. Finalmente, el sistema eléctrico consta de un RCBO que cumple las funciones de protección contra cortocircuitos y sobrecargas; con el fin de proteger el dispositivo, y con protección contra corrientes de fuga para protección del usuario respectivamente.

4.3 Cálculos y análisis

4.3.1 Análisis estático de la estructura

Este análisis del modelo en 3D parte de la evaluación de elementos finitos y permite determinar los esfuerzos de von Mises, desplazamiento máximo y factor de seguridad. Este proceso se realiza para afirmar o descartar si el prototipo en mención soportará la fuerza aplicada durante su uso. Para cuestiones de modelado se diseñó un miembro estructural de acuerdo con las medidas proporcionadas por DIPAC en su catálogo de materiales; siendo este un tubo estructural cuadrado de 40x40 mm² y un espesor de pared de 2mm, fabricado en acero SAE J403 1008 [34].

Al no disponer de ese tipo de acero en el catálogo de materiales del software de simulación, se optó por crear un material con las mismas características del acero SAE 1008, sin embargo, durante la investigación de sus características físicas se pudo evidenciar que este acero tiene su equivalente como acero ASTM A36 [35], el cual se encuentra disponible en el catálogo de materiales del software utilizado. Esta información se puede encontrar en la página MatWeb [35], la cual reúne información de diferentes fuentes bibliográficas para hacer un compendio de diferentes materiales con todas sus características físicas.

Adicionalmente, esto se puede corroborar en la web MakeItFrom [36], la cuál es una web con una base de datos de materiales estructurales, que facilita la comparación entre materiales y sus propiedades físicas a través de una representación visual.

Una vez seleccionado el material a usar en el software de simulación, se procede a generar un análisis estático a partir de la generación de una malla para proceder a un análisis de esfuerzos basado en elementos finitos (FEA). La fuerza a ejercer por la gata hidráulica es de 75 N, que corresponde al peso combinado de la estructura de prensado (Ver Fig. 4.8), esta se calcula mediante la Ecuación 1, que corresponde a la ecuación de la fuerza gravitacional [37].

$$\mathbf{F}_g = \mathbf{m} \times \mathbf{g} \quad (4.1)$$

Donde:

- \mathbf{F}_g = Fuerza gravitacional o peso (N)
- \mathbf{m} = masa del sistema (7,5 kg)
- \mathbf{g} = gravedad terrestre (9,8 m/s² para los cálculos se toma como 10 m/s²)

Al reemplazar los valores mencionados se obtiene el valor de la fuerza requerida mínima que debe ejercer la gata hidráulica, el cual se muestra a continuación:

$$F_g = 75 \text{ N} \quad (4.2)$$

Esta fuerza genera una deformación máxima en la estructura de 0,007 mm en la parte superior, que es donde va anclado el sistema de calentamiento.

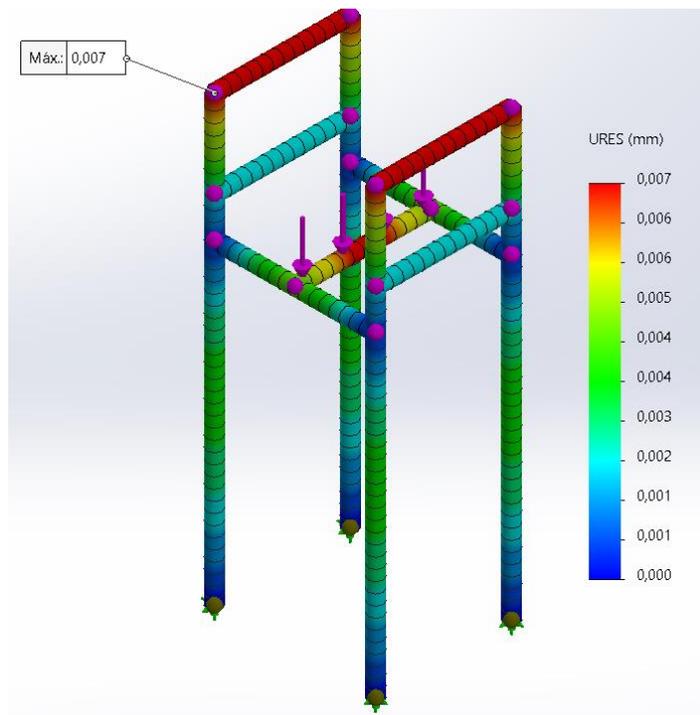


Fig. 4.4 Desplazamientos en la estructura

Para el factor de seguridad (FS), se obtiene que el valor propuesto en las restricciones es superado ampliamente (ver Fig. 4.5), con un valor mínimo de FS en la estructura de 231,39. Un nuevo análisis muestra que la estructura es capaz de soportar 30 veces la fuerza ejercida por la gata hidráulica (2250 N), manteniendo un factor de seguridad sobre los 7 puntos. (ver Fig. 4.6)

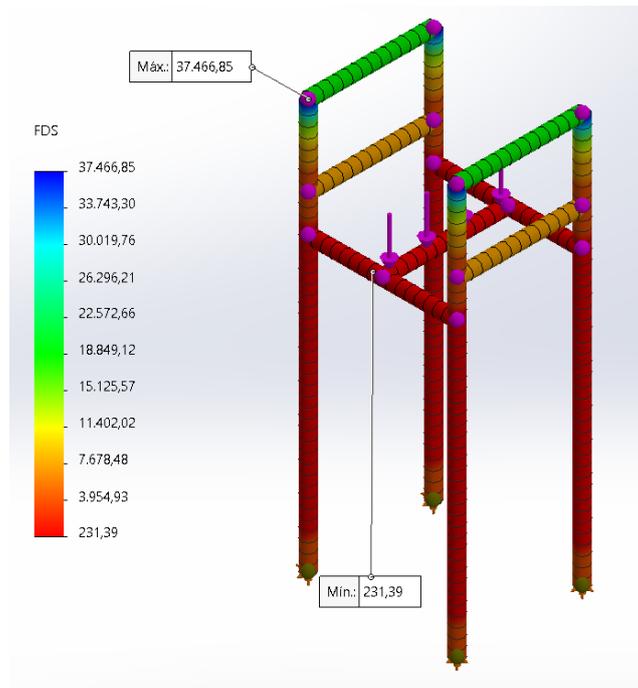


Fig. 4.5 Factor de seguridad de la estructura sometida a una fuerza de 75 N

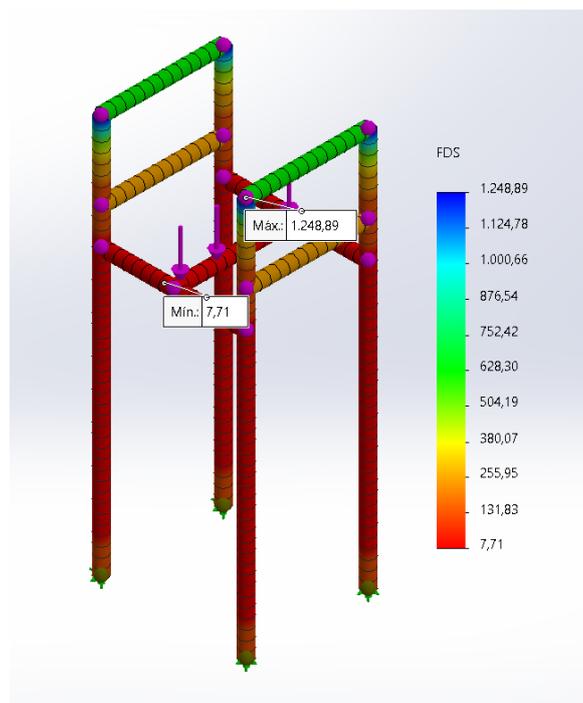


Fig. 4.6 Análisis de la estructura sometida a una fuerza de 2250 N

En una simulación posterior se reduce el espesor de pared de la estructura al valor mínimo disponible, siendo este de 1,2mm [34] y posteriormente se realiza un análisis estático de la estructura, sometiéndola a una fuerza 30 veces mayor (2250 N) a la fuerza de trabajo requerida, obteniendo como resultados un FS de 4,84 en este análisis. (ver Fig. 4.7)

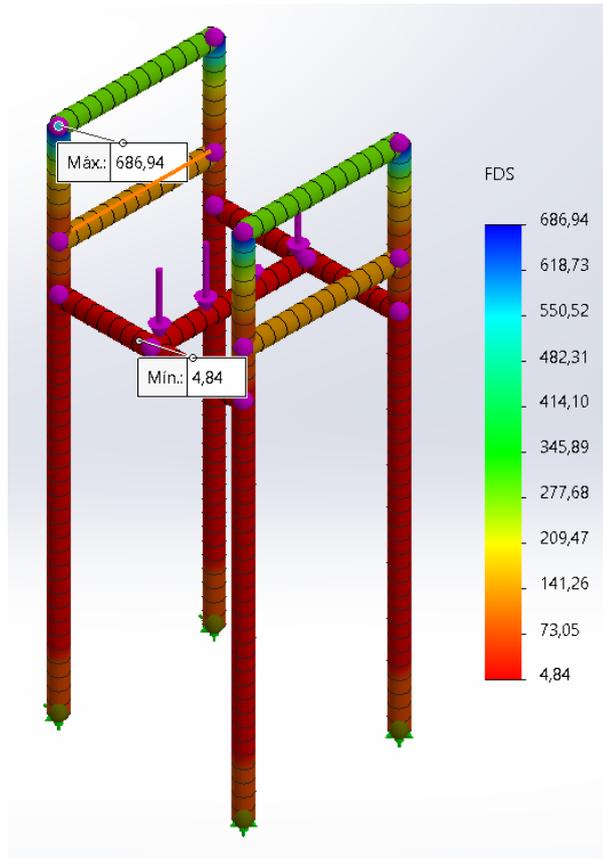


Fig. 4.7 Análisis estático de la estructura con un espesor de pared de 1,2 mm y sometida a una fuerza de 2250 N

4.3.2 Sistema de prensado

El sistema de prensado necesita elevar el peso de la mesa hasta la posición de la plancha de calor, eso supone ejercer una fuerza equivalente al peso de la mesa más el peso del material a termo formar. Para encontrar los pesos de los diferentes materiales a termo formar se puede calcular su peso necesario a través de la fórmula de densidad mostrada en la ecuación 4.2 [37]. Los valores de densidad y temperatura de fusión de los diferentes materiales termoplásticos se pueden observar en la Tabla 4.6.

Tabla 4.6 Temperatura de fusión y densidad de diferentes materiales termoplásticos [38], [39]

Tipo de plástico	Rango de temperaturas de fusión (°C)	Densidad (g/cm³)
ABS	190 - 270	1,02
HDPE	210 – 270	0,95
LDPE	180 – 240	0,92
PP	240 – 290	0,9
PS	170 - 280	1,05
PMMA	220 – 250	1,18
PET	260 – 280	1,37
PVC	170 - 190	1,38

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (4.3)$$

Donde:

- ρ = densidad (g/cm³)
- m = masa del elemento (g)
- v = volumen requerido (cm³)

Uno de los materiales disponibles para termo formar corresponde a HDPE triturado, obtenido del proceso de reciclaje de geomembranas desechadas; este material tiene una densidad de 0,95 g/cm³ y se requiere termoformar un área de 10x10cm² y 2mm de espesor que corresponde a un volumen de 20cm³, para lo cual se despeja el valor de la masa en la ecuación 4.2 y reemplazando los datos se tiene que:

$$m = \rho \times v \quad (4.4)$$

$$m = 19 \text{ g} \quad (4.5)$$

De esta manera se obtiene que la cantidad de material a utilizar para una plancha de 2mm de espesor son 19 gramos de HDPE. A este valor obtenido se le debe considerar un porcentaje adicional del 10% ya que el proceso es susceptible a pérdidas de material.

La masa del ensamble de la mesa elevadora se obtiene a través del apartado de propiedades físicas del software de simulación (Ver Fig. 4.8), dando como resultado un valor aproximado de 7 kg. Adicional a esto, se debe considerar la masa del material

a termoformar, moldes etc. En conclusión, un valor adecuado para la masa que debe elevar la gata hidráulica es de 7,5 kg; dependiendo de la cantidad de material a termoformar que tendrá que elevar el sistema de prensado.

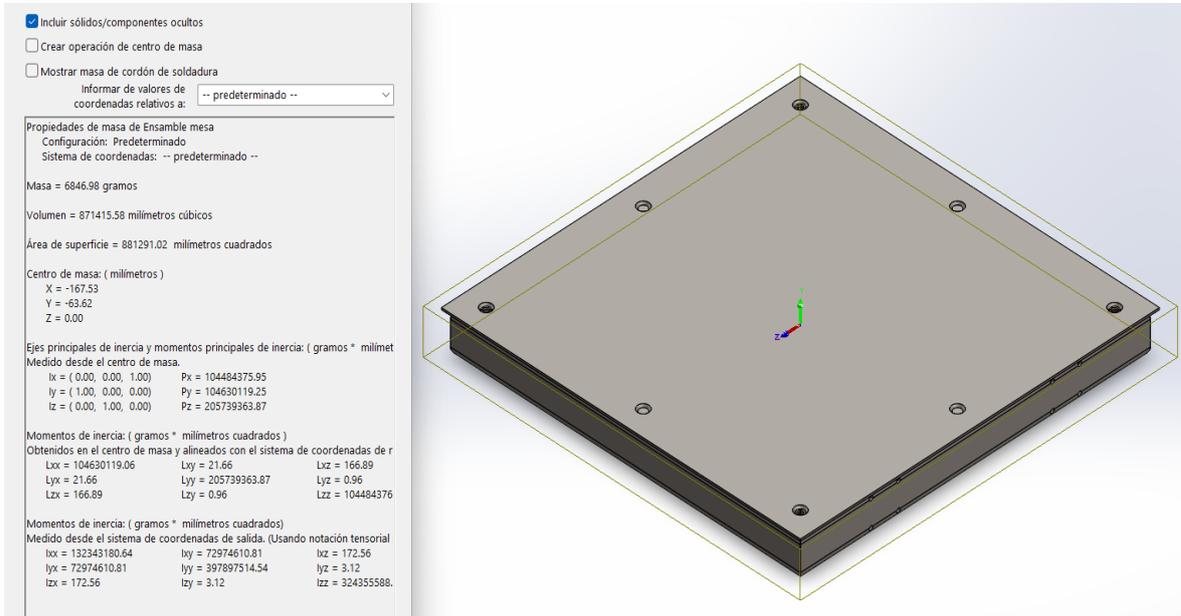


Fig. 4.8 Propiedades físicas del ensamble de la mesa elevadora

Como la presión es equivalente a una fuerza que actúa sobre una superficie [37], se puede calcular la presión ejercida por el sistema de prensado como:

$$p = \frac{F}{A} \quad (4.6)$$

Donde:

- **p** = Presión (Pa)
- **F** = Fuerza ejercida (N)
- **A** = Área total de la superficie (m²)

La fuerza que se va a aplicar es de 75N en un área de 0,01m² por lo que reemplazando estos valores en la ecuación 4.5 se obtiene que la presión ejercida es de:

$$p = 7500 \text{ Pa} \quad (4.7)$$

Este valor es la presión que el sistema va a ejercer sobre el material a termoformar entre la mesa de elevación y la plancha de calentamiento. El sistema de prensado implementado se muestra a continuación en la Fig. 4.9, este incluye: rodamientos lineales (diámetro 12mm) para un desplazamiento suave de la mesa, ejes de acero inoxidable (diámetro 7/16”) de pulgada, chumaceras autocentrantes (diámetro 12mm) para la sujeción de los ejes, una gata hidráulica de 1,5T y una palanca con parte de esta teniendo una forma excéntrica; lo que permite tener un mayor ángulo de movimiento ya que con esta forma no choca con la estructura de la mesa (ver Fig. 4.10).

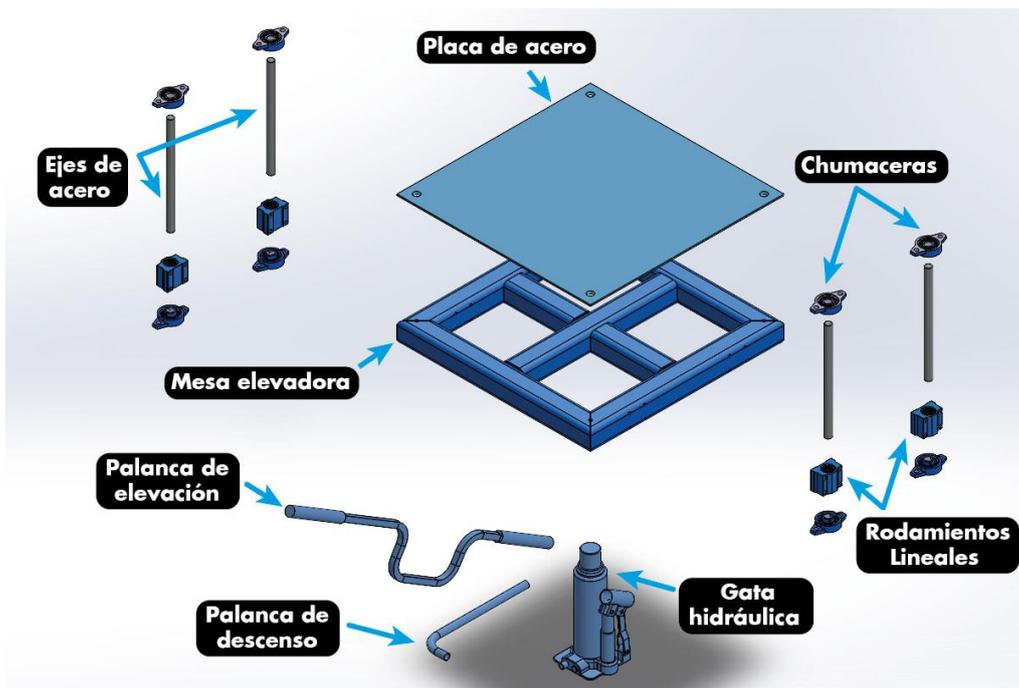


Fig. 4.9 Vista en explosión del sistema de prensado

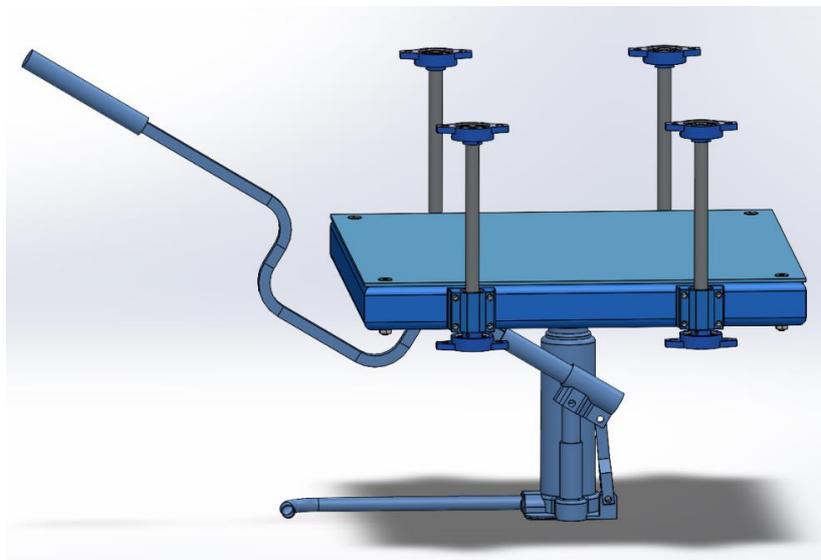


Fig. 4.10 Sistema de prensado en vista axonométrica

4.3.3 Sistema de calentamiento

4.3.3.1 Potencia calorífica requerida

Se requiere conocer la potencia necesaria para las resistencias, para eso, primero se calcula la cantidad de calor requerido por el sistema. Basado en los parámetros de diseño previamente establecidos, se deben calentar en conjunto la placa de aluminio, las matrices de aluminio y la plancha de acero de protección y llevarlos a la temperatura máxima a la que se debe elevar el sistema la cual es de 220 °C; siendo que, usualmente las temperaturas de moldeo para la mayoría de termoplásticos oscilan entre 180 °C a 220 °C [40]. Se considera que las resistencias tendrán que elevar la temperatura de la plancha térmica hasta la temperatura máxima prevista (220° C, 493 K) a partir de la temperatura ambiente (25 °C, 298 K). Para ello, es necesario calcular la cantidad de energía necesaria para realizar este cambio de temperatura en las masas de los elementos del sistema; para este fin, se hace uso de la ecuación de calor específico de un sistema [37]:

$$Q = m \times c_e \times \Delta T \quad (4.8)$$

La ecuación describe la energía interna que debe acumular un cuerpo de masa m , con un calor específico C_e , para lograr un cambio de temperatura ΔT [40]; en este caso la variación de temperatura será de 195 °C. Para las matrices de aluminio, inicialmente se considera el uso de 8 unidades como máximo y sus dimensiones se ajustan para alojar las medidas más comunes de resistencias mostradas en la Tabla 4.9. La cantidad y dimensiones finales se seleccionan mediante simulaciones posteriores que optimicen el diseño, la masa de los cuerpos es calculada mediante un software a partir de sus dimensiones.

Tabla 4.7. Dimensiones físicas de los elementos de la plancha

Elemento	Espesor (mm)	Dimensiones LxL (mm)	Masa (kg)
Plancha de aluminio ASTM A1200	4	400 x 400	1,73
Matriz de aluminio (8 unidades)	20	40x120	0,243
Placa de acero AISI 201	2	400 x 400	2,52

Con el fin de realizar los cálculos previstos se requiere también conocer los calores específicos del aluminio y el acero, estos pueden encontrar en la web o tablas de propiedades de los fabricantes (ver Tabla 4.8).

Tabla 4.8. Calor específico de los materiales de la plancha. [41], [42]

Material	Calor específico (Ce) J/g °C
Acero	0,5
Aluminio	0,902

Antes de realizar el cálculo de los valores de Q, se pasa el valor de las masas de “kg” a “g” para facilitar el cálculo posterior; reemplazando estos valores y $\Delta T=195\text{ °C}$ en la ecuación 4.8 se obtiene los siguientes valores para cada material como resultado:

$$\text{Placa de aluminio} \quad Q_{Al(Placa)} = m_{Al(Placa)} \times c_{eAl} \times \Delta T \quad (4.9)$$

$$1,73 \text{ kg} = 1730 \text{ g} \quad Q_{Al(Placa)} = 304\,289,7 \text{ J} \quad (4.10)$$

$$\text{Matriz de aluminio} \quad Q_{Al(Matriz)} = m_{Al(Matriz)} \times c_{eAl} \times \Delta T \quad (4.11)$$

$$0,243 \text{ kg} = 243 \text{ g} \quad Q_{Al(Matriz)} = 42\,741,27 \text{ J} \quad (4.12)$$

$$\text{Placa de acero} \quad Q_{Acero} = m_{Acero} \times c_{eAcero} \times \Delta T \quad (4.13)$$

$$2,52 \text{ kg} = 2520 \text{ g} \quad Q_{Acero} = 245\,700 \text{ J} \quad (4.14)$$

$$Q_{total} = Q_{Al(Placa)} + 8Q_{Al(Matriz)} + Q_{Acero} \quad (4.15)$$

$$Q_{total} = 891\,919,86 \text{ J} \quad (4.16)$$

Como resultado se obtiene que para elevar la temperatura del sistema de calentamiento desde 25 °C hasta los 220 °C se requieren $891\,919,86\text{ J}$ de energía. Por lo general, las planchas térmicas de sublimación alcanzan su temperatura de trabajo en torno a los 30 minutos, por lo que se toma este valor de referencia como parámetro para calcular la potencia requerida en ese intervalo de tiempo. La definición de potencia es válida para cualquier medio de transferencia de energía [37], en este caso, el trabajo (W) es igual a la cantidad de calor necesaria (Q_{Total}) para elevar la temperatura del sistema a 220 °C calculada en la ecuación 4.16. En la ecuación 4.17 se puede ver la forma para calcular la potencia del sistema en un intervalo de tiempo.

$$P = \frac{W (J)}{t (s)} \quad (4.17)$$

Donde:

- **P** = Potencia (watt, w, J/s)
- **W** = Trabajo como medio de transferencia de energía (J)
- **t** = Tiempo durante el cual se efectúa el trabajo (s)

Al reemplazar el valor de trabajo calculado anteriormente (Q_{Total}), y el tiempo de ejecución ($t = 30\text{min}$, 1800 s) en la ecuación 4.14, se obtiene como resultado que la potencia requerida es igual a:

$$P = 495,5W \cong 496W \quad (4.18)$$

Este valor corresponde a la potencia total requerida por el sistema para pasar su estado térmico de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $220\text{ }^{\circ}\text{C}$ en un tiempo de 30 minutos, la potencia puede ser proporcionada por una o varias resistencias; en el caso del diseño planteado el número oscila entre 4 a 8 resistencias, número que será optimizado más adelante mediante simulaciones de transferencia de calor. El valor de la resistencia seleccionada más adelante debe ser valor cercano al valor calculado y que se encuentre entre los rangos de opciones comerciales disponibles (ver Tabla 4.9), para la selección se adopta un enfoque conservador, empezando con valores bajos de potencia y posteriormente aumentando la misma en caso de ser requerido.

4.3.3.2 Simulación térmica

Se usa este análisis para ver el comportamiento térmico del sistema, uno de los objetivos buscados es definir el número y tamaño adecuado de las matrices de aluminio con el fin de optimizar sus dimensiones y posiciones en el sistema (distancia entre matrices y distancia a los bordes), de manera que se logre una transferencia térmica equilibrada a todos los puntos del sistema sin generar puntos de menor o mayor temperatura.

La selección de las resistencias se realiza en base a una investigación de disponibilidad/precio entre proveedores nacionales e internacionales; para los proveedores nacionales no se dispone de un catálogo de resistencias debido a que estas se fabrican a la medida de los requerimientos de potencia y dimensiones del

cliente. En proveedores internacionales, se encuentran medidas estándar pero también ofrecen fabricación a medida en pedidos de más de 5 unidades; las medidas disponibles más comunes son las mostradas en la Tabla 4.9, tomadas de varios fabricantes.

Tabla 4.9 Compendio de valores de resistencias más comunes investigadas

Potencia (w)	Diámetro (mm)	Longitud (mm)
330	13	62
340	13	65
350	13	68
370	13	70
400	13	75
400	10	980
400	10	100
420	10	105
450	10	110
470	10	115
400	12	80
400	12	82
420	12	85
450	12	90
460	12	95
400	8	11
410	8	112
420	8	115

Como se puede observar, existe una relación entre el diámetro de la resistencia y su longitud vs la potencia que esta es capaz de alcanzar; diferentes proveedores manejan un valor de diámetro estándar para su proceso de fabricación, y varían la potencia en función de la longitud de la resistencia, esto da como resultado que para un mismo valor de potencia existen varias opciones de resistencias diferentes.

La alternativa seleccionada para el diseño es la resistencia de 400W, 8 mm de diámetro y 110 mm de largo; debido a que esta potencia es la más común entre diversos fabricantes (énfasis en color gris) y su valor es cercano al obtenido como resultado de la ecuación 4.15. El criterio de selección se basa en el diámetro, ya que;

al ser el menor entre todos los tamaños disponibles, en caso de requerir una mayor potencia para el sistema se puede agrandar en la matriz de aluminio previamente usada un orificio de mayor diámetro, sin tener que recurrir a la fabricación de nuevas matrices.

La matriz se realizará en fundición de aluminio recuperado de latas de refresco recicladas, las dimensiones consideradas inicialmente son:

- **Ancho** = 6 cm
- **Alto** = 2 cm
- **Profundidad** = 11 cm

El valor de ancho es susceptible a cambios posteriores, se analizará mediante simulaciones si deben ampliarse o reducirse con el objetivo de mejorar la distribución térmica y a la vez, economizar el material. Los valores de alto y ancho se mantienen constantes con el fin de proporcionar un espacio adecuado, que permita aumentar el diámetro para resistencias de mayor potencia si el diseño así lo requiere.

Para la simulación térmica se usa como referencia el acero AISI 304 en lugar del AISI 201 utilizado para la implementación del sistema, esta consideración se toma debido a que la biblioteca de materiales del software utilizado no cuenta con el acero AISI 201 entre su lista de materiales. Una comparativa realizada determina que el acero 201 tiene propiedades mecánicas y térmicas equivalentes al acero 304 [42] y este último está disponible en la biblioteca de materiales del software a utilizar, los datos a usar dentro del software como cargas térmicas son los siguientes:

- **Potencia calorífica de la resistencia:** 400W
- **Temperatura inicial:** 298 K
- **Coefficiente de convección del sistema:** 25 w/m²K [43]
- **Material de la matriz:** Aluminio A3004

Con estos datos se procede al primer análisis térmico, en este se determina la capacidad de la resistencia para transferir el calor a la matriz y la distancia a la que es capaz de transferir el calor de manera óptima

La rejilla observada en la Fig. 4.11 tiene un valor de 5 mm en cada lado, la simulación muestra que la resistencia sobrepasa los 220 °C requeridos a los 3 minutos, con la mayor carga térmica concentrada en torno a los 30 mm a su alrededor. Esta

distancia no varía de manera significativa como se puede observar en la Fig. 4.12, manteniéndose en torno a los 30 mm y solo aumentando la temperatura alcanzada en estos puntos.

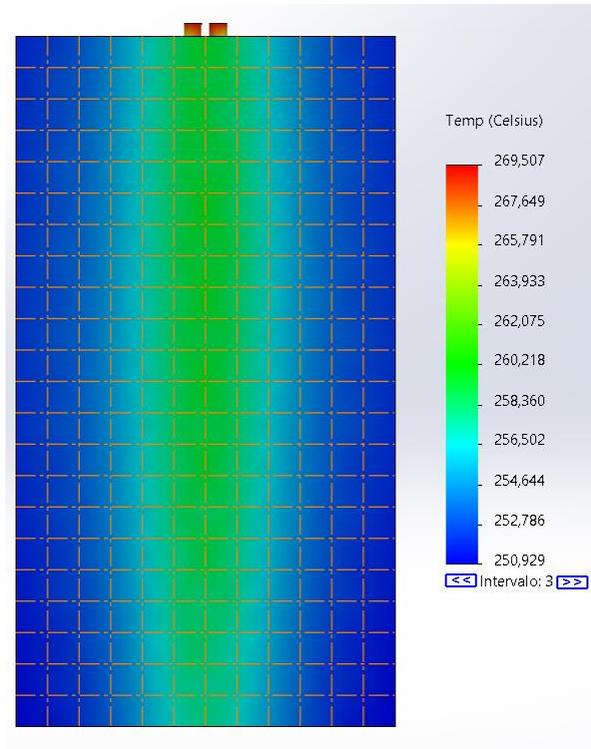


Fig. 4.11 Simulación inicial de la distribución térmica en la matriz a los 3 minutos

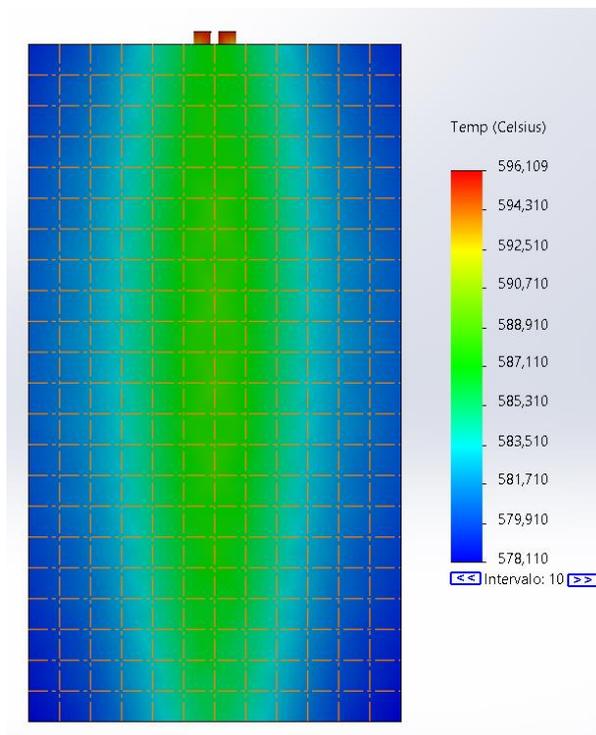


Fig. 4.12 Distribución térmica a los 10 minutos

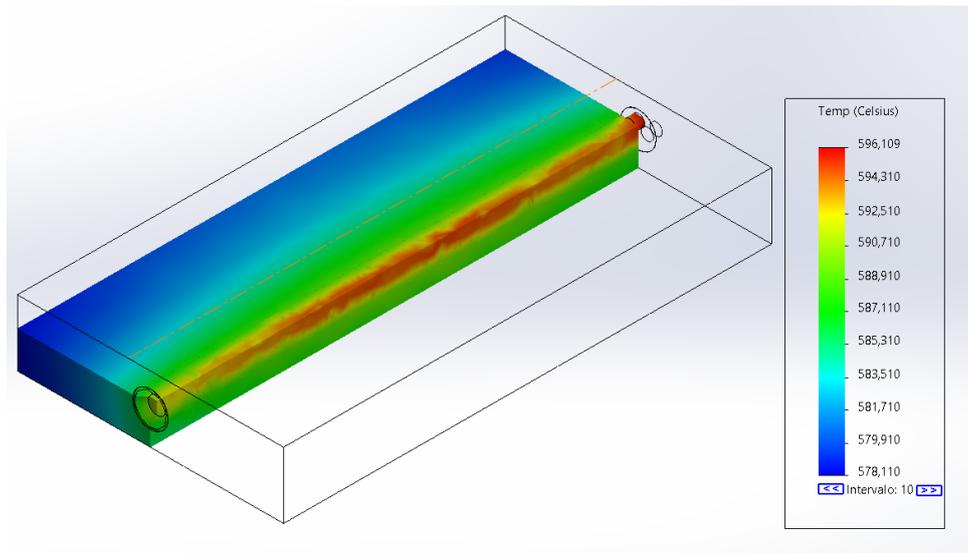


Fig. 4.13 Distribución térmica a los 10 minutos, vista seccionada

De estas observaciones se concluye que el tamaño ideal para la fabricación de la matriz es de 40 mm de ancho; de estos, 8 mm son requeridos para la inserción de la resistencia, dejando 16 mm a cada costado como espacio para ampliar el diámetro de inserción en caso de ser requerido, y para realizar perforaciones pasantes en la cara superior con el fin de sujetar las matrices a la placa de aluminio mediante tornillos.

Una vez ajustado el ancho de la matriz se procede a realizar un nuevo análisis, en el cual se mide la capacidad de transferir calor del conjunto matriz - resistencia a la plancha de calor (conjunto placa de aluminio - placa de acero). Para esto se genera una rejilla cuadrada de 2 cm sobre la placa de calor con el fin de determinar hasta que distancia se puede transferir el calor de una manera óptima, en la Fig. 4.14 se puede observar la rejilla y la zona de transferencia efectiva; siendo esta una elipse de eje mayor 10 cm y eje menor 16 cm dentro de la cual la temperatura se mantiene constante en un rango de 105° C, exceptuando la parte interna donde se genera el calor.

Aparentemente, la potencia proporcionada por la resistencia parece ser insuficiente para alcanzar la temperatura requerida, sin embargo, los cálculos previos confirman que es posible alcanzar la temperatura prevista con el tiempo; como resultado se plantea la hipótesis de que al solapar las zonas de transferencia térmica entre resistencias adyacentes se puede aumentar la temperatura en estas zonas y alcanzar los valores previstos en menor tiempo.

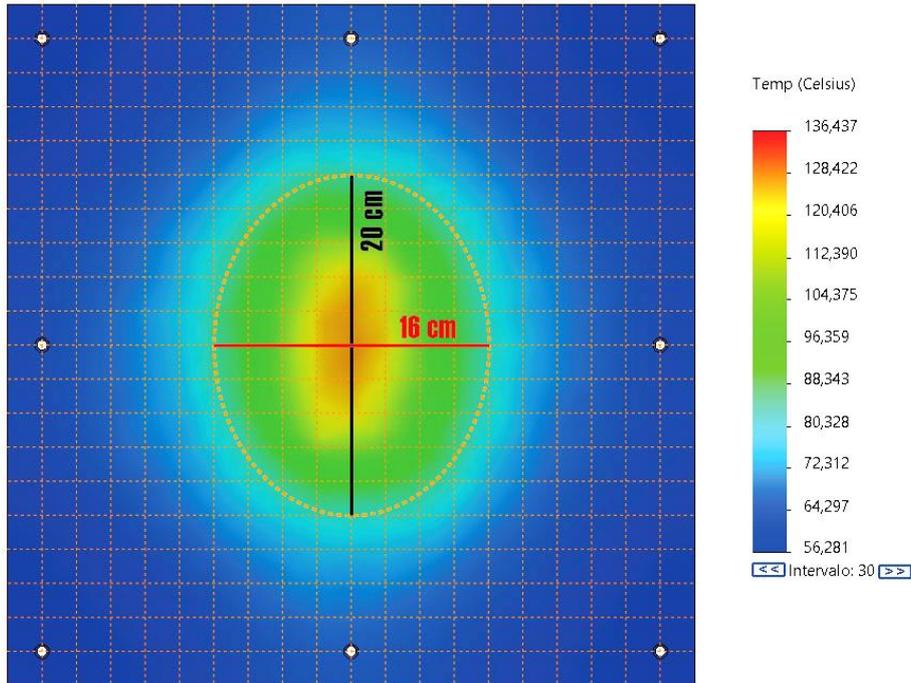


Fig. 4.14 Distribución térmica sobre la placa de calor

Con esta hipótesis, se realiza una distribución geométrica de la zona que comprende la elipse dentro del área a calentarse, para determinar el número de resistencias requeridas; encontrando que el número ideal son 6 resistencias (ver Fig. 4.15), un número menor no tiene la capacidad de cubrir todos los flancos necesarios para una distribución adecuada. Posterior a esto se procede a un nuevo análisis del sistema, distribuyendo las resistencias en las distancias mostradas en la Fig. 4.15.

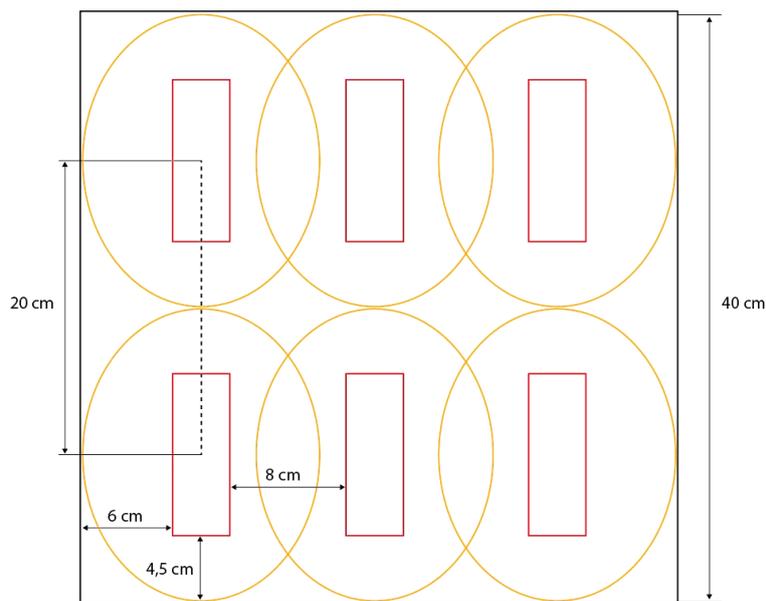


Fig. 4.15 Distribución de matriz/resistencias (rojo) y zonas de calor (naranja) en la placa

Los resultados obtenidos muestran que, aunque la distribución geométrica es la correcta para llenar la mayoría de las áreas dentro de la placa, hay puntos de calor altamente concentrados sorpresivamente en las resistencias intermedias; debido a que las áreas donde se intersecan las zonas de calor no permiten que las resistencias adyacentes a ambas zonas disipen el calor de manera efectiva (ver Fig. 4.16). No obstante, la hipótesis planteada sobre la acumulación de calor entre zonas adyacentes resulta ser correcta; obteniendo como resultado que el sistema alcanza una temperatura promedio de 180 °C en las zonas contiguas entre resistencias, en un tiempo de 8 minutos como se muestra en la Fig. 4.16.

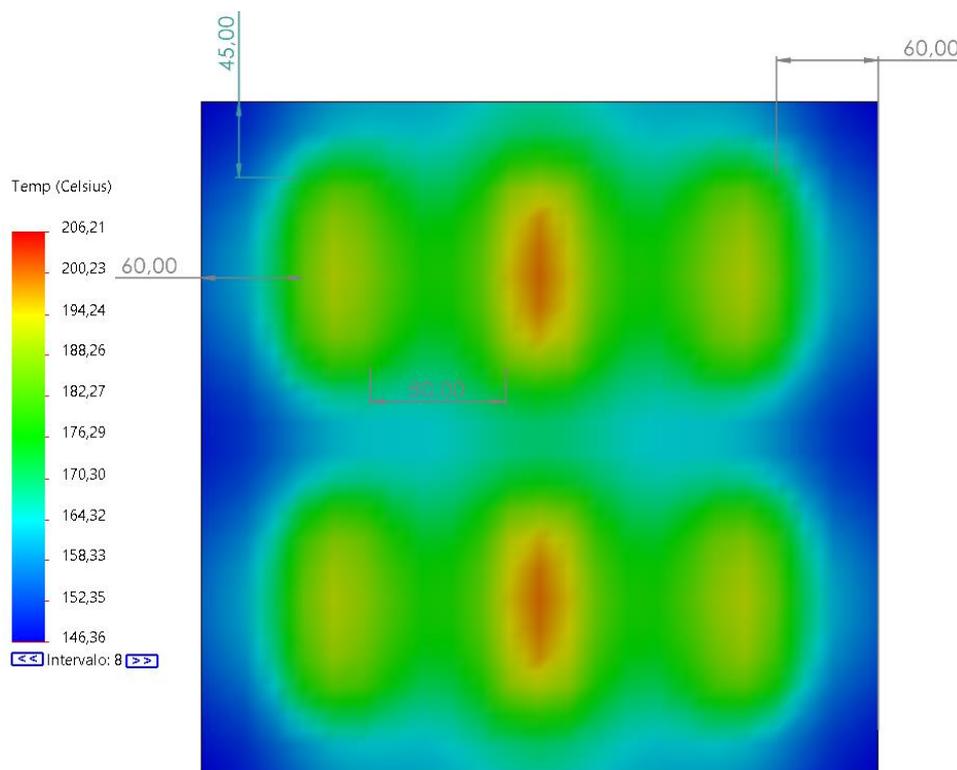


Fig. 4.16 Análisis térmico de la distribución realizada

En simulaciones posteriores, en las cuales se prueba ajustando las distancias entre resistencias se logra encontrar la distribución adecuada para el sistema; siendo esta: 47,43 mm desde los bordes de la placa hasta los laterales de la matriz ubicada en la esquina superior izquierda, y a partir de esta, una distancia entre matrices de 50 mm en dirección horizontal, y 68 mm entre matrices en dirección vertical. El sistema alcanza la temperatura esperada de 220° C a los 16 minutos con una distribución térmica cuasi uniforme. Los puntos de menor temperatura (en color azul) mostrados en la Fig. 4.16 se consideran irrelevantes debido a que estos se ubican en los bordes de la plancha térmica,

que es por donde esta va sujeta a la estructura, por lo que en estas áreas no se realiza ninguna función de transferencia de calor.

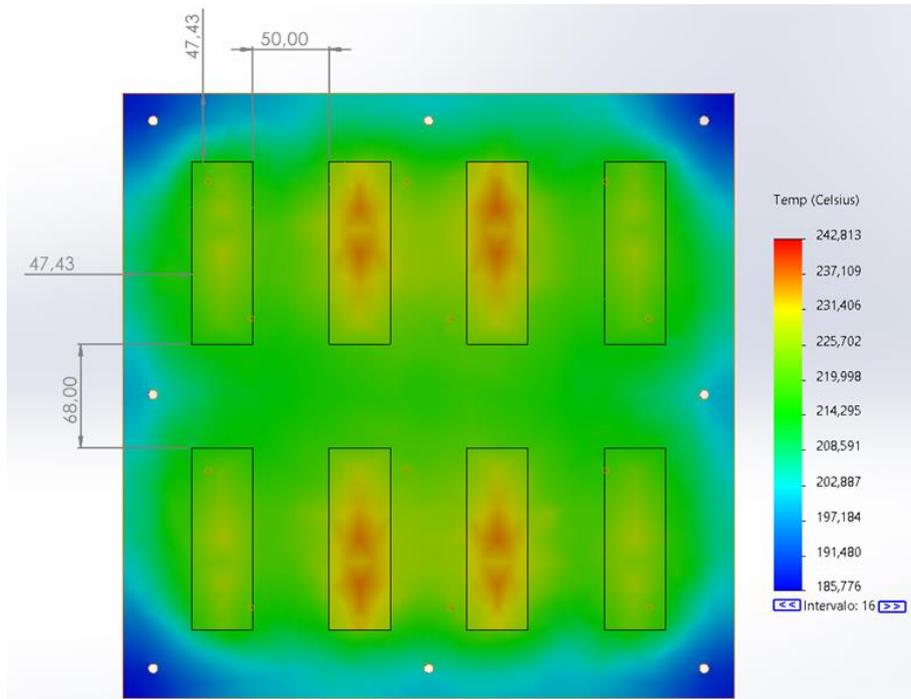


Fig. 4.17 Simulación térmica, vista superior

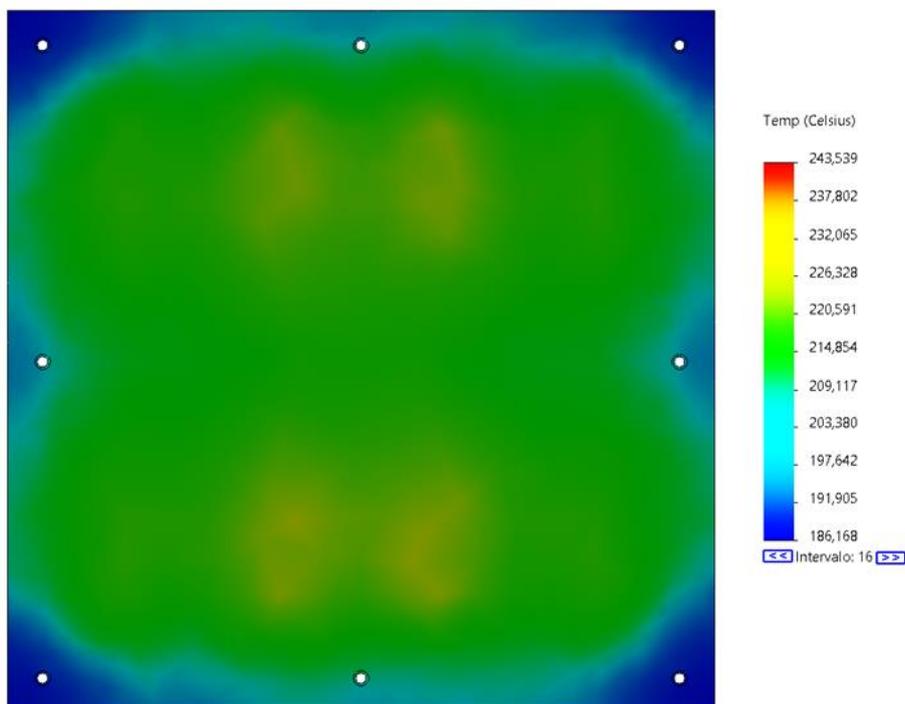


Fig. 4.18 Simulación térmica, vista inferior

Finalmente, con los datos obtenidos mediante las simulaciones se procede al diseño final del sistema de calentamiento en un software CAD, este diseño se muestra en la Fig. 4.19 y se realiza tomando en consideración el número de matrices de aluminio necesarias para la distribución efectiva de calor, sus dimensiones y posiciones en el sistema.

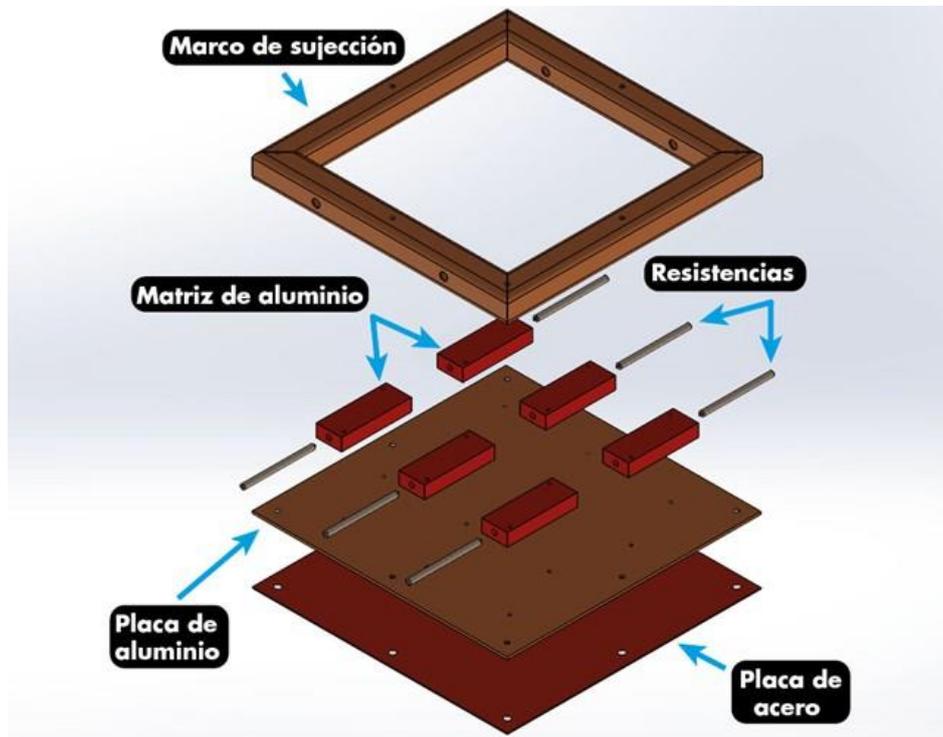


Fig. 4.19 Vista explosionada del sistema de calentamiento

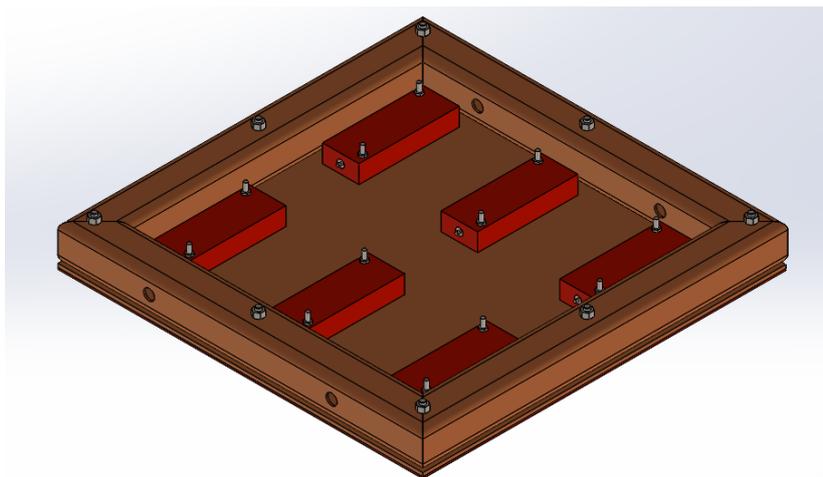


Fig. 4.20 Vista isométrica del sistema de calentamiento

4.3.4 Sistema eléctrico y de control

A continuación, se describe el sistema eléctrico y de control del proyecto (ver Fig. 4.21). El sistema se alimenta a 120V hacía un dispositivo RCBO de 40A que cumple a la vez las funciones de termomagnético y diferencial, con el fin de proteger al sistema de cortocircuitos y sobrevoltajes, y al operario de corrientes de fuga respectivamente. El RCBO seleccionado es de curva C [44] utilizado para aplicaciones residenciales y cuenta con una sensibilidad de 0,3 mA.

Posteriormente, tanto línea como neutro pasan a un bloque de distribución de poder, desde ahí la línea pasa a conectarse a un selector ON/OFF para el encendido del sistema. Para la parte de control se alimenta el controlador de temperatura PID REX-C100, el cuál mediante un termopar censa la temperatura de las resistencias y comanda los terminales de control de un relé de estado sólido de 40A (SSR 40DA), estos permiten cerrar los terminales de carga del SSR que energizan el cable de línea de las resistencias.

En el cable de línea que va hacía el SSR se coloca en serie un pulsador NO con enclavamiento, este dispone de un led piloto de color amarillo para indicar que el proceso de calentamiento está en marcha; este pulsador impide el paso de voltaje de línea hacía los terminales de carga del SSR. De esta manera el sistema no empieza a calentar mientras el operario no oprima el pulsador, permitiendo que se realicen ajustes a la programación del controlador si así lo requiere.

Del terminal de salida de carga del SSR se energiza mediante un cable de alta temperatura hacía borneras cerámicas de 2 polos ubicada en el área de calentamiento, en estas van conectadas las resistencias en paralelo. Finalmente, el circuito se cierra mediante un cable de alta temperatura que va desde el neutro del bloque de distribución hacía el polo restante de las resistencias.

Esta conexión de carga en combinación con las señales de control provistas por el módulo REX-C100 permite energizar las resistencias al cerrar el circuito conmutando la carga a muy altas velocidades según sea requerido, permitiendo así un control óptimo de la temperatura según las necesidades previstas.

Las resistencias están conectadas en una distribución en paralelo, debido a que no deben variar en más de $\pm 10V$ del voltaje de trabajo previsto que es de 120V, al conectarlas

en paralelo se logra que el voltaje suministrado a todas las resistencias sea el mismo, mientras que el amperaje suministrado por el SSR 40DA se divide entre las 6 resistencias.

En la Fig. 4.21 se puede observar el diagrama de conexiones implementado con sus respectivas etiquetas, las líneas en color “negro” representan la línea de fase como indica la normativa, mientras que las líneas en color “amarillo” representan el neutro; la normativa indica que el color para un sistema de 120V para el cable de neutro es blanco, lo cual está implementado en la fase de construcción sin embargo para la representación visual del esquema se usa el color amarillo con el objetivo de tener una mejor visualización. La parte de control funciona a 24V DC y está representada en el gráfico por líneas de color “rojo” para el polo positivo y en color “azul” para el polo negativo.

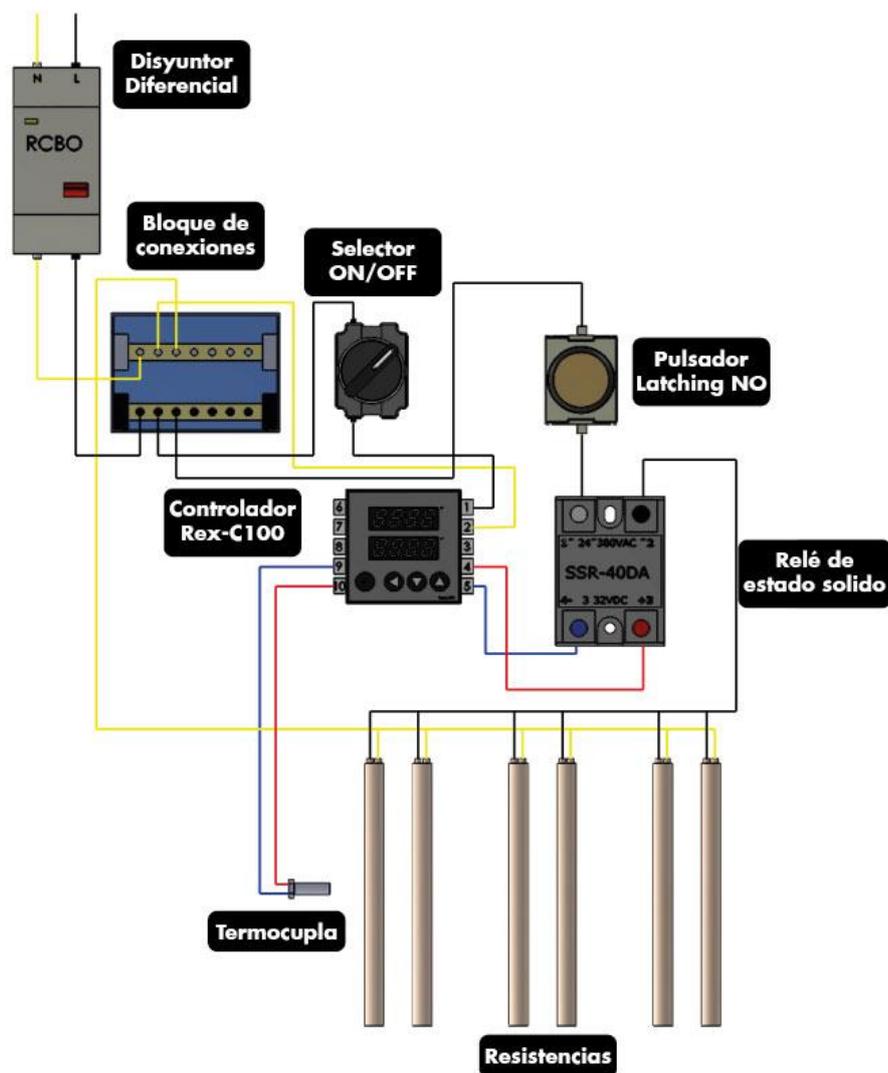


Fig. 4.21 Diagrama de conexiones de los elementos del sistema

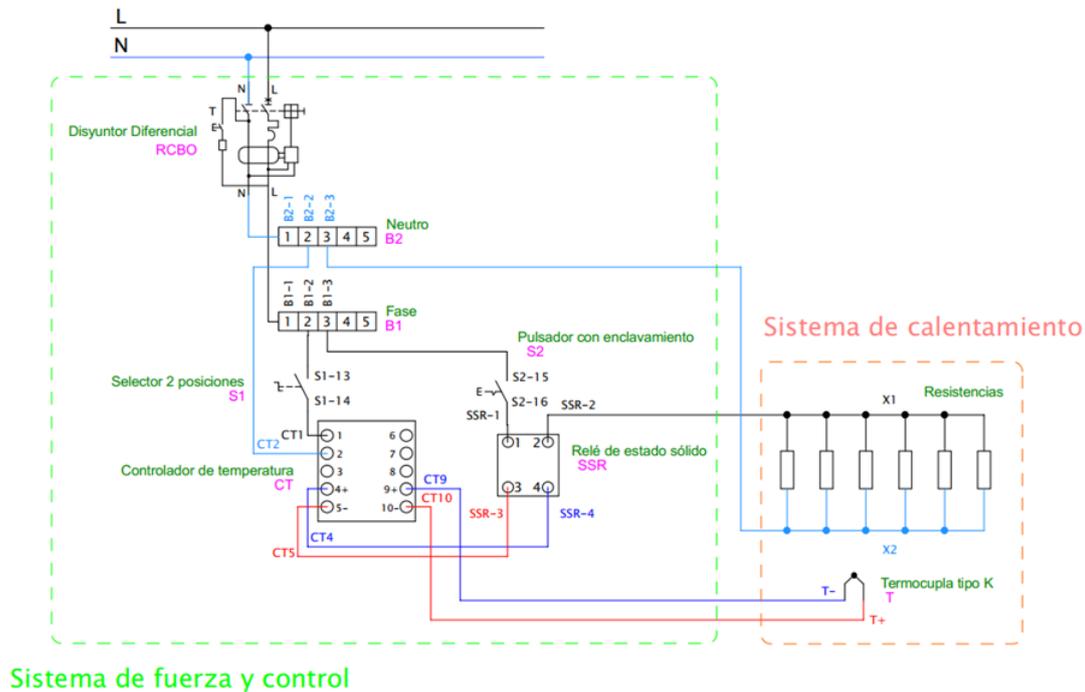


Fig. 4.22 Diagrama multifilar del sistema eléctrico

4.3.4.1 Consumo eléctrico

El sistema de calentamiento usa 6 resistencias tubulares de 400W cada una, lo que equivale a 0,4kW. Al contar con 6 resistencias la potencia total del sistema es igual a 2,4 kW requeridos para el sistema de calentamiento. El consumo (kWh) es igual a la potencia total del sistema por el tiempo de trabajo en horas, para el caso de las pruebas se prevé que el sistema esté en funcionamiento durante una hora, por lo que para ese intervalo de tiempo el consumo el consumo total es de 2,4 kWh.

4.3.4.2 Selección de conductor AWG

Como el dispositivo a construir es de alto consumo se requiere seleccionar correctamente el cable a utilizar, para este cálculo se considera el voltaje y la potencia requerida por el sistema.

- **Voltaje:** 120V
- **Potencia:** 2400W

Este valor corresponde a la potencia real del sistema implementado, no debe confundirse con la potencia calculada en etapas anteriores, la cual fue una estimación de la potencia requerida para alcanzar los valores objetivos.

Con el objetivo de encontrar la corriente que consume el sistema se utiliza la ecuación 4.18, que corresponde a la ecuación de potencia eléctrica [45]:

$$P = I \times V \quad (4.19)$$

Reemplazando los datos y despejando el valor de Intensidad se obtiene que:

$$I = 20A \quad (4.20)$$

Este valor lo usamos para seleccionar el número de conductor requerido según la normativa vigente. La norma ecuatoriana para la construcción NEC indica que, para un consumo de 20 A se recomienda el uso de un cable AWG 12 como se puede observar en la Fig. 4.23. [46]

Calibre del conductor AWG	14	12	10	8	6
Capacidad máxima del interruptor (Amperios)	15/16	20	30/32	40	50

Fig. 4.23 Calibres de conductor y amperaje máximo según norma NEC

4.3.4.3 Programación del controlador de temperatura REX-C100

El módulo Rex-C100 es un controlador de temperatura de tipo PID, entre los tipos de controladores de temperatura, los controladores PID son los más rápidos y precisos; utilizan sistemas de realimentación de bucle cerrado para controlar la temperatura actual y realizar ajustes cuando es necesario [47].

El módulo dispone de una pantalla de dos líneas, la línea superior muestra la temperatura actual, que también se conoce como Variable de proceso (PV); mientras que, la línea inferior muestra la temperatura objetivo o Variable de ajuste (SV). De fábrica el módulo la temperatura está ajustada en grados centígrados, el tipo de termocupla por defecto es tipo K y la función de calentamiento está ajustada en modo ON/OFF; lo que significa que aumentará la temperatura hasta alcanzar el valor ajustado (SV) y apagará la alimentación una vez se alcance la temperatura desea, volviéndola a encender cuando esta temperatura baje del valor ajustado. Sin embargo, para el proceso de termoformado se requiere mantener una temperatura lo más cercana al valor establecido, por lo que se debe configurar el módulo en modo PID.

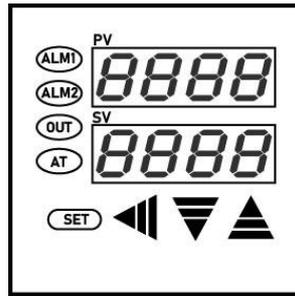


Fig. 4.24 Pantalla principal del controlador REX-C100

Para esto, luego de encender el sistema primero se debe asignar el valor de ajuste, esto se realiza presionando una vez el botón SET (ver Fig. 4.24), momento en el cual la pantalla inferior de SV empieza a parpadear y permite modificar el valor ajustado mediante los botones ubicados a la derecha de SET (◀▼▲), con este primer paso se define la temperatura de trabajo del sistema.

Posteriormente se debe mantener presionado el botón SET durante 3 segundos para acceder al menú principal; una vez dentro con mediante pulsaciones de SET se ubica la opción “P” la cual por defecto está en valor “0”, esto indica que el controlador se encuentra en modo ON/OFF. Nuevamente, con el botón SET se debe ubicar la opción ATU y con ayuda de los botones de dirección (▲) se cambia el valor asignado de “0” a “1” (ver Fig. 4.25); finalmente para salir del menú se debe mantener presionado el botón SET durante 3 segundos, o esperar 6 segundos sin oprimir hasta que salga de manera automática del menú de configuración.



Fig. 4.25 Cambio de parámetros de ON/OFF a PID

De esta manera, el controlador de temperatura queda configurado en modo Auto Tunning, el cual proporciona un control más preciso de la temperatura del sistema, a la vez una luz led ubicada en la palabra “AT” de la pantalla se mantendrá parpadeando en color naranja durante todo el proceso; se debe aclarar que este modo solo se mantiene

activo mientras el controlador está encendido y luego de un apagado el controlador volverá a iniciarse en modo ON/OFF.

Aunque el proceso de ajuste del modo AT no es difícil puede ser molesto bajo ciertas circunstancias, con el objetivo de evitar su ajuste cada que se inicia el controlador se pueden configurar parámetros para un control de temperatura en modo ON/OFF más eficiente ajustando los valores de “Histéresis”, “P”, “I” y “d” dentro del menú del controlador. Para esto se debe mantener presionado el botón SET durante 3 segundos, y una vez dentro del menú desplazarse hasta las casillas correspondientes y ajustar los valores según sea el caso, estos valores se mantienen fijos aún si el controlador se reinicia. El fabricante recomienda el uso de los valores mostrados en la Fig. 4.26 para la mayoría de las situaciones.



Fig. 4.26 Parámetros recomendados para un control ON/OFF eficiente

El sistema eléctrico implementado se muestra en la Fig. 4.27, en la cual se puede ver en la vista en explosión las partes que componen el sistema.

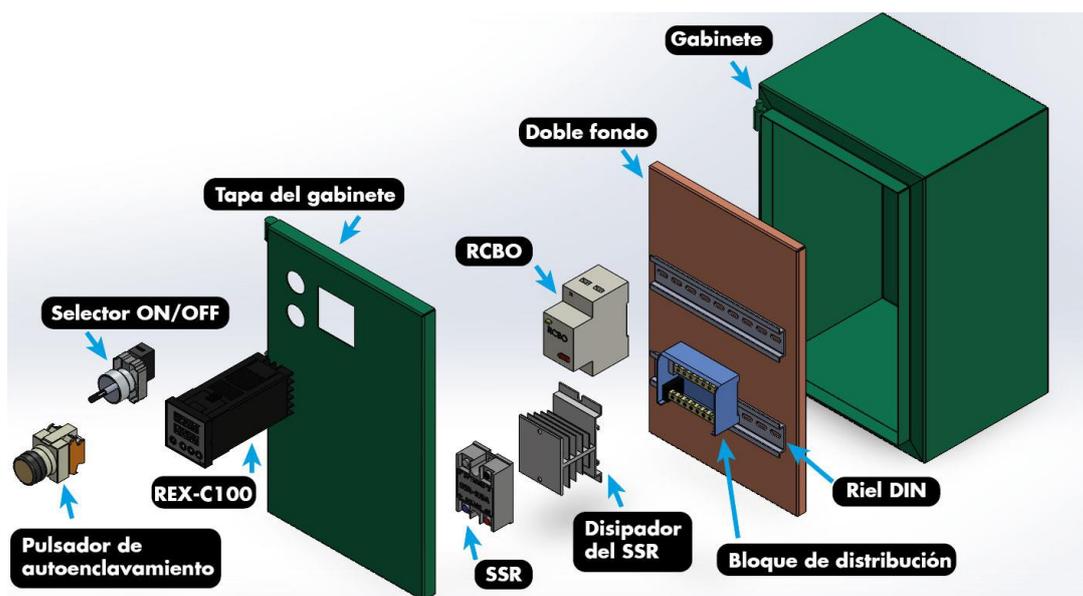


Fig. 4.27 Sistema eléctrico, vista en explosión

4.4 Implementación del sistema

En la Fig. 4.28 se puede observar la implementación del sistema de prensa de calor y sus respectivos subsistemas. Los elementos que forman parte del sistema de calentamiento están identificados en colores cálidos, mientras que los elementos del sistema de prensado se muestran en color fríos. Los elementos del sistema eléctrico están dentro del gabinete identificado en color verde. Finalmente, la estructura que agrupa y sostiene todos estos elementos se muestra en la parte central de la figura en color negro.

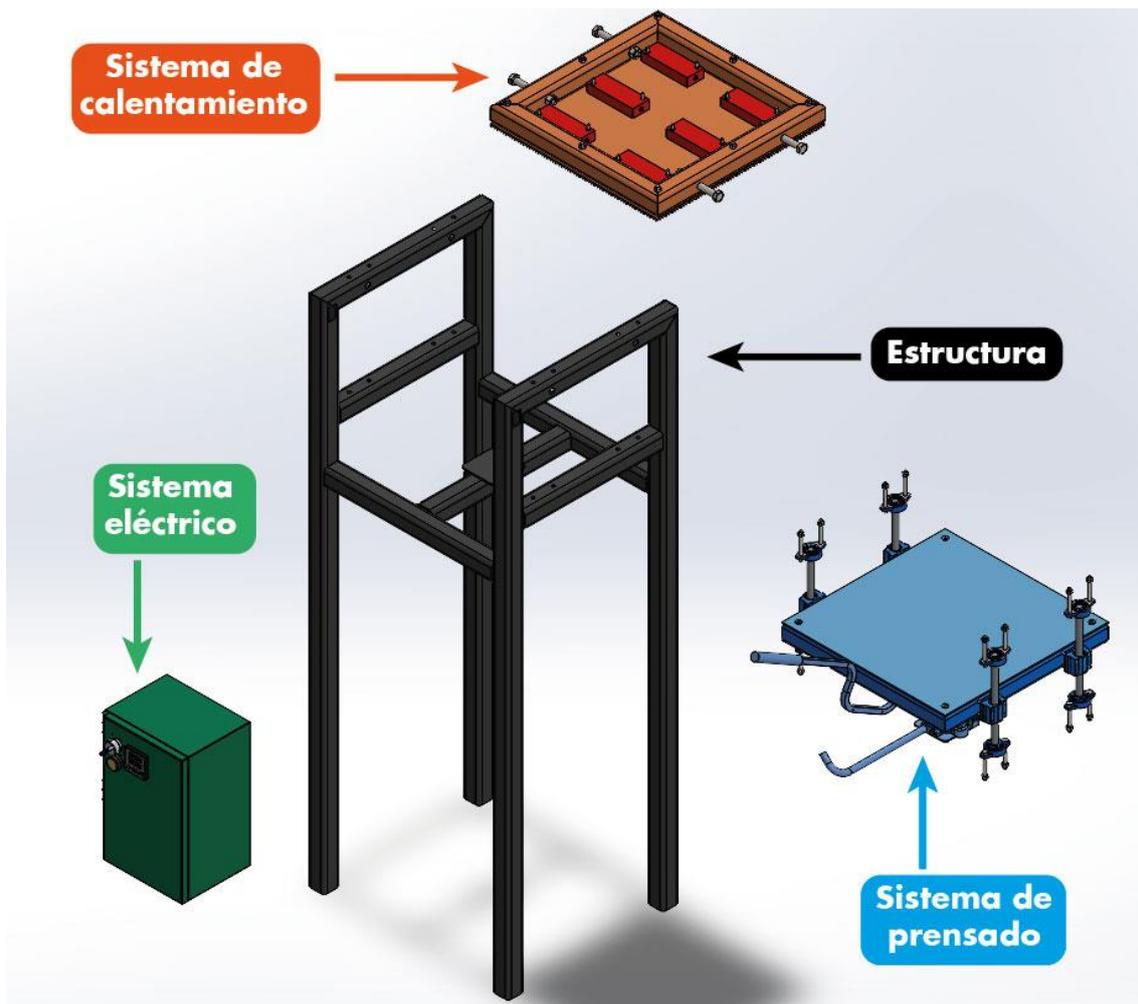


Fig. 4.28 Prensa de calor y sus subsistemas, vista en explosión

4.5 Pruebas

Las pruebas a realizarse serán para revisar los tiempos de calentamiento y si estos se ajustan a los valores obtenidos mediante las simulaciones del sistema, además de comprobar la factibilidad con la que se pueden termoformar los materiales plásticos. Los materiales seleccionados para estas pruebas son PMMA también conocido como

polimetacrilato, acrílico o plexiglás en formato de 3 mm de espesor; y HDPE conocido como polietileno de alta densidad en formato de geomembrana de 1 mm de espesor.

Ambos materiales han sido recuperados como desechos del proceso posterior de uso de estos, el acrílico luego de un proceso de corte láser en el cual ya no tiene valor para su reutilización por su tamaño; y el HDPE luego de su aprovechamiento como geomembrana para reservorios de agua, luego de la instalación de la geomembrana se cortan los excedentes de los bordes y estos al ser retazos de entre 0,5 a 1 m² no tienen manera de ser reutilizados en otras aplicaciones por lo cual son desechados.

Los materiales han pasado por un proceso de triturado con el fin de reducirlos a partículas que puedan ser termoformadas con mayor facilidad; sin embargo, debido a su dureza, espesor y las limitaciones de la trituradora usada, el acrílico no pudo ser triturado a un tamaño menor de 6 mm de diámetro. Caso contrario al del HDPE el cual debido a su flexibilidad fue posible triturarlo en partículas de alrededor de 3 mm de diámetro.



Fig. 4.29 HDPE triturado (izquierda), PMMA triturado (derecha)

Las temperaturas y tiempos seleccionados para los materiales son experimentales, se basan principalmente en pruebas empíricas documentadas en foros de reciclaje, siendo uno de los más conocidos PreciousPlastic. En este se encontró una tabla de Tiempo vs Espesor (ver Tabla 4.10) obtenida de forma experimental a 220 °C para el HDPE [48].

Tabla 4.10 Tiempo de termoformado vs espesor para HDPE a 220 °C

Tiempo (min)	Espesor (mm)
40	6
45	8
50	10
55	12
60	20

Sin embargo, los valores manejados en esta tabla empiezan desde espesores de 6 mm en adelante, por lo que se procede a realizar una regresión logarítmica con el fin de obtener los valores de tiempo para un espesor de 2 mm para el HDPE. Como se observa en la Fig. 4.30, para un espesor de 2 mm de HDPE se obtiene que el tiempo requerido para el proceso de termoformado es de aproximadamente 20 minutos.

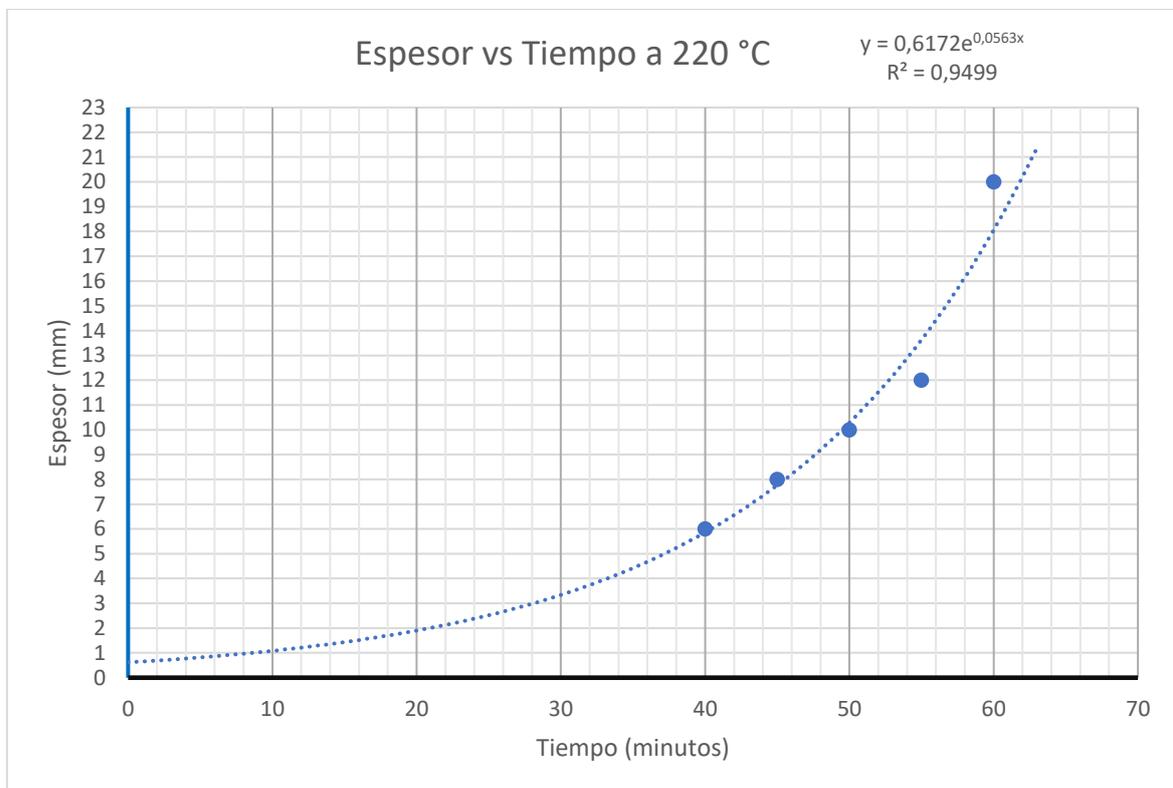


Fig. 4.30 Regresión logarítmica para la estimación del tiempo de termoformado del HDPE

Para el caso del PMMA no se encontraron datos que permitan estimar los tiempos de termoformado, por lo que se procede a realizar pruebas aumentando progresivamente el tiempo de termoformado tomando como parámetro la temperatura de fusión mostrada en la Tabla 4.6.

4.5.1 Pruebas de calentamiento

Las pruebas de calentamiento se realizan en 5 fases detalladas a continuación:

- **Prueba 1:** Calentamiento en vacío hasta la máxima temperatura permitida, modo ON/OFF.
- **Prueba 2:** Estabilización de temperatura en vacío a 80 °C, modo ON/OFF.
- **Prueba 3:** Calentamiento a 165 °C, modo Auto Tunning (AT).
- **Prueba 4:** Termoformado 1 de PMMA, modo AT.
- **Prueba 5:** Termoformado 2 de PMMA, modo AT.
- **Prueba 6:** Termoformado de HDPE, modo AT.

Para las pruebas se ubican 2 sondas para medir la temperatura de forma directa en la placa de calor; la primera es una termocupla (TC) que está ubicada en una posición a 42 mm medidos desde la parte superior de la estructura, y 20 mm medidos desde un costado del perfil estructural (ver Fig. 4.32), la termocupla está en contacto directo con la placa de aluminio y forma parte del sistema como se observa en la Fig. 4.31 (color morado).

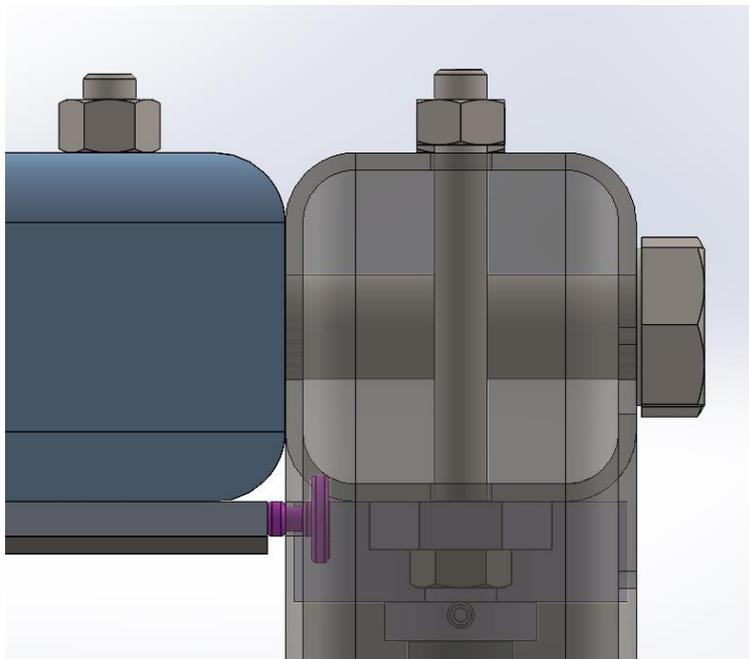


Fig. 4.31 Ubicación de la termocupla, vista lateral con transparencias

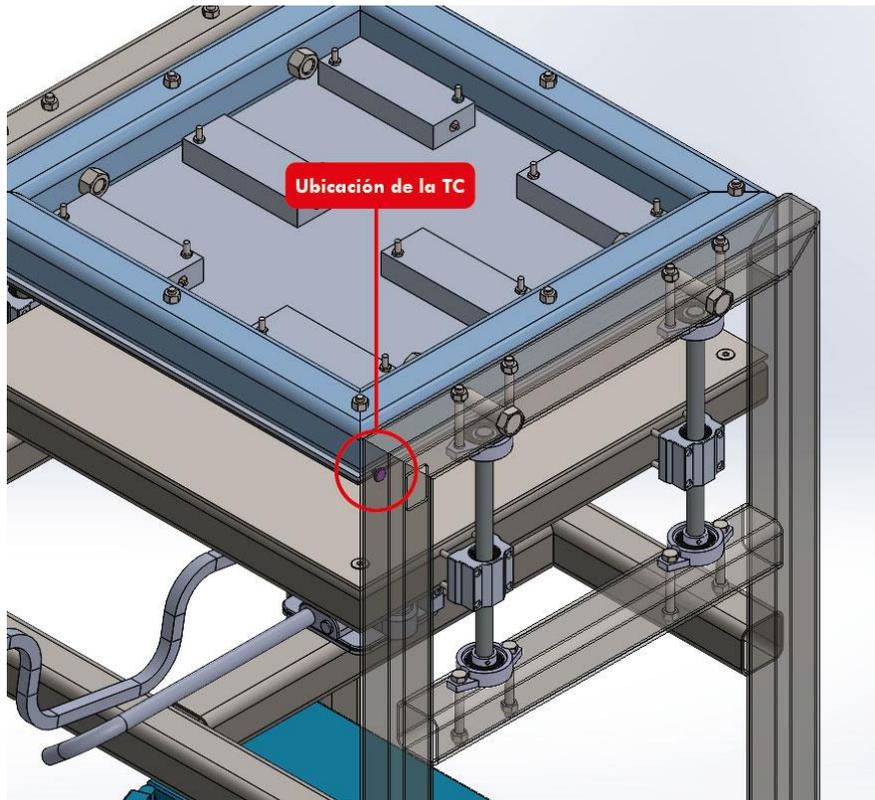


Fig. 4.32 Ubicación de la termocupla, vista isométrica con transparencias

La segunda sonda es una termocupla externa al sistema (TC - Inferior), conectada a un multímetro y que está pegada a la parte inferior de la placa de acero; su objetivo es medir la temperatura en la superficie que está en contacto directo con el material a termoformar. Se usan estas 2 sondas debido a que la termocupla del sistema al estar ubicada en un costado va a medir una menor carga térmica en esta zona a diferencia de la zona central, lo cual afecta el ajuste del control de temperatura óptimo; se debe considerar esta diferencia de temperatura al momento de ajustar el SV del sistema.

4.5.1.1 Prueba 1: Calentamiento en vacío

Esta prueba pretende medir la capacidad máxima que es capaz de generar la máquina en vacío, es decir, se va a calentar la placa de calor sin estar en contacto con la mesa elevadora ni el material a termoformar. Además, también se busca encontrar la diferencia entre los valores de temperatura en la periferia y el centro de la placa de calor con el objetivo de ajustar la temperatura adecuadamente para pruebas posteriores. Para ejecutar la prueba de calentamiento se inicia con valores de temperatura ambiente y del sistema iguales a 24 °C. La máquina se lleva hasta los 240 °C, punto en el cual los

aumentos de temperatura adicionales son ínfimos, los valores medidos durante esta prueba se pueden observar en la Tabla 4.11.

Tabla 4.11. Prueba de calentamiento en vacío

Minutos	Termocupla (°C)	Temp. base de la plancha (°C)
0	24	24
1	25	24
2	28	25
3	32	28,1
4	39	33,4
5	46	43,8
6	56	56,3
7	63	65,7
8	74	78,6
9	86	90,4
10	95	101,1
11	106	110,5
12	115	120,2
13	126	131,5
14	135	139,6
15	144	149,07
16	152	160,7
17	159	168,4
18	167	179,1
19	173	186,3
20	180	198,7
21	185	205,8
22	191	214,7
23	197	221,2
24	202	224,4
25	206	228,4
26	212	233,2
27	216	237,5
28	220	242,2
29	223	244
30	226	246,2
31	229	247
32	230	247,4
33	231	248,2
34	233	249,4
35	235	251,3
36	237	253,4
37	239	254,3
38	241	255,7
39	242	256,4
40	243	257,1

En los datos obtenidos mostrados en la Tabla 4.11 se observa que el sistema alcanza un punto de cuasi estabilidad al minuto 30, en el cual llega a una temperatura de 246,2 °C y posteriormente los incrementos de temperatura se dan en valores pequeños (menos de 2 °C por minuto), tanto para aquellos medidos por la termocupla del sistema como por la termocupla externa conectada en la parte inferior.

Con base en la información adquirida se procede a generar un gráfico que muestra el comportamiento de la Temperatura vs Tiempo (ver Fig. 4.33), en el cual se observa que durante el intervalo de 1 a 10 minutos el aumento de temperatura fue más rápido respecto al resto de tiempo transcurrido; también se puede observar que la placa de aluminio tiene un aumento de calor inicial unos cuantos grados mayor que la placa de acero. Este comportamiento se mantiene durante los primeros 5 minutos y es a partir del minuto 6 donde la temperatura en la placa de acero sobrepasa a la de la placa de aluminio, y mantiene una diferencia de temperatura progresiva respecto a la temperatura de la placa de aluminio. La diferencia de temperatura observada entre las 2 sondas es de aproximadamente 25 °C, este valor se considerará para próximos ajustes de SV.

Gráfico de calentamiento en vacío

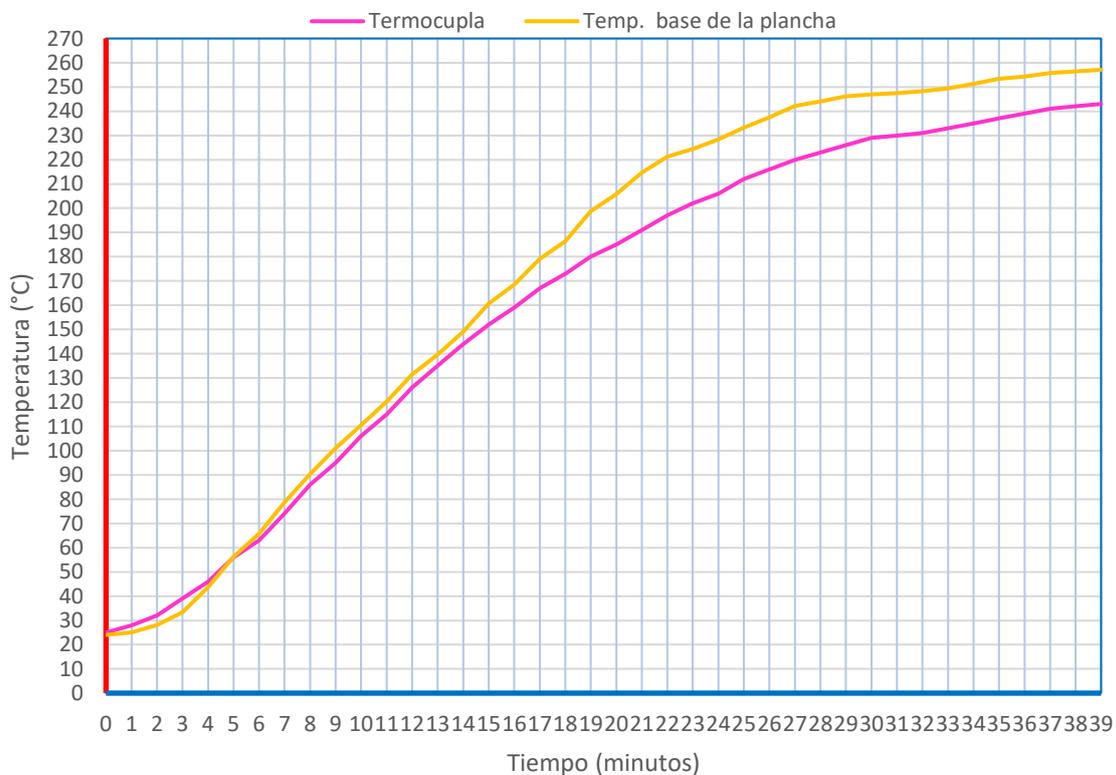


Fig. 4.33 Gráfico de prueba de calentamiento en vacío

4.5.1.2 Prueba 2: Estabilización de temperatura en vacío

Para esta prueba se deja que el sistema disminuya sin temperatura hasta el rango de 82 °C medidos en la TC, y 126 °C medidos en la sonda externa, se ajusta el SV en 80 °C y se prueba la capacidad del controlador de temperatura para mantener el valor dentro del rango predeterminado con un ajuste de histéresis de 4° C. Durante esta prueba el controlador de temperatura se ajusta en modo ON/OFF.

Tabla 4.12 Prueba de estabilización de temperatura en vacío.

Tiempo (min)	Termocupla (°C)	Temp. base de la plancha (°C)
0	82	126
2	83	127
4	88	129
6	90	130
8	92	132
10	93	133
12	94	135
14	95	136
16	93	136
18	90	137
20	87	137
22	84	136
24	81	136
26	78	136
28	75	136
30	72	135
32	70	135

En la Tabla 4.12 se observa que el controlador es capaz de mantener la temperatura del sistema dentro de valores aceptables, considerando que solo se está realizando un control tipo ON/OFF; sin embargo, algo que se puede notar es que la temperatura en la parte inferior del sistema de calentamiento se mantiene estable durante largos intervalos de tiempo pese a la variación de la temperatura en la periferia donde está ubicada la TC.

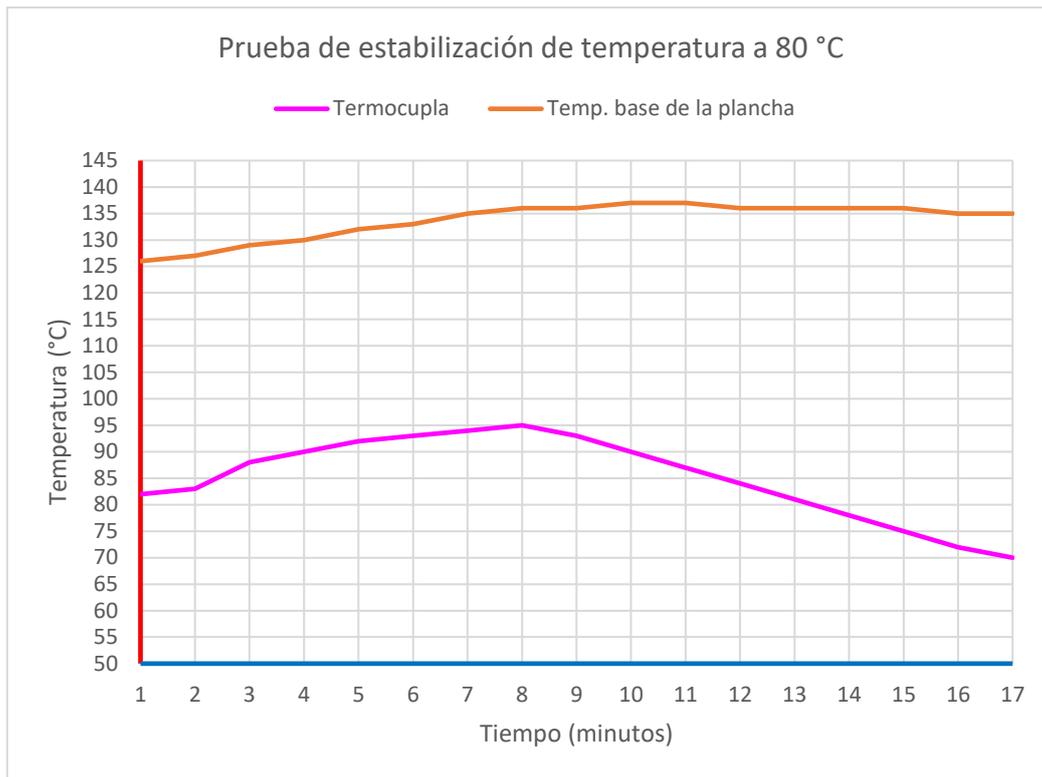


Fig. 4.34 Gráfico de la prueba de estabilización de temperatura

4.5.1.3 Prueba 3: Calentamiento a 165 °C, modo Auto Tuning (AT)

Durante la realización de esta prueba la temperatura ambiente fue de 20 °C, siendo esta también la temperatura del sistema. Se configura el controlador de temperatura en modo AT y se ajusta el SV a una temperatura de 165 °C con el objetivo de alcanzar una temperatura alrededor de 190 °C en la zona central del sistema, esto al considerar la variación de temperatura entre ambas sondas obtenida en la prueba 1.

Tabla 4.13 Prueba de AT a 165 °C del controlador de temperatura

Tiempo (min)	Termocupla (°C)	Temp. base de la plancha (°C)
0	21	19
1	22	20
2	23	21
3	24	23
4	25	28
5	32	43
6	50	58
7	68	75
8	83	91
9	97	108
10	109	118
11	116	136
12	124	152
13	132	164
14	141	176
15	152	189
16	162	200
17	165	203
18	156	204
19	145	205
20	139	206
21	138	206
22	143	206
23	150	207
24	155	208
25	158	210
26	160	212
27	162	212
28	166	212
29	166	211
30	165	210

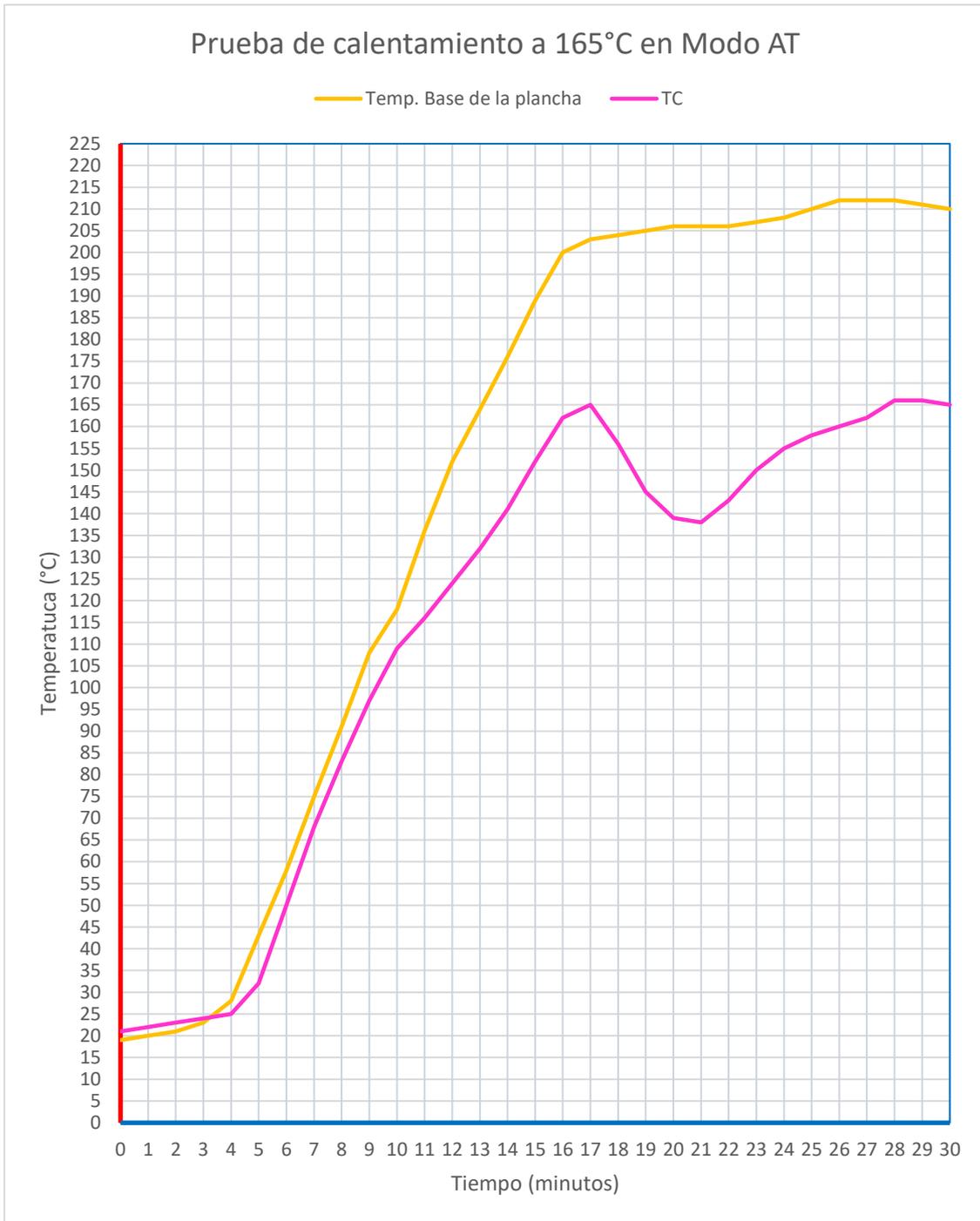


Fig. 4.35 Comportamiento de la temperatura en modo AT

Se puede observar en la Fig. 4.35 como el aumento de temperatura en las 2 zonas es estable y convergen alrededor del minuto 4; momento en el cuál la temperatura de la zona central sobrepasa a la temperatura en la periferia, un comportamiento similar al observado en la prueba 1. Durante los primeros 10 minutos ambas temperaturas manifiestan un comportamiento lineal; sin embargo, a partir de este momento hasta el minuto 16 se produce un aumento de temperatura mayor en la zona central del sistema,

momento en el cual el controlador de temperatura apagada la señal hacía el SSR, cortando así la alimentación hacía las resistencias. Esto con el fin de mantener una temperatura cercana al valor configurado, sin embargo, la zona central del sistema de calentamiento conserva el calor acumulado como se puede ver en la gráfica.

Del minuto 16 al minuto 17 se observa que el sistema tiende todavía a elevar la temperatura, pero en menor grado como se puede observar en la gráfica, y a partir del minuto 17 la temperatura medida en la TC empieza a decaer de manera constante hasta el minuto 20, en este punto el controlador empieza a alimentar nuevamente al SSR con el fin de calentar el sistema y llevar al valor ajustado en SV.

Durante este nuevo aumento de temperatura se observa que la pendiente de la gráfica es más suave, lo que indica que el control se da de manera más eficiente y se acerca lentamente al ajuste SV. Se puede observar en esta prueba que la temperatura medida por la termocupla difiere en alrededor de 40 °C de la temperatura en la parte central de sistema (15 °C más que en la prueba 1), que es justamente el área donde se va a efectuar el proceso de termoformado; por lo tanto, se debe tomar en consideración esta diferencia al momento de programar el controlador de temperatura.

Nuevamente, la temperatura en la zona central se ha mantenido de manera más estable respecto a la zona periférica, alcanzando un valor entre los 200 °C a 210 °C. Se puede observar que la configuración en el modo AT controla de una manera más eficiente la temperatura del sistema.

4.5.1.4 Prueba 4: Termoformado 1 de PMMA, modo AT

Para la prueba de termoformado se considera llevar la temperatura del material a 210 °C durante 90 minutos, con el fin de que el proceso de termoformado sea lo más suave posible. Para esta prueba se utilizará PMMA triturado de 3 mm de espesor y con un tamaño promedio de partículas de 6 mm.

La prueba inicia precalentando la parte inferior del sistema de calentamiento hasta los 180 °C medidos en la TC, y 230 °C medidos por la sonda del multímetro, una vez alcanzada esta temperatura a los 20 minutos se ubica el material en la mesa inferior, la cual subirá por acción de una gata hidráulica hasta llegar a la parte inferior del sistema de calentamiento y se mantendrá en el lugar durante 90 minutos. El controlador de

temperatura se configura en modo AT (PID), ya que en las pruebas anteriores se pudo evidenciar que este modo realiza un control de manera más suave y eficiente.

Tabla 4.14 Prueba 1 de termoformado con PMMA

Tiempo (min)	Termocupla (°C)	Temp. base de la plancha (°C)
0	180	230
1	166	231
2	152	232
3	141	230
4	131	222
5	130	218
6	129	213
8	127	213
10	133	214
12	136	215
14	137	216
16	140	216
18	148	216
20	150	216
22	152	220
24	155	220
26	155	221
28	154	220
30	156	219
32	160	219
34	162	219
36	166	216
38	170	214
40	173	216
42	176	216
44	178	219
46	179	223
48	179	224
50	181	224
52	182	221
54	182	218
56	181	215
58	180	213
60	179	214
62	180	215
64	180	215
66	181	216
68	180	217
70	180	219

Como se puede observar en la Fig. 4.36 la temperatura en la zona central (color naranja) se mantiene estable durante la mayoría del proceso, sin embargo, la temperatura medida en la TC sufre un descenso al momento de haber juntado las placas. Esto debido a que la temperatura del sistema de calentamiento se transfiere a la mesa en el momento que se unieron. La temperatura empieza a estabilizarse a partir del minuto 8 mostrando una tendencia al equilibrio en el minuto 46, momento a partir del cual la temperatura se mantiene en un valor de 180° C con una histéresis de 2 °C.

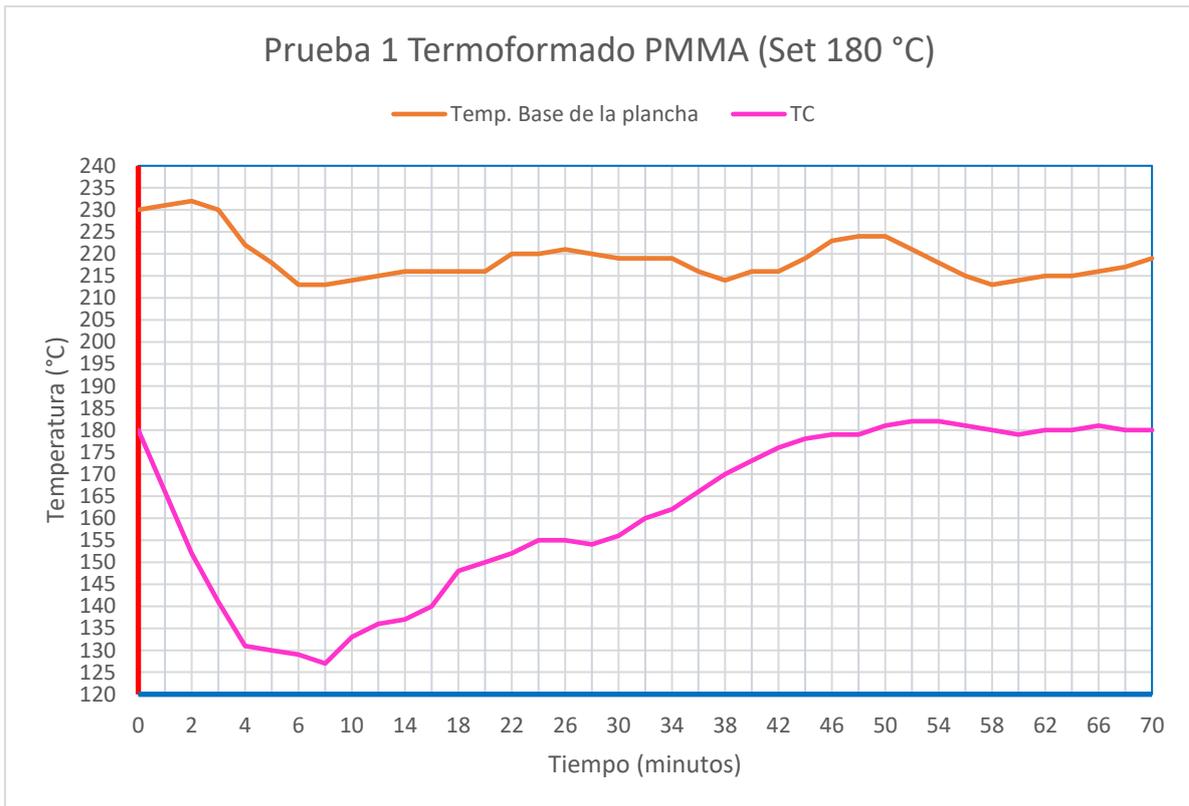


Fig. 4.36 Comportamiento de la temperatura en la prueba 1 de termoformado con PMMA

Luego de haber alcanzado el tiempo de 90 minutos se procede a separar la mesa móvil del sistema de calentamiento y proceder al proceso de enfriamiento a temperatura ambiente, la calidad del material obtenido se puede observar en la Fig. 4.37.



Fig. 4.37 Resultado obtenido de la prueba de termoformado 1 con PMMA

Como se puede observar, el material no logra una fusión completa de sus partículas, sin embargo, el resultado obtenido presenta una resistencia a la flexión considerable a pesar de su aspecto.

4.5.1.5 Prueba 5: Termoformado 2 de PMMA, modo AT

En esta prueba se aumenta el valor de la temperatura a 220 °C (medidos en la periferia) y el tiempo de termoformado a 120 minutos con el objetivo de lograr una mejor fusión de las partículas de PMMA entre sí. Las tomas de mediciones se realizan cada 30 minutos.

Tabla 4.15 Prueba de termoformado 2 de PMMA

Tiempo (min)	Termocupla (°C)	Temp. base de la plancha (°C)
0	220	245
1	210	206
30	220	213
60	230	226
90	240	245
120	250	264

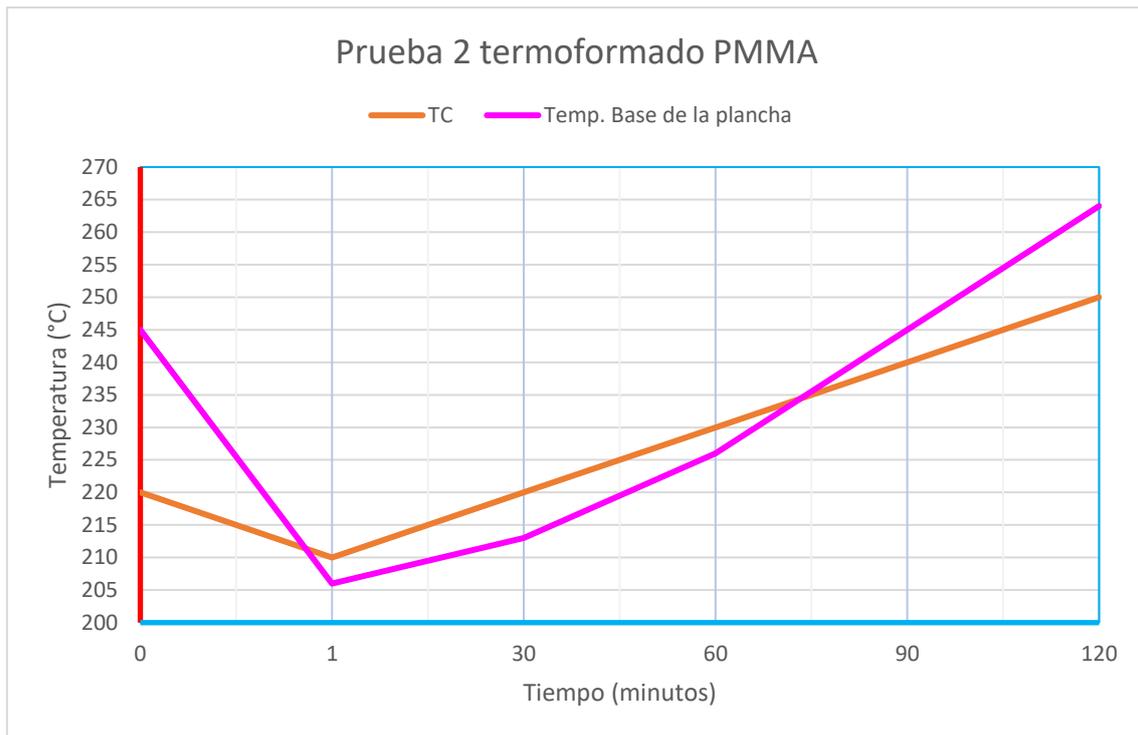


Fig. 4.38 Comportamiento de la temperatura para la prueba 2 de termoformado con PMMA

Se puede ver que durante esta prueba al momento de unir el sistema de calentamiento con el de prensado se produce un descenso abrupto de temperatura debido a la transferencia térmica entre ambas partes. Para el resto de la prueba la temperatura medida por la TC aumenta de manera lineal durante todo el proceso desde los 210° C hasta los 250 °C al final de la prueba; mientras que la temperatura medida por el multímetro en la zona central aumenta progresivamente, sobrepasando a la TC aproximadamente en el minuto 75 y llegando a los 264 °C al final de la prueba.

Como se observa en la Fig. 4.39 el resultado obtenido no fue el esperado, aunque el aumento de temperatura facilita una mejor fusión del PMMA en comparación con la prueba anterior, también provoca que el material sufra ligeras quemaduras durante el proceso. A pesar de que la fusión se logra mejorar, la resistencia mecánica de la pieza obtenida es ligeramente más débil que en la prueba anterior. Respecto a la prueba 4, el material se funde de mejor manera sin embargo la fusión no es completa. De esta prueba se concluye que se necesita trabajar con un material con un tamaño más fino, de entre 1 a 3 mm y a la vez mantener una temperatura de 180° C en la periferia y de entre 220° C a 230 °C en la zona central de la placa de calor.



Fig. 4.39 Material obtenido de la prueba de termoformado 2 con PMMA

4.5.1.6 Prueba 6: Termoformado de HDPE

Para esta prueba se precalienta el sistema hasta los 180 °C medidos en la TC (205 °C en la zona central), una vez alcanzado este valor se coloca el material en la mesa elevadora y se procede al proceso de termoformado durante 20 min. El controlador de temperatura se ajusta en modo AT.

Tabla 4.16 Prueba de termoformado de HDPE

Tiempo (min)	Termocupla (°C)	Temp. base de la plancha (°C)
0	176	205
1	143	200
2	123	163
3	120	158
4	140	160
5	164	168
6	173	175
7	183	184
8	190	189
9	195	194
10	197	197
11	199	200
12	200	201
13	199	201
14	198	201
15	197	201
16	198	200
17	198	200
18	198	199
19	199	200
20	200	201

Para los datos obtenidos en la Tabla 4.16 se puede observar que tiene un comportamiento de distribución de temperatura suave, al igual que pruebas anteriores se realiza un proceso de descenso de temperatura en el sistema en el momento que se junta la plancha de calor con la mesa elevadora que contiene el material a termoformar; posterior a esto la temperatura empieza a subir y entre el minuto 7 a 8 las temperaturas convergen y aumentan gradualmente en conjunto, llegando a estabilizarse a los 11 y se mantienen cuasi estables durante el resto del proceso.

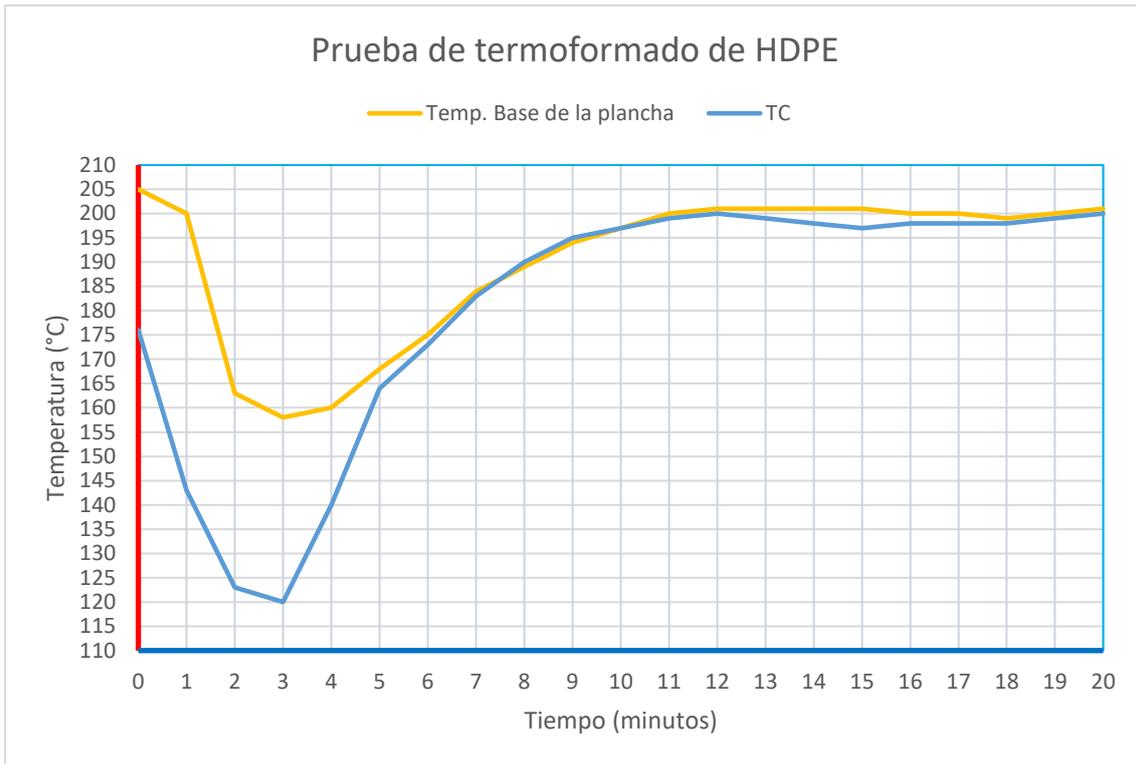


Fig. 4.40. Comportamiento de la temperatura durante la prueba de termoformado de HDPE

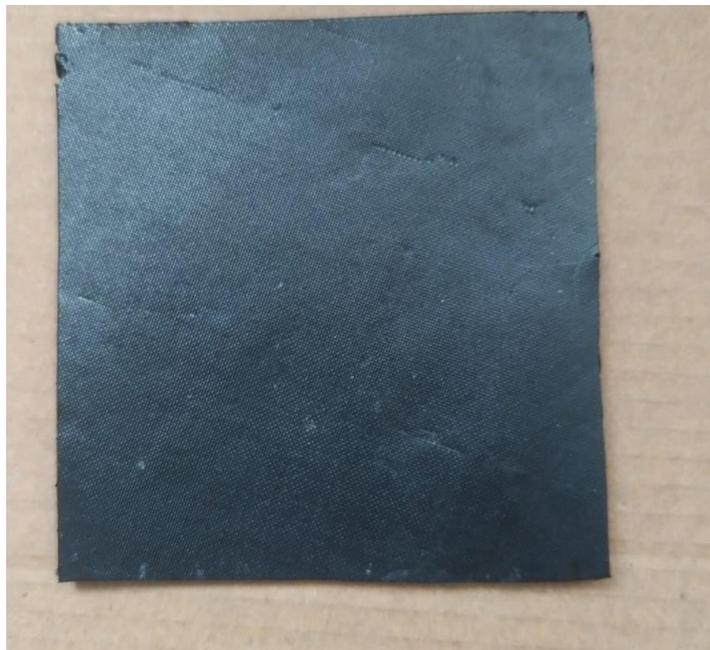


Fig. 4.41 Material obtenido de prueba de termoformado con HDPE

Como se puede observar en la Fig. 4.41, el resultado obtenido logra una mejor fusión respecto a las pruebas con PMMA, esto debido principalmente a que la materia prima tenía un radio de aproximadamente 3 mm y un espesor de 1 mm, lo que permite que el calor sea absorbido de una manera más eficiente y uniforme por el material.

4.5.2 Resultados

De las pruebas efectuadas para el proceso de termoformado de los 2 materiales presentados se obtuvo una fusión completa para el HDPE, a diferencia del PMMA el cual no se logró fundir al 100% pese a haberse suministrado una mayor temperatura durante un intervalo de tiempo más largo. Esto se debe a 2 factores principales; el primero que las dimensiones del PMMA triturado son más grandes a comparación de las de HDPE (ver Fig. 4.29) lo cual aumenta la inercia térmica del proceso, dificultando así la capacidad para que el material absorba la temperatura de una manera eficiente [49].

El segundo factor se debe a que la conductividad térmica del PMMA es la mitad de la del HDPE (ver Tabla 4.17), lo cual reduce la capacidad de las partículas para transmitir el calor entre sí; esto se pudo evidenciar en los resultados obtenidos que se muestran que el proceso de fusión entre las partículas no fue completo, notándose aun las formas irregulares de estas en el caso de PMMA.

Tabla 4.17. Propiedades térmicas consultadas sobre los materiales utilizados. [50], [51], [52], [53], [54]

Material	Calor específico (Ce) (J/gK)	Calor latente de fusión (J/g)	Conductividad térmica (w/m K)
PMMA	1,47*	150 -190	0,16 - 0,25
HDPE	1,8	180	0,33 -0,53

Según reportes de Bangs Laboratories sobre las propiedades del PMMA, este tiende a variar su calor específico según la temperatura a la que esté, para el caso del proceso de termoformado su calor específico fue de 4,69 J/gK a los 240 °C [55], lo cual sumado a los factores anteriormente mencionados dificulta aún más el proceso de termoformado.

Durante las pruebas de termoformado se midieron los valores de amperaje encontrando que el sistema en espera tiene un consumo de 0,02A para alimentar el controlador de temperatura, mientras que durante el proceso de calentamiento consume $22,5A \pm 0,3A$; independientemente de la temperatura a la que se esté calentando el sistema. El sistema también presenta un consumo de 2,51 kWh durante su funcionamiento (ver Fig. 4.42), los valores reales obtenidos son cercanos a los calculados previamente (20A, 2,4kWh) [pág.72 de este documento].

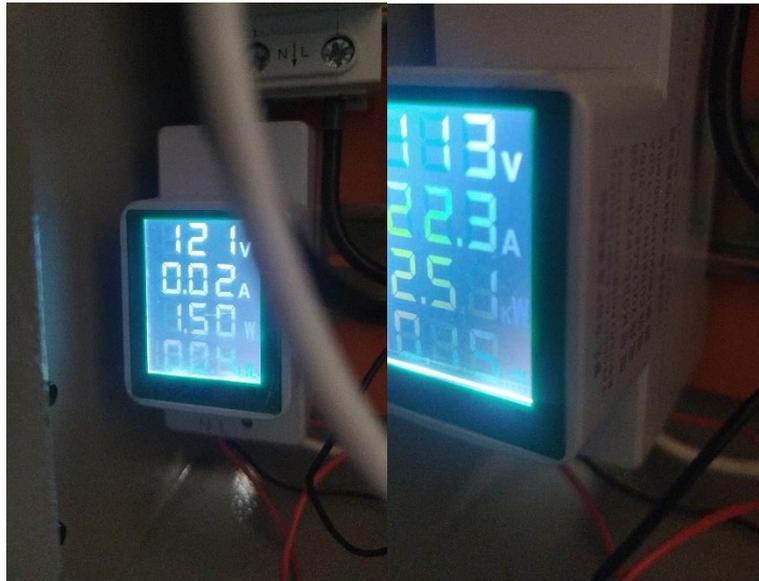


Fig. 4.42 Consumo del sistema (en espera izquierda, en trabajo derecha)

Sin embargo este aumento real por sobre el amperaje calculado no significa un detrimento en la capacidad de los conductores para soportar la corriente requerida, la Fig. 4.23 es un indicativo de la norma NEC para conductores eléctricos; la cual mantiene los valores recomendados dentro de un límite de tolerancias. El fabricante del conductor en su ficha técnica especifica una corriente máxima de trabajo de 30A y una temperatura de trabajo de 90 °C [56] para el calibre de conductor seleccionado, se puede observar en la Fig. 4.43 que la temperatura de trabajo alcanzada por los conductores es de 42,6 °C como máximo, y una temperatura promedio de 27,8 °C (ver Fig. 4.44) por lo que el amperaje está dentro del rango permitido.

Leyenda

P1 = Fase

P2 = Neutro

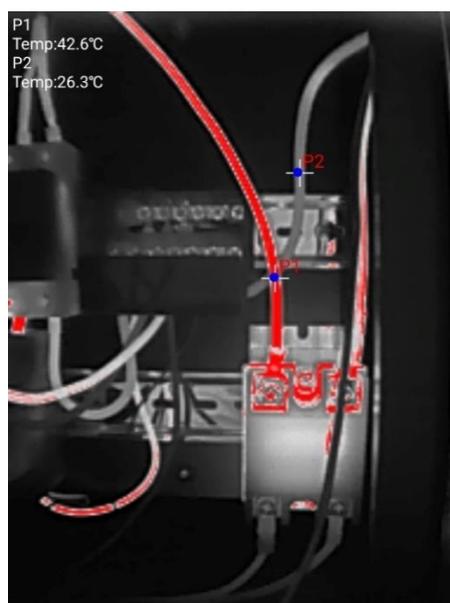


Fig. 4.43 Temperatura máxima en los conductores

Leyenda

P1 y P2 = Fase

P3 = Rex C100



Fig. 4.44. Temperatura promedio en los conductores

Se observa que el tiempo de calentamiento real es casi el doble de lo previsto en las simulaciones, ya que en la simulaciones no se consideró las pérdidas de calor por transferencia al ambiente ni tampoco a la estructura que soporta el sistema de calentamiento. Estas consideraciones fueron excluidas en aras de reducir los tiempos de simulación, ya que al añadir estos factores el tiempo de simulación pasaba de los 6 minutos promedio a 80 minutos, se podría haber mejorado este tiempo con el uso de un hardware más potente, sin embargo se carece de los medios para tener acceso al mismo.

4.6 Costos

En la Tabla 4.18 se enlistan los elementos que conforman la estructura y sus dimensiones en cm, con el fin de estimar la cantidad de tubos estructurales requeridos y su costo total. Los elementos de sujeción y los componentes del sistema junto con sus costos se pueden encontrar en las Tabla 4.19 y Tabla 4.20 respectivamente.

4.6.1 Estructura

Tabla 4.18 Dimensiones de los elementos de la estructura

Pieza	Componentes	Cantidad	Dimensiones (cm)	Total (cm)
Soporte Lateral	Barra superior	2	41	82
	Barra media	2	33	66
	Barra vertical	4	124	496
Soporte Inferior	Transversales	2	40	82
	Media	1	33	33
Base	Laterales	4	39	156
	Cruzantes	2	31	72
Plato superior	Laterales	4	41	164
			TOTAL	1151 cm

- **Cálculo de costos de la parte estructural**

Material: Tubo estructural cuadrado DIPAC 40x40x1,2 mm

Precio: 18,50 dólares (unidad de 6 m)

Cantidad requerida: 11,51 m = 2 unidades

Costo total: 37 dólares

- **Sujeciones** (Incluido tuercas a menos que se especifique lo contrario)

Tabla 4.19 Elementos de sujeción utilizados y costos

Descripción	Cantidad	Costo total USD
Perno acerado M12x100	4	5,60
Perno M6x55	16	4,80
Rodelas M6	16	1,28
Tornillo avellanado cabeza hexagonal M6x55	10	4,20
Tornillo avellanado cabeza Phillips M4x 50	12	6,80
Tornillo cabeza Phillips M4x55 (sin tuerca)	16	4,16
Rodela M4	16	0,48
Perno Allen cabeza cilíndrica M4x30	4	0,40
TOTAL		27,72 USD

4.6.2 Componentes

Tabla 4.20 Componentes del sistema (mecánicos y eléctricos)

Pieza	Componente	Cantidad	Características	Costo (USD)	Total (USD)
Plato superior	Placa de aluminio	1	40x40x4 mm	20	20
	Placa de acero inoxidable	1	40x40x1 mm	8	8
	Tool	1	40x40x1 mm	16	16
	Bloque de aluminio	1	150x250x20 mm	28	28
	Bornes cerámicos	3	Pack 6 unidades	6,92	6,92
	Aislante	1	Fibra de vidrio	7	7
	Resistencias	6	120V – 400W	9,55	57,30
Plato inferior	Placa de acero	1	40x40x3 mm	14	14
Base	Gata hidráulica	1	1,5 T	22,5	22,5
Guía	Eje de acero	4	D = 12 mm L= 200 mm	3	12
	Chumacera	8	D = 12 mm	3,5	28
	Rodamiento lineal SCS12UU	4	D = 12 mm	5	16
Caja de control	Rex-C100	1	SSR Output	25	25
	RCBO	1	Curva C	18,63	18,63
	Termocupla	1	Tipo K	4	4
	Caja de distribución	1	2 polos	8	8
	Riel DIN	1	1 m	3,50	3,50
	Pulsador Latching LED	1	120V	8,50	8,50
	Gabinete metálico	1	20x20x15 cm	22	22
	Disipador de SSR	1	40A	8	8
	SSR	1	40DA	10	10
	Selector ON/OFF	1	120V	3	3
	Terminal SV3.5-4	25	Negro	0,1	2,5
	Terminal SV5.5-4	25	Amarillo	0,1	2,5
	Terminal E6012	20	Amarillo	0,1	2
	Enchufe	1	15A	2,25	2,25
	Cable flexible negro	8	AWG12	0,65	5,20
	Cable flexible blanco	8	AWG12	0,65	5,20
	Cable resistente a la temperatura	2	AWG10	8	16
Cable concéntrico	2	AWG12	2,25	4,5	
TOTAL					386,5 USD

Tabla 4.21 Costo final del proyecto

ITEM	COSTO (USD)
Estructura	37
Elementos de sujeción	27,72
Componentes	386,5
TOTAL	451,22 (USD)

Como se puede visualizar en la Tabla 4.21, el costo estimado del proyecto es de 451,22 dólares en comparación con la alternativa comercial existente, la cual tiene un valor de 8 305 dólares australianos [57], equivalentes a 5 286,63 dólares americanos. Una segunda alternativa de diseño similar al realizado [58], alcanza un costo de 1175 euros equivalentes a 1232,50 dólares americanos. Ambas alternativas están ubicadas en mercados internacionales, lo que aumenta el costo de importarlas al país por cuestiones de logística de envío y aranceles.

Con lo antes expuesto se ha conseguido reducir el costo del proyecto implementado en un 63,39% respecto al costo en origen de la alternativa de menor valor. Esto sin contar el costo adicional de importación.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

En el presente trabajo de titulación se alcanzaron los objetivos planteados para el desarrollo del dispositivo. Con base a una investigación de materiales y procesos se identificaron los aspectos necesarios para la implementación del dispositivo; lo que ha permitido que los procesos posteriores de conceptualización y diseño se desarrollen sin imprevistos, durante las fases posteriores de implementación, logrando así un resultado óptimo en la construcción del dispositivo y asegurando la viabilidad del sistema para termoformar residuos plásticos.

Se establecen los parámetros y requerimientos necesarios para el diseño de la máquina tomando en consideración aspectos como: temperatura, presión, materiales estructurales y eficiencia térmica, lo que permite un funcionamiento óptimo del sistema. Se realiza una selección de componentes y materiales adecuados para para estructura y las superficies de transmisión de calor, estos parámetros se determinan a través de revisión de literatura técnica; garantizando que la máquina pueda operar dentro de los rangos establecidos. Además, se consideran aspectos ergonómicos y de seguridad para optimizar su uso y posterior mantenimiento.

El diseño mecánico de la prensa se desarrolla utilizando software de CAD, permitiendo modelar los componentes estructurales previo a su implementación y optimizar el material a utilizar en su construcción. Se realizan simulaciones de análisis estructural para validar la resistencia de los materiales seleccionados y asegurar que la máquina pueda soportar la presión ejercida durante el proceso de termoformado. Además, se llevan a cabo simulaciones térmicas para evaluar la distribución de calor en la superficie de prensado, garantizando un calentamiento uniforme y eficiente. Para el sistema eléctrico se implementa un controlador PID para la gestión térmica, asegurando una regulación estable y eficiente del calentamiento y se usa un disyuntor de tipo RCBO para proteger la máquina y al operario de posibles accidentes a futuro.

La implementación del diseño se lleva a cabo con éxito, logrando un termoformado efectivo de planchas plásticas a partir de materiales reciclados. Se realizan pruebas para validar la funcionalidad del sistema, ajustando los parámetros según las necesidades del proceso. La prensa demuestra su capacidad para moldear distintos tipos

de plásticos reciclados, asegurando la uniformidad de las planchas obtenidas y su potencial aplicación en diversas industrias.

Se realiza una evaluación integral del desempeño de la máquina, comprobando que opera de manera eficiente y cumple con los requisitos establecidos. Las pruebas realizadas confirman que la prensa alcanza y mantiene la temperatura requerida, ejerce la presión necesaria y permite obtener planchas de plástico con las características esperadas.

Recomendaciones

Se recomienda continuar con la optimización del diseño de la prensa de calor, especialmente en la eficiencia del sistema térmico y el consumo energético; el uso de materiales con mayor eficiencia térmica podría mejorar el rendimiento del equipo.

Se sugiere realizar estudios adicionales sobre la eficiencia del sistema de calentamiento, explorando el uso de tecnologías alternativas como placas de calentamiento por inducción; un análisis más profundo mediante simulaciones térmicas avanzadas permitiría mejorar la uniformidad de temperatura en la superficie de prensado, reduciendo el tiempo de calentamiento y mejorando la calidad de las planchas obtenidas.

Se propone realizar estudios sobre las propiedades mecánicas y térmicas de las planchas obtenidas con diferentes tipos de plásticos reciclados. Un análisis de resistencia a la tracción, flexión y degradación térmica permitiría validar su posible aplicación en industrias como la construcción, mobiliario, entre otros.

Así mismo, para las simulaciones de elementos térmicos, al ajustar las cargas de disipación térmica seleccionar la temperatura inicial de los elementos como todo un cuerpo en lugar de seleccionar las caras expuestas de los elementos; debido a que la disipación en caras expuestas es mucho mayor que en un cuerpo, esto permitiría obtener resultados más cercanos a la realidad.

Finalmente, se recomienda realizar el diseño eléctrico antes que el mecánico, esto debido a que gran parte de los elementos eléctricos y de control en el país no está normalizados, esto ocasiona que haya discrepancias entre los elementos disponibles en el mercado con los requeridos para la implementación del sistema. La mayoría de los elementos de protección disponibles están pensados para trabajar a 220V, ocasionando

que estos elementos no cumplan las funciones de protección previstas bajo las especificaciones planteadas. Al realizar primero el diseño eléctrico se tiene un espacio de tiempo para adquirir los productos del extranjero mientras se lleva a cabo el diseño mecánico.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] S. Morán, “Nada frena los plásticos de un solo uso: más de 260.000 toneladas al año en Ecuador”. Consultado: el 7 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.planv.com.ec/historias/sociedad/nada-frena-plasticos-un-solo-uso-mas-260000-toneladas-al-ano-ecuador>
- [2] I. Alarcón, “Tres tipos de plásticos son más reciclables en Ecuador”. Consultado: el 7 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.elcomercio.com/tendencias/ambiente/tres-tipos-plasticos-reciclables-ecuador.html>
- [3] “Geomembranas: qué son, tipos y aplicaciones - Geosintéticos Sotrafa”. Consultado: el 1 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://sotrafageo.com/geomembranas/>
- [4] “Proyecto: Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos (PNGIDS)”, 2010.
- [5] “Academy - Precious Plastic”. Consultado: el 1 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://community.preciousplastic.com/academy/intro.html>
- [6] J. Salamanca, L. Acosta, F. Higuera, y N. Pamplona, “Diseño y construcción de una prensa de calor, para plásticos y materiales compuestos”, *Ingenio Magno*, dic. 2018.
- [7] CR Clarke & Co (UK) Limited, “R30 Sheet Press”. Consultado: el 7 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://www.crclarke.co.uk/products/recycling-system/r30-sheet-press>
- [8] “ONE ARMY · GitHub”. Consultado: el 1 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://github.com/onearmy>
- [9] Guillermo Bavaresco, “Prensas”. Consultado: el 7 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://gabpingeneria.weebly.com/uploads/2/0/1/6/20162823/prensas.pdf>
- [10] HNT Group, “Tipos de prensas”. Consultado: el 7 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://hntools.es/herramientas-industriales/tipos-de-prensa/>

- [11] “Platos y resistencias para planchas transfer”. Consultado: el 22 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.tudiras.com.es/platos-y-resistencias-para-planchas-transfer-40-x-50.html>
- [12] D. Askeland y W. Wright, *Ciencia e ingeniería de materiales*, 7ma edición. Mexico D.F.: Cengage Learning, 2017.
- [13] H. Rodríguez, “Propiedades Mecánico-Químicas del Aluminio”. Consultado: el 9 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn110.html>
- [14] D. Gonzáles, “Importancia del material aluminio en la fabricación de latas para bebidas - MUNDOLATAS”. Consultado: el 7 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://mundolatas.com/importancia-del-material-aluminio-en-la-fabricacion-de-latas-para-bebidas/>
- [15] Webmaster, “Resistencias Eléctricas Industriales”. Consultado: el 7 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://web.masinteresantes.com/resistencias-electricas-industriales/>
- [16] Techno Injection & Tools SA, “Resistencias industriales para calentamiento”. Consultado: el 7 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://technoinjectiontools.mx/resistencias-industriales/>
- [17] Maxi watt, “DuraWatt: Resistencias de cartucho calefactoras”. Consultado: el 7 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.resistencias.com/esp/durawatt.php>
- [18] “Controles de Temperatura”. Consultado: el 17 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.eivinueva.com.ec/instrumentos-de-medicion/controles-de-temperatura/controles-de-temperatura.html>
- [19] AreaTecnología, “Sensores eléctricos”. Consultado: el 7 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://areatecnologia.com/electricidad/sensores-electricos.html#:~:text=los%20Sensores%20El%C3%A9ctricos%3F,%C2%BFQu%C3%A9%20es%20un%20Sensor%20El%C3%A9ctrico%3F,cadena%20de%20procesamiento%20de%20se%C3%B1ales.>

- [20] SRC SLU Sistemas de Regulación y Control, “Tipos de Sensores de Temperatura”. Consultado: el 7 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://srcsl.com/tipos-sensores-temperatura/>
- [21] Michaeli, Greif, Kaufmann, y Vossebürger, “Introducción A La Tecnología de Los Plásticos | PDF”. Consultado: el 1 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/788592249/Introduccio-n-a-la-Tecnologi-a-de-los-Pla-sticos>
- [22] G. Meira y L. Gugliotta, *Polímeros: Introducción a su caracterización y a la ingeniería de polimerización*, 1era edición. Santa Fe: Ediciones UNL, 2019.
- [23] V. Fombuena, A. Fenollar, y N. Montañés, *Caracterización de materiales poliméricos*, 1era ed. Valencia: Editorial Universitat Politècnica de València, 2016.
- [24] M. Opazo, “¿Sabes cómo clasificar tus plásticos?” Consultado: el 22 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.diariosostenible.cl/noticia/el-dato-sostenible/2020/09/sabes-como-clasificar-tus-plasticos>
- [25] “Termoplásticos, tipos”. Consultado: el 1 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.enestadocrudo.com/tipos-plastico/>
- [26] “Protección de tableros eléctricos - Inducom Ecuador”. Consultado: el 1 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://inducom-ec.com/proteccion-de-tableros-electricos/>
- [27] “Disyuntor - Wikipedia, la enciclopedia libre”. Consultado: el 1 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Disyuntor>
- [28] “MCB & MCB Box - Electrical | Broco Industries - Integrated Building System”. Consultado: el 1 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.brocoindustries.com/mcb.php>
- [29] “RIESGOS ELÉCTRICOS Servicio de Prevención de Riesgos laborales”, Consultado: el 1 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: www.unirioja.es
- [30] “¿Cuál es la diferencia entre MCB, MCCB, RCCB, RCBO o aislador? - Yueqing, Wenzhou, Zhejiang, China - Aswich Electrical Co., Ltd”. Consultado: el 1 de

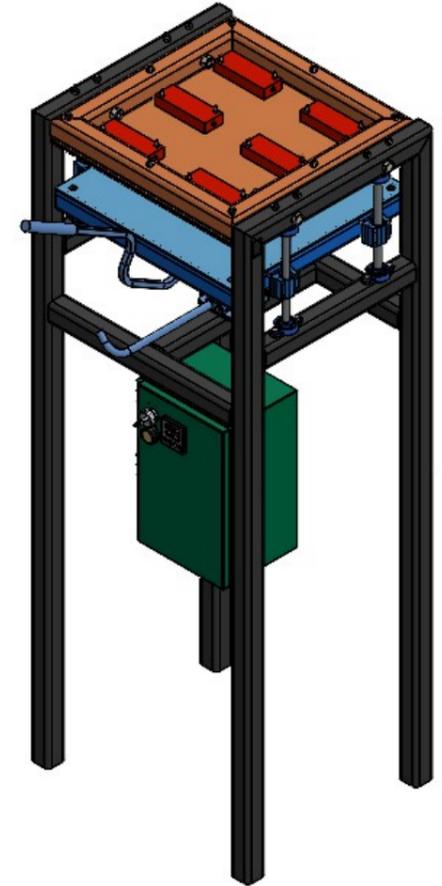
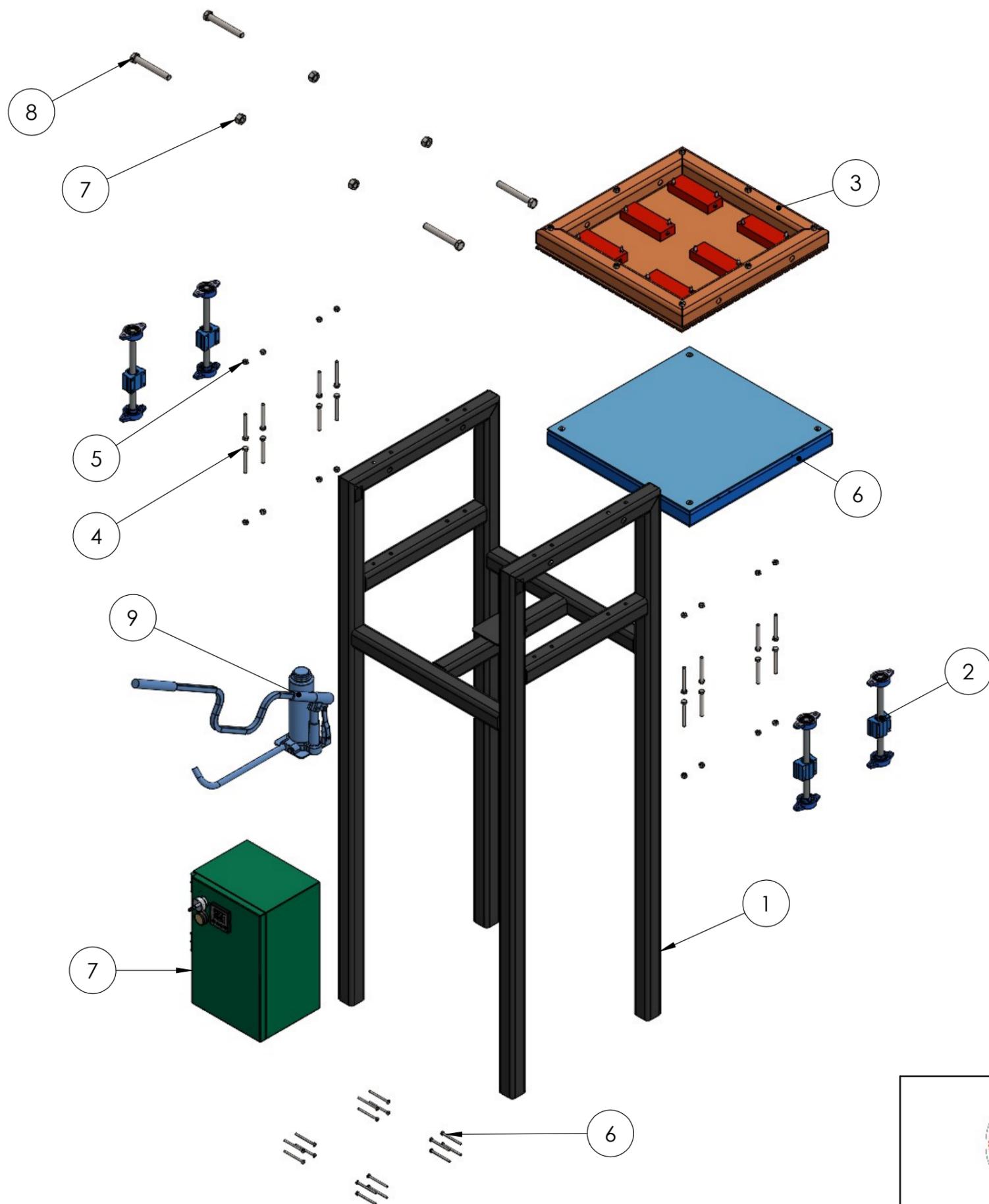
- febrero de 2025. [En línea]. Disponible en:
<https://trends.directindustry.es/aswich-electrical-co-ltd/project-242456-1144942.html>
- [31] “Símbolos Eléctricos”. Consultado: el 1 de febrero de 2025. [En línea].
Disponible en:
https://www.portaleso.com/web_simbolos/unidad_simbolos_electricos_indice.html
- [32] “Interruptor diferencial”, Consultado: el 1 de febrero de 2025. [En línea].
Disponible en: www.grupotemper.com
- [33] Quality Management System, “MG Chemicals”, 2024, *Burlington*. Consultado: el 10 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en:
<https://mgchemicals.com/products/grease-for-electronics/thermal-paste/cpu-thermal-paste/>
- [34] DIPAC, “Catalogo DIPAC”. Consultado: el 6 de febrero de 2025. [En línea].
Disponible en: <https://dipacmanta.com/wp-content/uploads/2024/05/Catalogo-General-de-Productos-2024.pdf>
- [35] MatWeb, “ASTM A36”. Consultado: el 27 de noviembre de 2024. [En línea].
Disponible en:
<https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=afc003f4fb40465fa3df05129f0e88e6>
- [36] MakeItFrom, “Equivalencia aceros”. Consultado: el 27 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.makeitfrom.com/compare/ASTM-A36-SS400-S275-Structural-Carbon-Steel/SAE-AISI-1008-G10080-Carbon-Steel#:~:text=Both%20ASTM%20A36%20carbon%20steel,with%20values%20for%20both%20materials.>
- [37] Raymond A. Serway, *Física para Ciencias e Ingeniería*, 7a ed., vol. 1. México: Cengage Learning Editores, 2008.
- [38] “Punto de fusión de los plásticos | La guía básica”. Consultado: el 10 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.madearia.com/es/blog/melting-point-of-plastics/>

- [39] “Densidad - Polímeros termoplásticos, elastómeros y aditivos”. Consultado: el 10 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en:
<https://www.mexpolimeros.com/densidad.html>
- [40] Omar Daniel Quintero Reyes, “Diseño de Una Plancha Térmica para La Impresión Transfer”, Instituto Politécnico Nacional, México D.F., 2012.
- [41] “AK Steel 201 Austenitic Stainless steel”. Consultado: el 12 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en:
<https://matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=ebd318a706b845fda3939661849ed0a2&n=1&ckck=1>
- [42] “Overview of materials for Aluminum Alloy”. Consultado: el 12 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en:
<https://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?MatGUID=ab8aeb2d293041c4a844e397b5cfbd4e>
- [43] “Coeficiente de transferencia de calor por convección - 2011 - Ayuda de SOLIDWORKS”. Consultado: el 13 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en:
https://help.solidworks.com/2011/spanish/SolidWorks/cworks/LegacyHelp/Simulation/AnalysisBackground/ThermalAnalysis/Convection_Topics/Convection_Heat_Coefficient.htm
- [44] Schneider Electric Chile, “¿Qué son las curvas de disparo en interruptores Riel Din? | Schneider Electric Chile”. Consultado: el 11 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.se.com/cl/es/faqs/FA363567/>
- [45] Raymond A. Serway, *Física para Ciencias e Ingeniería*, 7a ed., vol. 2. 2010.
- [46] Adrián David Sandoya Unamuno, Leonel Chica Martínez, Gustavo Raúl Ordoñez, y Jenny Lorena Arias Zambrano, “NEC Instalaciones Eléctricas”, p. 9, 2018.
- [47] “Controlador de temperatura Rex-C100 - OMCH”. Consultado: el 15 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.omchsmcs.com/es/rex-c100-temperature-controller/>

- [48] “Sheetpress”. Consultado: el 16 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://community.preciousplastic.com/academy/build/sheetpress>
- [49] “Capacidad calorífica - Wikipedia, la enciclopedia libre”. Consultado: el 16 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Capacidad_calor%C3%ADfica
- [50] C. Alkan y A. Sari, “Fatty acid/poly(methyl methacrylate) (PMMA) blends as form-stable phase change materials for latent heat thermal energy storage”, *Solar Energy*, vol. 82, núm. 2, pp. 118–124, feb. 2008, doi: 10.1016/J.SOLENER.2007.07.001.
- [51] “PMMA: Polimetilmetacrilato - NETZSCH Analyzing & Testing”. Consultado: el 16 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://analyzing-testing.netzsch.com/es/polimeros-netzsch-com/ingenieria-termoplasticos/pmma-polimetilmetacrilato>
- [52] “PMMA”. Consultado: el 16 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.mit.edu/~6.777/matprops/pmma.htm>
- [53] “PE-HD: Polietileno de alta densidad - NETZSCH Analyzing & Testing”. Consultado: el 16 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://analyzing-testing.netzsch.com/es/polimeros-netzsch-com/productos-termoplasticos/pe-hd-polietileno-alta-densidad>
- [54] C. Yang *et al.*, “Thermal conductivity enhancement of recycled high density polyethylene as a storage media for latent heat thermal energy storage”, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 152, pp. 103–110, ago. 2016, doi: 10.1016/J.SOLMAT.2016.02.022.
- [55] “Material Properties of Polystyrene and Poly(methyl methacrylate) (PMMA) Microspheres”, Consultado: el 16 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: www.bangslabs.com
- [56] “Ficha técnica AWG 12 Electro cable”. Consultado: el 16 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: http://www.electrocable.com/uploads/product_shop/ficha-tecnica-thhn-unilay-12.pdf

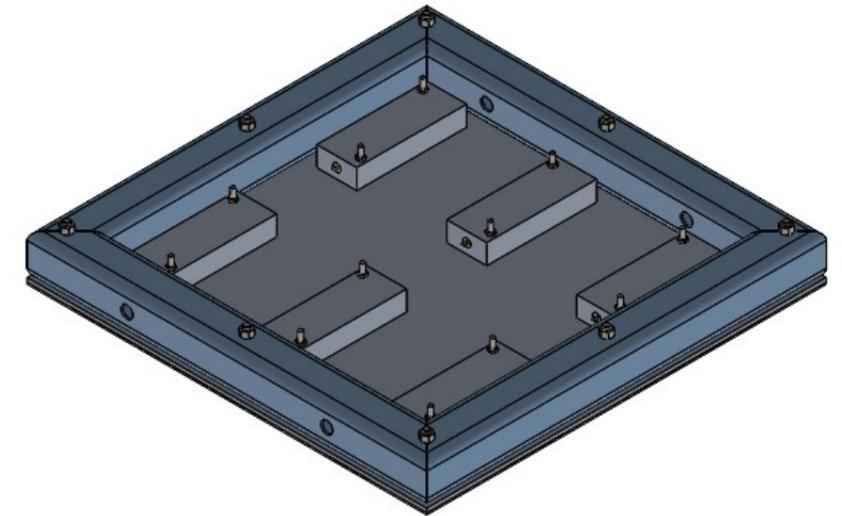
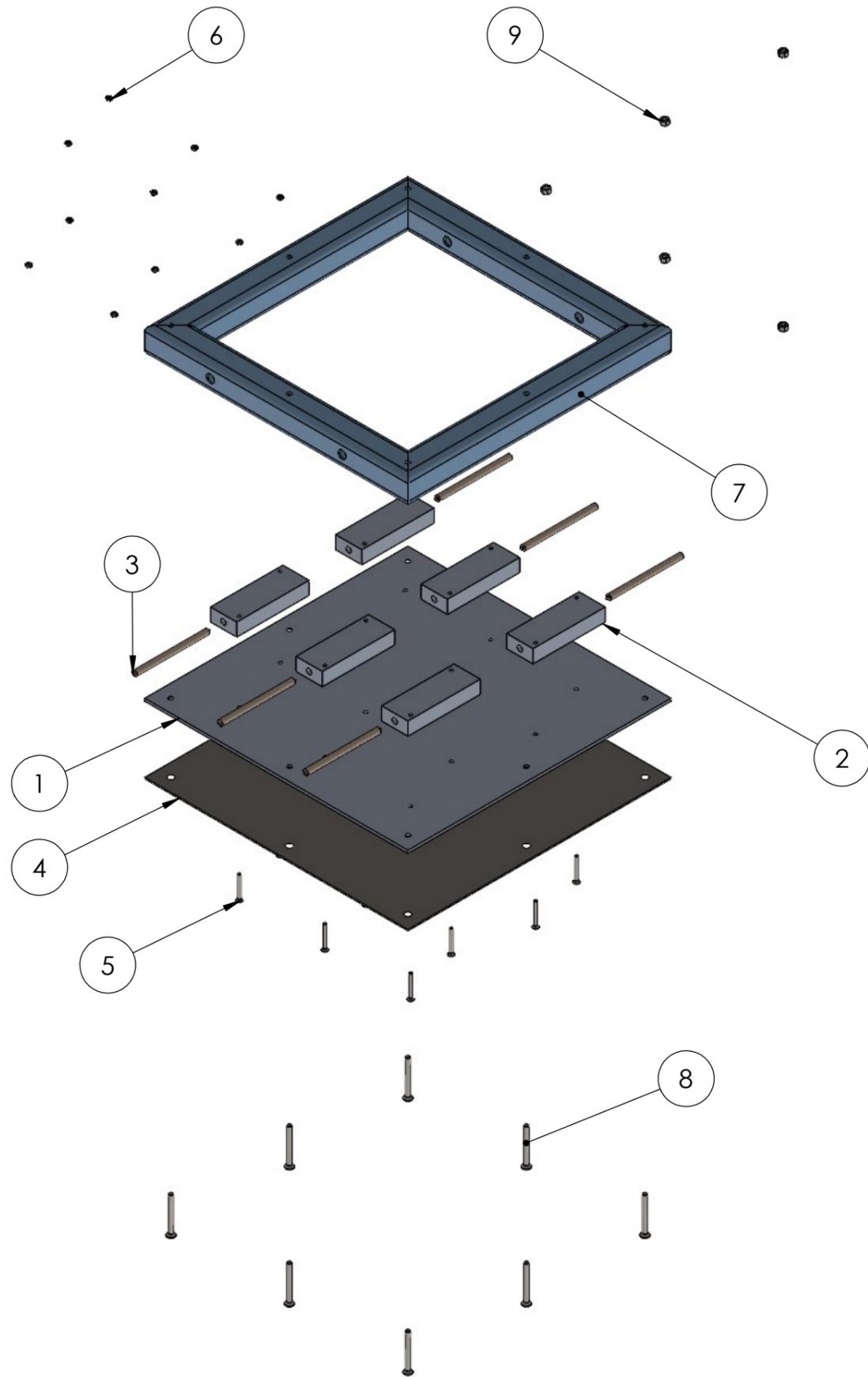
- [57] “CR Clarke Sheet Press R30 – CD-Soft”. Consultado: el 16 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://cdsoft.com.au/products/cr-clarke-sheet-press-r30?srsItid=AfmBOorMvxjwKIQMSycHX2_NEOA8F-fwnL33m3Q0XuCeMbHYBiOZE5Vc
- [58] “Sheet Press Machine”. Consultado: el 16 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://bazar.preciousplastic.com/machines/sheetpress/sheet-press-fully-built/mini-sheet-press-300-x-300-mm/>

ANEXOS



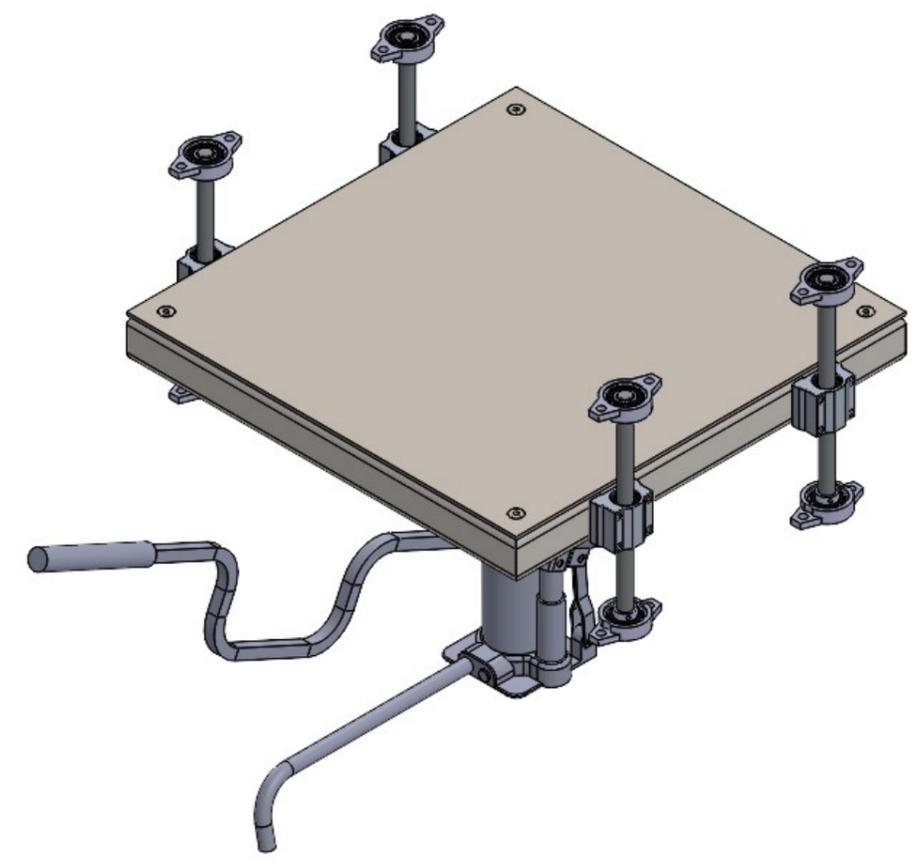
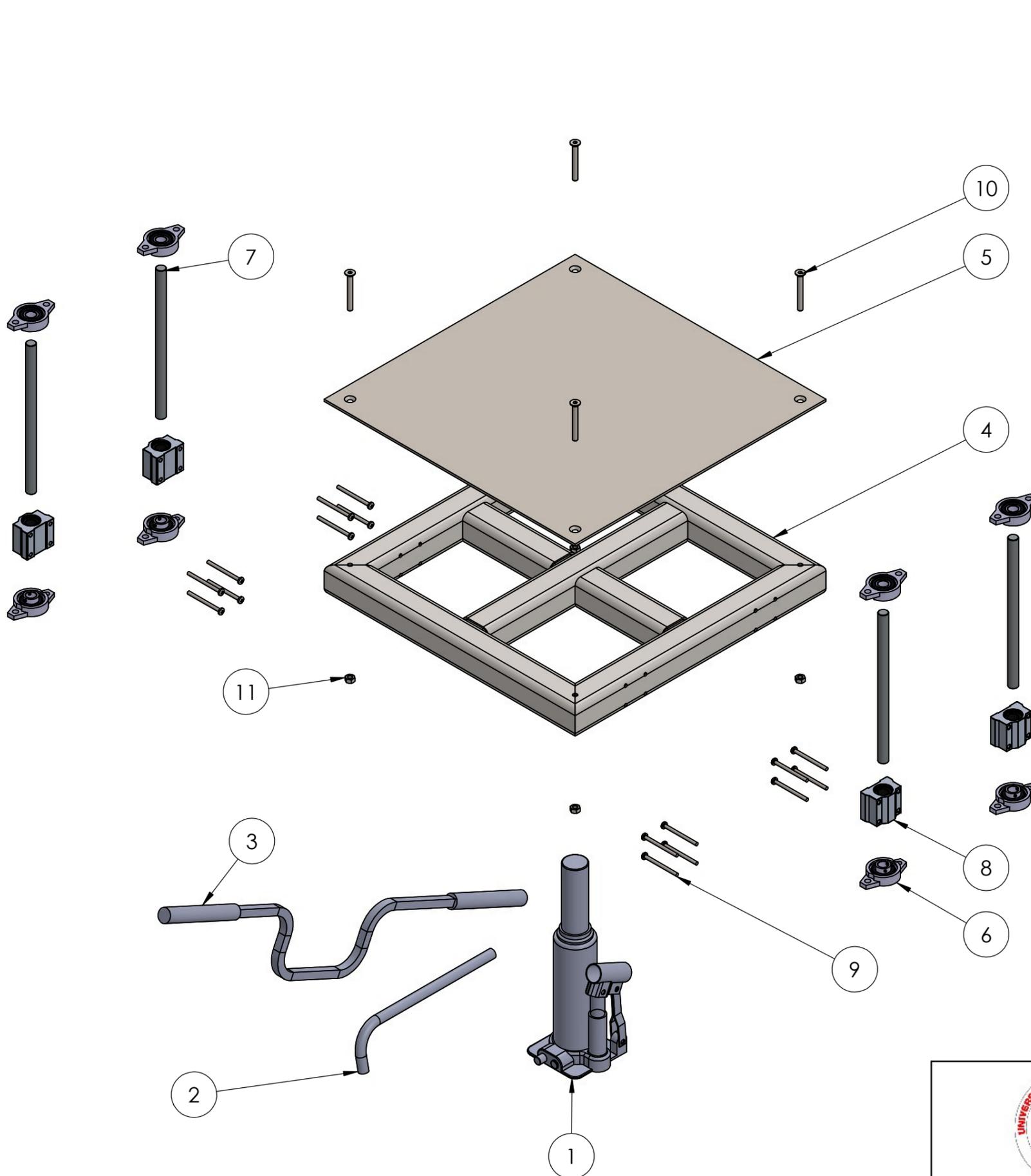
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Armazón	1
2	Ensamble Guía	4
3	Ensamble parte térmica	1
4	B18.2.3.5M - Hex bolt M6 x 1.0 x 55 --18N	16
5	B18.2.4.1M - Hex nut, Style 1, M6 x 1 --D-N	12
6	Ensamble mesa	1
6	AS-NZS 1427 PC- M4 x 50-N	16
7	Ensamblaje Panel	1
8	B18.2.3.2M - Formed hex screw, M12 x 1.75 x 90 --30WN	4
9	Ensamble Gato	1

	PROYECTO: PRENSA PARA TERMOFORMADO DE RESIDUOS P.			ESCALA:	
	PARTE: ENSAMBLE DEL SISTEMA DE PRENSADO			1:10	
CÓDIGO: TT-230725-4-001				TOLERANCIA: 0.5mm	
MATERIAL:	-	DISEÑO:	F. Manchimba	2023-07-25	HOJA: 1 DE 1
TRATAMIENTO:	Ninguno	DIBUJÓ:	F. Manchimba	2023-07-25	
RECUBRIMIENTO:	Pintura Automotriz	REVISÓ:	D. Ojeda	2023-07-25	
CANTIDAD:	1 unidad	APROBÓ:	D. Ojeda		
FICA	CIME				



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Placa de aluminio	Aluminio ASTM A1200 4mm	1
2	Bloque 40x20x120	Fundición de aluminio 3104	6
3	Resistencia	Ø 8 mm, L=110 mm	6
4	Plancha	Acero AISI 201 1 mm	1
5	AS-NZS 1023 CC- M4 x 35-N		12
6	AS 1112.4 AB- M4-N		12
7	Plato Superior		1
8	ISO 10642 - M6 x 55 - 24N		8
9	ISO - 4034 - M6 - N		8

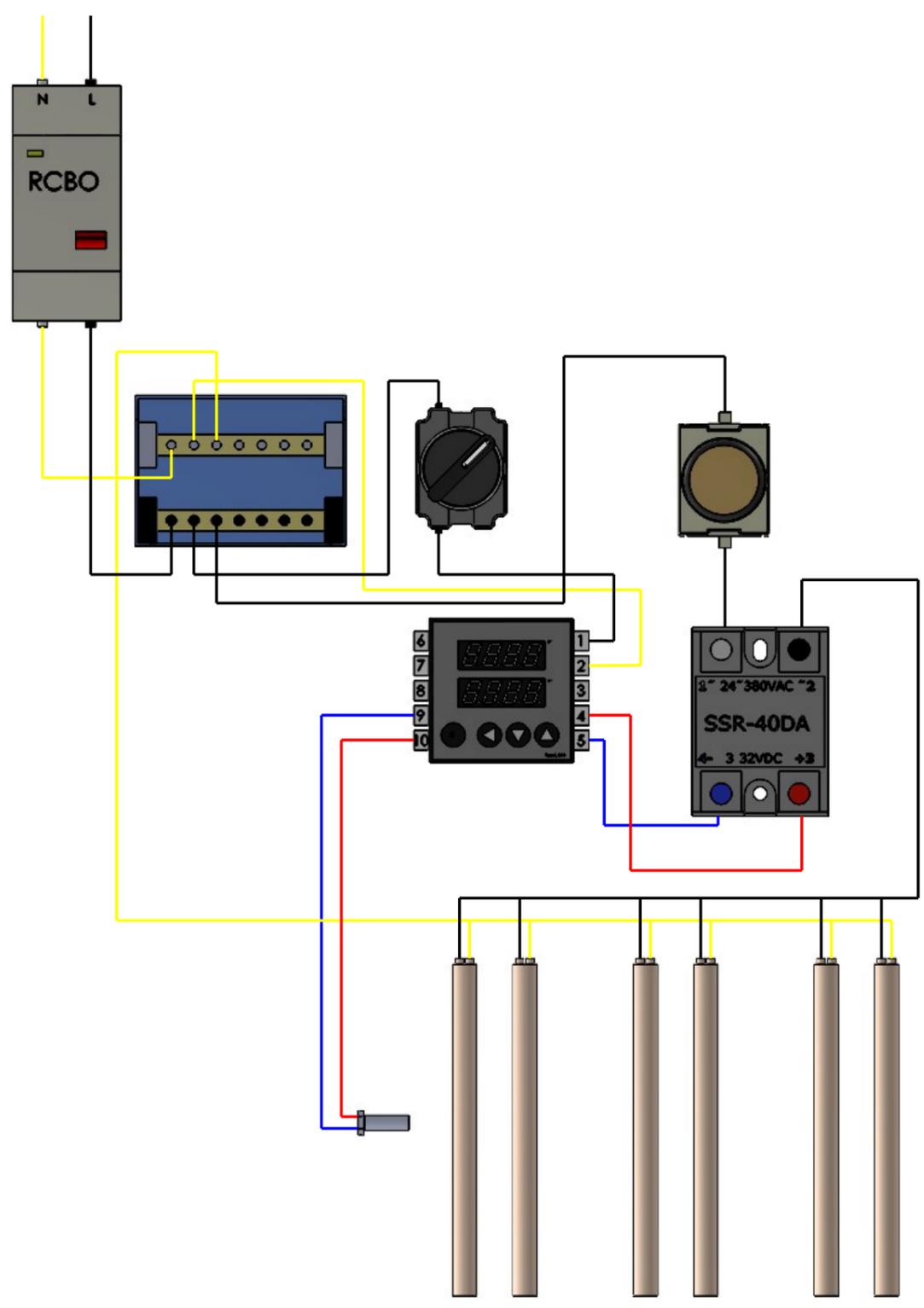
	PROYECTO: PRENSA PARA TERMOFORMADO DE RESIDUOS P.			ESCALA:	
	PARTE: ENSAMBLE DEL SISTEMA TÉRMICO			1:6	
	CÓDIGO: TT-230725-4-002			TOLERANCIA: 0.5mm	
	MATERIAL:	-	DISEÑO:	F. Manchimba	2023-07-25
TRATAMIENTO:	Ninguno	DIBUJÓ:	F. Manchimba	2023-07-25	
RECUBRIMIENTO:	Pintura Automotriz	REVISÓ:	D. Ojeda	2023-07-25	
CANTIDAD:	1 unidad	APROBÓ:	D. Ojeda		
FICA	CIME				



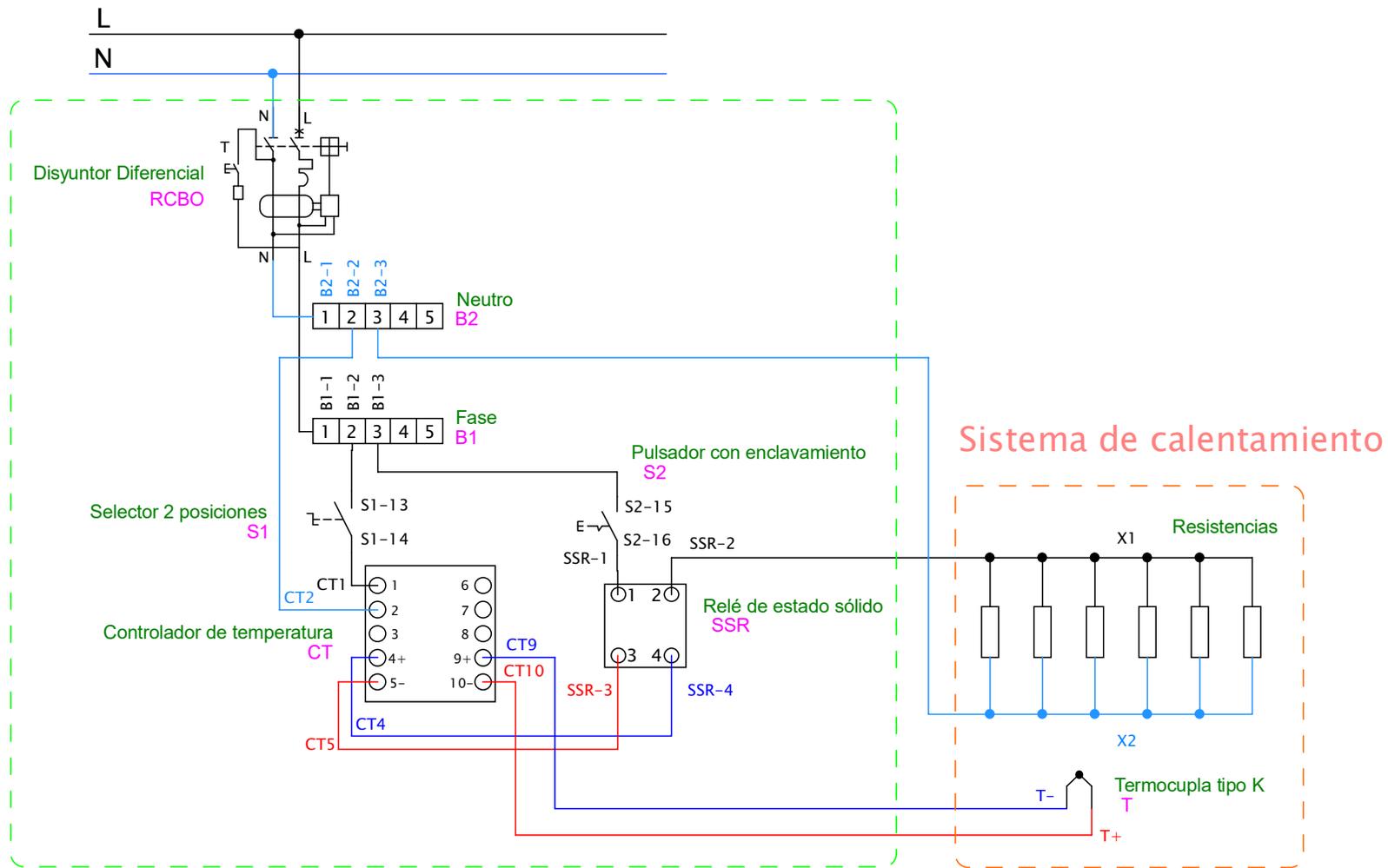
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Gato hidráulico		1
2	Llave		1
3	Palanca		1
4	Plato inferior		1
5	Tapa inferior		1
6	KFL001	Chumacera	8
7	Guía		4
8	SCS12UU	Rodamiento lineal	4
9	AS-NZS 1427 PC- M4 x 50-N		16
10	B18.3.5M - 6 x 1.0 x 50 Socket FCHS -- 24N		4
11	B18.2.4.1M - Hex nut, Style 1, M6 x 1 --D-N		4

	PROYECTO: PRENSA PARA TERMOFORMADO DE RESIDUOS P.			ESCALA:	
	PARTE: ENSAMBLE DEL SISTEMA DE PRENSADO			1:5	
CÓDIGO: TT-230725-4-003				TOLERANCIA: 0.5mm	
MATERIAL:	-	DISEÑO:	F. Manchimba	2023-07-25	HOJA: 1 DE 1
TRATAMIENTO:	Ninguno	DIBUJÓ:	F. Manchimba	2023-07-25	
RECUBRIMIENTO:	Pintura Automotriz	REVISÓ:	D. Ojeda	2023-07-25	
CANTIDAD:	1 unidad	APROBÓ:	D. Ojeda		
FICA	CIME				

— FASE
 — NEUTRO
 — POSITIVO
 — NEGATIVO

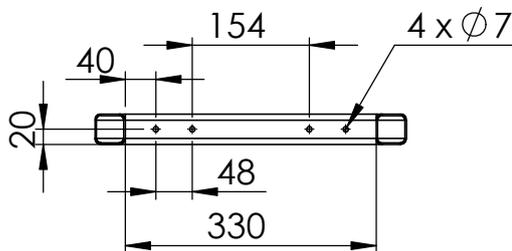
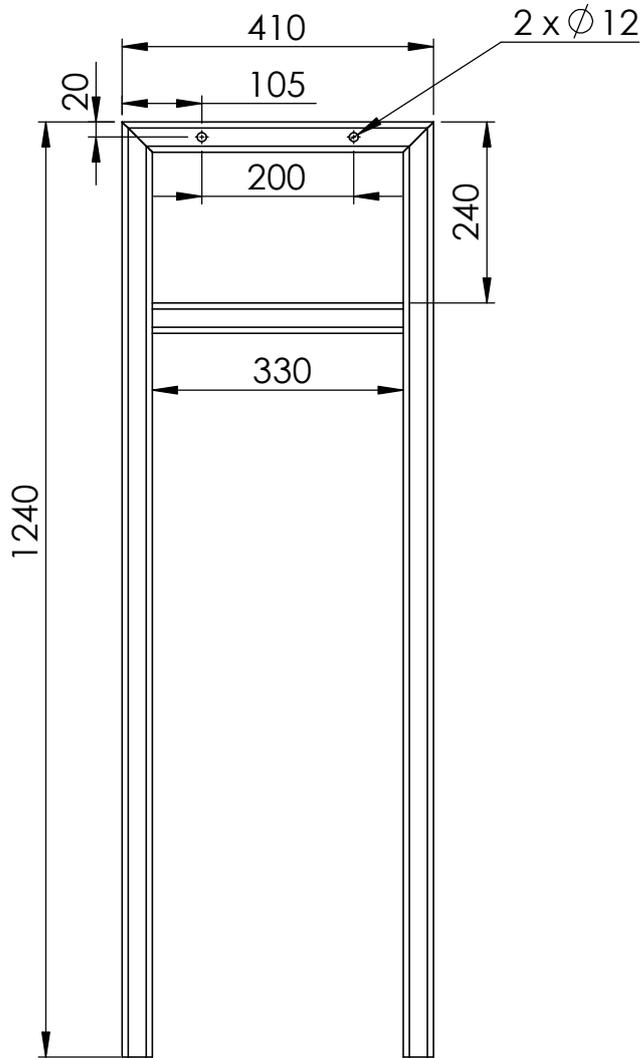
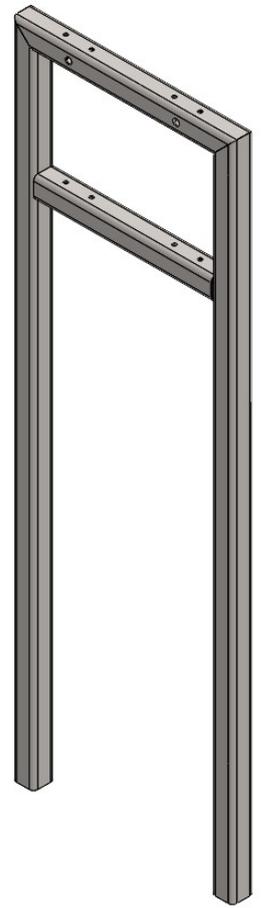
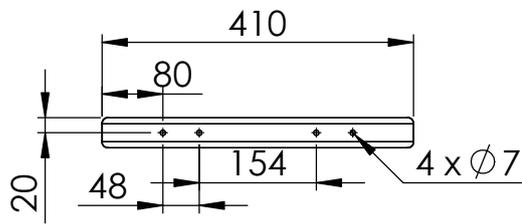


	PROYECTO: PRENSA PARA TERMOFORMADO DE RESIDUOS P.			ESCALA:	
	PARTE: DIAGRAMA DE CONEXIONES			1:6	
CÓDIGO: TT-230725-4-003				TOLERANCIA: 0.5mm	
MATERIAL:	-	DISEÑO:	F. Manchimba	2023-07-25	HOJA: 1 DE 1
TRATAMIENTO:	Ninguno	DIBUJÓ:	F. Manchimba	2023-07-25	
RECUBRIMIENTO:	Pintura Automotriz	REVISÓ:	D. Ojeda	2023-07-25	
CANTIDAD:	1 unidad	APROBÓ:	D. Ojeda		
FICA	CIME				



Sistema de fuerza y control

Dep. responsable Mecatrónica	Referencia técnica	Creado por Manchimba Fabricio	Aprobado por MsC. Mejía Cosme	
	Tipo de documento Plano eléctrico		Estado del documento	Rev. 2
	Título, título suplementario Diagrama multifilar de Prensa de calor		Fecha de edición 18/2/2025	Idioma
			Hoja 1	



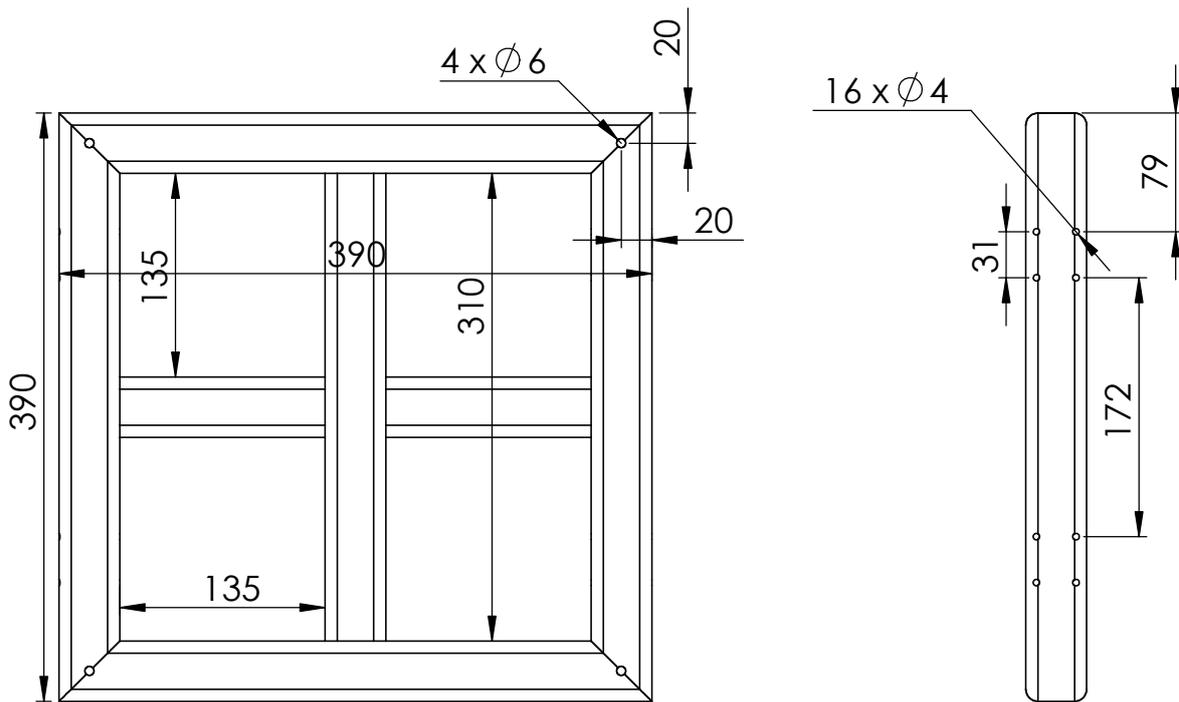
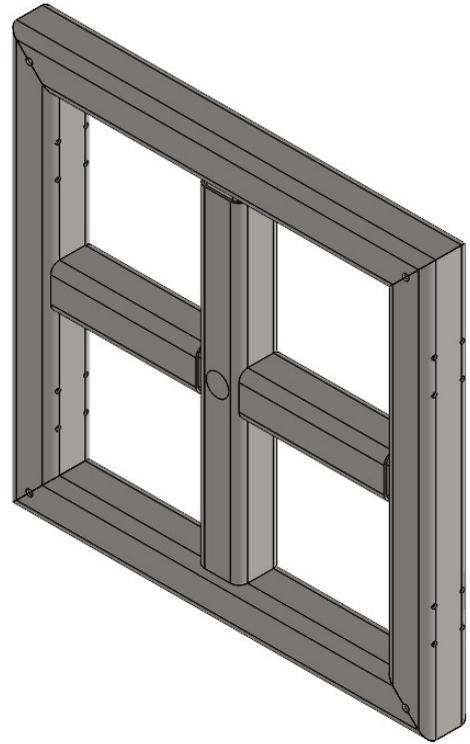
NOTAS: Perforaciones pasantes a menos que se indique lo contrario.
Tubo estructural cuadrado 40x2 mm.



PROYECTO: PRENSA PARA TERMOFORMADO DE RESIDUOS P.			ESCALA: 1:10		
PARTE: ESTRUCTURA			TOLERANCIA: 0.05		
CÓDIGO: TT-230725-1-001					
MATERIAL:	Acero SAE J403 1008	DISEÑO:	F. MANCHIMBA	2023-07-25	HOJA: 1 DE 1
TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	F. MANCHIMBA	2023-07-25	
RECUBRIMIENTO:	Pintura Automotriz	REVISÓ:	D. OJEDA		
CANTIDAD:	2 unidades	APROBÓ:	D. OJEDA		

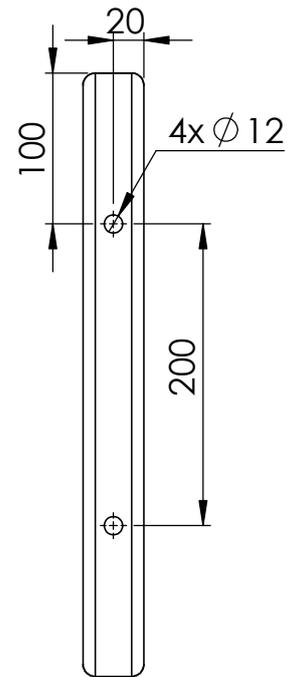
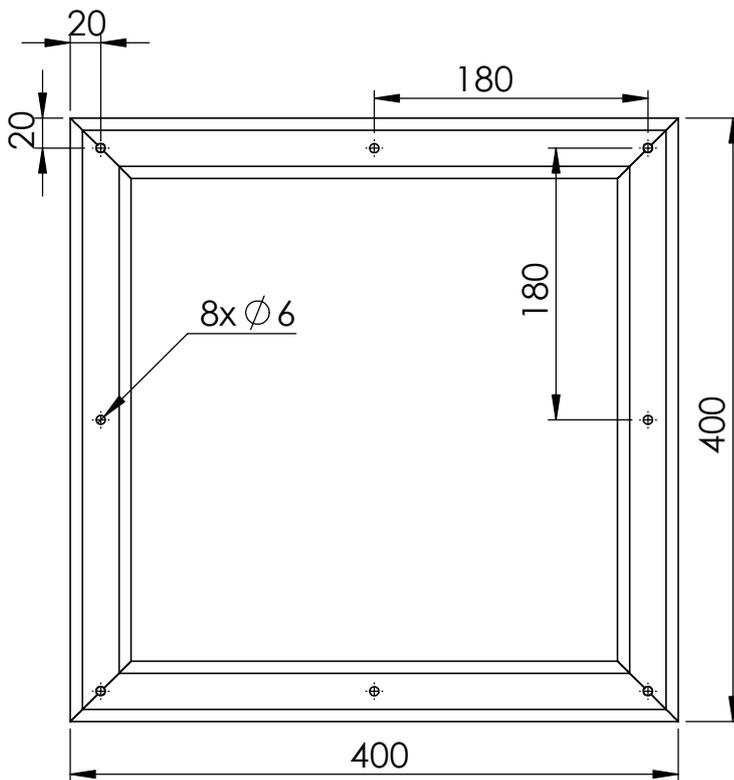
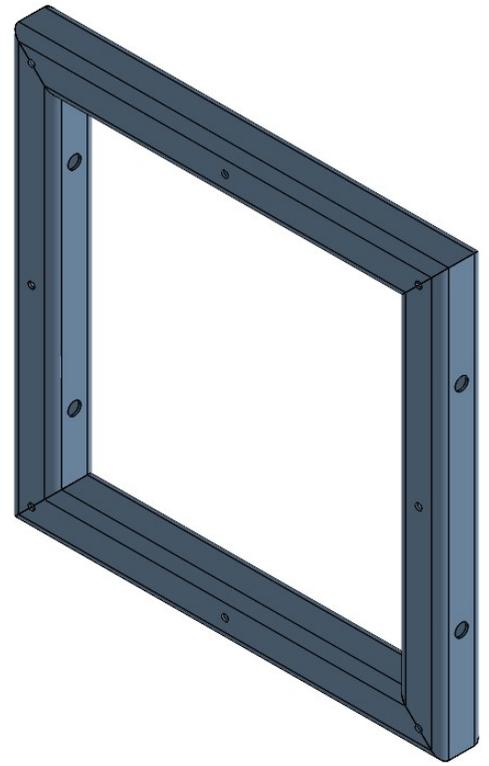
FICA

CIME



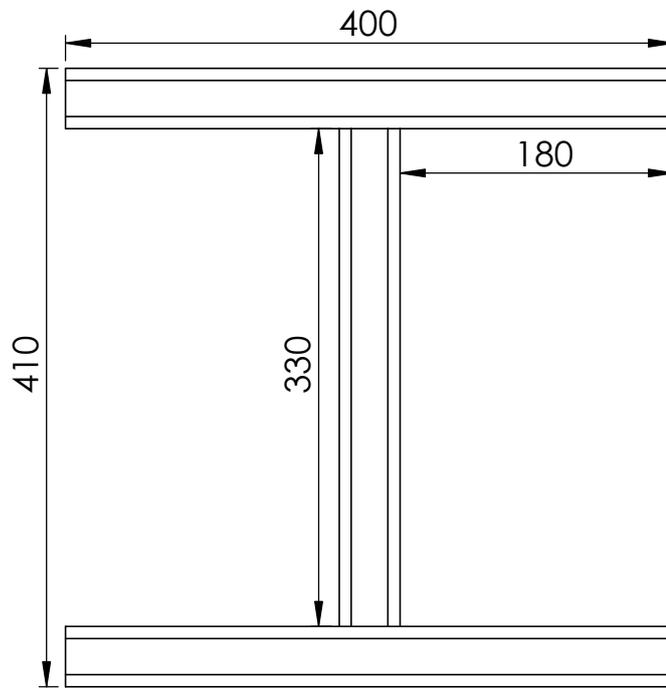
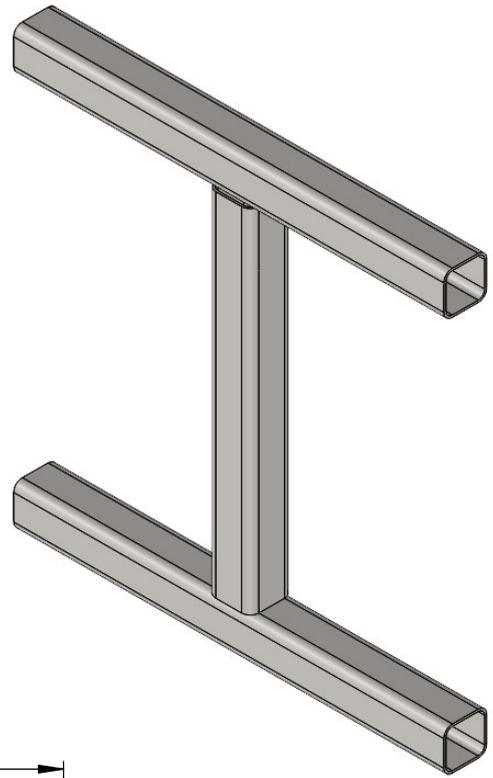
NOTAS: Perforaciones pasantes a menos que se indique lo contrario.
Tubo estructural cuadrado 40x2 mm.

	PROYECTO: PRENSA PARA TERMOFORMADO DE RESIDUOS P.		ESCALA:
	PARTE: MESA		1:5
	CÓDIGO: TT-230725-2-001		TOLERANCIA: 0.05
	MATERIAL: Acero SAE J403 1008	DISEÑO: F. MANCHIMBA	2023-07-25
	TRATAMIENTO: NINGUNO	DIBUJÓ: F. MANCHIMBA	2023-07-25
FICA	CIME	RECUBRIMIENTO: NINGUNO	REVISÓ: D. OJEDA
		CANTIDAD: 1 unidad	APROBÓ: D. OJEDA
			HOJA: 1 DE 1



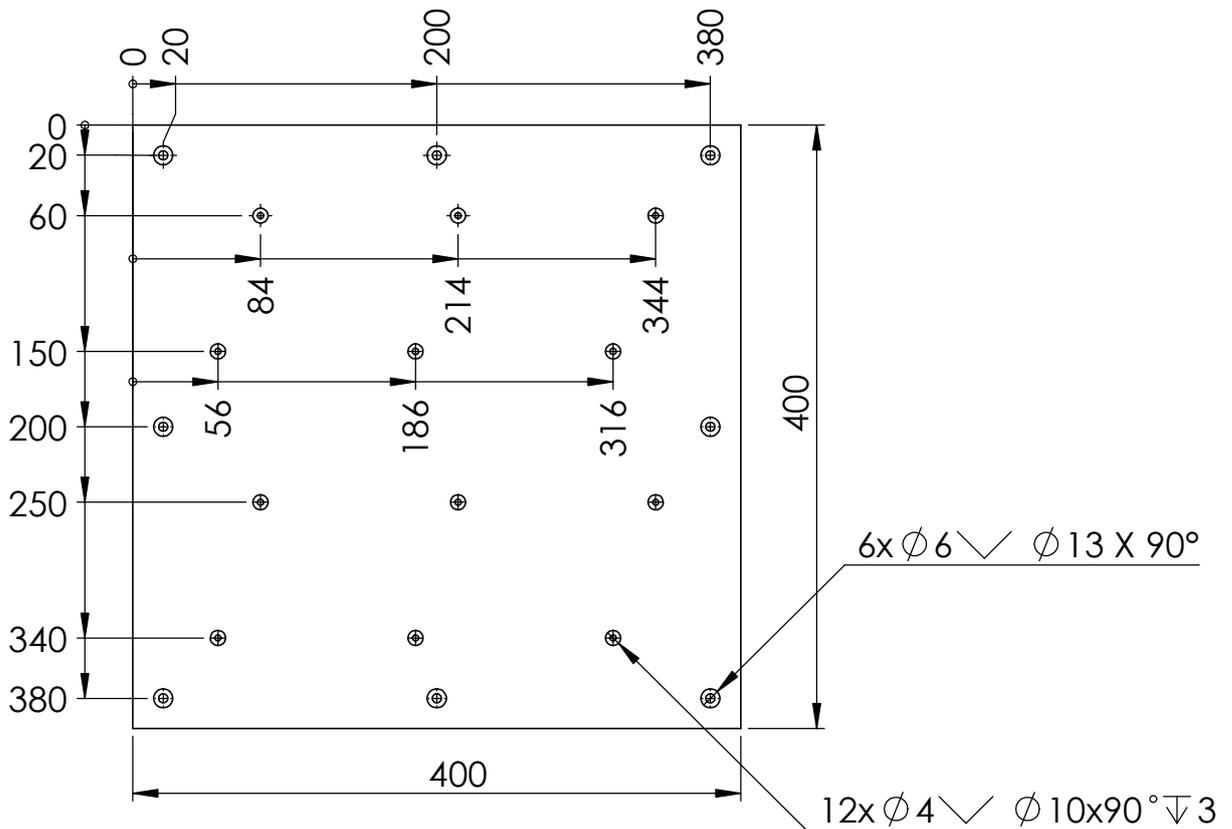
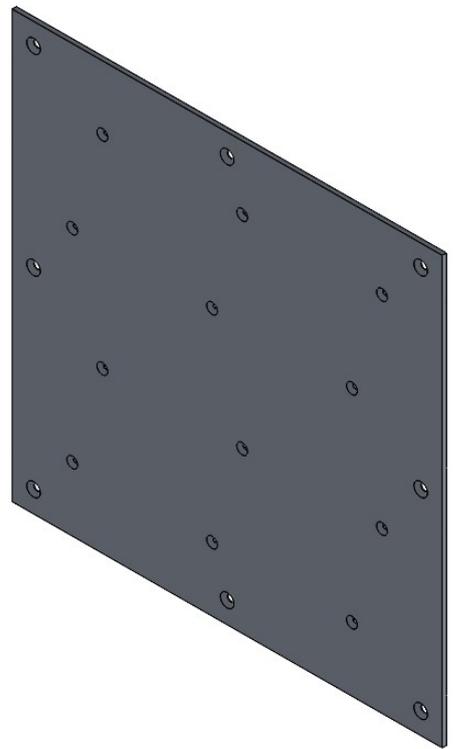
NOTAS: Perforaciones pasantes a menos que se indique lo contrario.
Tubo estructural cuadrado 40x2 mm.

	PROYECTO: PRENSA PARA TERMOFORMADO DE RESIDUOS P.			ESCALA: 1:5		
	PARTE: PLATO TÉRMICO					
	CÓDIGO: TT-230725-3-001			TOLERANCIA: 0.05		
	MATERIAL:	Acero SAE J403 1008	DISEÑO:	F. MANCHIMBA	2023-07-25	HOJA: 1 DE 1
	TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	F. MANCHIMBA	2023-07-25	
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISÓ:	D. OJEDA			
CANTIDAD:	1 unidad	APROBÓ:	D. OJEDA			
FICA	CIME					



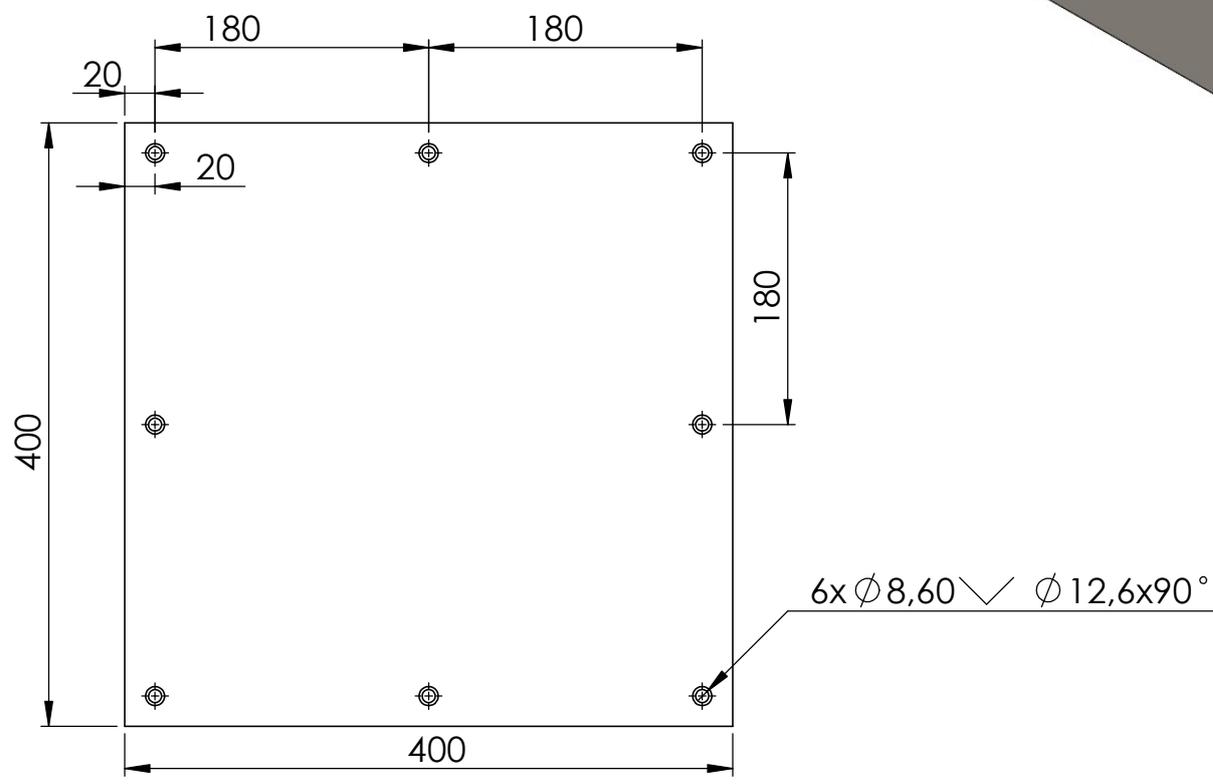
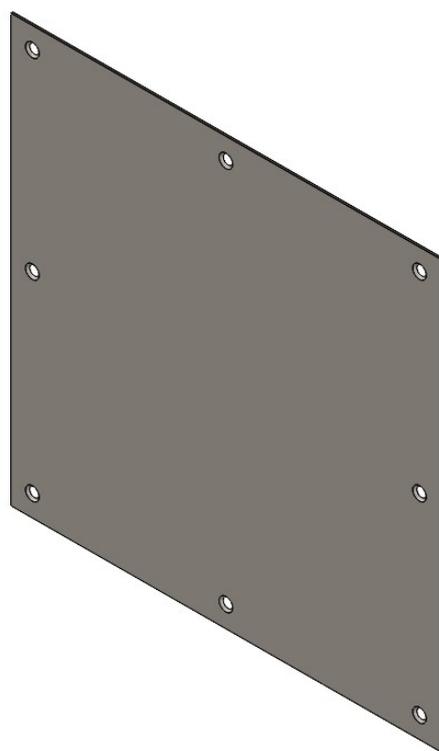
NOTAS: Tubo estructural cuadrado 40x2 mm.

	PROYECTO: PRENSA PARA TERMOFORMADO DE RESIDUOS P.			ESCALA: 1:10 		
	PARTE: ESTRUCTURA					
	CÓDIGO: TT-230725-1-002			TOLERANCIA: 0.05		
	MATERIAL:	Acero SAE J403 1008	DISEÑO:	F. MANCHIMBA	2023-07-25	
	TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	F. MANCHIMBA	2023-07-25	
FICA	CIME	RECUBRIMIENTO:	Pintura Automotriz	REVISÓ:	D. OJEDA	HOJA: 1 DE 1
		CANTIDAD:	1 unidad	APROBÓ:	D. OJEDA	



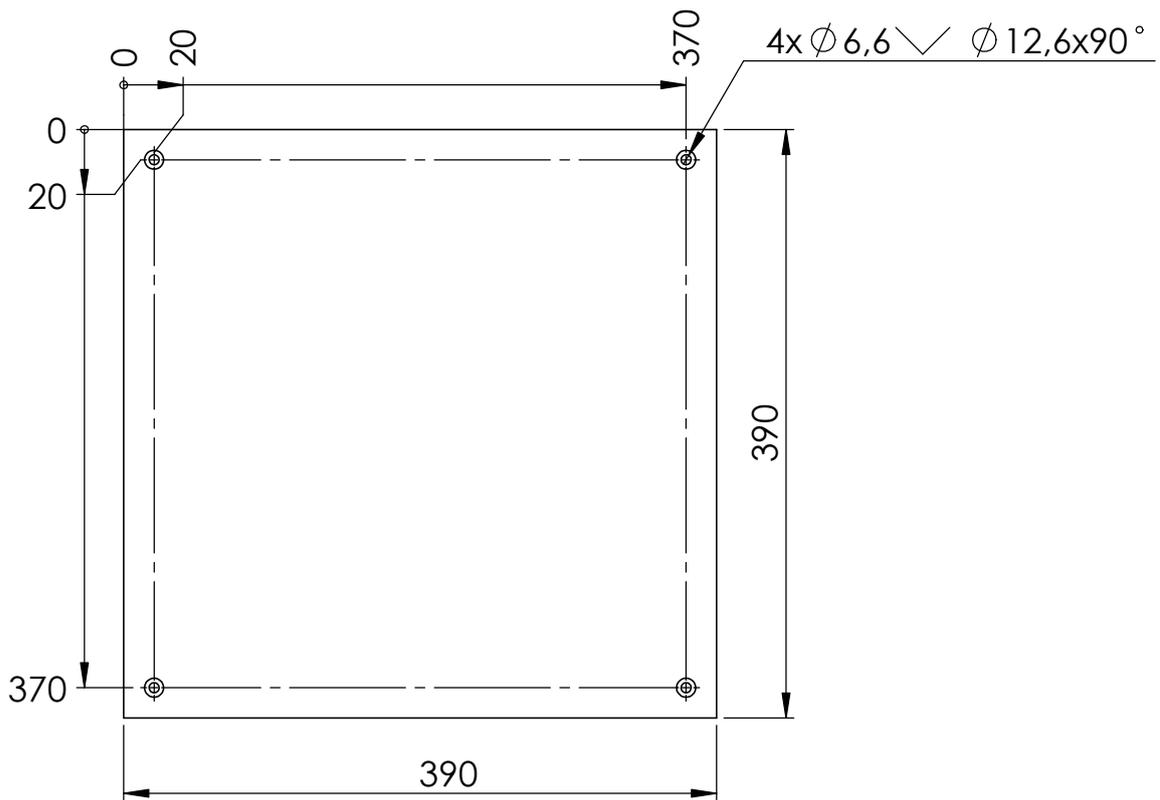
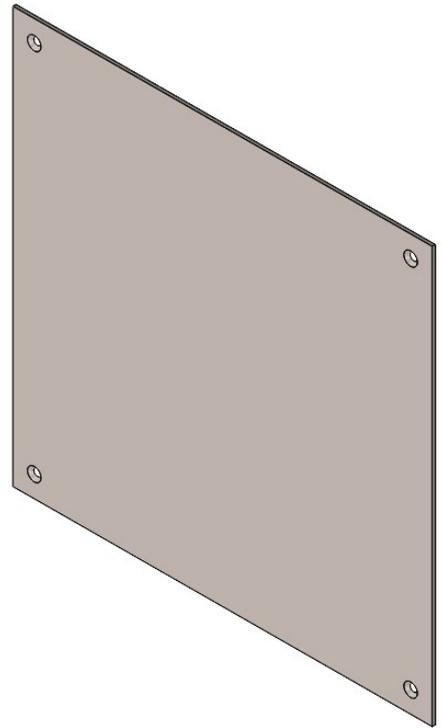
NOTAS: Perforaciones pasantes a menos que se indique lo contrario.
Plancha de aluminio de e=4mm

	PROYECTO: PRENSA PARA TERMOFORMADO DE RESIDUOS P.			ESCALA:		
	PARTE: PLACA DE ALUMINIO			1:5		
	CÓDIGO: TT-230725-3-002			TOLERANCIA: 0.05		
	MATERIAL:	ALUMINIO AST A1200	DISEÑO:	F. MANCHIMBA	2023-07-25	HOJA: 1 DE 1
	TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	F. MANCHIMBA	2023-07-25	
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISÓ:	D. OJEDA			
CANTIDAD:	1 unidad	APROBÓ:	D. OJEDA			
FICA	CIME					



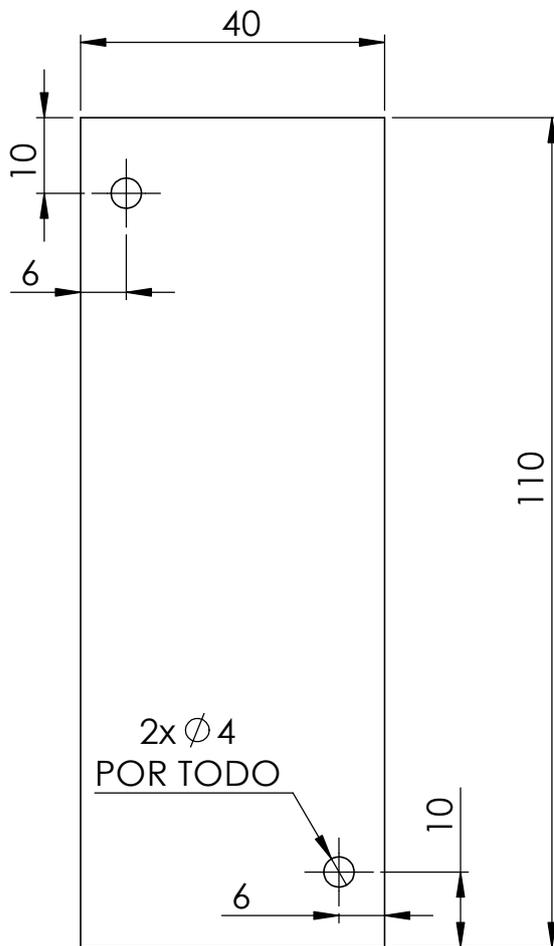
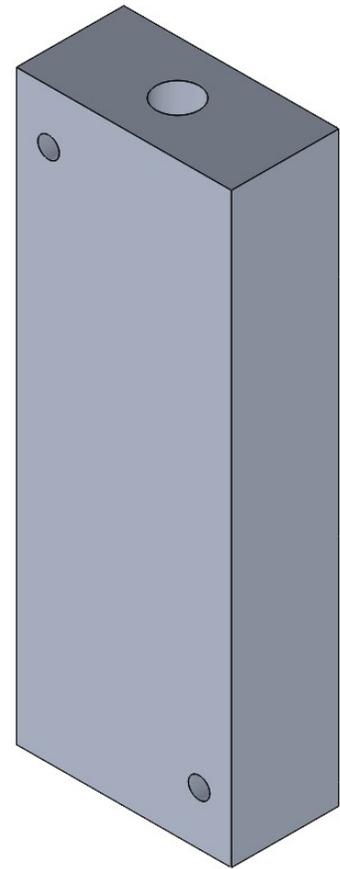
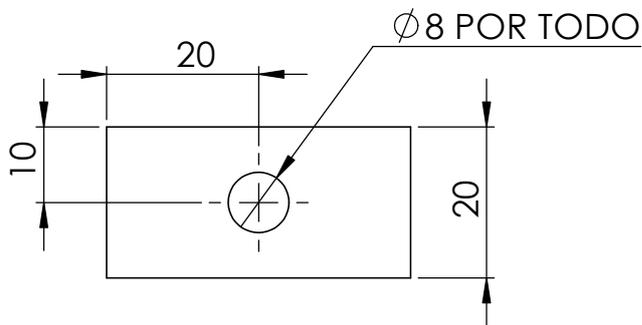
Nota: agujeros pasantes a menos que se indique lo contrario.
 Grosor del material: 1 mm.

	PROYECTO: PRENSA PARA TERMOFORMADO DE RESIDUOS P.			ESCALA: 1:5		
	PARTE: PLATO TÉRMICO					
	CÓDIGO: TT-230725-3-003			TOLERANCIA: 0.05		
	MATERIAL:	ACERO INOX. AISI 201	DISEÑO:	F. MANCHIMBA	2023-07-25	HOJA: 1 DE 1
	TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	F. MANCHIMBA	2023-07-25	
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISÓ:	D. OJEDA			
CANTIDAD:	1 unidad	APROBÓ:	D. OJEDA			
FICA	CIME					

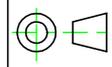


NOTAS: Perforaciones pasantes a menos que se indique lo contrario.
Placa de acero de e=3mm.

	PROYECTO: PRENSA PARA TERMOFORMADO DE RESIDUOS P.			ESCALA: 1:5		
	PARTE: MESA					
	CÓDIGO: TT-230725-2 - 0 0 2			TOLERANCIA: 0.05		
	MATERIAL:	ACERO SAE J403 1008	DISEÑO:	F. MANCHIMBA	2023-07-25	HOJA: 1 DE 1
	TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	F. MANCHIMBA	2023-07-25	
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISÓ:	D. OJEDA			
CANTIDAD:	1 unidad	APROBÓ:	D. OJEDA			
FICA	CIME					



NOTAS: Perforaciones pasantes a menos que se indique lo contrario.

	PROYECTO: PRENSA PARA TERMOFORMADO DE RESIDUOS P.			ESCALA:		
	PARTE: BLOQUE DE ALUMINIO			1:1		
	CÓDIGO: TT-230725-3-004			TOLERANCIA: 0.05		
	MATERIAL:	ALUMINIO 3104	DISEÑO:	F. MANCHIMBA	2023-07-25	HOJA: 1 DE 1
	TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	F. MANCHIMBA	2023-07-25	
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISÓ:	D. OJEDA			
CANTIDAD:	6 unidades	APROBÓ:	D. OJEDA			
FICA	CIME					